А.С.Солодков Е.Б.Сологуб

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

ОБЩАЯ · СПОРТИВНАЯ · ВОЗРАСТНАЯ

Учебник для высших учебных заведений физической культуры

Издание 5-е, исправленное и дополненное

Допущен Министерством РФ по физической культуре и спорту в качестве учебника для высших учебных заведений физической культуры

SPORT

Москва 2015

ББК 28.707.3я73
С60

Издание подготовлено на кафедре физиологии Национального государственного университета физической культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург

Рецензенты:
В.И. Кулешов, доктор мед. наук, проф. (ВмедА им. С.М. Кирова)
И.М. Козлов, доктор биол. и доктор пед. наук, проф.
(НГУ им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург)

Солодков А. С, Сологуб Е. Б.
Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная
С60 [Текст] : учебник. – Изд. 5-е, испр. и доп. – М. : Спорт, 2015. – 620 с. : ил.

ISBN 978-5-9906734-0-3

Учебник подготовлен в соответствии с новой программой по физиологии для вузов физической культуры и требованиями Государственного стандарта высшего профессионального образования.

Для студентов, аспирантов, научных сотрудников, преподавателей, тренеров и врачей, работающих в области физической культуры.

ББК 28.707.3я73

© Солодков А. С., Сологуб Е. Б., 2001, 2005, 2008, 2015
© Оформление, издание, ООО Издательство «Спорт», 2015

ISBN 978-5-9906734-0-3

ПРЕДИСЛОВИЕ

Физиология человека является теоретической основой целого ряда практических дисциплин (медицины, психологии, педагогики, биомеханики, биохимии и др.). Без понимания нормального течения физиологических процессов и характеризующих их констант различные специалисты не могут правильно оценивать функциональное состояние организма человека и его работоспособность в различных условиях деятельности. Знание физиологических механизмов регуляции различных функций организма имеет важное значение в понимании хода восстановительных процессов во время и после напряженного мышечного труда.

Раскрывая основные механизмы, обеспечивающие существование целостного организма и его взаимодействие с окружающей средой, физиология позволяет выяснить и исследовать условия и характер изменений деятельности различных органов и систем в процессе онтогенеза человека. Физиология является наукой, осуществляющей ***системный подход*** в изучении и анализе многообразных внутри- и межсистемных взаимосвязей сложного человеческого организма и сведение их в ***конкретные функциональные образования и единую теоретическую картину.***

Важно подчеркнуть, что в развитии современных научных физиологических представлений существенная роль принадлежит отечественным исследователям. Знание истории любой науки – необходимая предпосылка для правильного понимания места, роли и значения дисциплины в содержании социально-политического статуса общества, его влияния на эту науку, а также влияние науки и ее представителей на развитие общества. Поэтому рассмотрение исторического пути развития отдельных разделов физиологии, упоминание наиболее ярких ее представителей и анализ естественно-научной базы, на которой формировались основные понятия и представления этой дисциплины, дают возможность оценить современное состояние предмета и определить его дальнейшие перспективные направления.

Физиологическая наука в России в XVIII–XIX столетиях представлена плеядой блестящих ученых – И.М. Сеченов, Ф.В. Овсянников, А.Я. Данилевский, А.Ф. Самойлов, И.Р. Тарханов, Н.Е. Введенский и др. Но лишь И.М. Сеченову и И.П. Павлову принадлежит заслуга создания новых направлений не только в Российской, но и в мировой физиологии.

Физиологию как самостоятельную дисциплину начали преподавать с 1738 г. в Академическом (позже Санкт-Петербургском) университете. Существенное значение в развитии физиологии принадлежит и основанному в 1755 г. Московскому университету, где в его составе в 1776 г. была открыта кафедра физиологии.

В 1798 г. в Санкт-Петербурге была основана Медико-хирургическая (Военно-медицинская) академия, которая сыграла исключительную роль в развитии физиологии человека. Созданную при ней кафедру физиологии последовательно возглавляли П.А. Загорский, Д.М. Велланский, Н.М. Якубович, И.М. Сеченов, И.Ф. Цион, Ф.В. Овсянников, И.Р. Тарханов, И.П. Павлов, Л.А. Орбели, А.В. Лебединский, М.П. Бресткин и другие выдающиеся представители физиологической науки. За каждым названным именем стоят открытия в физиологии, имеющие мировое значение.

В программу обучения в физкультурных вузах физиология включалась с первых дней их организации. На созданных П.Ф. Лесгафтом в 1896 г. Высших курсах физического образования сразу же был открыт кабинет физиологии, первым руководителем которого являлся академик И.Р. Тарханов. В последующие годы физиологию здесь преподавали Н.П. Кравков, А.А. Вальтер, П.П. Ростовцев, В.Я. Чаговец, А.Г. Гинецинский, А.А. Ухтомский, Л.А. Орбели, И.С. Беритов, А.Н. Крестовников, Г.В. Фольборт и др.

Бурное развитие физиологии и ускорение научно-технического прогресса в стране обусловили появление в 30-х годах XX столетия нового самостоятельного раздела физиологии человека – физиологии спорта, хотя отдельные работы, посвященные изучению функций организма при выполнении физических нагрузок, публиковались еще в конце XIX века (И.О. Розанов, С.С. Груздев, Ю.В. Блажевич, П.К. Горбачев и др.). При этом следует подчеркнуть, что систематические исследования и преподавание физиологии спорта начались в нашей стране раньше, чем за рубежом, и носили более целенаправленный характер. Кстати, заметим, что только в 1989 г. Генеральная ассамблея Международного союза физиологических наук приняла решение о создании при ней комиссии «Физиология спорта», хотя подобные комиссии и секции в системе АН СССР, АМН СССР, Всесоюзного физиологического общества им. И.П. Павлова Госкомспорта СССР существовали в нашей стране с 1960-х годов.

Теоретические предпосылки для возникновения и развития физиологии спорта были созданы фундаментальными работами И.М. Сеченова, И.П. Павлова, Н.Е. Введенского, А.А. Ухтомского, И.С. Бериташвили, К.М. Быкова и других. Однако систематическое изучение физиологических основ физической культуры и спорта началось значительно позже. Особенно большая заслуга в создании этого раздела физиологии принадлежит Л.А. Орбели и его ученику А.Н. Крестовникову, и она неразрывно связана со становлением и развитием Университета физической культуры им. П.Ф. Лесгафта и его кафедры физиологии – первой подобной кафедры среди физкультурных вузов в стране и в мире.

После создания в 1919 г. кафедры физиологии в Институте физического образования им. П.Ф. Лесгафта преподавание этого предмета осуществляли Л.А. Орбели, А.Н. Крестовников, В.В. Васильева, А.Б. Гандельсман, Е.К. Жуков, Н.В. Зимкин, А.С. Мозжухин, Е.Б. Сологуб, А.С. Солодков и др. В 1938 г. А.Н. Крестовниковым был издан первый в нашей стране и в мире «Учебник физиологии» для институтов физической культуры, а в 1939 г. – монография «Физиология спорта». Важную роль в дальнейшем развитии преподавания дисциплины сыграли три издания «Учебника физиологии человека» под редакцией Н.В. Зимкина (1964, 1970, 1975).

Становление физиологии спорта в значительной мере было обусловлено широким проведением фундаментальных и прикладных исследований по предмету. Развитие любой науки ставит перед представителями многих специальностей все новые и новые практические задачи, на которые теория не всегда и сразу же может дать однозначный ответ. Однако, как остроумно заметил Д. Краукрофт (1970), «...научные исследования обладают одной странной особенностью: у них есть привычка рано или поздно оказываться полезными для кого-то или для чего-то». Анализ развития учебного и научного направлений физиологии спорта со всей очевидностью подтверждает это положение.

Запросы теории и практики физического воспитания и обучения требуют от физиологической науки раскрытия особенностей функционирования организма с учетом возраста людей и закономерностей их адаптации к мышечной деятельности. Научные принципы физического воспитания детей и подростков базируются на физиологических закономерностях роста и развития человека на разных этапах онтогенеза. В процессе физического

воспитания следует не только повышать двигательную подготовленность, но и формировать необходимые психофизиологические свойства и качества личности, обеспечивающие ее готовность к труду, к активной деятельности в условиях современного мира.

Формирование различных органов и систем, двигательных качеств и навыков, их совершенствование в процессе физического воспитания может быть успешным при условии научно обоснованного применения различных средств и методов физической культуры, а также при необходимости интенсификации или снижения мышечных нагрузок. При этом необходимо учитывать возрастно-половые и индивидуальные особенности детей, подростков, зрелых и пожилых людей, а также резервные возможности их организма на разных этапах индивидуального развития. Знание таких закономерностей специалистами оградит практику физического воспитания от применения как недостаточных, так и чрезмерных мышечных нагрузок, опасных для здоровья людей.

К настоящему времени накоплены значительные фактические материалы по спортивной и возрастной физиологии, изложенные в соответствующих учебниках и учебных пособиях. Однако в последние годы по некоторым разделам предмета появились новые данные, не вошедшие в прежние издания. Кроме того, в связи с постоянно менявшейся и дополнявшейся учебной программой содержание ранее изданных разделов дисциплины не соответствует современным тематическим планам, по которым ведется преподавание в физкультурных вузах России. С учетом сказанного, в предлагаемом учебнике изложены систематизированные, дополненные и в ряде случаев новые материалы в рамках сегодняшних учебных и научных сведений по предмету. В соответствующие разделы учебника включены и результаты собственных исследований авторов.

В 1998–2000 гг. А.С. Солодковым и Е.Б. Сологуб изданы три учебных пособия по общей, спортивной и возрастной физиологии, которые были широко востребованы студентами, одобрены преподавателями и послужили основой для подготовки современного учебника. Изданный ими в 2001 г. учебник соответствует новой программе по дисциплине, требованиям Государственного стандарта высшего профессионального образования Российской Федерации и включает три части – ***общую, спортивную и возрастную физиологию.***

Несмотря на большой тираж первого издания (10 тыс. экз.), через два года учебник в магазинах отсутствовал. Поэтому после

внесения некоторых исправлений и дополнений, в 2005 г. учебник был переиздан прежним тиражом. Однако к концу 2007 г. приобрести его где-либо оказалось невозможно. Вместе с тем из различных регионов Российской Федерации, стран СНГ на кафедру физиологии регулярно поступают предложения о необходимости очередного переиздания учебника. Кроме того, в распоряжении авторов появились некоторые новые материалы, которые соответствуют требованиям Болонского процесса к специалистам по физической культуре и спорту.

В подготовленное третье издание учебника, наряду с учетом и реализацией в нем отдельных замечаний и предложений читателей, **включены также две новые главы:** «Функциональное состояние спортсменов» и «Влияние генома на функциональное состояние, работоспособность и здоровье спортсменов». Для последней главы некоторые материалы были представлены профессором кафедры биологии университета Сен-Джонса в Нью-Йорке Н.М. Коневой-Хансон, за что авторы искренне признательны Наталье Михайловне.

Все замечания и предложения и по пятому изданию, направленные на совершенствование качества учебника, авторами будут с благодарность приняты.

Часть I
ОБЩАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

Любому тренеру и педагогу для успешной профессиональной деятельности необходимо знание функций организма человека. Лишь учет особенностей его жизнедеятельности может помочь правильно управлять ростом и развитием организма человека, сохранением здоровья детей и взрослых, поддержанием работоспособности даже в пожилом возрасте, рациональному использованию мышечных нагрузок в процессе физического воспитания и спортивной тренировки.

1. ВВЕДЕНИЕ. ИСТОРИЯ ФИЗИОЛОГИИ

Датой становления современной физиологии является 1628 г., когда английский врач и физиолог Вильям Гарвей опубликовал результаты своего исследования по ***кровообращению*** у животных.

Физиология – ***наука о функциях и механизмах деятельности клеток, тканей, органов, систем и всего организма в целом.*** Физиологической функцией является проявление жизнедеятельности организма, имеющее приспособительное значение.

1.1. ПРЕДМЕТ ФИЗИОЛОГИИ, ЕЕ СВЯЗЬ С ДРУГИМИ НАУКАМИ И ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА

Физиология как наука неразрывно связана с другими дисциплинами. Она базируется на знаниях физики, биофизики и биомеханики, химии и биохимии, общей биологии, генетики, гистологии, кибернетики, анатомии. В свою очередь, физиология является основой медицины, психологии, педагогики, социологии, теории и методики физического воспитания. В процессе развития физиологической науки из ***общей физиологии*** выделились различные ***частные разделы:*** физиология труда, физиология спорта, авиакосмическая физиология, физиология подводного труда, возрастная физиология, психофизиология и др.

Общая физиология представляет собой теоретическую основу физиологии спорта. Она описывает основные закономерности деятельности организма людей разного возраста и пола, различные функциональные состояния, механизмы работы отдельных органов и систем организма и их взаимодействия. Ее ***практическое значение*** состоит в научном обосновании возрастных этапов развития организма человека, индивидуальных особенностях отдельных людей, механизмов проявления их физических и умственных способностей, особенностей контроля и возможностей управления функциональным состоянием организма. Физиология вскрывает последствия вредных привычек у человека, обосновывает пути профилактики функциональных нарушений и сохранение здоровья. Знания физиологии помогают педагогу и тренеру в процессах спортивного отбора и спортивной ориентации, в прогнозировании успешности соревновательной деятельности спортсмена, в рациональном построении тренировочного процесса, в обеспечении индивидуализации физических нагрузок и открывают возможности использования функциональных резервов организма.

1.2. МЕТОДЫ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Физиология – наука экспериментальная. Знания о функциях и механизмах деятельности организма построены на опытах, проводимых на животных, наблюдениях в клинике, обследованиях здоровых людей в различных экспериментальных условиях. При этом в отношении здорового человека требуются методы, не связанные с повреждениями его тканей и проникновением во внутрь организма – так называемые ***неинвазивные*** методы.

В общей форме физиология использует три методических приема исследований: ***наблюдение,*** или метод «черного ящика», ***острый опыт*** и ***хронический эксперимент.***

Классическими методами исследований являлись ***методы удаления и методы раздражения*** отдельных частей или целых органов, в основном применявшиеся в опытах на животных или во время операций в клинике. Они давали приблизительное представление о функциях удаленных или раздражаемых органов и тканей организма. В этом отношении прогрессивным методом исследования целостного организма стал ***метод условных рефлексов,*** разработанный И.П. Павловым.

В современных условиях наиболее распространены ***электрофизиологические методы,*** позволяющие регистрировать электрические процессы, не изменяя текущей деятельности изучаемых органов и без повреждения покровных тканей, – например, электрокардиография, электромиография, электроэнцефалография (регистрация электрической активности сердца, мышц и мозга). Развитие ***радиотелеметрии*** позволяет передавать эти получаемые записи на значительные расстояния, а ***компьютерные технологии и специальные программы*** обеспечивают тонкий анализ физиологических данных. Использование фотосъемки в инфракрасных лучах ***(тепловидения)*** позволяет выявить наиболее горячие или холодные участки тела, наблюдаемые в состоянии покоя или в результате деятельности. С помощью так называемой ***компьютерной томографии,*** не вскрывая мозга, можно увидеть морфофункциональные его изменения на различной глубине. Новые данные о работе мозга и отдельных частей тела дает изучение ***магнитных колебаний.***

1.3. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ФИЗИОЛОГИИ

Наблюдения за жизнедеятельностью организма производились с незапамятных времен. В XIV–XV веках до н. э. в ***Древнем Египте*** при изготовлении мумий люди хорошо знакомились с внутренними органами человека. В гробнице врача фараона Унаса изображены древние медицинские инструменты. В ***Древнем Китае*** только по пульсу удивительно тонко различали до 400 болезней. В IV–V веке до н. э. там было развито учение о функционально важных точках тела, которое в настоящее время явилось основой для современных разработок рефлексотерапии и иглоукалывания, Су-Джок терапии, тестирования функционального состояния скелетных мышц спортсмена по величине напряженности электрического поля кожи в биоэлектрически активных точках над ними. ***Древняя Индия*** прославилась своими особыми растительными рецептами, воздействием на организм упражнениями йоги и дыхательной гимнастики. В ***Древней Греции*** первые представления о функциях мозга и сердца высказывали в IV–V веке до н. э. Гиппократ (460–377 до н. э.) и Аристотель (384–322 до н. э.), а в ***Древнем Риме*** во II веке до н. э. – врач Гален (201–131 до н.э.).

Как экспериментальная наука физиология возникла в XVII веке, когда английский врач В. Гарвей открыл круги крово-

обращения. В этот же период французский ученый Р. Декарт ввел понятие рефлекс (отражение), описав путь внешней информации в мозг и обратный путь двигательного ответа. Работами гениального русского ученого М.В. Ломоносова и немецкого физика Г. Гельмгольца о трехкомпонентной природе цветного зрения, трактатом чеха Г. Прохазки о функциях нервной системы и наблюдениями итальянца Л. Гальвани о животном электричестве в нервах и мышцах отмечен ***XVIII век.*** В ***XIX веке*** разработаны представления английского физиолога Ч. Шеррингтона об интегративных процессах в нервной системе, изложенные в его известной монографии в 1906 г. Проведены первые исследования утомления итальянцем А. Моссо. Обнаружил изменения постоянных потенциалов кожи при раздражениях у человека И.Р. Тарханов (феномен Тарханова).

В XIX в. работами «отца русской физиологии» ***И.М. Сеченова*** (1829–1905) заложены основы развития многих областей физиологии – изучение газов крови, процессов утомления и «активного отдыха», а главное – открытие в 1862 г. торможения в центральной нервной системе («Сеченовского торможения») и разработка физиологических основ психических процессов человека, показавших рефлекторную природу поведенческих реакций человека («Рефлексы головного мозга», 1863). Дальнейшая разработка идей И.М. Сеченова шла двумя путями. С одной стороны, изучение тонких механизмов возбуждения и торможения проводилось в Санкт-Петербургском университете ***И.Е. Введенским*** (1852–1922). Им создано представление о физиологической лабильности как скоростной характеристике возбуждения и учение о парабиозе как общей реакции нервно-мышечной ткани на раздражение. В дальнейшем это направление было продолжено его учеником ***А.А. Ухтомским*** (1875–1942), который, изучая процессы координации в нервной системе, открыл явление доминанты (господствующего очага возбуждения) и роль в этих процессах усвоения ритма раздражений. С другой стороны, в условиях хронического эксперимента на целостном организме ***И.П. Павлов*** (1849–1936) впервые создал учение об условных рефлексах и разработал новую главу физиологии – физиологию высшей нервной деятельности. Кроме того, в 1904 г. за свои работы в области пищеварения И.П. Павлов, одним из первых русских ученых, был отмечен Нобелевской премией. Физиологические основы поведения человека, роль сочетанных рефлексов были разработаны ***В.М. Бехтеревым.***

Крупный вклад в развитие физиологии внесли и другие выдающиеся отечественные физиологи: основатель эволюционной физиологии и адаптологии академик Л.А. Орбели; изучавший условно-рефлекторные влияния коры на внутренние органы акад. К.М. Быков; создатель учения о функциональной системе акад. П.К. Анохин; основатель отечественной электроэнцефалографии акад. М.Н. Ливанов; разработчик космической физиологии – акад. В.В. Парин; основатель физиологии активности Н.А. Бернштейн и многие др.

В области физиологии мышечной деятельности следует отметить основателя отечественной физиологии спорта – проф. ***А.Н. Крестовникова*** (1885–1955), написавшего первый учебник по физиологии человека для физкультурных вузов страны (1938) и первую монографию по физиологии спорта (1939), а также широко известных ученых – проф. Е.К. Жукова, В.С. Фарфеля, Н.В. Зимкина, А.С. Мозжухина и многих др., а среди зарубежных ученых – П.О. Астранда, А. Хилла, Р. Гранита, Р. Маргария и др.

2. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФИЗИОЛОГИИ И ЕЕ ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Живые организмы представляют собой так называемые ***открытые системы*** (т.е. не замкнутые в себе, а неразрывно связанные с внешней средой). Они ***состоят из белков и нуклеиновых кислот и характеризуются способностью к авторегуляции и самовоспроизведению.*** Основные свойства живого организма – обмен веществ, раздражимость (возбудимость), подвижность, самовоспроизведение (размножение, наследственность) и саморегуляция (поддержание гомеостаза, приспособляемость-адаптивность).

2.1. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗБУДИМЫХ ТКАНЕЙ

Общим свойством всех живых тканей является раздражимость, т.е. ***способность под влиянием внешних воздействий изменять обмен веществ и энергии.*** Среди всех живых тканей организма особо выделяют возбудимые ткани (нервную, мышечную и железистую), реакция которых на раздражение связана с возникновением ***специальных форм активности – электрических потенциалов и других явлений.***

Основными функциональными характеристиками возбудимых тканей являются возбудимость и лабильность.

Возбудимость – свойство возбудимых тканей отвечать на раздражение специфическим процессом возбуждения. Этот процесс включает электрические, ионные, химические и тепловые изменения, а также специфические проявления: в нервных клетках – импульсы возбуждения, в мышечных – сокращение или напряжение, в железистых – выделение определенных веществ. Он представляет собой переход из состояния физиологического покоя в деятельное состояние. Для нервной и мышечной ткани характерна также ***способность передавать это активное состояние соседним участкам,*** т.е. проводимость.

Возбудимые ткани характеризуются двумя основными нервными процессами – возбуждением и торможением. Торможение – это активная задержка процесса возбуждения. Взаимодействие этих двух процессов обеспечивает координацию нервной деятельности в целостном организме.

Различают местное (или локальное) возбуждение и распространяющееся. Местное возбуждение представляет незначительные изменения в поверхностной мембране клеток, а распространяющееся возбуждение связано с передачей всего комплекса физиологических изменений (импульса возбуждения) вдоль нервной или мышечной ткани. Для измерения возбудимости пользуются определением порога, т.е. ***минимальной величины раздражения, при которой возникает распространяющееся возбуждение.*** Величина порога зависит от функционального состояния ткани и от особенностей раздражителя, которым может быть любое изменение внешней среды (электрическое, тепловое, механическое и пр.). ***Чем выше порог, тем ниже возбудимость, и наоборот.*** Возбудимость может повышаться в процессе выполнения физических упражнений оптимальной длительности и интенсивности (например, под влиянием разминки, в ходе врабатывания) и снижаться при утомлении, развитии перетренированности.

Лабильность – скорость протекания процесса возбуждения в нервной и мышечной ткани (*лат.* лабилис – «подвижный»). Понятие лабильности, или функциональной подвижности, было выдвинуто Н.Е. Введенским в 1892 г. В качестве одной из мер лабильности Н.Е. Введенский предложил максимальное количество волн возбуждения (электрических потенциалов действия), которое может воспроизводиться тканью в 1 секунду

в соответствии с ритмом раздражения. Лабильность характеризует скоростные свойства ткани. Она может повышаться под влиянием раздражений, тренировки, особенно у спортсменов при развитии качества быстроты.

2.2. НЕРВНАЯ И ГУМОРАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ ФУНКЦИЙ

У простейших одноклеточных животных одна единственная клетка осуществляет разнообразные функции. Усложнение же деятельности организма в процессе эволюции привело к разделению функций различных клеток – их специализации. Для управления такими сложными многоклеточными системами уже было недостаточно древнего способа – переноса регулирующих жизнедеятельность веществ жидкими средами организма.

Регуляция различных функций у высокоорганизованных животных и человека осуществляется двумя путями: гуморальным (*лат.* гумор – «жидкость») – через кровь, лимфу и тканевую жидкость и нервным.

Возможности гуморальной регуляции функций ограничены тем, что она действует ***сравнительно медленно*** и не может обеспечить срочных ответов организма (быстрых движений, мгновенной реакции на экстренные раздражители). Кроме того, гуморальным путем происходит широкое вовлечение различных органов и тканей в реакцию (по принципу ***«Всем, всем, всем!»***). В отличие от этого, с помощью нервной системы возможно ***быстрое и точное управление*** различными отделами целостного организма, доставка сообщений точному адресату. Оба эти механизма тесно связаны, однако ведущую роль в регуляции функций играет нервная система.

В регуляции функционального состояния органов и тканей принимают участие особые вещества – нейропептиды, выделяемые железой внутренней секреции гипофизом и нервными клетками спинного и головного мозга. В настоящее время известно около сотни подобных веществ, которые являются осколками белков и, ***не вызывая сами возбуждения клеток, могут заметно изменять их функциональное состояние.*** Они влияют на сон, процессы обучения и памяти, на мышечный тонус (в частности, на позную асимметрию), вызывают обездвижение или обширные судороги мышц, обладают обезболивающим и наркотическим эффектом. Оказалось, что

концентрация нейропептидов в плазме крови у спортсменов может превышать средний уровень у нетренированных лиц в 6–8 раз, повышая эффективность соревновательной деятельности. В условиях чрезмерных тренировочных занятий происходит истощение нейропептидов и срыв адаптации спортсмена к физическим нагрузкам.

2.3. РЕФЛЕКТОРНЫЙ МЕХАНИЗМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

В деятельности нервной системы основным является рефлекторный механизм. Рефлекс – ***это ответная реакция организма на внешнее раздражение, осуществляемая с участием нервной системы.***

Нервный путь рефлекса называется рефлекторной дугой. В состав рефлекторной дуги входят: 1) воспринимающее образование – рецептор; 2) чувствительный или афферентный нейрон, связывающий рецептор с нервными центрами; 3) промежуточные (или вставочные) нейроны нервных центров; 4) эфферентный нейрон, связывающий нервные центры с периферией; 5) рабочий орган, отвечающий на раздражение – мышца или железа.

Наиболее простые рефлекторные дуги включают всего две нервные клетки, однако множество рефлекторных дуг в организме состоят из значительного количества разнообразных нейронов, расположенных в различных отделах центральной нервной системы. Выполняя ответные реакции, нервные центры посылают команды к рабочему органу (например, скелетной мышце) через эфферентные пути, которые выполняют роль так называемых каналов прямой связи. В свою очередь, в ходе осуществления рефлекторного ответа или после него рецепторы, находящиеся в рабочем органе, и другие рецепторы тела посылают в центральную нервную систему информацию о результате действия. Афферентные пути этих сообщений – каналы обратной связи. Полученная информация используется нервными центрами для управления дальнейшими действиями, т.е. прекращением рефлекторной реакции, ее продолжением или изменением. Следовательно, основу целостной рефлекторной деятельности составляет не отдельная рефлекторная дуга, а замкнутое рефлекторное кольцо, образованное прямыми и обратными связями нервных центров с периферией.

2.4. ГОМЕОСТАЗ

Внутренняя среда организма, в которой живут все его клетки, – это ***кровь, лимфа, межтканевая жидкость.*** Ее характеризует ***относительное постоянство*** – гомеостаз различных показателей, так как любые ее изменения приводят к нарушению функций клеток и тканей организма, особенно высокоспециализированных клеток центральной нервной системы. К таким постоянным показателям гомеостаза относятся температура внутренних отделов тела, сохраняемая в пределах 36–37°С, кислотно-основное равновесие крови, характеризуемое величиной pH = 7,4–7,35, осмотическое давление крови (7,6–7,8 атм), концентрация гемоглобина в крови – 130–160 г/л и др.

Гомеостаз представляет собой не статическое явление, а ***динамическое равновесие.*** Способность сохранять гомеостаз в условиях постоянного обмена веществ и значительных колебаний факторов внешней среды обеспечивается комплексом регуляторных функций организма. Эти регуляторные процессы ***поддержания динамического равновесия*** получили название гомеокинеза.

Степень сдвига показателей гомеостаза при существенных колебаниях условий внешней среды или при тяжелой работе у большинства людей очень невелика. Например, длительное изменение pH крови всего на 0,1–0,2 может привести к смертельному исходу. Однако в общей популяции имеются отдельные индивиды, обладающие способностью переносить гораздо большие сдвиги показателей внутренней среды. У высококвалифицированных спортсменов-бегунов в результате большого поступления молочной кислоты из скелетных мышц в кровь во время бега на средние и длинные дистанции pH крови может снижаться до величин 7,0 и даже 6,9. Лишь несколько человек в мире оказались способными подняться на высоту порядка 8800 м над уровнем моря (на вершину Эвереста) без кислородного прибора, т.е. существовать и двигаться в условиях крайнего недостатка кислорода в воздухе и, соответственно, в тканях организма. Эта способность определяется врожденными особенностями человека – так называемой ***генетической нормой реакции,*** которая даже для достаточно постоянных функциональных показателей организма имеет широкие индивидуальные различия.

2.5. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ЕГО ПРОВЕДЕНИЕ

2.5.1. Мембранные потенциалы

Мембрана клетки состоит из двойного слоя молекул липидов, повернутых «головками» наружу, а «хвостами» друг к другу. Между ними свободно плавают глыбы белковых молекул. Некоторые из них пронизывают мембрану насквозь. В части таких белков имеются особые поры или ионные каналы, через которые могут проходить ионы, участвующие в образовании мембранных потенциалов (рис. 1, А).

В возникновении и поддержании мембранного потенциала покоя основную роль играют два специальных белка. Один из них выполняет роль особого натрий-калиевого насоса, который за счет энергии АТФ активно перекачивает натрий из клетки наружу, а калий внутрь клетки. В результате концентрация ионов калия становится внутри клетки выше, чем в омывающей клетку жидкости, а ионов натрия – выше снаружи.

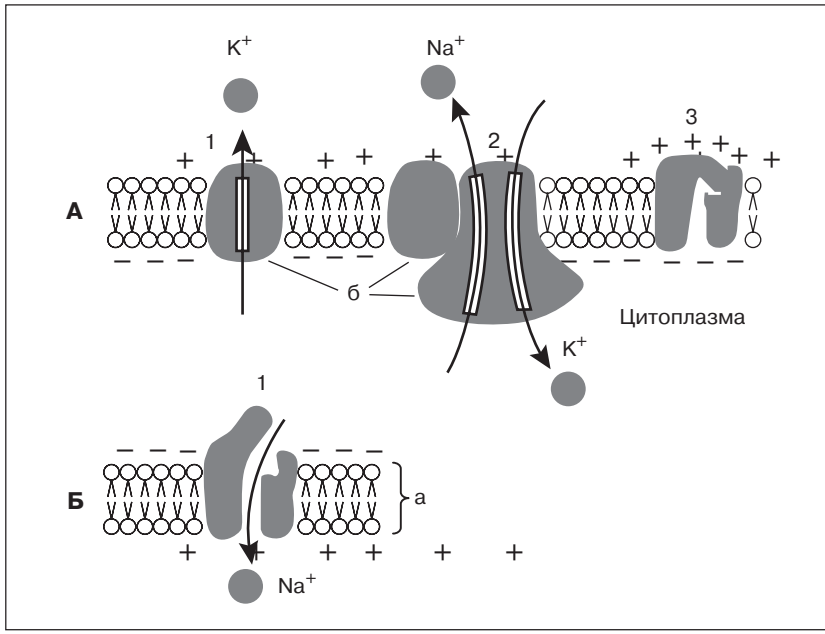


Рис. 1. Мембрана возбудимых клеток в покое (А) и при возбуждении (Б):
а – двойной слой липидов, б – белки мембраны;
А – каналы «утечки калия» (1), «натрий-калиевый насос» (2) и закрытый в покое натриевый канал (3); **Б** – открытый при возбуждении натриевый канал (1), вхождение ионов натрия в клетку и смена зарядов на наружной и внутренней стороне мембраны

Второй белок служит каналом утечки калия, через который ионы калия в силу диффузии стремятся выйти из клетки, где они содержатся в избытке. Ионы калия, выходя из клетки, создают положительный заряд на наружной поверхности мембраны. В результате внутренняя поверхность мембраны оказывается заряженной отрицательно по отношению к наружной. Таким образом, ***мембрана в состоянии покоя поляризована, т.е. имеется определенная разность потенциалов по обе стороны мембраны,*** называемая потенциалом покоя. Она равна для нейрона примерно минус 70 мВ, для мышечного волокна – минус 90 мВ. Измеряют мембранный потенциал покоя, вводя тонкий кончик микроэлектрода внутрь клетки, а второй электрод помещая в окружающую жидкость. В момент прокола мембраны и вхождения микроэлектрода внутрь клетки на экране осциллографа наблюдают смещение луча, пропорциональное величине потенциала покоя.

В основе возбуждения нервных и мышечных клеток лежит повышение проницаемости мембраны для ионов натрия – открывание натриевых каналов. Внешнее раздражение вызывает перемещение заряженных частиц внутри мембраны и уменьшение исходной разности потенциалов по обе стороны, или деполяризацию мембраны. Небольшие величины деполяризации приводят к открыванию части натриевых каналов и незначительному проникновению натрия внутрь клетки. Эти реакции являются подпороговыми и вызывают лишь ***местные (локальные) изменения.***

При увеличении раздражения изменения мембранного потенциала достигают порога возбудимости, или критического уровня деполяризации, – около 20 мВ, при этом величина потенциала покоя снижается примерно до минус 50 мВ. В результате открывается значительная часть натриевых каналов. Происходит лавинообразное вхождение ионов натрия внутрь клетки, вызывающее резкое изменение мембранного потенциала, которое регистрируется в виде потенциала действия. Внутренняя сторона мембраны в месте возбуждения оказывается заряженной положительно, а внешняя – отрицательно (рис. 1,Б).

Весь этот процесс чрезвычайно кратковременный. Он занимает всего около 1–2 мс, после чего ворота натриевых каналов закрываются. К этому моменту достигает большой величины медленно нараставшая при возбуждении проницаемость для ионов калия. Выходящие из клетки ионы калия вызывают быстрое снижение потенциала действия. Однако окончательное восстановле-

ние исходного заряда продолжается еще некоторое время. В связи с этим в потенциале действия различают кратковременную высоковольтную часть – пик (или спайк) и длительные малые колебания – следовые потенциалы. Потенциалы действия мотонейронов имеют амплитуду пика около 100 мВ и длительность около 1,5 мс, в скелетных мышцах – амплитуда потенциала действия 120–130 мВ, а длительность 2–3 мс.

В процессе восстановления после потенциала действия ***работа натрий-калиевого насоса*** обеспечивает «откачку» излишних ионов натрия наружу и «накачивание» потерянных ионов калия внутрь, т.е. возвращение к исходной асимметрии их концентрации по обе стороны мембраны. На работу этого механизма тратится около 70% всей необходимой клетке энергии.

Возникновение возбуждения (потенциала действия) возможно лишь при сохранении достаточного количества ионов натрия в окружающей клетку среде. Большие потери натрия организмом (например, с потом при длительной мышечной работе в условиях высокой температуры воздуха) могут нарушить нормальную деятельность нервных и мышечных клеток, снизив работоспособность человека. В условиях кислородного голодания тканей (например, при наличии большого кислородного долга во время мышечной работы) процесс возбуждения также нарушается из-за поражения (инактивации) механизма вхождения в клетку ионов натрия, и клетка становится невозбудимой. На процесс инактивации натриевого механизма влияет концентрация ионов Ca^{2+} в крови. При повышении содержания Ca^{2+} снижается клеточная возбудимость, а при дефиците Ca^{2+} возбудимость повышается и появляются непроизвольные мышечные судороги.

2.5.2. Проведение возбуждения

Потенциалы действия (импульсы возбуждения) обладают способностью распространяться вдоль по нервным и мышечным волокнам.

В нервном волокне потенциал действия является очень сильным раздражителем для соседних участков волокна. Амплитуда потенциала действия обычно в 5–6 раз превышает пороговую величину деполяризации. Это обеспечивает высокую скорость и надежность проведения.

Между зоной возбуждения (имеющей на поверхности волокна отрицательный заряд и на внутренней стороне мембраны –

положительный) и соседним невозбужденным участком мембраны нервного волокна (с обратным соотношением зарядов) возникают электрические токи – так называемые местные токи. В результате развивается деполяризация соседнего участка, увеличение его ионной проницаемости и появление потенциала действия. В исходной же зоне возбуждения восстанавливается потенциал покоя. Затем возбуждением охватывается следующий участок мембраны и т.д. Таким образом ***с помощью местных токов происходит распространение возбуждения на соседние участки нервного волокна,*** т.е. проведение нервного импульса. По мере проведения амплитуда потенциала действия не уменьшается – возбуждение не затухает даже при большой длине нерва.

В процессе эволюции с переходом от безмякотных нервных волокон к мякотным произошло существенное ***повышение скорости проведения*** нервного импульса. Для безмякотных волокон характерно непрерывное проведение возбуждения, которое охватывает последовательно каждый соседний участок нерва. Мякотные же нервы почти полностью покрыты изолирующей миелиновой оболочкой. Ионные токи в них могут проходить только в оголенных участках мембраны – перехватах Ранвье, лишенных этой оболочки. При проведении нервного импульса ***возбуждение перескакивает от одного перехвата к другому*** и может включать даже несколько перехватов. ***Такое проведение получило название сальтаторного*** (*лат.* saltus – «прыжок»). При этом повышается не только скорость, но и экономичность проведения. Возбуждение захватывает не всю поверхность мембраны волокна, а лишь небольшую ее часть. Следовательно, меньше энергии тратится на активный транспорт ионов через мембрану при возбуждении и в процессе восстановления.

Скорость проведения в разных волокнах различна. Более толстые нервные волокна проводят возбуждение с большей скоростью: у них расстояния между перехватами Ранвье больше и длиннее скачки. Наибольшую скорость проведения имеют двигательные и проприоцептивные афферентные нервные волокна – до 100 м/с. В тонких симпатических нервных волокнах (особенно в немиелинизированных волокнах) скорость проведения мала – порядка 0,5–15 м/с.

Во время развития потенциала действия мембрана полностью теряет возбудимость. Это состояние называют полной невозбудимостью, или абсолютной рефрактерно-

стью. За ним следует относительная рефрактерность, когда потенциал действия может возникать лишь при очень сильном раздражении. Постепенно возбудимость восстанавливается до исходного уровня.

3. НЕРВНАЯ СИСТЕМА

Нервную систему подразделяют на периферическую (нервные волокна и узлы) и центральную. К центральной нервной системе (ЦНС) относят спинной и головной мозг.

3.1. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ ЦНС

Все важнейшие поведенческие реакции человека осуществляются с помощью ЦНС.

Основные функции ЦНС:

• ***объединение всех частей организма*** в единое целое и их регуляция;

• ***управление состоянием и поведением*** организма в соответствии с условиями внешней среды и его потребностями.

У высших животных и человека ***ведущим отделом ЦНС является кора больших полушарий.*** Она управляет наиболее сложными функциями в жизнедеятельности человека – психическими процессами (сознание, мышление, речь, память и др.).

Основные методы изучения функций ЦНС – методы удаления и раздражения (в клинике и на животных), регистрации электрических явлений, метод условных рефлексов.

Продолжают разрабатываться новые методы изучения ЦНС: с помощью так называемой ***компьютерной томографии*** можно увидеть морфофункциональные изменения мозга на различной его глубине; фотосъемки в инфракрасных лучах ***(тепловидение)*** позволяют обнаружить наиболее «горячие» точки мозга; новые данные о работе мозга дает изучение его ***магнитных колебаний.***

3.2. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЙРОНОВ

Основными структурными элементами нервной системы являются нервные клетки или нейроны.

3.2.1. Основные функции нейронов

Через нейроны осуществляется передача информации от одного участка нервной системы к другому, обмен информацией между нервной системой и различными участками тела. В нейронах происходят сложнейшие процессы обработки информации. С их помощью формируются ответные реакции организма (рефлексы) на внешние и внутренние раздражения.

Таким образом, ***основными функциями нейронов являются: восприятие внешних раздражений*** – рецепторная функция, ***их переработка*** – интегративная функция ***и передача нервных влияний на другие нейроны или различные рабочие органы*** – эффекторная функция. В теле нервной клетки, или соме, происходят основные процессы переработки информации. Многочисленные древовидно разветвленные отростки – дендриты (*греч.* дендрон – «дерево») служат входами нейрона, через которые сигналы поступают в нервную клетку. Выходом нейрона является отходящий от тела клетки отросток – аксон (*греч.* аксис – «ось»), который передает нервные импульсы дальше – другой нервной клетке или рабочему органу (мышце, железе). Особенно высокой возбудимостью обладает начальная часть аксона и расширение в месте его выхода из тела клетки – аксонный холмик нейрона. Именно в этом сегменте клетки возникает нервный импульс.

3.2.2. Типы нейронов

Нейроны подразделяются на три основных типа: афферентные, эфферентные и промежуточные. Афферентные нейроны (чувствительные, или центростремительные) передают информацию от рецепторов в ЦНС. Тела этих нейронов расположены вне ЦНС – в спинномозговых узлах и в узлах черепных нервов. Афферентные нейроны имеют длинный отросток – дендрит, который контактирует на периферии с воспринимающим образованием – рецептором или сам образует рецептор, а также второй отросток – аксон, входящий через задние рога в спинной мозг.

Эфферентные нейроны (центробежные) связаны с передачей нисходящих влияний от вышележащих этажей нервной системы к нижележащим или из ЦНС к рабочим органам. Для эфферентных нейронов характерны разветвленная сеть коротких отростков – дендритов и один длинный отросток – аксон.

Промежуточные нейроны (интернейроны, или вставочные) – это, как правило, более мелкие клетки, осуществляющие

связь между различными (в частности, афферентными и эфферентными) нейронами. Они передают нервные влияния в горизонтальном направлении (например, в пределах одного сегмента спинного мозга) и в вертикальном (например, из одного сегмента спинного мозга в другие – выше- или нижележащие сегменты). Благодаря многочисленным разветвлениям аксона промежуточные нейроны могут одновременно возбуждать большое число других нейронов.

3.2.3. Возбуждающие и тормозящие синапсы

Взаимодействие нейронов между собой (и с эффекторными органами) происходит через специальные образования – синапсы (*греч.* – «контакт»). Они образуются концевыми разветвлениями нейрона на теле или отростках другого нейрона. ***Чем больше синапсов на нервной клетке, тем больше она воспринимает различных раздражений*** и, следовательно, шире сфера влияний на ее деятельность и возможность участия в разнообразных реакциях организма. Особенно много синапсов в высших отделах нервной системы и именно у нейронов с наиболее сложными функциями.

В структуре синапса различают три элемента (рис. 2):

1) пресинаптическую мембрану, образованную утолщением мембраны конечной веточки аксона;

2) синаптическую щель между нейронами;

3) постсинаптическую мембрану – утолщение прилегающей поверхности следующего нейрона.

В большинстве случаев передача влияния одного нейрона на другой осуществляется химическим путем. В пресинаптической части контакта имеются ***синаптические пузырьки,*** которые содержат специальные вещества – медиаторы, или посредники. Ими могут быть ***ацетилхолин*** (в некоторых клетках спинного мозга, в вегетативных узлах), ***норадреналин*** (в оконча-

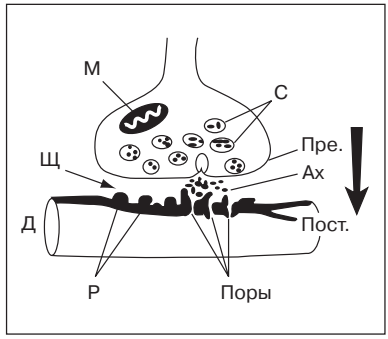


Рис. 2. Схема синапса:
Пре. – пресинаптическая мембрана;
Пост.– постсинаптическая мембрана;
С – синаптические пузырьки;
Щ – синаптическая щель;
М – митохондрий;
Ах – ацетилхолин;
Р – рецепторы и поры (Поры)
дендрита (Д) следующего нейрона;
стрелка – одностороннее проведение
возбуждения

ниях симпатических нервных волокон, в гипоталамусе), некоторые ***аминокислоты*** и др. Приходящие в окончания аксона нервные импульсы вызывают опорожнение синаптических пузырьков и выведение медиатора в синаптическую щель.

По характеру воздействия на последующую нервную клетку различают возбуждающие и тормозящие синапсы.

В возбуждающих синапсах медиаторы (например, ацетилхолин) связываются со специфическими макромолекулами постсинаптической мембраны и вызывают ее деполяризацию. При этом регистрируется небольшое и кратковременное (около 1 мс) колебание мембранного потенциала в сторону ***деполяризации*** или возбуждающий постсинаптический потенциал (ВПСП). Для возбуждения нейрона необходимо, чтобы ВПСП достиг порогового уровня. Для этого величина деполяризационного сдвига мембранного потенциала должна составлять не менее 10 мВ. Действие медиатора очень кратковременно (1–2 мс), после чего он расщепляется на неэффективные компоненты (например, ***ацетилхолин расщепляется ферментом холинэстеразой на холин и уксусную кислоту***) или поглощается обратно пресинаптическими окончаниями (например, норадреналин).

В тормозящих синапсах содержатся ***тормозные медиаторы*** (например, ***гамма-аминомасляная кислота***). Их действие на постсинаптическую мембрану вызывает усиление выхода ионов калия из клетки и увеличение поляризации мембраны. При этом регистрируется кратковременное колебание мембранного потенциала в сторону ***гиперполяризации*** – тормозящий постсинаптический потенциал (ТПСП). В результате нервная клетка оказывается заторможенной. Возбудить ее труднее, чем в исходном состоянии. Для этого понадобится более сильное раздражение, чтобы достичь критического уровня деполяризации.

3.2.4. Возникновение импульсного ответа нейрона

На мембране тела и дендритов нервной клетки находятся как возбуждающие, так и тормозящие синапсы. В отдельные моменты времени часть их может быть неактивной, а другая часть оказывает активное влияние на прилегающие к ним участки мембраны. Общее изменение мембранного потенциала нейрона является результатом сложного взаимодействия (интеграции) местных ВПСП и ТПСП всех многочисленных активированных синапсов. При одновременном влиянии как возбуждающих, так

и тормозящих синапсов происходит алгебраическое суммирование (т.е. взаимное вычитание) их эффектов. При этом возбуждение нейрона возникнет лишь в том случае, если ***сумма возбуждающих постсинаптических потенциалов окажется больше суммы тормозящих.*** Это превышение должно составлять определенную пороговую величину (около 10 мВ). Только в этом случае появляется потенциал действия клетки. Следует отметить, что в целом возбудимость нейрона зависит от его размеров: ***чем меньше клетка, тем выше ее возбудимость.***

С появлением потенциала действия начинается процесс проведения нервного импульса по аксону и передача его на следующий нейрон или рабочий орган, т.е. осуществляется эффекторная функция нейрона. ***Нервный импульс является основным средством связи между нейронами.***

Таким образом, ***передача информации в нервной системе происходит с помощью двух механизмов – электрического*** (ВПСП; ТПСП; потенциал действия) ***и химического*** (медиаторы).

3.3. ОСОБЕННОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НЕРВНЫХ ЦЕНТРОВ

Свойства нервных центров в значительной мере связаны с особенностями проведения нервных импульсов через синапсы, связывающие различные нервные клетки.

3.3.1. Особенности проведения возбуждения через нервные центры

Нервным центром ***называют совокупность нервных клеток, необходимых для осуществления какой-либо функции.*** Эти центры отвечают соответствующими рефлекторными реакциями на внешнее раздражение, поступившее от связанных с ними рецепторов. Клетки нервных центров реагируют и на непосредственное их раздражение веществами, находящимися в протекающей через них крови (гуморальные влияния). В целостном организме имеется строгое согласование – координация их деятельности.

Проведение волны возбуждения от одного нейрона к другому через синапс происходит в большинстве нервных клеток химическим путем – с помощью медиатора, а медиатор содержится лишь в пресинаптической части синапса и отсутствует в постсинаптической мембране. Поэтому ***важной особенностью проведения возбуждения через синаптические контакты является*** одностороннее проведение нервных влияний,

которое возможно лишь от пресинаптической мембраны к постсинаптической и невозможно в обратном направлении. В связи с этим поток нервных импульсов в рефлекторной дуге имеет определенное направление от афферентных нейронов к вставочным и затем к эфферентным – мотонейронам или вегетативным нейронам.

Большое значение в деятельности нервной системы имеет ***другая особенность проведения возбуждения через синапсы*** – замедленное проведение. Затрата времени на процессы, происходящие от момента подхода нервного импульса к пресинаптической мембране до появления в постсинаптической мембране потенциалов, называется синаптической задержкой. В большинстве центральных нейронов она составляет около 0,3 мс. После этого требуется еще время на развитие возбуждающего постсинаптического потенциала (ВПСП) и потенциала действия. Весь процесс передачи нервного импульса (от потенциала действия одной клетки до потенциала действия следующей клетки) через один синапс занимает примерно 1,5 мс. При утомлении, охлаждении и ряде других воздействий длительность синаптической задержки возрастает. Если же для осуществления какой-либо реакции требуется участие большого числа нейронов (многих сотен и даже тысяч), то суммарная величина задержки проведения по нервным центрам может составить десятые доли секунды и даже целые секунды.

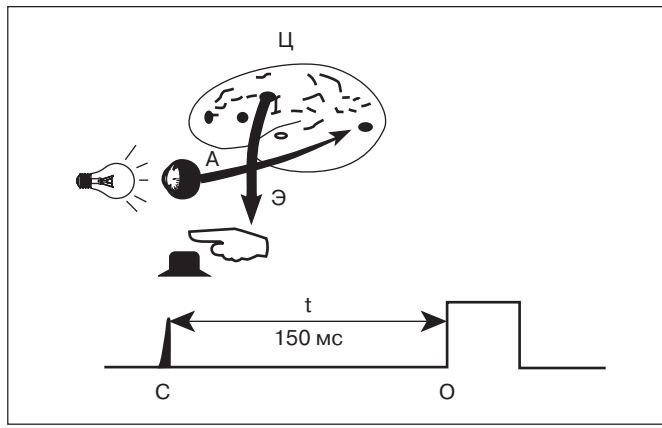


Рис. 3. Схема измерения времени двигательной реакции:
А – афферентные, Э – эфферентные и Ц – центральные пути;
С – отметка светового сигнала;
О – отметка нажима кнопки; t 150 мс – время реакции

При рефлекторной деятельности ***общее время от момента нанесения внешнего раздражения до появления ответной реакции организма – так называемое*** скрытое, или латентное, время рефлекса определяется в основном длительностью проведения через синапсы. Величина латентного времени рефлекса служит важным ***показателем функционального состояния нервных центров.*** Измерение латентного времени простой двигательной реакции человека на внешний сигнал широко используется в практике для оценки функционального состояния ЦНС (рис. 3).

3.3.2. Суммация возбуждения

В ответ на одиночную афферентную волну, идущую от рецепторов к нейронам, в пресинаптической части синапса освобождается небольшое количество медиатора. При этом в постсинаптической мембране нейрона обычно возникает ВПСП – небольшая местная деполяризация. Для того чтобы общая по всей мембране нейрона величина ВПСП достигала порога возникновения потенциала действия, требуется суммация на мембране клетки многих подпороговых ВПСП. Лишь в результате такой суммации возбуждения возникает ответ нейрона. ***Различают пространственную и временную суммацию.***

Пространственная суммация наблюдается в случае одновременного поступления нескольких импульсов в один и тот же нейрон по разным пресинаптическим волокнам. Одномоментное возбуждение синапсов в различных участках мембраны нейрона повышает амплитуду суммарного ВПСП до пороговой величины. В результате возникает ответный импульс нейрона и осуществляется рефлекторная реакция. Например, для получения ответа двигательной клетки спинного мозга обычно требуется одновременная активация 50–100 афферентных волокон от соответствующих периферических рецепторов.

Временная суммация происходит при активации одного и того же афферентного пути серией последовательных раздражений. Если интервалы между поступающими импульсами достаточно коротки и ВПСП нейрона от предыдущих раздражений не успевают затухать, то последующие ВПСП накладываются друг на друга, пока деполяризация мембраны нейрона не достигнет критического уровня для возникновения потенциала действия. Таким способом даже слабые раздражения через некоторое время

могут вызывать ответные реакции организма (например, чихание и кашель в ответ на слабые раздражения слизистой оболочки дыхательных путей).

3.3.3. Трансформация и усвоение ритма

Характер ответного разряда нейрона зависит не только от свойств раздражителя, но и от функционального состояния самого нейрона (его мембранного заряда, возбудимости, лабильности). Нервные клетки обладают свойством изменять частоту передающихся импульсов, т.е. свойством трансформации ритма.

При высокой возбудимости нейрона (например, после приема кофеина) может возникать ***учащение импульсации (мультипликация ритма),*** а при низкой возбудимости (например, при утомлении) происходит ***урежение ритма,*** так как несколько приходящих импульсов должны суммироваться, чтобы наконец достичь порога возникновения потенциала действия. Эти изменения частоты импульсации могут усиливать или ослаблять ответные реакции организма на внешние раздражения.

При ритмических раздражениях активность нейрона может настроиться на ритм приходящих импульсов, т.е. наблюдается явление усвоения ритма (Ухтомский А.А., 1928). Развитие усвоения ритма обеспечивает ***сонастройку активности многих нервных центров*** при управлении сложными двигательными актами, особенно это важно для поддержания темпа циклических упражнений.

3.3.4. Следовые процессы

После окончания действия раздражителя активное состояние нервной клетки или нервного центра обычно продолжается еще некоторое время. Длительность следовых процессов различна: небольшая в спинном мозге (несколько секунд или минут), значительно больше в центрах головного мозга (десятки минут, часы или даже дни) и очень большая в коре больших полушарий (до нескольких десятков лет).

Поддерживать явное и кратковременное состояние возбуждения в нервном центре могут импульсы, циркулирующие по замкнутым цепям нейронов. Значительно сложнее по природе длительно сохраняющиеся скрытые следы. Предполагают, что длительное сохранение в нервной клетке следов со всеми характерными свойствами раздражителя основано на изменении структу-

ры составляющих клетку белков и на перестройке синаптических контактов.

Непродолжительные импульсные последействия (длительностью до 1 часа) лежат в основе так называемой кратковременной памяти, а длительные следы, связанные со структурными и биохимическими перестройками в клетках, – в основе формирования долговременной памяти.

3.4. КООРДИНАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЦНС

Процессы координации деятельности ЦНС основаны на согласовании двух нервных процессов – возбуждения и торможения. ***Торможение является активным нервным процессом,*** который предупреждает или угнетает возбуждение.

3.4.1. Значение процесса торможения в ЦНС

Явление торможения в нервных центрах было впервые открыто И.М. Сеченовым в 1862 г. Значение этого процесса было рассмотрено им в книге «Рефлексы головного мозга» (1863).

Опуская лапку лягушки в кислоту и одновременно раздражая некоторые участки головного мозга (например, накладывая кристаллик поваренной соли на область промежуточного мозга), И.М. Сеченов наблюдал резкую задержку и даже полное отсутствие «кислотного» рефлекса спинного мозга (отдергивания лапки). Отсюда он сделал заключение, что одни нервные центры могут существенно изменять рефлекторную деятельность в других центрах, в частности вышележащие нервные центры могут тормозить деятельность нижележащих. Описанный опыт вошел в историю физиологии под названием ***Сеченовское торможение.***

Тормозные процессы – необходимый компонент в координации нервной деятельности. Во-первых, ***процесс торможения ограничивает распространение возбуждения*** на соседние нервные центры, чем способствует его концентрации в необходимых участках нервной системы. Во-вторых, возникая в одних нервных центрах параллельно с возбуждением других нервных центров, процесс торможения тем самым ***выключает деятельность ненужных в данный момент органов.*** В-третьих, развитие торможения в нервных центрах предохраняет их от чрезмерного перенапряжения при работе, т.е. ***играет охранительную роль.***

3.4.2. Постсинаптическое и пресинаптическое торможение

Процесс торможения, в отличие от возбуждения, ***не может распространяться по нервному волокну*** – это всегда местный процесс в области синаптических контактов. ***По месту возникновения различают пресинаптическое и постсинаптическое торможение.***

Постсинаптическое торможение – это тормозные эффекты, возникающие в постсинаптической мембране. Чаще всего этот вид торможения связан с наличием в ЦНС специальных тормозных нейронов. Они представляют собой особый тип вставочных нейронов, у которых окончания аксонов выделяют тормозный медиатор. Одним из таких медиаторов является ***гамма-аминомасляная кислота*** (ГАМК).

Нервные импульсы, подходя к тормозным нейронам, вызывают в них такой же процесс возбуждения, как и в других нервных клетках. В ответ по аксону тормозной клетки распространяется обычный потенциал действия. Однако, в отличие от других нейронов, окончания аксона при этом выделяют не возбуждающий, а тормозной медиатор. В результате тормозные клетки тормозят те нейроны, на которых оканчиваются их аксоны.

К специальным тормозным нейронам относятся клетки Рэншоу в спинном мозге, клетки Пуркинье мозжечка, корзинчатые клетки в промежуточном мозге и др. Большое значение, например, тормозные клетки имеют при регуляции деятельности мышц-антагонистов: приводя к расслаблению мышц-антагонистов, они облегчают тем самым одновременное сокращение мышц-агонистов (рис. 4).

Клетки Рэншоу участвуют в регуляции уровня активности отдельных мотонейронов спинного мозга. При возбуждении мотонейрона импульсы поступают по его аксону к мышечным волокнам и одновременно по коллатералям аксона – к тормозной клетке Рэншоу. Аксоны последней «возвращаются» к этому же нейрону, вызывая его торможение. Чем больше возбуждающих импульсов посылает мотонейрон на периферию (а значит, и к тормозной клетке), тем сильнее это возвратное торможение (разновидность постсинаптического торможения). Такая замкнутая система действует как ***механизм саморегуляции нейрона,*** предохраняя его от чрезмерной активности.

Клетки Пуркинье мозжечка своими тормозными влияниями на клетки подкорковых ядер и стволовых структур участвуют в регуляции тонуса мышц.

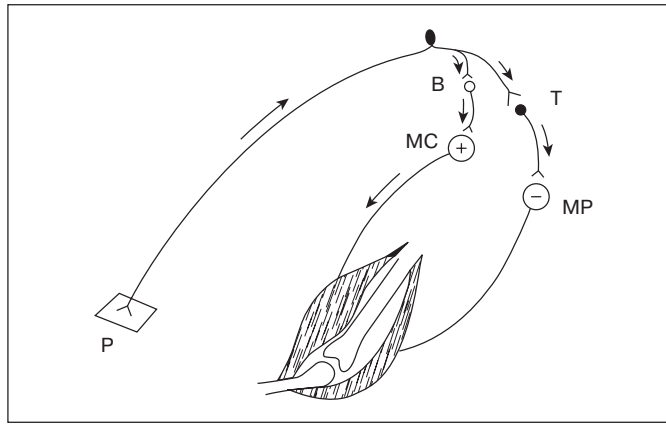


Рис. 4. Участие тормозной клетки в регуляции мышц-антагонистов:
В и Т – возбуждающий и тормозной нейроны;
возбуждение (+) мотонейрона мышцы-сгибателя (МС) и торможение (–)
мотонейрона мышцы-разгибателя (МР); Р – кожный рецептор

Корзинчатые клетки в промежуточном мозге являются как бы воротами, которые пропускают или не пропускают импульсы, идущие в кору больших полушарий от различных областей тела.

Пресинаптическое торможение возникает перед синаптическим контактом – в пресинаптической области. Окончание аксона тормозной нервной клетки образует синапс на конце аксона возбуждающей нервной клетки, вызывает чрезмерно сильную деполяризацию мембраны этого аксона, которая угнетает проходящие здесь потенциалы действия и тем самым блокирует передачу возбуждения. Этот вид торможения ограничивает поток афферентных импульсов к нервным центрам, выключая посторонние для основной деятельности влияния.

3.4.3. Явления иррадиации и концентрации

При раздражении одного рецептора возбуждение может в принципе распространяться в ЦНС в любом направлении и на любую нервную клетку. Это происходит благодаря многочисленным взаимосвязям нейронов одной рефлекторной дуги с нейронами других рефлекторных дуг. ***Распространение процесса возбуждения на другие нервные центры называют явлением*** иррадиации.

Чем сильнее афферентное раздражение и чем выше возбудимость окружающих нейронов, тем больше нейронов охватывает

процесс иррадиации. Процессы торможения ограничивают иррадиацию и способствуют концентрации возбуждения в исходном пункте ЦНС.

Процесс иррадиации играет важную ***положительную роль*** при формировании новых реакций организма (ориентировочных реакций, условных рефлексов). Чем больше активируется различных нервных центров, тем легче отобрать из их числа наиболее нужные для последующей деятельности центры. ***Благодаря иррадиации*** возбуждения между различными нервными центрами ***возникают новые функциональные взаимосвязи – условные рефлексы.*** На этой основе возможно, например, формирование новых двигательных навыков.

Вместе с тем иррадиация возбуждения может оказать и ***отрицательное воздействие*** на состояние и поведение организма, нарушая тонкие взаимоотношения между возбужденными и заторможенными нервными центрами и вызывая ***нарушения координации движений.***

3.4.4. Доминанта

Исследуя особенности межцентральных отношений, А.А. Ухтомский обнаружил, что если в организме животного осуществляется сложная рефлекторная реакция, например повторяющиеся акты глотания, то электрическое раздражение моторных центров не только перестает вызывать в этот момент движение конечностей, но и усиливает протекание начавшейся цепной реакции глотания, которая оказалась главенствующей.

Такой ***господствующий очаг возбуждения в ЦНС, определяющий текущую деятельность организма,*** А.А. Ухтомский (1923) обозначил термином доминанта.

Доминирующий очаг может возникнуть ***при повышенном уровне возбудимости*** нервных клеток, который создается различными гуморальными и нервными влияниями. Он подавляет деятельность других центров, оказывая сопряженное торможение.

Объединение большого числа нейронов в одну доминантную систему происходит путем взаимного ***сонастраивания на общий темп активности, т.е. путем усвоения ритма.*** Одни нервные клетки снижают свой более высокий темп деятельности, а другие – повышают низкий темп до некоторого среднего, оптимального ритма. Доминанта может надолго сохраняться в скрытом, следовом состоянии ***(потенциальная доминанта).*** При во-

зобновлении прежнего состояния или прежней внешней ситуации доминанта может снова возникнуть ***(актуализация доминанты).*** Например, в предстартовом состоянии активизируются все те нервные центры, которые входили в рабочую систему во время предыдущих тренировок, и соответственно усиливаются функции, связанные с работой. Мысленное выполнение физических упражнений или представление движений также воспроизводит рабочую доминанту, что ***обеспечивает тренирующий эффект представления движений и является основой так называемой идеомоторной тренировки.*** При полном расслаблении (например, при аутогенной тренировке) спортсмены добиваются устранения рабочих доминант, что ускоряет процессы восстановления.

Как фактор поведения, доминанта связана с высшей нервной деятельностью и психологией человека. ***Доминанта является физиологической основой акта внимания.*** При наличии доминанты многие влияния внешней среды остаются вне нашего внимания, но зато более интенсивно улавливаются и анализируются те, которые нас особенно интересуют. Таким образом, ***доминанта является мощным фактором отбора биологически и социально наиболее значимых раздражений.***

3.5. ФУНКЦИИ СПИННОГО МОЗГА И ПОДКОРКОВЫХ ОТДЕЛОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА

В ЦНС различают более древние ***сегментарные*** и эволюционно более молодые ***надсегментарные*** отделы нервной системы. К сегментарным отделам относят спинной, продолговатый и средний мозг, участки которых регулируют функции отдельных частей тела, лежащих на том же уровне. Надсегментарные отделы – промежуточный мозг, мозжечок и кора больших полушарий не имеют непосредственных связей с органами тела, а управляют их деятельностью через нижележащие сегментарные отделы.

3.5.1. Спинной мозг

Спинной мозг является низшим и наиболее древним отделом ЦНС.

В составе серого вещества спинного мозга человека насчитывают около 13,5 млн нервных клеток. Из них ***основную массу (97%) представляют промежуточные клетки (вставочные***

или интернейроны), которые обеспечивают сложные процессы координации внутри спинного мозга. Среди мотонейронов спинного мозга выделяют крупные альфа-мотонейроны и мелкие – гамма-мотонейроны. От альфа-мотонейронов отходят наиболее толстые и быстропроводящие волокна двигательных нервов, вызывающие сокращения скелетных мышечных волокон. Тонкие волокна гамма-мотонейронов не вызывают сокращения мышц. Они подходят к проприорецепторам – мышечным веретенам – и регулируют их чувствительность.

Рефлексы спинного мозга можно подразделить на ***двигательные,*** осуществляемые альфа-мотонейронами передних рогов, и ***вегетативные,*** осуществляемые афферентными клетками боковых рогов.

Мотонейроны спинного мозга иннервируют все скелетные мышцы (за исключением мышц лица). Спинной мозг осуществляет элементарные двигательные рефлексы – сгибательные и разгибательные, ритмические, шагательные, возникающие при раздражении кожи или проприорецепторов мышц и сухожилий, а также посылает постоянную импульсацию к мышцам, поддерживая мышечный тонус. Специальные мотонейроны иннервируют дыхательную мускулатуру (межреберные мышцы и диафрагму) и обеспечивают дыхательные движения. Вегетативные нейроны иннервируют все внутренние органы (сердце, сосуды, потовые железы, железы внутренней секреции, пищеварительный тракт, мочеполовую систему).

Проводниковая функция спинного мозга связана с передачей в вышележащие отделы нервной системы получаемого с периферии потока информации и с проведением импульсов, идущих из головного мозга в спинной.

За последние годы разработаны специальные методики для изучения деятельности спинного мозга у здорового человека. Так, например, функциональное состояние альфа-мотонейронов оценивают по изменению ответных потенциалов мышц при периферических раздражениях – так называемому ***Н-рефлексу*** (рефлексу Гофмана) икроножной мышцы при раздражении большеберцового нерва и по ***Т-рефлексу*** (от тендон – «сухожилие») камбаловидной мышцы при раздражении ахиллова сухожилия. Разработаны методики регистрации (с неповрежденных покровов тела) потенциалов, проходящих по спинному мозгу в головной.

3.5.2. Продолговатый мозг и варолиев мост

Продолговатый мозг и варолиев мост (в целом – задний мозг) являются частью ствола мозга. Здесь находится большая группа черепномозговых нервов (от V до XII пары), иннервирующих кожу, слизистые оболочки, мускулатуру головы и ряд внутренних органов (сердце, легкие, печень). Тут же находятся ***центры многих пищеварительных рефлексов*** – жевания, глотания, движений желудка и части кишечника, выделения пищеварительных соков, а также ***центры некоторых защитных рефлексов*** (чихания, кашля, мигания, слезоотделения, рвоты) и ***центры водно-солевого и сахарного обмена.*** На дне IV желудочка в продолговатом мозге находится жизненно важный ***дыхательный центр,*** состоящий из центров вдоха и выдоха. Его составляют мелкие клетки, посылающие импульсы к дыхательным мышцам через мотонейроны спинного мозга.

В непосредственной близости расположен ***сердечно-сосудистый центр.*** Его крупные клетки регулируют деятельность сердца и просвет сосудов. Переплетение клеток дыхательного и сердечно-сосудистого центров обеспечивает их тесное взаимодействие.

Продолговатый мозг играет важную роль в осуществлении двигательных актов и в регуляции тонуса скелетных мышц, ***повышая тонус мышц-разгибателей.*** Он принимает участие, в частности, в осуществлении ***установочных рефлексов позы*** (шейных, лабиринтных). Через продолговатый мозг проходят восходящие ***пути слуховой, вестибулярной, проприоцептивной и тактильной чувствительности.***

3.5.3. Средний мозг

В состав среднего мозга всходят четверохолмия, черная субстанция и красные ядра. В передних буграх четверохолмия находятся ***зрительные подкорковые центры,*** а в задних – ***слуховые.*** Средний мозг участвует в ***регуляции движений глаз,*** осуществляет ***зрачковый рефлекс*** (расширение зрачков в темноте и сужение их на свету).

Четверохолмия выполняют ряд реакций, являющихся ***компонентами ориентировочного рефлекса.*** В ответ на внезапное раздражение происходит поворот головы и глаз в сторону раздражителя, а у животных – настораживание ушей. Этот рефлекс (по И.П. Павлову, рефлекс «Что такое?») необходим для подготовки организма к своевременной реакции на любое новое воздействие.

Черная субстанция среднего мозга имеет отношение к рефлексам жевания и глотания, участвует в ***регуляции тонуса мышц*** (особенно при выполнении мелких движений пальцами рук) и в организации содружественных двигательных реакций.

Красное ядро среднего мозга выполняет моторные функции – ***регулирует тонус скелетных мышц,*** вызывая усиление тонуса мышц-сгибателей. Оказывая значительное влияние на тонус скелетных мышц, средний мозг принимает участие в ряде ***установочных рефлексов поддержания позы*** (выпрямительных – установке тела теменем вверх и др.).

3.5.4. Промежуточный мозг

В состав промежуточного мозга входят ***таламус*** (зрительные бугры) и ***гипоталамус*** (подбугорье).

Через таламус ***проходят все афферентные пути*** (за исключением обонятельных), которые направляются в соответствующие воспринимающие области коры (слуховые, зрительные и пр.). Ядра таламуса подразделяются на ***специфические и неспецифические.*** К специфическим относят ***переключательные (релейные) ядра и ассоциативные.*** Через переключательные ядра таламуса передаются афферентные влияния от всех рецепторов тела. Ассоциативные ядра получают импульсы от переключательных ядер и обеспечивают их взаимодействие. Помимо этих ядер в таламусе имеются ***неспецифические ядра,*** которые оказывают как активирующие, так и тормозящие влияния на небольшие области коры.

Благодаря обширным связям таламус играет важнейшую роль в жизнедеятельности организма. Импульсы, идущие от таламуса в кору, изменяют состояние корковых нейронов и регулируют ***ритм корковой активности.*** С непосредственным участием таламуса происходит ***образование условных рефлексов и выработка двигательных навыков, формирование эмоций*** человека, его мимики. Таламусу принадлежит большая роль в возникновении ощущений, в частности ***ощущения боли.*** С его деятельностью связывают ***регуляцию биоритмов*** в жизни человека (суточных, сезонных и др.).

Гипоталамус ***является высшим подкорковым центром регуляции вегетативных функций, состояний бодрствования и сна.*** Здесь расположены вегетативные центры, ***регулирующие обмен веществ*** в организме, обеспечивающие ***поддержание постоянства температуры тела*** (у теплокровных) и нормально-

го уровня ***кровяного давления,*** поддерживающие ***водный баланс,*** регулирующие ***чувство голода и насыщения.*** Раздражения задних ядер гипоталамуса вызывает усиление симпатических влияний, а передних – парасимпатические эффекты.

Благодаря связи гипоталамуса с гипофизом (гипоталамо-гипофизарная система) осуществляется контроль деятельности желез внутренней секреции. Вегетативные и гормональные реакции, регулируемые гипоталамусом, являются компонентами эмоциональных и двигательных реакций человека.

3.5.5. Неспецифическая система мозга

Неспецифическая система занимает срединную часть ствола мозга. Она не связана с анализом какой-либо специфической чувствительности или с выполнением определенных рефлекторных реакций. Импульсы в эту систему поступают через боковые ответвления от всех специфических путей, в результате чего обеспечивается их обширное взаимодействие. Для неспецифической системы характерно расположение нейронов в виде диффузной сети, обилие и разнообразие их отростков. В связи с этим она и получила название сетевидного образования, или ретикулярной формации.

Различают ***два типа влияния*** неспецифической системы на работу других нервных центров – ***активирующее и тормозящее.*** Оба типа этих влияний могут быть восходящими (к вышележащим центрам) и нисходящими (к нижележащим центрам). Они служат для ***регулирования функционального состояния мозга, уровня бодрствования и регуляции познотонических и фазных реакций скелетных мышц.***

3.5.6. Мозжечок

Мозжечок – надсегментарное образование, не имеющее непосредственных связей с исполнительными аппаратами. Мозжечок состоит из непарного образования – червя и парных полушарий.

Основными нейронами коры мозжечка являются многочисленные клетки Пуркинье. Благодаря обширным связям (на каждой клетке оканчивается до 200 000 синапсов) в них происходит ***интеграция самых различных сенсорных влияний,*** в первую очередь проприоцептивных, тактильных и вестибулярных. Представительство разных периферических рецепторов в коре мозжечка имеет ***соматотопическую организацию*** (*греч.* соматос – «тело»,

топос – «место»), т.е. отражает порядок их расположения в теле человека. Кроме того, этот порядок расположения соответствует такому же порядку расположения представительства участков тела в коре больших полушарий, что облегчает обмен информацией между корой и мозжечком и обеспечивает их совместную деятельность в управлении поведением человека. Правильная геометрическая организация нейронов мозжечка обусловливает его ***значение в отсчете времени и четком поддержании темпа циклических движений.***

Основной функцией мозжечка является регуляция позно-тонических реакций и координация двигательной деятельности (Орбели Л.А., 1926).

По анатомическим особенностям (связям коры мозжечка с его ядрами) и функциональному значению мозжечок подразделяют на три продольные зоны:

• внутреннюю, или медиальную, – кору червя, функцией которой является регуляция тонуса скелетных мышц, поддержание позы и равновесия тела;

• промежуточную – среднюю часть коры полушарий мозжечка, функция которой состоит в согласовании позных реакций с движениями и коррекции ошибок;

• боковую, или латеральную, кору полушарий мозжечка, которая совместно с промежуточным мозгом и корой больших полушарий участвует в программировании быстрых баллистических движений (бросков, ударов, прыжков и пр.).

3.5.7. Базальные ядра

К базальным ядрам относят ***полосатое тело,*** состоящее из хвостатого ядра и скорлупы, и ***бледное ядро,*** а в настоящее время причисляют также ***миндалевидное тело*** (относящееся к вегетативным центрам лимбической системы) и ***черную субстанцию*** среднего мозга.

Афферентные влияния приходят к базальным ядрам от рецепторов тела через таламус и от всех областей коры больших полушарий. Они почти исключительно поступают в полосатое тело. Эфферентные влияния от него направляются к бледному ядру и далее к стволовым центрам экстрапирамидной системы, а также через таламус обратно к коре.

Базальные ядра участвуют в ***образовании условных рефлексов и осуществлении сложных безусловных рефлексов (оборонительных, пищедобывательных и др.).*** Они обеспечивают

необходимое положение тела во время физической работы, а также протекание ***автоматических ритмических движений (древних автоматизмов).***

Бледное ядро выполняет основную ***моторную функцию,*** а полосатое тело ***регулирует его активность.*** В настоящее время выявлено ***значение хвостатого ядра в контроле сложных психических процессов*** – внимания, памяти, обнаружении ошибок.

3.6. ВЕГЕТАТИВНАЯ НЕРВНАЯ СИСТЕМА

Все функции организма условно можно разделить на ***соматические,*** или ***анимальные*** (животные), связанные с восприятием внешней информации и деятельностью мышц, и ***вегетативные*** (растительные), связанные с деятельностью внутренних органов, – процессы дыхания, кровообращения, пищеварения, выделения, обмена веществ, роста и размножения.

3.6.1. Функциональная организация вегетативной нервной системы

Вегетативной нервной системой ***называют совокупность эфферентных нервных клеток спинного и головного мозга, а также клеток особых узлов (ганглиев), иннервирующих внутренние органы.*** Раздражения различных рецепторов тела могут вызвать изменения соматических и вегетативных функций, так как афферентные и центральные отделы этих рефлекторных дуг общие. Они различаются лишь своими эфферентными отделами. ***Характерной особенностью эфферентных путей, входящих в рефлекторные дуги вегетативных рефлексов, является их двухнейронное строение*** (один нейрон находится в ЦНС, другой – в ганглиях или в иннервируемом органе).

Вегетативная нервная система подразделяется на два отдела – симпатический и парасимпатический (рис. 5).

Эфферентные пути симпатической нервной системы начинаются в грудном и поясничном отделах спинного мозга от нейронов его боковых рогов. Передача возбуждения с предузловых симпатических волокон на послеузловые происходит с участием медиатора ***ацетилхолина,*** а с послеузловых волокон на иннервируемые органы – с участием медиатора ***норадреналина.*** Исключением являются волокна, иннервирующие потовые железы и расширяющие сосуды скелетных мышц, где возбуждение передается с помощью ацетилхолина.

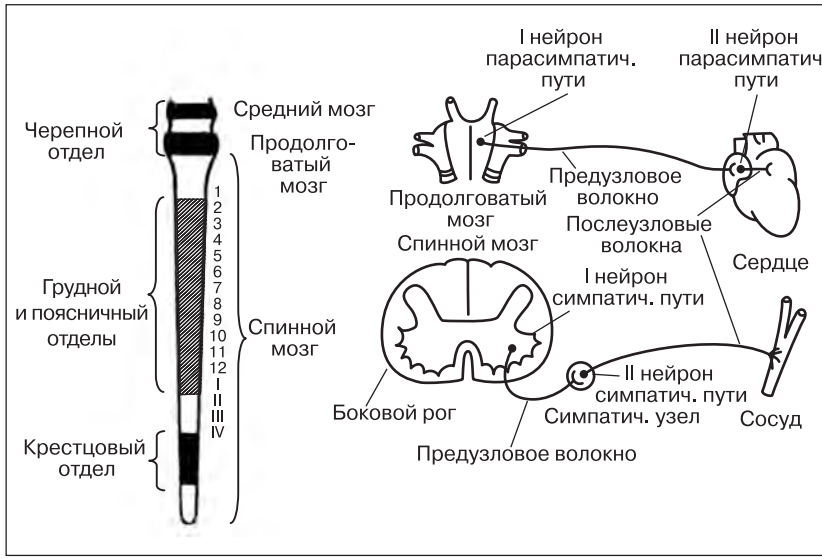


Рис. 5. Вегетативная нервная система.

Слева – область выхода волокон: парасимпатической (черный цвет) и симпатической (заштриховано) систем.

Арабские цифры – номера грудных сегментов, римские – номера поясничных сегментов.

Справа – строение эфферентной части рефлекторной дуги вегетативных рефлексов

Эфферентные пути парасимпатической нервной системы начинаются в головном мозге (от некоторых ядер среднего и продолговатого мозга) и в спинном мозге (от нейронов крестцового отдела). Проведение возбуждения в синапсах парасимпатического пути происходит с участием медиатора ***ацетилхолина.*** Второй эфферентный нейрон находится в иннервируемом органе или вблизи от него.

Высшим регулятором вегетативных функций является гипоталамус, который действует совместно с ретикулярной формацией и лимбической системой под контролем коры больших полушарий. Кроме того, нейроны, расположенные в самих органах или в симпатических узлах, могут осуществлять собственные рефлекторные реакции без участия ЦНС – ***«периферические рефлексы».***

3.6.2. Функции симпатической нервной системы

С участием симпатической нервной системы протекают многие важные рефлексы в организме, направленные на обеспечение его деятельного состояния, в том числе – его двигательной активности. К ним относятся рефлексы ***расширения***

бронхов, учащения и усиления сердечных сокращений, расширения сосудов сердца и легких при одновременном сужении сосудов кожи и органов брюшной полости ***(обеспечение перераспределения крови),*** выброс депонированной крови из печени и селезенки, расщепление гликогена до глюкозы в печени ***(мобилизация углеводных источников энергии),*** усиление деятельности желез внутренней секреции и потовых желез. Симпатическая нервная система ***снижает деятельность ряда внутренних органов:*** в результате сужения сосудов в почках уменьшаются процессы мочеобразования, угнетается секреторная и моторная деятельность органов желудочно-кишечного тракта; предотвращается акт мочеиспускания – расслабляется мышца стенки мочевого пузыря и сокращается его сфинктер.

Повышенная активность организма сопровождается симпатическим ***рефлексом расширения зрачка.*** Огромное значение для двигательной деятельности организма имеет ***трофическое влияние симпатических нервов на скелетные мышцы,*** улучшающее их обмен веществ и функциональное состояние, снимающее утомление.

Симпатический отдел нервной системы не только повышает уровень функционирования организма, но и ***мобилизует его скрытые функциональные резервы,*** активирует деятельность мозга, повышает защитные реакции (иммунные реакции, барьерные механизмы и др.), запускает гормональные реакции. Особенное значение имеет симпатическая нервная система ***при развитии стрессовых состояний*** в наиболее сложных условиях жизнедеятельности. Л.А. Орбели подчеркивал важнейшее значение симпатических влияний для приспособления (адаптации) организма к напряженной работе, к различным условиям внешней среды. Эта функция была им названа адаптационно-трофической.

3.6.3. Функции парасимпатической нервной системы

Парасимпатическая нервная система осуществляет ***сужение бронхов; замедление и ослабление сердечных сокращений; сужение сосудов сердца; пополнение энергоресурсов (синтез гликогена в печени и усиление процессов пищеварения); усиление процессов мочеобразования в почках*** и обеспечение акта мочеиспускания (сокращение мышц мочевого пузыря и расслабление его сфинктера) и др. Парасимпатическая нервная система преимущественно оказывает ***пусковые влияния:*** сужение зрачка, бронхов, включение деятельности пищеварительных желез и т.п.

Деятельность парасимпатического отдела вегетативной нервной системы направлена на текущую ***регуляцию функционального состояния, на поддержание постоянства внутренней среды – гомеостаза.*** Парасимпатический отдел обеспечивает ***восстановление различных физиологических показателей,*** резко измененных после напряженной мышечной работы, пополнение израсходованных энергоресурсов. Медиатор парасимпатической системы – ацетилхолин, снижая чувствительность адренорецепторов к действию адреналина и норадреналина, оказывает определенное ***антистрессорное влияние.***

3.6.4. Вегетативные рефлексы

Через вегетативные симпатические и парасимпатические пути ЦНС осуществляет некоторые вегетативные рефлексы, начинающиеся с различных рецепторов внешней и внутренней среды: ***висцеро-висцеральные*** (с внутренних органов на внутренние органы – например, дыхательно-сердечный рефлекс); ***дермо-висцеральные*** (с кожных покровов – изменение деятельности внутренних органов при раздражении активных точек кожи, например, иглоукалыванием, точечным массажем); с ***рецепторов глазного яблока*** – глазо-сердечный рефлекс Ашнера (урежение сердцебиений при надавливании на глазные яблоки – парасимпатический эффект); ***моторно-висцеральные*** – например, ортостатическая проба (учащение сердцебиения при переходе из положения лежа в положение стоя – симпатический эффект) и др. (рис. 6). ***Они используются для оценки функционального состояния организма и особенно состояния вегетативной нервной системы*** (оценки влияния симпатического или парасимпатического ее отдела).

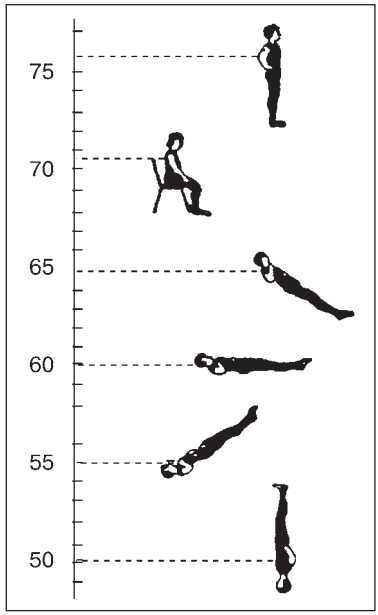


Рис. 6. Вегетативные рефлексы. Влияние положения тела на частоту сердечных сокращений (уд./мин) (по: М.Р. Могендович, 1972)

3.7. ЛИМБИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Под лимбической системой понимают ряд корковых и подкорковых структур, функции которых связаны с организацией ***мотивационно-эмоциональных реакций, процессами памяти и обучения.***

Корковые отделы лимбической системы, представляющие ее высший отдел, находятся на нижних и внутренних поверхностях больших полушарий (участки лобной коры, поясная извилина или лимбическая кора, гиппокамп и др.). К подкорковым структурам лимбической системы относят гипоталамус, некоторые ядра таламуса, среднего мозга и ретикулярной формации. Между всеми этими отделами имеются тесные прямые и обратные связи, образующие так называемое «лимбическое кольцо».

Лимбическая система участвует в самых разнообразных проявлениях деятельности организма – в регуляции пищевого и питьевого поведения, цикла сон – бодрствование, в процессах формирования памятного следа (отложения и извлечения из памяти), в развитии агрессивно-оборонительных реакций, обеспечивая избирательный характер поведения. Она ***формирует положительные и отрицательные эмоции*** со всеми двигательными, вегетативными и гормональными их компонентами. Электрические раздражения различных участков лимбической системы через вживленные электроды (в экспериментах на животных, в клинике при лечении больных) выявили наличие центров удовольствия, формирующих положительные эмоции, и неудовольствия, формирующих отрицательные эмоции. Изолированное раздражение таких точек в глубоких структурах мозга человека вызывало появление чувства «беспричинной радости», «беспредметной тоски», «безотчетного страха».

3.8. ФУНКЦИИ КОРЫ БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ

У высших млекопитающих животных и человека ведущий отдел ЦНС – это кора больших полушарий.

3.8.1. Корковые нейроны

Кора представляет собой слой серого вещества толщиной 2–3 мм, содержащий в среднем около 14 млрд нервных клеток. Характерным в ней является обилие межнейронных связей, рост которых продолжается до 18 лет, а в ряде случаев и далее.

Основными типами корковых клеток являются пирамидные и звездчатые нейроны. Звездчатые нейроны связаны с процессами ***восприятия раздражений*** и объединением деятельности различных пирамидных нейронов.

Пирамидные нейроны ***осуществляют эфферентную функцию коры (преимущественно через пирамидный тракт) и внутрикорковые процессы взаимодействия*** между удаленными друг от друга нейронами. Наиболее крупные пирамидные клетки – гигантские пирамиды Беца – находятся в передней центральной извилине (моторной зоне коры).

Функциональной единицей коры является вертикальная колонка взаимосвязанных нейронов. Вытянутые по вертикали крупные пирамидные клетки с расположенными над ними и под ними нейронами образуют функциональные объединения нейронов. Все нейроны вертикальной колонки отвечают на одно и то же афферентное раздражение (от одного и того же рецептора) одинаковой реакцией и совместно формируют эфферентные ответы пирамидных нейронов. По мере надобности вертикальные колонки могут объединяться в более крупные образования, обеспечивая сложные реакции.

3.8.2. Функциональное значение различных корковых полей

По особенностям строения и функциональному значению отдельных корковых участков ***вся кора подразделяется на три основные группы полей – первичные, вторичные и третичные*** (рис. 7).

Первичные поля связаны с органами чувств и органами движения на периферии. Они обеспечивают ***возникновение ощущений.*** К ним относятся, например, поле болевой и мышечно-суставной чувствительности в задней центральной извилине коры, зрительное поле в затылочной области, слуховое поле в височной области и моторное поле в передней центральной извилине. В первичных полях находятся высокоспециализированные клетки-определители, или детекторы, избирательно реагирующие только на определенные раздражения. Например, в зрительной коре имеются нейроны-детекторы, возбуждающиеся только при включении или при выключении света, чувствительные лишь к определенной его интенсивности, к конкретным интервалам светового воздействия, к определенной длине волны и т.д. При разрушении первичных полей коры возникают так называемые ***корковая слепота, корковая глухота и т.п.***

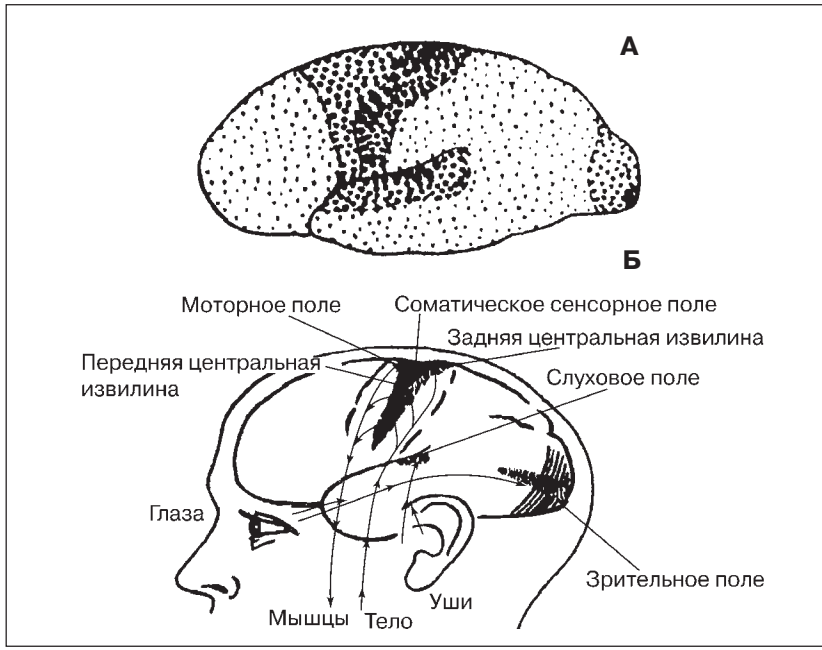


Рис. 7. Первичные, вторичные и третичные поля коры больших полушарий.
А: крупные точки – первичные поля, средние – вторичные поля, мелкие – третичные поля;
Б: первичные (проекционные) поля коры больших полушарий

Вторичные поля расположены рядом с первичными. В них происходит ***осмысливание и узнавание звуковых, световых и других сигналов, возникают сложные формы обобщенного восприятия.*** При поражении вторичных полей сохраняется способность видеть предметы, слышать звуки, но человек их не узнает, не помнит значения.

Третичные поля развиты практически только у человека. ***Это ассоциативные области коры, обеспечивающие высшие формы анализа и синтеза и формирующие целенаправленную поведенческую деятельность человека.*** Третичные поля находятся: в задней половине коры – между теменными, затылочными и височными областями; в передней половине – в передних частях лобных областей. Их роль особенно велика ***в организации согласованной работы обоих полушарий.*** Третичные поля созревают у человека позже других корковых полей и раньше других деградируют при старении.

Функцией задних третичных полей (главным образом, нижнетеменных областей коры) является прием, переработка и хранение информации. Они формируют представление о ***схеме тела и схеме пространства,*** обеспечивая пространственную ориентацию движений. ***Передние третичные поля (переднелобные области)*** выполняют общую регуляцию сложных форм поведения человека, формируя ***намерения и планы, программы произвольных движений и контроль за их выполнением.*** Развитие третичных полей у человека связывают с функцией речи. Мышление (внутренняя речь) возможно только при совместной деятельности различных сенсорных систем, объединение информации от которых происходит в третичных полях. При врожденном недоразвитии третичных полей человек не в состоянии овладеть речью (произносит лишь бессмысленные звуки) и даже простейшими двигательными навыками (не может одеваться, пользоваться орудиями труда и т.п.).

3.8.3. Парная деятельность и доминирование полушарий

Обработка информации осуществляется в результате ***парной деятельности обоих полушарий*** головного мозга. Однако, как правило, ***одно из полушарий является ведущим – доминантным.*** У большинства людей с ведущей правой рукой (правшей) ***доминантным является левое полушарие, а соподчиненным (субдоминантным) – правое полушарие.***

Левое полушарие по сравнению с правым имеет более тонкое нейронное строение, большее богатство взаимосвязей нейронов, более концентрированное представительство функций и лучшие условия кровоснабжения. В левом доминантном полушарии находится моторный центр речи (центр Брока), обеспечивающий речевую деятельность, и сенсорный центр речи, осуществляющий понимание слов. Левое полушарие специализировано на тонком сенсомоторном контроле за движениями рук.

У человека различают три формы функциональной асимметрии: ***моторную, сенсорную и психическую.*** Как правило, у человека имеются ведущая рука, нога, глаз и ухо. Однако проблема функциональной асимметрии довольно сложна. Например, у человека-правши может быть ведущим левый глаз или левое ухо, сигналы от которых являются главенствующими. При этом в каждом полушарии могут быть представлены функции не только противоположной, но и одноименной стороны тела. В результате этого обеспечивается возможность замещения одно-

го полушария другим в случае его повреждения, а также создается ***структурная основа для переменного доминирования полушарий при управлении движениями.***

Психическая асимметрия проявляется в виде определенной специализации полушарий. Для ***левого полушария*** характерны аналитические процессы, последовательная обработка информации, в том числе с помощью речи, абстрактное мышление, оценка временных отношений, предвосхищение будущих событий, успешное решение вербально-логических задач. В ***правом полушарии*** информация обрабатывается целостно, синтетически (без расчленения на детали), с учетом прошлого опыта и без участия речи, преобладает предметное мышление. Эти особенности позволяют связывать с правым полушарием восприятие пространственных признаков и решение зрительно-пространственных задач. Функции правого полушария связаны с прошедшим временем, а левого – с будущим.

3.8.4. Электрическая активность коры больших полушарий

Изменения функционального состояния коры отражаются в записи ее электрической активности – электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Современные электроэнцефалографы усиливают потенциалы мозга в 2–3 млн раз и дают возможность исследовать ЭЭГ от многих точек коры одновременно, т.е. изучать системные процессы. Регистрация ЭЭГ производится в виде чернильной записи на бумаге, а также в виде целостной картины на схеме поверхности мозга, т.е. карты мозга (метод картирования) на экране мониторов современных компьютерных систем (рис. 8).

Рис. 8. Картирование мозга:
многоканальная регистрация электроэнцефалограммы (ЭЭГ) человека на экране монитора и отражение возбужденных (светлые зоны) и заторможенных (темные зоны) участков коры

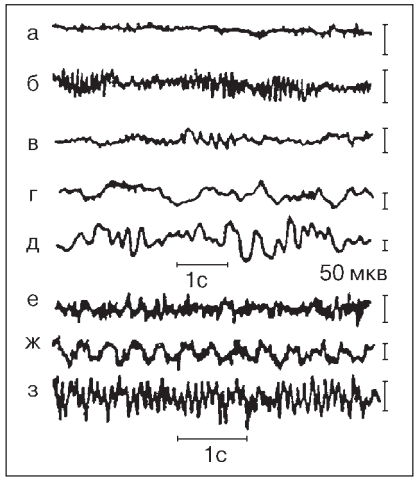


Рис. 9. ЭЭГ затылочной (а–д) и моторной (е–з) областей коры больших полушарий человека при различных состояниях и во время мышечной работы:

а – активное состояние, глаза открыты (бета-ритм); б – покой, глаза закрыты (альфа-ритм); в – дремота (тета-ритм); г – засыпание (медленные волны); д – глубокий сон (дельта-ритм); е – непривычная или тяжелая работа – асинхронная частая активность (явление десинхронизиции); ж – циклическая работа – медленные потенциалы в темпе движений («меченые ритмы» ЭЭГ); з – выполнение освоенного движения – появление альфа-ритма

Различают определенные ***диапазоны частот,*** называемые ритмами ЭЭГ (рис. 9): в состоянии относительного покоя чаще всего регистрируется альфа-ритм (8–13 колебаний в 1 с); в состоянии активного внимания – бета-ритм (14 колебаний в 1 с и выше); при засыпании, некоторых эмоциональных состояниях – тета-ритм (4–7 колебаний в 1 с); при глубоком сне, потере сознания, наркозе – дельта-ритм (1–3 колебания в 1 с).

В ЭЭГ отражаются особенности взаимодействия корковых нейронов при умственной и физической работе (Ливанов М.Н., 1972). Отсутствие налаженной координации при выполнении непривычной или тяжелой работы приводит к так называемой десинхронизации ЭЭГ – быстрой асинхронной активности. По мере формирования двигательного навыка в ЭЭГ возникают явления синхронизации ЭЭГ – усиления взаимосвязанности (синхронности и синфазности) электрической активности различных областей коры, участвующих в управлении движениями. При циклической работе появляются медленные потенциалы в темпе выполняемого, воображаемого или предстоящего движения – «меченые ритмы» (Сологуб Е.Б., 1973).

Помимо фоновой активности в ЭЭГ выделяют отдельные ***потенциалы, связанные с какими-либо событиями:*** вызванные потенциалы, возникающие в ответ на внешние раздражения (слуховые, зрительные и др.); потенциалы, отражающие мозговые процессы при подготовке, осуществлении и окончании отдельных двигательных актов – это «волна ожидания», или условная негативная волна (Уолтер Г., 1966), премоторные, мо-

торные и финальные потенциалы и др. Кроме того, регистрируют различные сверхмедленные колебания длительностью от нескольких секунд до десятков минут (в частности, так называемые «омега-потенциалы» и др.), которые отражают биохимические процессы регуляции функций и психической деятельности.

4. ВЫСШАЯ НЕРВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Развивая идеи И.М. Сеченова о рефлекторной основе поведенческой деятельности целостного организма, И.П. Павлов пришел к мысли, что в изменяющихся условиях внешней среды недостаточно обладать стандартными рефлекторными реакциями, а требуется ***выработка новых рефлексов,*** адекватных новым условиям существования. Впервые об условных рефлексах он заговорил в известной Мадридской речи в 1903 г.

4.1. УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗНОВИДНОСТИ УСЛОВНЫХ РЕФЛЕКСОВ

Условные рефлексы по многим признакам отличаются от безусловных (табл. 1).

Условные рефлексы у млекопитающих и человека осуществляются корой больших полушарий (в этом также принимают участие таламический отдел промежуточного мозга и в ряде случаев подкорковые ядра).

И.П. Павловым была разработана ***объективная методика*** изучения приобретаемых или условных рефлексов, которая основывалась на ***изоляции*** обследуемого организма от посторонних раздражений и на ***точной регистрации сигнала и ответа на него.***

Таблица 1

Различия условных и безусловных рефлексов

Безусловные рефлексы	Условные рефлексы
Врожденные реакции	Приобретенные реакции
Постоянно существующие реакции	Временно существующие реакции
Видовые рефлексы	Индивидуальные рефлексы
Имеются готовые рефлекторные дуги	Образуются новые рефлекторные дуги
Осуществляются всеми отделами ЦНС	Осуществляются ведущими отделами ЦНС

Исследования проводились на собаках в звукоизолированных камерах («башнях молчания»), куда подавались дозированные раздражения светом, звуком, механическими раздражениями кожи и пр. В качестве ответной реакции было выбрано выделение слюны, которая отводилась от одного из слюнных протоков, выведенного на наружную поверхность щеки ***(методика фистулы слюнной железы).***

В процессе выработки приобретаемых рефлексов должны соблюдаться следующие условия:

• ***сочетание любого индифферентного раздражителя с каким-либо значимым безусловным раздражением*** (например, пищевым) – методика безусловного подкрепления;

• ***индифферентное раздражение должно предшествовать безусловному,*** чтобы приобрести сигнальное значение;

• ***нервные центры,*** к которым адресованы раздражения, ***должны быть в состоянии оптимального возбуждения.***

Например, после предварительного изолированного действия светового сигнала собаке подавалось подкрепление – мясосухарный порошок и регистрировалось выделение слюны. После ряда сочетаний этих сигналов уже одно только включение света вызывало выделение слюны, т.е. был выработан новый рефлекс, ***биологический смысл*** которого заключался в ***подготовке организма к*** приему пищи.

Механизм образования условного рефлекса заключался ***в формировании новой рефлекторной дуги,*** в которой к эфферентной части безусловного рефлекса присоединялась новое афферентное начало рефлекторной дуги, идущее от зрительных путей. Между центрами этих исходных рефлексов сформировалась новая связь, которую И.П. Павлов назвал временной связью, так как в случае прекращения подачи пищи после светового сигнала слюнной условный рефлекс исчезал.

В ходе выработки условного рефлекса наблюдались определенные ***фазы*** этого процесса:

1) ***генерализации*** (обобщенное восприятие сигнала, когда условная реакция наблюдалась на любой сходный сигнал), основой чего были процессы ***иррадиации возбуждения*** в коре больших полушарий;

2) ***концентрации возбуждения*** (реакция только на конкретный сигнал), что появлялось за счет вырабатываемого ***условного торможения*** на посторонние неподкрепляемые сигналы;

3) ***стабилизации*** (упрочения условного рефлекса).

В дальнейших исследованиях условные рефлексы были выработаны в разнообразных экспериментальных условиях (в том числе в условиях свободного поведения) у различных животных, птиц, рыб, черепах, даже у амеб. Изучение биопотенциалов коры больших полушарий показало, что условием образования временной связи между изучаемыми корковыми центрами является пространственная синхронизация их электрической активности.

Различают несколько ***разновидностей условных рефлексов:***

1) ***натуральные*** – на сигналы, характеризующие безусловные раздражители (например, запах мяса для слюнного рефлекса), и ***искусственные*** – на посторонние сигналы (например, запах мяты);

2) ***наличные и следовые*** на условный сигнал, непосредственно предшествующий безусловному подкреплению, и на его следовое влияние;

3) ***положительные*** (с активным проявлением ответной реакции) ***и отрицательные*** (с ее торможением);

4) ***условные рефлексы на время*** – при ритмической подаче условных сигналов ответная реакция появляется через заданный интервал даже при отсутствии очередного сигнала;

5) ***условные рефлексы первого порядка*** – на один предшествующий условный раздражитель – и ***более высоких порядков,*** когда безусловному подкреплению предшествует сочетание двух последовательно подающихся сигналов (свет + звук) – условный рефлекс второго порядка, трех сигналов (свет + звук + касалка) – условный рефлекс третьего порядка и т.д.

У собак вырабатываются в основном рефлексы третьего порядка, у обезьян – четвертого, у грудного ребенка – 5–6 порядка, у взрослого человека – двадцатого и более порядков. Освоение речи человеком представляет собой формирование огромной цепи условно-безусловных рефлексов, не требующих специального подкрепления.

При формировании новых двигательных навыков возникают особые рефлексы, которые в отличие от ***сенсорных рефлексов или рефлексов I рода*** (в которых новой частью рефлекторной дуги была афферентная часть) имеют новую часть рефлекторной дуги в эфферентном отделе (новые исполнительные аппараты – мышцы). Это так называемые ***инструментальные, или оперантные, рефлексы – рефлексы II рода*** (Конорский Ю.М., 1970).

4.2. ВНЕШНЕЕ И ВНУТРЕННЕЕ ТОРМОЖЕНИЕ УСЛОВНЫХ РЕФЛЕКСОВ

По своему происхождению ***торможение условных рефлексов может быть безусловным (врожденным) и условным (выработанным в течение жизни).*** К безусловному торможению относят ***охранительное, или запредельное, торможение,*** возникающее при чрезмерно сильном или длительном раздражении, и ***внешнее торможение*** условных рефлексов посторонними для центров условного рефлекса раздражителями (например, нарушение непрочного двигательного навыка у спортсмена в необычных условиях соревнований).

Условное торможение вырабатывается при отсутствии подкрепления условного сигнала. Различают несколько видов условного торможения: угасательное, дифференцировочное и запаздывающее.

Угасание развивается при повторении условного сигнала без подкрепления. Например, имея прочный слюнный условный рефлекс у собаки на вспышку света и затем применяя свет без подкрепления, можно получить последовательно следующие условные ответы – 10, 8, 6, 4, 5, 2, 0, 0, 0 капель слюны.

Дифференцировочное торможение вырабатывается при подкреплении одного условного сигнала (например, звук с частотой 500 Гц) и отсутствии подкрепления сходных с ним сигналов (звук 1000, 200 и 100 Гц), на которые первоначально (в период генерализации условного рефлекса) получался условный ответ. Этот вид торможения, в частности, позволяет спортсмену отдифференцировать сокращения ненужных мышц при выработке двигательного навыка, т.е. имеет важное координационное значение. Процесс воспитания человека сопровождается постоянной дифференцировкой подкрепляемых и осуждаемых обществом поведенческих реакций (что такое «хорошо» и что такое «плохо»).

Запаздывающее торможение формируется при отставлении на определенный отрезок времени подкрепления от условного сигнала. В этом случае сразу после условного сигнала реакция отсутствует (тормозится), но перед моментом подкрепления обнаруживается.

4.3. ДИНАМИЧЕСКИЙ СТЕРЕОТИП

В жизни обычно встречаются не отдельные условные рефлексы, а сложные их комплексы, в которых они сочетаются с безусловными рефлексами (двигательными, сердечно-сосудистыми,

дыхательными и пр.). ***Систему условных и безусловных рефлексов*** И.П. Павлов назвал динамическим стереотипом. ***Она вырабатывается при повторении одного и того же порядка раздражений (ситуаций)*** и соответственно выражается в цепи закрепленных ответных реакций, т.е. ***стереотипе.*** Но изменение внешних условий может вызвать перестройку этой системы или ее разрушение, что отмечается термином ***«динамический».***

Например, у собаки выработан динамический стереотип на определенный порядок из 6 раздражителей, и имеются на них закрепленные условные величины слюноотделения, специфические для каждого сигнала: 1) свет – 12 капель; 2) звук – 20 капель; 3) метроном 120 уд./с – 10 капель; 4) метроном 60 уд./с (неподкрепляемый раздражитель) – 0 капель; 5) свет – 12 капель; 6) звук – 20 капель. Если теперь подавать один и тот же сигнал, то ответная цепь реакций сохранится прежней: 1) свет – 12 капель; 2) свет – 20 капель; 3) свет – 10 капель; 4) свет – 0 капель; 5) свет – 12 капель; 6) свет – 20 капель. Однако изолированное включение светового раздражения сохраняет обычный ответ – 12 капель.

Следовательно, в коре больших полушарий собаки образована ***цепь последовательно возбуждающихся или затормаживающихся нервных центров,*** в которой активность каждого автоматически вызывает включение следующего. Подобный стереотип возникает у спортсмена при выработке двигательного навыка, особенно при выполнении стандартных движений. Такой стереотип, связанный с цепью моторных актов, А.Н. Крестовников назвал ***«двигательный динамический стереотип».*** Он легче образуется при выполнении циклических упражнений, чем ациклических.

4.4. ТИПЫ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ПЕРВАЯ И ВТОРАЯ СИГНАЛЬНАЯ СИСТЕМА

Случившееся в 1924 г. в Ленинграде сильное наводнение грозило затопить клетки с подопытными собаками, которые испытали сильный стресс. На следующий день обнаружилось, что у некоторых из них пропали прочно выработанные условные рефлексы, но у других рефлексы сохранились. Это навело И.П. Павлова на мысль о различных ***типах нервной системы*** у животных. ***В качестве основных свойств нервной системы И.П. Павлов рассматривал силу возбуждения и торможения, их уравновешенность и подвижность.*** С учетом этих свойств им были выделены следующие ***четыре типа высшей нервной***

деятельности (ВНД), которые оказались сходными с четырьмя темпераментами, выделенными еще Гиппократом в V веке до н. э.

1. ***Тип сильный неуравновешенный (холерик).*** Характеризуется сильным процессом возбуждения и более слабым процессом торможения, поэтому легко возбуждается и с трудом затормаживает свои реакции.

2. ***Тип сильный уравновешенный и высокоподвижный (сангвиник).*** Отличается сильными уравновешенными и высокоподвижными процессами возбуждения и торможения. Легко переключается с одной формы деятельности на другую, быстро адаптируется к новой ситуации.

3. ***Тип сильный уравновешенный инертный (флегматик).*** Имеет сильные и уравновешенные процессы возбуждения и торможения, но малоподвижный – медленно переключающийся с возбуждения на торможение и обратно. С трудом переходит от одного вида деятельности к другому, зато выносливость при длительной работе. Медленно, но прочно адаптируется к необычным условиям внешней среды.

4. ***Тип слабый (меланхолик).*** Характеризуется слабыми процессами возбуждения и торможения, с некоторым преобладанием тормозного процесса, мало адаптивен, подвержен неврозам. Зато обладает высокой чувствительностью к слабым раздражениям и может их легко дифференцировать.

Описанные типы имеются у животных и человека. Они представляют собой лишь крайние проявления особенностей нервной системы, между которыми может быть значительное число переходных типов.

Кроме того, И.П. Павлов выделил ***специфически человеческие типы ВНД,*** связанные с наличием у человека особой второй сигнальной системы – ***слова видимого, слышимого, написанного, произносимого,*** в отличие от первой сигнальной системы, общей для человека и животных, – ***непосредственных раздражителей внешней или внутренней среды организма.*** Вторая сигнальная система чрезвычайно расширила адаптационные возможности человека. Ее свойствами являются: ***обобщение сигналов*** первой и второй сигнальной системы, появление ***абстракций*** (сложных комплексных понятий – мужество, ярость, доброта и пр.), возможность ***передачи накопленного опыта*** предшествующих поколений последующим (возникновение науки, культуры и пр.). Вторая сигнальная система таким образом составила основу письменной и устной речи, появления математи-

ческих и нотных символов, абстрактного мышления человека. Ее деятельность связывают с функциями третичных полей коры больших полушарий, преимущественно левого полушария у правшей, где находятся центры речи.

В связи с различным соотношением у людей реакций, связанных с преобладанием первой или второй сигнальной системы, И.П. Павлов различал ***специфически человеческие типы*** нервной системы: ***«мыслительный»*** – с преобладанием второй сигнальной системы; ***«художественный»*** – с преобладанием первой сигнальной системы. Среди взрослых людей количество лиц с преобладанием второй сигнальной системы составляет около половины населения. Около 25% составляют лица с преобладанием первой сигнальной системы и примерно 25% – лица, имеющие равновесие обеих систем. Соответственно этим типам в настоящее время различают ***две основные формы интеллекта человека: невербальный интеллект,*** отражающий природные возможности индивида манипулировать с непосредственными (особенно зрительно-пространственными) раздражителями, и ***вербальный интеллект,*** отражающий способность манипулировать со словесным материалом, что определяет характер поведенческих реакций, в том числе и в спорте.

5. НЕРВНО-МЫШЕЧНЫЙ АППАРАТ

У человека существует три вида мышц: поперечно-полосатые скелетные мышцы, особая поперечно-полосатая сердечная мышца и гладкие мышцы внутренних органов.

5.1. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ

Скелетные мышцы человека содержат около 300 млн мышечных волокон и имеют площадь порядка 3 м^2. ***Целая мышца представляет собой отдельный орган, а мышечное волокно – клетку.*** Мышцы иннервируются ***двигательными нервами,*** передающими из центров моторные команды, ***чувствительными нервами,*** несущими в центры информацию о напряжении и движении мышц, и ***симпатическими нервными волокнами,*** влияющими на обменные процессы в мышце. Функции скелетных мышц ***заключаются в перемещении частей тела***

друг относительно друга, перемещении тела в пространстве (локомоция) и поддержании позы тела.

Функциональной единицей мышцы является двигательная единица, состоящая из ***мотонейрона*** спинного мозга, его ***аксона*** (двигательного нерва) с многочисленными окончаниями и иннервируемых им ***мышечных волокон. Возбуждение мотонейрона вызывает одновременное сокращение всех входящих в эту единицу мышечных волокон.*** Двигательные единицы (ДЕ) небольших мышц содержат малое число мышечных волокон (ДЕ мышц глазного яблока 3–6 волокон, мышц пальцев руки 10–25 волокон), а ДЕ крупных мышц туловища и конечностей – до нескольких тысяч (например, ДЕ икроножной мышцы человека – около 2000 мышечных волокон).

Мелкие мышцы иннервируются из одного сегмента спинного мозга, а крупные мышцы – мотонейронами 2–3 спинальных сегментов. Мотонейроны, иннервирующие одну мышцу, составляют общий мотонейронный пул, в котором могут находиться мотонейроны различных размеров. Большие ДЕ образованы крупными мотонейронами, которые имеют толстые аксоны, множество концевых разветвлений и большое число связанных с ними мышечных волокон. Такие ДЕ имеют низкую возбудимость, генерируют высокую частоту нервных импульсов (порядка 20–50 импульсов в 1 с) и характеризуются высокой скоростью проведения возбуждения. Они включаются в работу лишь при высоких нагрузках на мышцу. Мелкие ДЕ имеют мотонейроны небольших размеров, тонкие и медленно проводящие аксоны, малое число мышечных волокон. Они легко возбудимы и включаются в работу при незначительных мышечных усилиях. Нарастание нагрузки вызывает активацию различных ДЕ скелетной мышцы в соответствии с их размерами – от меньших к большим (правило Хеннемана).

Мышечное волокно представляет собой вытянутую клетку (ее диаметр около 10–100 мкм, а длина 10–12 см). В состав волокна входят его оболочка – ***сарколемма,*** жидкое содержимое – ***саркоплазма, ядро,*** энергетические центры – ***митохондрии,*** белковые депо – ***рибосомы,*** сократительные элементы – ***миофибриллы,*** а также замкнутая система продольных трубочек и цистерн, расположенных вдоль миофибрилл и содержащих ***ионы Ca^{2+},– саркоплазматический ретикулум.*** Поверхностная мембрана клетки через равные промежутки образует ***поперечные трубочки,*** входящие внутрь мышечного волокна, по которым

внутрь клетки проникает потенциал действия при ее возбуждении.

Миофибриллы – это тонкие волокна (диаметр 1–2 мкм, длина 2–2,5 мкм), содержащие ***два вида сократительных белков*** (протофибрилл): тонкие ***нити актина*** и вдвое более толстые ***нити миозина.*** Они расположены таким образом, что вокруг миозиновых нитей находится 6 актиновых нитей, а вокруг каждой актиновой – 3 миозиновых. Миофибриллы разделены ***Z-мембранами*** на отдельные участки – саркомеры, в средней части которых расположены преимущественно миозиновые нити, а актиновые нити прикреплены к Z-мембранам по бокам саркомера. (Разная способность актина и миозина преломлять свет создает в состоянии покоя мышцы ее поперечно-полосатый вид в световом микроскопе.)

Нити актина составляют около 20% сухого веса миофибрилл. Актин состоит из двух форм белка: 1) ***глобулярной формы*** – в виде сферических молекул и 2) ***палочковидных молекул тропомиозина,*** скрученных в виде ***двунитчатых спиралей в длинную цепь.*** На протяжении этой двойной актиновой нити каждый виток содержит по 14 молекул глобулярного актина (по 7 молекул с обеих сторон), наподобие нитки с бусинками, а также ***центры связывания ионов*** Ca^{2+}. В этих центрах содержится особый белок ***(тропонин),*** участвующий в образовании связи актина с миозином.

Миозин составлен из уложенных параллельно белковых нитей (эта часть представляет собой так называемый легкий меромиозин). На обоих концах его имеются отходящие в стороны шейки с утолщениями – ***головками*** (эта часть – тяжелый меромиозин), благодаря которым образуются ***поперечные мостики*** между миозином и актином.

5.2. МЕХАНИЗМЫ СОКРАЩЕНИЯ И РАССЛАБЛЕНИЯ МЫШЕЧНОГО ВОЛОКНА

При произвольной внутренней команде сокращение мышцы человека начинается примерно через 0,05 с (50 мс). За это время моторная команда передается от коры больших полушарий к мотонейронам спинного мозга и по двигательным волокнам к мышце. Подойдя к мышце, процесс возбуждения должен с помощью медиатора преодолеть нервно-мышечный синапс, что занимает примерно 0,5 мс. Медиатором здесь является ***ацетилхолин,*** ко-

торый содержится в ***синаптических пузырьках в пресинаптической части синапса.*** Нервный импульс вызывает перемещение синаптических пузырьков к пресинаптической мембране, их опорожнение и выход медиатора в синаптическую щель. Действие ацетилхолина на постсинаптическую мембрану чрезвычайно кратковременно, после чего он разрушается ацетилхолинэстеразой на уксусную кислоту и холин. По мере расходования запасы ацетилхолина постоянно пополняются путем его синтезирования в пресинаптической мембране. Однако при очень частой и длительной импульсации мотонейрона расход ацетилхолина превышает его пополнение, а также снижается чувствительность постсинаптической мембраны к его действию, в результате чего нарушается проведение возбуждения через нервно-мышечный синапс. Эти процессы лежат в основе ***периферических механизмов утомления*** при длительной и тяжелой мышечной работе.

Выделившийся в синаптическую щель медиатор прикрепляется к рецепторам постсинаптической мембраны и вызывает в ней явления ***деполяризации.*** Небольшое подпороговое раздражение вызывает лишь ***местное возбуждение небольшой амплитуды*** – потенциал концевой пластинки (ПКП).

При достаточной частоте нервных импульсов ПКП достигает порогового значения и на мышечной мембране развивается мышечный потенциал действия. Он (со скоростью 5 м/с) распространяется вдоль по поверхности мышечного волокна и ***заходит в поперечные трубочки внутрь волокна.*** Повышая проницаемость клеточных мембран, потенциал действия вызывает ***выход из цистерн и трубочек саркоплазматического ретикулума ионов Ca^{2+},*** которые проникают в миофибриллы, к центрам связывания этих ионов на молекулах актина.

Под влиянием Ca^{2+} длинные молекулы тропомиозина проворачиваются вдоль оси и скрываются в желобки между сферическими молекулами актина, открывая участки прикрепления головок миозина к актину. Тем самым ***между актином и миозином образуются так называемые*** поперечные мостики. При этом головки миозина совершают гребковые движения, обеспечивая ***скольжение нитей актина вдоль нитей миозина*** с обоих концов саркомера к его центру, т.е. механическую реакцию ***мышечного волокна*** (рис. 10).

Энергия гребкового движения одного мостика производит перемещение на 1% длины актиновой нити. ***Для дальнейшего скольжения сократительных белков друг относительно друга***

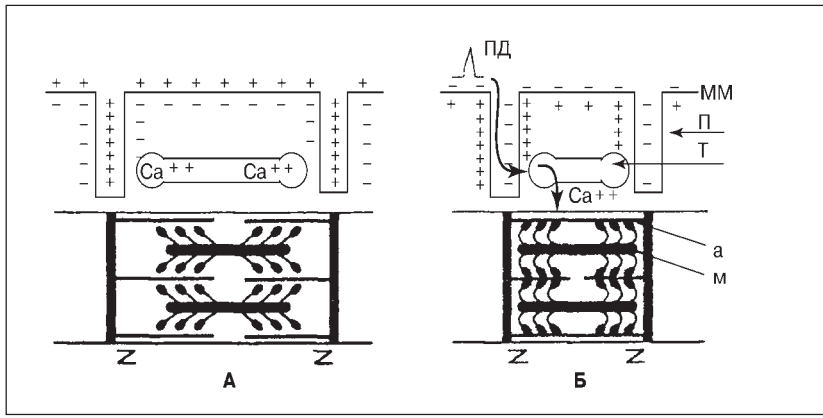


Рис. 10. Схема электромеханической связи в мышечном волокне.
А – состояние покоя; **Б** – возбуждение и сокращение; ПД – потенциал действия; ММ – мембрана мышечного волокна; П – поперечные трубочки; Т – продольные трубочки и цистерны с ионами Ca^{2+}; а – тонкие нити актина, м – толстые нити миозина с утолщениями (головками) на концах. Зет-мембранами ограничены саркомеры миофибрилл. Толстые стрелки – распространение потенциала действия при возбуждении волокна и перемещение ионов Ca^{2+} из цистерн и продольных трубочек в миофибриллы, где они содействуют образованию мостиков между нитями актина и миозина и скольжение этих нитей (сокращение волокна) за счет гребковых движений головок миозина

мостики между актином и миозином должны распадаться и вновь образовываться на следующем центре связывания Ca^{2+}. Такой процесс происходит в результате активации в этот момент молекул миозина. Миозин приобретает свойства фермента АТФазы, который вызывает распад АТФ. Выделившаяся при распаде АТФ энергия приводит к разрушению имеющихся мостиков и образованию в присутствии Ca^{2+} новых мостиков на следующем участке актиновой нити. В результате повторения подобных процессов многократного образования и распада мостиков ***сокращается длина отдельных саркомеров и всего мышечного волокна в целом.*** Максимальная концентрация кальция в миофибрилле достигается уже через 3 мс после появления потенциала действия в поперечных трубочках, а максимальное напряжение мышечного волокна – через 20 мс.

Весь процесс от появления мышечного потенциала действия до сокращения мышечного волокна называется электромеханической связью (или электромеханическим сопряжением). В результате сокращения мышечного волокна актин и миозин более равномерно распределяются внутри саркомера, и исчезает видимая под микроскопом поперечная исчерченность мышцы.

Расслабление мышечного волокна связано с работой особого механизма – ***«кальциевого насоса»,*** который обеспечивает откачку ионов Ca^{2+} из миофибрилл обратно в трубочки саркоплазматического ретикулума. На это также тратится энергия АТФ.

5.3. ОДИНОЧНОЕ И ТЕТАНИЧЕСКОЕ СОКРАЩЕНИЕ. ЭЛЕКТРОМИОГРАММА

При единичном надпороговом раздражении двигательного нерва или самой мышцы возбуждение мышечного волокна сопровождается одиночным сокращением. Эта форма механической реакции состоит из трех фаз: латентного, или скрытого, периода; фазы сокращения; фазы расслабления. Самой короткой фазой является скрытый период, когда в мышце происходит электромеханическая передача. Фаза расслабления обычно в 1,5–2 раза более продолжительна, чем фаза сокращения, а при утомлении затягивается на значительное время.

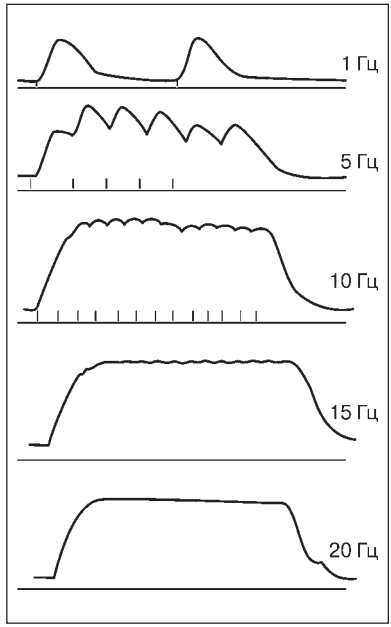


Рис. 11. Одиночное сокращение, зубчатый и сплошной тетанус камбаловидной мышцы человека (по: Н.В. Зимкин и др., 1984); верхняя кривая – сокращение мышцы, нижняя – отметка раздражения мышцы, справа указана частота раздражения

Если интервалы между нервными импульсами короче, чем длительность одиночного сокращения, то возникает явление суперпозиции – наложение механических эффектов мышечного волокна друг на друга и наблюдается сложная форма сокращения – тетанус. ***Различают две формы тетануса – зубчатый тетанус,*** возникающий при более редком раздражении, когда происходит попадание каждого следующего нервного импульса в фазу расслабления отдельных одиночных сокращений, и ***сплошной, или гладкий, тетанус,*** возникающий при более частом раздражении, когда каждый следующий импульс попадает в фазу сокращения (рис. 11). Таким образом

(в некоторых границах) между частотой импульсов возбуждения и амплитудой сокращения волокон ДЕ существует определенное соотношение: при небольшой частоте (например, 5–8 имп. в 1 с) возникают одиночные сокращения, при увеличении частоты (15–20 имп. в 1 с) – зубчатый тетанус, при дальнейшем нарастании частоты (25–60 имп. в 1 с) – гладкий тетанус. Одиночное сокращение – более слабое и менее утомительное, чем тетаническое. Зато тетанус обеспечивает в несколько раз более мощное, хотя и кратковременное сокращение мышечного волокна.

Сокращение целой мышцы ***зависит от формы сокращения отдельных ДЕ и их координации во времени. При обеспечении длительной, но не очень интенсивной работы, отдельные ДЕ сокращаются попеременно*** (рис. 12), поддерживая общее напряжение мышцы на заданном уровне (например, при беге на длинные и сверхдлинные дистанции). При этом отдельные ДЕ могут развивать как одиночные, так и тетанические сокращения, что зависит от частоты нервных импульсов. Утомление в этом случае развивается медленно, так как, работая по очереди, ДЕ в промежутках между активацией успевают восстанавливаться. Однако ***для мощного кратковременного усилия (например, поднятия штанги) требуется синхронизация активности отдельных ДЕ,*** т.е. одновременное возбуждение практически всех ДЕ, что, в свою очередь, требует одновременной активации соответствующих нервных центров и достигается в результате длительной тренировки. При этом осуществляется мощное и весьма утомительное тетаническое сокращение.

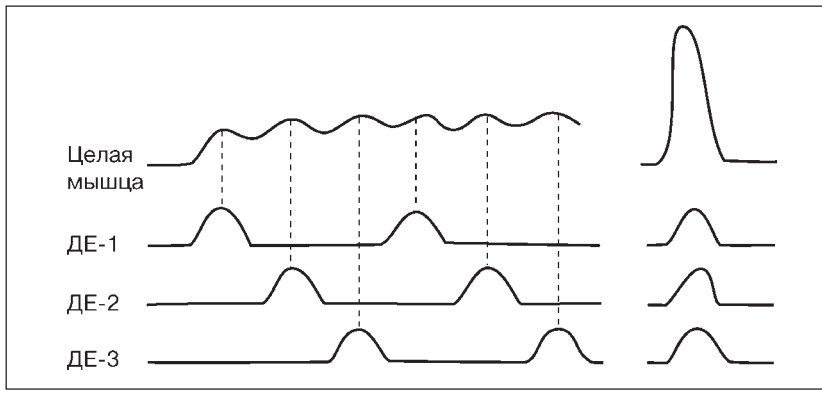


Рис. 12. Различные режимы работы двигательных единиц (ДЕ)

Амплитуда сокращения одиночного волокна не зависит от силы надпорогового раздражения (закон «Все или ничего»). В отличие от этого, при нарастании силы надпорогового раздражения сокращение целой мышцы постепенно растет до максимальной амплитуды.

Работа мышцы с небольшой нагрузкой сопровождается редкой частотой нервных импульсов и вовлечением небольшого числа ДЕ. В этих условиях, накладывая отводящие электроды на кожу над мышцей и используя усилительную аппаратуру, можно на экране осциллографа или с применением чернильной записи на бумаге зарегистрировать одиночные потенциалы действия отдельных ДЕ. В случае же значительных напряжений потенциалы действия многих ДЕ алгебраически суммируются, возникает сложная интегрированная ***кривая записи электрической активности целой мышцы*** – электромиограмма (ЭМГ).

Форма ЭМГ отражает характер работы мышцы: при статических усилиях она имеет непрерывный вид, а при динамической работе – вид отдельных пачек импульсов, приуроченных в основном к начальному моменту сокращения мышцы и разделенных периодами «электрического молчания». Особенно хорошо ритмичность появления подобных пачек наблюдается у спортсменов при циклической работе (рис. 13). У маленьких детей и неадаптированных к такой работе лиц четких периодов отдыха не наблюдается, что отражает недостаточное расслабление мышечных волокон работающей мышцы.

Чем больше внешняя нагрузка и сила сокращения мышцы, тем выше амплитуда ее ЭМГ. Это связано с увеличением частоты нервных импульсов, вовлечением большего числа ДЕ в мышце и синхронизацией их активности. Современная многоканальная аппаратура позволяет производить одновременную регистрацию ЭМГ многих мышц на разных каналах. При

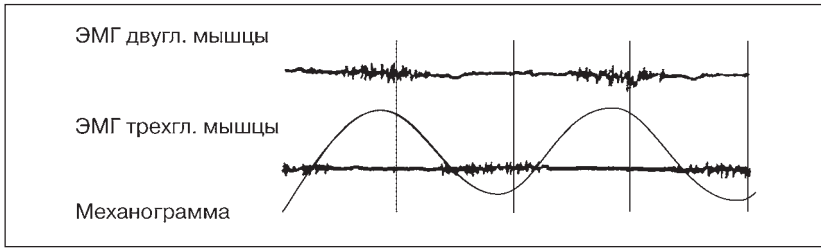


Рис. 13. Электромиограмма мышц-антагонистов при циклической работе

выполнении спортсменом сложных движений можно видеть на полученных ЭМГ кривых не только характер активности отдельных мышц, но и ***оценить моменты и порядок их включения или выключения в различные фазы двигательных актов.*** Записи ЭМГ, полученные в естественных условиях двигательной деятельности, можно передавать к регистрирующей аппаратуре по телефону или радиотелеметрически. Анализ частоты, амплитуды и формы ЭМГ (например, с помощью специальных компьютерных программ) позволяет получить важную информацию об особенностях техники выполняемого спортивного упражнения и степени ее освоения обследуемым спортсменом.

По мере развития утомления при той же величине мышечного усилия амплитуда ЭМГ нарастает. Это связано с тем, что снижение сократительной способности утомленных ДЕ компенсируется нервными центрами вовлечением в работу дополнительных ДЕ, т.е. путем увеличения количества активных мышечных волокон. Кроме того, усиливается синхронизация активности ДЕ, что также повышает амплитуду суммарной ЭМГ.

5.4. МОНОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ МЫШЕЧНОЙ СИЛЫ

Движение является результатом взаимодействия внутренних и внешних сил, развиваемых в опорно-двигательном аппарате, – ***активных*** (возникающих при сокращении или напряжении мышцы во время ее возбуждения) и ***пассивных*** (упругое напряжение при растяжении мышцы, сопротивление мышцы и ее сухожилия).

Сила мышцы ***зависит от ряда морфологических и физиологических факторов:*** количества и свойств мышечных волокон в мышце, исходной длины мышцы, характера нервных импульсов, механических условий действия мышцы на кости скелета.

Сила мышцы является суммой силы отдельных ее мышечных волокон. Подсчитано, что 1 одиночное мышечное волокно икроножной мышцы развивает напряжение 100–200 мг, 1 ДЕ икроножной мышцы человека содержит около 2000 мышечных волокон и развивает напряжение 200–400 г, 1 икроножная мышца содержит около 1000 ДЕ и развивает напряжение 200–400 кг.

Большое значение имеет анатомическое строение ***мышцы.*** В параллельно-волокнистых и веретенообразных мышцах (камбаловидная мышца и др.) сила мышц тем больше, чем больше ее ***анатомический поперечник,*** т.е. площадь поперечно-

го сечения целой мышцы. В перистых мышцах (двуглавая мышца и др.) ***физиологический поперечник,*** т.е. площадь поперечного сечения всех мышечных волокон, гораздо больше, чем ее анатомический поперечник. В такой мышце упаковано значительно больше мышечных волокон и соответственно больше ее сила.

На силу сокращения мышцы влияет ее исходная длина, так как от нее зависит возможное количество поперечных мостиков между актином и миозином. Предполагают, что в каждом цикле присоединения-отсоединения поперечных мостиков расходуется энергия 1 молекулы АТФ на 1 поперечный мостик. Следовательно, чем больше образуется в мышечном волокне актиномиозиновых мостиков, тем выше скорость расщепления АТФ, больше тяга сократительных белков и соответственно больше развиваемая мышцей сила.

Наибольшее количество актино-миозиновых контактов образуется при небольшом растяжении мышцы до некоторой оптимальной длины. При значительном растяжении саркомера нити актина далеко расходятся в стороны и практически не контактируют с расположенным в средней части саркомера миозином. В случае же резкого уменьшения длины саркомера нити актина в центре перекрывают друг друга, препятствуя контактам с миозином и также уменьшая число образуемых мостиков. В связи с этими особенностями взаимодействия сократительных белков наибольшая сила мышцы проявляется при некотором ее предварительном растяжении.

Одной из важнейших характеристик скелетных мышц, влияющих на силу сокращения, является состав (композиция) мышечных волокон. Различают три типа мышечных волокон – медленные неутомляемые (I типа), быстрые неутомляемые или промежуточные (II-а типа) и быстрые утомляемые (II-б типа).

Медленные волокна (I типа), их обозначают также SO – Slow Oxydative (*англ.* – «медленные окислительные»), – это выносливые (неутомляемые) и легко возбудимые волокна, с богатым кровоснабжением, большим количеством митохондрий, запасов миоглобина и с использованием окислительных процессов энергообразования (аэробные). Их у человека в среднем 50%. Они легко включаются в работу при малейших напряжениях мышц, очень выносливы, но не обладают достаточной силой. Чаще всего они используются при поддержании ненагрузочной статической работы, например при сохранении позы.

Быстрые утомляемые волокна (II-б типа), или FG – Fast Glicolitic (*англ.* – «быстрые гликолитические») – используют анаэробные процессы энергообразования (гликолиз). Они менее возбудимы, включаются при больших нагрузках и обеспечивают быстрые и мощные сокращения мышц. Зато эти волокна быстро утомляются. Их примерно 30%. ***Волокна промежуточного типа*** (II-а) – быстрые неутомляемые, окислительные, их около 20%. В среднем, для разных мышц характерно различное соотношение медленных неутомляемых и быстрых утомляемых волокон. Так, в трехглавой мышце плеча преобладают быстрые волокна (67%) над медленными (33%), что обеспечивает скоростно-силовые возможности этой мышцы (рис. 14), а для более медленной и выносливой камбаловидной мышцы характерно наличие 84% медленных и всего 16% быстрых волокон (Салтин Б., 1979).

Состав мышечных волокон в одной и той же мышце имеет огромные индивидуальные различия, зависящие от врожденных типологических особенностей человека. К моменту рождения человека его мышцы содержат лишь медленные волокна, но под влиянием нервной регуляции в ходе онтогенеза устанавливается генетически заданное индивидуальное соотношение мышечных волокон разного типа. По мере перехода от зрелого возраста к пожилому число быстрых волокон у человека заметно снижается и соответственно уменьшается мышечная сила. Например, наибольшее количество быстрых волокон в наружной головке четырехглавой мышцы бедра мужчины (около 59–63%) отмечается в возрасте 20–40 лет, а в возрасте 60–65 лет их число почти на 1/3 меньше (45%).

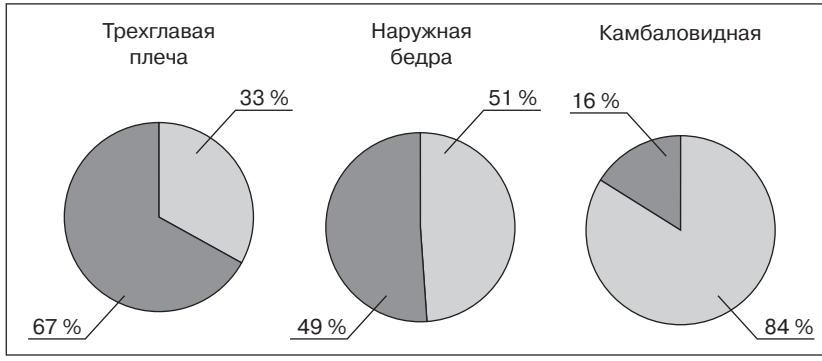


Рис. 14. Состав мышечных волокон в разных мышцах
(медленные – светло-серым цветом; быстрые – темно-серым)

Количество тех или других мышечных волокон не изменяется в процессе тренировки. Возможно только нарастание толщины (гипертрофия) отдельных волокон, а также некоторое изменение свойств промежуточных волокон. При направленности тренировочного процесса на развитие силы происходит нарастание объема быстрых волокон, что и обеспечивает повышение силы тренируемых мышц.

Характер нервных импульсов ***изменяет силу сокращения мышц тремя способами:***

1) ***увеличением числа активных ДЕ – это механизм вовлечения или рекрутирования ДЕ*** (сначала происходит вовлечение медленных и более возбудимых ДЕ, затем – высокопороговых быстрых ДЕ);

2) ***увеличением частоты нервных импульсов,*** в результате чего происходит переход от слабых одиночных сокращений к сильным тетаническим сокращениям мышечных волокон;

3) ***увеличением синхронизации ДЕ,*** при этом происходит увеличение силы сокращения целой мышцы за счет одновременной тяги всех активных мышечных волокон.

Существенное значение имеют механические условия работы мышцы – точка приложения ее силы и точка приложения сопротивления (поднимаемого груза). Например, при сгибании в локте вес поднимаемого груза может быть порядка 40 кг и более, при этом сила мышц-сгибателей достигает 250 кг, а тяга сухожилий – 500 кг.

Между силой и скоростью сокращения мышцы существует определенное соотношение, имеющее вид гиперболы (соотношение сила – скорость, по А. Хиллу). ***Чем выше сила, развиваемая мышцей, тем меньше скорость ее сокращения,*** и наоборот, с нарастанием скорости сокращения падает величина усилия. Наибольшую скорость развивает мышца, работающая без нагрузки. Скорость мышечного сокращения зависит от скорости передвижения поперечных мостиков, т.е. от частоты гребковых движений в единицу времени. В быстрых ДЕ эта частота выше, чем в медленных ДЕ, и соответственно потребляется больше энергии АТФ. Во время сокращения мышечных волокон в 1 с происходит примерно от 5 до 50 циклов прикрепления-отсоединения поперечных мостиков. При этом никаких колебаний силы в целой мышце не ощущается, так как ДЕ работают асинхронно. Лишь при утомлении возникает синхронная работа ДЕ, и в мышцах появляется дрожь ***(тремор утомления).***

5.5. РЕЖИМЫ РАБОТЫ МЫШЦЫ

Механическая работа (A), совершаемая мышцей, измеряется произведением поднимаемого веса (P) на расстояние (h): $A = P \times h$ (кгм). При регистрации работы изолированной мышцы лягушки видно, что чем больше величина груза, тем меньше высота, на которую его поднимает мышца. ***Различают три режима работы мышцы: изотонический, изометрический и ауксотонический.***

Изотонический режим (режим постоянного тонуса мышцы) наблюдается при отсутствии нагрузки на мышцу, когда мышца закреплена с одного конца и свободно сокращается. Напряжение в ней при этом не изменяется. Это происходит при раздражении изолированной мышцы лягушки, закрепленной одним концом на штативе. Так как при этих условиях $P = 0$, то механическая работа мышцы также равна нулю ($A = 0$). В таком режиме работает в организме человека только одна мышца – мышца языка. (В современной литературе также встречается термин изотонический режим по отношению к такому сокращению мышцы с нагрузкой, при котором по мере изменения длины мышцы напряжение ее сохраняется неизменным, но в этом случае механическая работа мышцы не равна нулю, т.е. она совершает внешнюю работу.)

Изометрический режим (режим постоянной длины мышцы) характеризуется напряжением мышцы в условиях, когда она закреплена с обоих концов или когда мышца не может поднять слишком большой груз. При этом $h = 0$ и соответственно механическая работа тоже равна нулю ($A = 0$). Этот режим наблюдается при сохранении заданной позы и при выполнении ***статической работы.*** В этом случае в мышечном волокне все равно происходят процессы возникновения и разрушения мостиков между актином и миозином, т.е. тратится энергия на эти процессы, но отсутствует механическая реакция перемещения нитей актина вдоль миозина. Физиологическая характеристика такой работы заключается в оценке величины нагрузки и длительности работы.

Ауксотонический режим (смешанный режим) характеризуется изменением длины и тонуса мышцы, при сокращении которой происходит перемещение груза. В этом случае совершается механическая работа мышцы ($A = P \times h$). Такой режим проявляется при выполнении ***динамической работы*** мышц даже при

отсутствии внешнего груза, так как мышцы преодолевают силу тяжести, действующую на тело человека. ***Различают две разновидности этого режима работы мышц: преодолевающий*** (концентрический) и ***уступающий*** (эксцентрический) ***режим.***

Изучение работы мышцы с различными нагрузками и в разном темпе позволило вывести закон средних нагрузок и среднего темпа движений: ***максимальную механическую работу мышца совершает при средних нагрузках и среднем темпе движений.*** При высоких скоростях сокращения мышцы часть ее энергии тратится на преодоление сопротивления (растущего внутреннего трения и вязкости мышцы), а при низких скоростях – на поддержание изометрического напряжения, которое также присутствует в этом случае для закрепления достигнутой длины мышцы в каждый данный момент времени.

Работу, производимую мышцами человека, изучают, используя различные методики ее регистрации – эргографию, велоэргометрию и др. В эргографии (*греч.* эргон – «работа», графо – «писать») регистрируется амплитуда подъема различных грузов, подвешенных через блок. Вычисляя по эргограмме величину работы как произведение груза на амплитуду его подъема ($A = P \times h$), И.М. Сеченов описал в 1905 г. явление активного отдыха. Оказалось, что пассивный отдых правой руки после ее утомления дает меньшее увеличение ее работоспособности, чем после работы (во время ее отдыха) левой руки.

5.6. ЭНЕРГЕТИКА МЫШЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ

При работе ***мышц химическая энергия превращается в механическую,*** т.е. мышца является химическим двигателем, а не тепловым. ***Для процессов сокращения и расслабления мышц*** потребляется энергия АТФ. Расщепление АТФ с отсоединением одной молекулы фосфата и образованием аденозиндифосфата (АДФ) сопровождается выделением 10 ккал энергии на 1 моль: АТФ = АДФ + Ф + Эн. Однако запасы АТФ в мышцах невелики (около 5 ммоль/л). Их хватает лишь на 1–2 секунды работы. Количество АТФ в мышцах не может изменяться, так как при отсутствии АТФ в мышцах развивается контрактура (не работает кальциевый насос и мышцы не в состоянии расслабляться), а при избытке – теряется эластичность.

Для продолжения работы ***требуется постоянное восполнение запасов АТФ.*** Восстановление АТФ происходит в анаэроб-

ных условиях – за счет распада креатинфосфата (КрФ) и глюкозы (реакции гликолиза) – и в аэробных условиях – за счет реакций окисления жиров и углеводов. Энергосистемы, используемые в качестве источников энергии, обозначают как фосфагенная энергетическая система (или система АТФ–КрФ), гликолитическая (или лактацидная) система и окислительная (или кислородная) система.

Быстрое восстановление **АТФ *происходит в тысячные доли секунды за счет распада КрФ:*** АДФ + КрФ = АТФ+ + Кр. Наибольшей эффективности этот путь энергообразования достигает к 5–6-й секунде работы, но затем запасы КрФ исчерпываются, так как их также немного (около 30 ммоль/л).

Медленное восстановление АТФ ***в анаэробных условиях обеспечивается энергией расщепления глюкозы (выделяемой из гликогена) – реакцией гликолиза*** с образованием в конечном итоге молочной кислоты (лактата) и восстановлением трех молекул АТФ. Эта реакция достигает наибольшей мощности к концу 1-й минуты работы. Особое значение этот путь энергообразования имеет при высокой мощности работы, которая продолжается от 20 с до 1–2 мин (например, при беге на средние дистанции), а также при резком увеличении мощности более длительной и менее напряженной работы (спурты и финишные ускорения при беге на длинные дистанции) и при недостатке кислорода во время выполнения статической работы. Ограничение использования углеводов связано не с уменьшением запасов гликогена (глюкозы) в мышцах и в печени, а с угнетением реакции гликолиза избытком накопившейся в мышцах молочной кислоты.

Реакции окисления ***обеспечивают энергией работу мышц в условиях достаточного поступления в организм кислорода, т.е. при аэробной работе*** длительностью более 2–3 мин. Доставка кислорода достигает необходимого уровня после достаточного развертывания функций кислородтранспортных систем организма (дыхательной, сердечно-сосудистой систем и системы крови). Важным показателем мощности аэробных процессов является ***предельная величина поступления в организм кислорода за 1 мин*** – максимальное потребление кислорода (МПК). Эта величина зависит от индивидуальных возможностей каждого человека. У нетренированных лиц в 1 мин поступает к работающим мышцам около 2,5–3 л O_2, а у высококвалифицированных спортсменов (лыжников, пловцов, бегунов-стайеров и др.) достигает 5–6 л и даже 7 л в 1 мин.

При значительной мощности работы и огромной потребности при этом в кислороде основным субстратом окисления в большинстве спортивных упражнений являются ***углеводы,*** так как для их окисления требуется гораздо меньше кислорода, чем при окислении жиров. При использовании одной молекулы глюкозы ($C_6H_{12}O_6$), полученной из гликогена, образуется 38 молекул АТФ, т.е. аэробный путь энергообразования обеспечивает при том же расходе углеводов во много раз больше продукции АТФ, чем анаэробный путь. Молочная кислота в этих реакциях не накапливается, а промежуточный продукт пировиноградная кислота сразу окисляется до конечных продуктов – CO_2 и H_2O.

В качестве источника энергии ***жиры*** используются в состоянии двигательного покоя, при любой работе сравнительно невысокой мощности (требующей до 50% МПК) и при очень длительной работе на выносливость (требующей около 70–80% МПК). Среди всех источников энергии ***жиры обладают наибольшей энергетической емкостью:*** при расходовании 1 моля АТФ выделяется около 10 ккал энергии, 1 моля КрФ – около 10,5 ккал, 1 моля глюкозы при анаэробном расщеплении – около 50 ккал, при окислении 1 моля глюкозы – около 700 ккал, при окислении 1 моля жиров – 2400 ккал (Коц Я.М., 1982). Однако использование жиров при работе высокой мощности лимитируется трудностью доставки кислорода работающим тканям.

Работа мышц сопровождается выделением тепла. ***Теплообразование*** происходит в момент сокращения мышц – ***начальное теплообразование*** (оно составляет всего одну тысячную всех энерготрат) и в период восстановления – ***запаздывающее теплообразование.***

В обычных условиях при работе мышц тепловые потери составляют около 80% всех энерготрат. ***Для оценки эффективности механической работы мышцы используют вычисление*** коэффициента полезного действия (КПД). ***Величина КПД*** показывает, какая часть затрачиваемой энергии используется на выполнение механической работы мышцы.

Ее вычисляют по формуле:

$$\text{КПД} = [A : (E - e)] \times 100\%,$$

где A – энергия, затраченная на полезную работу; E – общий расход энергии; e – расход энергии в состоянии покоя за время, равное длительности работы.

У нетренированного человека КПД примерно 20%, у спортсмена – 30–35%. При ходьбе наибольший КПД отмечается при скорости 3,6–4,8 км/ч, при педалировании на велоэргометре – при длительности цикла около 1 с. С увеличением мощности работы и включением «ненужных» мышц КПД уменьшается. При статической работе, поскольку $A = 0$, эффективность работы оценивается по длительности поддерживаемого напряжения мышц.

6. ПРОИЗВОЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ

Двигательная деятельность человека является основной формой его поведения во внешней среде. При этом следует указать, что не только физическая работа, но и разнообразные виды умственного труда в конечном итоге проявляются двигательной активностью. И.М. Сеченов (1863) по этому поводу писал, что «...все бесконечное разнообразие внешних проявлений мозговой деятельности сводится окончательно к одному лишь явлению – мышечному движению».

6.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЙ

Выполнение двигательных актов осуществляется обширным комплексом нейронов, расположенных в различных отделах ЦНС. Такая функциональная система управления движениями является ***многоэтажной и многоуровневой.***

6.1.1. Общая схема управления движениями

Решающий фактор поведения – это полезный результат. Для его достижения в нервной системе формируется группа взаимосвязанных нейронов – функциональная система (Анохин П.К., 1975). Деятельность ее включает следующие процессы: 1) обработка всех сигналов, поступающих из внешней и внутренней среды организма – так называемый ***афферентный синтез;*** 2) ***принятие решения*** о цели и задачах действия; 3) создание представления об ***ожидаемом результате*** и формирование конкретной *программы* ***движений;*** 4) анализ полученного результата и внесение в программу поправок – ***сенсорных коррекций.***

В процессах афферентного синтеза участвуют глубокие внутренние процессы – побуждение к действию (мотивация) ***и его замысел, извлекаются из*** памяти ***моторные следы (навыки) и выученные тактические комбинации.*** У человека на их основе создается определенный план и конкретная программа движения. Эти процессы отражаются в изменениях электрической активности мозга – «волна ожидания», изменения огибающей амплитуды ЭЭГ, усиление взаимосвязанности корковых нейронов, местные потенциалы готовности и другие феномены, связанные с повышением возбудимости корковых нейронов и созданием рабочей системы мозга. ***Выраженность этих феноменов отражает степень заинтересованности человека в реакции, скорость и силу ответных сокращений мышц.*** На уровне спинного мозга ***процессы преднастройки*** отражаются повышением возбудимости спинальных мотонейронов, в мышцах – повышением чувствительности проприорецепторов скелетных мышц. Сенсорная информация о результате выполнения движения, получаемая по каналам обратной связи, используется нервными центрами для уточнения временных, пространственных и силовых характеристик двигательных актов, внесения поправок в команды – так называемых ***сенсорных коррекций*** (Бернштейн Н.А., 1966; Прибрам К., 1975).

6.1.2. Рефлекторное кольцевое регулирование и программное управление движениями

В двигательной деятельности человека различают произвольные движения – сознательно управляемые целенаправленные действия, и непроизвольные движения, происходящие без участия сознания и представляющие собой либо безусловные реакции, либо автоматизированные двигательные навыки. ***В основе управления произвольными движениями человека лежат два различных физиологических механизма: 1) рефлекторное кольцевое регулирование и 2) программное управление по механизму центральных команд.***

Замкнутая система рефлекторного кольцевого регулирования ***характерна для осуществления различных форм двигательных действий и позных реакций, не требующих быстрого двигательного акта.*** Это позволяет нервным центрам получать информацию о состоянии мышц и результатах их действий по различным афферентным путям и вносить поправки в моторные команды по ходу действия.

Программное управление ***по механизму центральных команд – это механизм регуляции движений, независимый от афферентных проприоцептивных влияний.*** Такое управление используется ***в случае выполнения кратковременных движений*** (прыжков, бросков, ударов, метаний), когда организм не успевает использовать информацию от проприорецепторов мышц и других рецепторов. ***Вся программа должна быть готова еще до начала двигательного акта.*** При этом отсутствует замкнутое кольцо регуляции. Управление производится по так называемой ***открытой петле,*** а активность во многих произвольно сокращающихся мышцах возникает раньше, чем регистрируется обратная афферентная импульсация. Например, при выполнении прыжковых движений электрическая активность в мышцах, направленная на амортизацию удара, возникает раньше, чем происходит соприкосновение с опорой, т.е. она носит предупредительный характер.

Такие центральные программы создаются согласно сформированному в мозге (главным образом – в ассоциативной переднелобной области коры) ***образу двигательного действия и цели движения.*** В дальнейшей конкретной разработке моторной программы принимают участие мозжечок (латеральная область его коры) и базальные ядра (полосатое тело и бледное ядро). Информация от них поступает через таламус в моторную и премоторную области коры и далее – к исполнительным центрам спинного мозга и скелетным мышцам.

Механизм кольцевого регулирования является более древним филогенетически и возникает раньше в процессе индивидуального развития. Примерно к трем годам достаточное развитие получают ***зрительные обратные связи,*** осуществляющие текущий зрительно-моторный контроль, а с 5–6 лет происходит переход к текущему контролю движений с участием ***проприоцептивных обратных связей.*** Этот механизм достигает значительного совершенства к 7–9-летнему возрасту, после чего начинается переход к формированию ***механизма центральных команд.*** К 10–11 годам повышение скорости произвольных движений обеспечивается достаточным развитием процессов предварительного программирования их пространственных и временных параметров. С этого возраста представлены оба механизма управления произвольными движениями, дальнейшее совершенствование которых продолжается вплоть до 17–19 лет.

6.1.3. Три основных функциональных блока мозга

Среди многоэтажных систем нервных центров обобщенно можно выделить ***три основных функциональных блока*** (Лурия А.Р., 1973):

1) блок регуляции тонуса, уровня бодрствования;

2) блок приема, переработки и хранения информации;

3) блок программирования, регуляции и контроля двигательной деятельности.

К первому функциональному блоку относятся неспецифические отделы нервной системы, в частности ретикулярная формация ствола мозга, которые ***модулируют функциональное состояние вышележащих и нижележащих отделов,*** вызывая состояния сна, бодрствования, повышенной активности, увеличивая или уменьшая мощность двигательных реакций.

Второй функциональный блок расположен в задних отделах полушарий и включает в свой состав зрительные (затылочные), слуховые (височные), общечувствительные (теменные) области коры и соответствующие подкорковые структуры. Первичные (проекционные) корковые поля этого блока обеспечивают процессы ощущения, а вторичные поля – процессы восприятия, опознания информации. Высший отдел этого блока – третичные (ассоциативные нижнетеменные) поля, которые осуществляют ***сложные формы афферентного синтеза,*** создавая интегральный образ внешнего мира и обобщая сигналы, приходящие от левой и правой половины тела. Они формируют представления о «схеме тела» и «схеме пространства», ***обеспечивая пространственную ориентацию движений.***

Третий функциональный блок расположен в передних отделах больших полушарий. В его состав входят первичные (моторные) и вторичные (премоторные) поля, а высшим отделом являются ассоциативные переднелобные (или префронтальные) области (передние третичные поля). Этот блок с участием речевых функций выполняет универсальную реакцию ***общей регуляции поведения, формируя намерения и планы, программы произвольных движений и контроль за их выполнением.***

6.2. РОЛЬ РАЗЛИЧНЫХ ОТДЕЛОВ ЦНС В РЕГУЛЯЦИИ ПОЗНО-ТОНИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

Мышечная деятельность включает в себя процессы осуществления двигательных актов и процессы поддержания позы тела. Эти процессы регулируются различными отделами ЦНС.

6.2.1. Роль спинного мозга

Мышечный тонус является по своей природе рефлекторным актом. Для его возникновения достаточна рефлекторная деятельность спинного мозга. При длительном растяжении мышц в поле силы тяжести возникает постоянное раздражение их проприорецепторов, потоки импульсов от которых проходят по толстым афферентным волокнам в спинной мозг, где передаются непосредственно (без участия вставочных нейронов) на альфа-мотонейроны передних рогов и вызывают тоническое напряжение мышц. Такие двухнейронные (или моносинаптические) рефлекторные дуги лежат в основе тонических сухожильных (с рецепторов сухожилий) и миотатических рефлексов на растяжение (с рецепторов мышечных веретен). Это рефлексы активного противодействия мышцы ее растяжению. В произвольной двигательной деятельности человека иногда требуется подавление этих рефлексов, например при выполнении шпагата.

Степень тонического напряжения мышцы зависит от частоты импульсов, посылаемых к ней альфа-мотонейронами. Однако потоки этих импульсов могут регулироваться вышележащими этажами нервной системы, в частности, неспецифическими отделами ствола мозга с помощью так называемой гамма-регуляции. Разряды гамма-мотонейронов спинного мозга под влиянием ретикулярной формации повышают чувствительность рецепторов мышечных веретен. В результате при той же длине мышцы увеличивается поток импульсов от рецепторов к альфа-мотонейронам и далее к мышце, повышая ее тонус.

6.2.2. Роль коры головного мозга, мозжечка и ствола мозга

В регуляции тонуса участвуют также медленная часть пирамидной системы и различные структуры экстрапирамидной системы (подкорковые ядра, красные ядра и черная субстанция среднего мозга, мозжечок, ретикулярная формация ствола мозга, вестибулярные ядра продолговатого мозга).

Неспецифическая система вызывает ***общее изменение тонуса различных мышц:*** усиление тонуса осуществляет активирующий отдел ретикулярной формации среднего мозга, а угнетение – тормозящий отдел продолговатого мозга. В отличие от нее ***специфическая система (моторные центры коры больших полушарий и ствола мозга) действует избирательно,*** т.е. на отдельные группы мышц-сгибателей или разгибателей. Усиление тонуса мышц-сгибателей вызывают корковые влияния, передающиеся непосредственно к нейронам спинного мозга по корково-спинномозговой (пирамидной) системе, а также через красные ядра (по корково-красноядерно-спинномозговой системе) и частично через ретикулярную формацию (по ретикуло-спинномозговой системе). В противоположность им, влияния, передающиеся через вестибулярные ядра продолговатого мозга к вставочным и двигательным нейронам передних рогов спинного мозга (по вестибуло-спинномозговым путям), вызывают тоническое повышение возбудимости мотонейронов мышц-разгибателей, что обеспечивает повышение тонуса этих мышц.

Мозжечок формирует правильное распределение тонуса скелетных мышц: через красные ядра среднего мозга он повышает тонус мышц-сгибателей, а через вестибулярные ядра продолговатого мозга – усиливает тонус мышц-разгибателей. В поддержании позы и равновесия тела, регуляции тонуса мышц основное значение имеет медиальная продольная зона мозжечка – кора червя. При мозжечковых расстройствах падает тоническое напряжение мышц ***(атония)*** и вследствие ненормального распределения тонуса мышц конечностей возникает нарушение походки ***(атаксия).***

Бледное ядро угнетает тонус мышц, а ***полосатое тело*** снижает его угнетающее действие.

Высший контроль тонической активности мышц осуществляет кора больших полушарий, в частности ее моторные, премоторные и лобные области. С ее участием происходит выбор наиболее целесообразной для данного момента позы тела, обеспечивается ее соответствие двигательной задаче. Непосредственное отношение к регуляции тонуса мышц имеют медленные пирамидные нейроны положения. Корковые влияния на тонические реакции мышц передаются через медленную часть пирамидного тракта и через экстрапирамидную систему.

6.2.3. Рефлексы поддержания позы (установочные)

Специальная группа рефлексов способствует сохранению позы – это так называемые установочные рефлексы. К ним относятся ***статические и статокинетические рефлексы,*** в осуществлении которых большое значение имеют продолговатый и средний мозг.

Статические рефлексы ***возникают при изменении положения тела или его частей в пространстве:*** 1) при изменениях положения головы в пространстве – ***лабиринтные рефлексы,*** возникающие при раздражении рецепторов вестибулярного аппарата; 2) ***шейные рефлексы*** – возникающие с проприорецепторов мышц шеи при изменении положения головы по отношению к туловищу; 3) ***выпрямительные рефлексы*** – с рецепторов кожи, вестибулярного аппарата и сетчатки глаза. Например, при отклонении головы назад повышается тонус мышц-разгибателей спины, а при наклоне вперед – тонус мышц-сгибателей (лабиринтный рефлекс). С помощью выпрямительного рефлекса происходят последовательные сокращения мышц шеи и туловища, а затем и конечностей. Этот рефлекс обеспечивает вертикальное положение тела теменем кверху. У человека он проявляется, например, при нырянии.

Статокинетические рефлексы ***компенсируют отклонения тела при ускорении или замедлении прямолинейного движения*** (лифтный рефлекс), ***а также при вращениях*** (отклонения головы, тела и глаз в сторону, противоположную движению). Перемещение глаз со скоростью вращения тела, но в противоположную сторону, и быстрое их возвращение в исходное положение – нистагм глаз – обеспечивает сохранение изображения внешнего мира на сетчатке глаз и тем самым зрительную ориентацию.

6.3. РОЛЬ РАЗЛИЧНЫХ ОТДЕЛОВ ЦНС В РЕГУЛЯЦИИ ДВИЖЕНИЙ

Спинной мозг обеспечивает протекание многих элементарных двигательных рефлексов, включение которых в сложные двигательные акты и регуляция по мощности, пространственной ориентации и моменту включения осуществляется вышележащими отделами головного мозга под контролем коры больших полушарий.

6.3.1. Роль спинного мозга и подкорковых отделов ЦНС в регуляции движений

Спинной мозг осуществляет ряд элементарных двигательных рефлексов: ***рефлексы на растяжение*** (миотатические и сухожильные рефлексы, например коленный рефлекс), ***кожные сгибательные рефлексы*** (например защитный рефлекс отдергивания конечности при уколах, ожогах), ***разгибательные рефлексы*** (рефлекс отталкивания от опоры, лежащий в основе стояния, ходьбы, бега), ***перекрестные рефлексы и др.***

Элементарные двигательные рефлексы включаются в более сложные двигательные акты – регуляцию деятельности мышц-антагонистов, ритмических и шагательных рефлексов, лежащих в основе локомоций и других движений.

Для сгибательного движения в суставе необходимо не только сокращение мышц-сгибателей, но и одновременное расслабление мышц-разгибателей. При этом в мотонейронах мышц-сгибателей возникает процесс возбуждения, а в мотонейронах мышц-разгибателей – торможение. При разгибании сустава, наоборот, тормозятся центры сгибателей и возбуждаются центры разгибателей. Такие координационные взаимоотношения между спинальными моторными центрами названы реципрокной (взаимосочетанной) иннервацией мышц-антагонистов. Однако реципрокные отношения между центрами мышц-антагонистов в необходимых ситуациях (например, при фиксации суставов, при точностных движениях) могут сменяться одновременным их возбуждением.

Составной частью различных сложных двигательных действий, как произвольных, так и непроизвольных, часто являются ритмические рефлексы. Это одна из форм древних и относительно простых рефлексов. Они особенно выражены при выполнении циклической работы, включаются в шагательные рефлексы. Основные механизмы шагательных движений заложены в спинном мозге. Специальные нейроны ***(спинальные локомоторные генераторы)*** и многочисленные взаимосвязи внутри спинного мозга обеспечивают последовательную активность различных мышц конечностей, согласование ритма и фаз движений, приспособление движений к нагрузке на мышцы. В среднем мозгу расположены ***нейроны «локомоторной области»,*** которые включают этот механизм и регулируют мощность работы мышц, ***обеспечивая примитивную форму локомоции – без ориентации в пространстве.***

Нейроны *промежуточной продольной зоны коры мозжечка* согласуют позные реакции с движениями. Они выполняют также точные расчеты по ходу движений, необходимые для коррекции ошибок и ***адаптации моторных программ к текущей ситуации.*** Программирование каждого последующего шага осуществляется ими на основе анализа предыдущего. Кроме того, производится согласование движений рук и ног, и особенно – регуляция активности мышц-разгибателей, обеспечивающих опорную фазу движения. Значение мозжечка в четком ***поддержании темпа ритмических движений*** объясняют геометрически правильным чередованием рядов эфферентных клеток Пуркинье и походящих к ним афферентных волокон.

К управлению ритмическими движениями непосредственное отношение имеют ***активирующие и угнетающие отделы ретикулярной формации,*** влияющие на силу и темп сокращения мышц, а также ***подкорковые ядра,*** которые организуют автоматическое их протекание и содружественные движения конечностей. Включение ***древних форм ритмических движений (циклоидных)*** в акт письма позволяет человеку перейти от отдельного начертания букв к обычной письменной скорописи. То же самое происходит при освоении акта ходьбы – с переходом от отдельных шагов к ритмической походке. ***Плавность ритмических движений,*** четкое чередование реципрокных сокращений мышц обеспечивают ***премоторные отделы коры.***

6.3.2. Роль различных отделов коры больших полушарий

Функцией комплекса различных корковых областей является определение целесообразности локомоций, их смысла, ориентации в пространстве, перестройка программ движений в различных ситуациях, включение ритмических движений как составного элемента в сложные акты поведения. Об участии различных корковых областей в регуляции циклических движений можно судить по появлению в их электрической активности медленных потенциалов в темпе движения – «меченых ритмов» ЭЭГ, а при редких движениях – по изменениям огибающей амплитуду ЭЭГ кривой.

В организации двигательных актов участвуют практически все отделы коры больших полушарий. Моторная область коры (прецентральная извилина) ***посылает импульсы к отдельным мышцам,*** преимущественно к дистальным мышцам конечностей. Объединение отдельных элементов движения

в целостный акт («кинетическую мелодию») осуществляют вторичные поля премоторной области. Они определяют ***последовательность двигательных актов,*** формируют ритмические серии движений, регулируют тонус мышц. Постцентральная извилина коры представляет собой общечувствительное поле, которое обеспечивает ***субъективное ощущение движений.*** Нижнетеменные области коры (задние третичные поля) формируют представления о взаимном расположении различных частей тела и положении тела в пространстве, обеспечивают точную адресацию моторных команд к отдельным мышцам и пространственную ориентацию движений. Области коры, относящиеся к лимбической системе (нижние и внутренние части коры), ответственны ***за эмоциональную окраску движений*** и управление вегетативными их компонентами.

В высшей регуляции произвольных движений важнейшая роль принадлежит переднелобным областям (передним третичным полям). Здесь помимо обычных вертикальных колонок нейронов существует ***принципиально новый тип функциональной единицы – в форме замкнутого нейронного кольца.*** Циркуляция импульсов в этой замкнутой системе обеспечивает кратковременную память. Она сохраняет в коре возбуждение между временем прихода сенсорных сигналов и формированием ответной эфферентной команды. Такой механизм служит основой сенсомоторной интеграции при программировании движений, при осуществлении зрительно-двигательных реакций.

Функцией переднелобной (третичной) области коры является сознательная оценка текущей ситуации и предвидение возможного будущего, выработка цели и задачи поведения, программирование произвольных движений, их контроль и коррекция. Соответствие выполняемых действий поставленным задачам придает движениям человека определенную целесообразность и осмысленность. При поражении лобных долей движения человека становятся бессмысленными.

6.3.3. Речевая регуляция движений

Спецификой регуляции движений у человека является то, что они подчинены речевым воздействиям, т.е. могут программироваться лобными долями в ответ на поступающие извне словесные сигналы, а также благодаря участию внешней или внутренней речи (мышления) самого человека. В этой функции принимают участие расположенные в левом полушарии человека

сенсорный центр речи Вернике и моторный центр речи – центр Брока. Считают, что афферентная импульсация от речевой мускулатуры является важным ориентиром, дополняющим проприоцептивные сигналы от работающих мышц, а ***формирующиеся на речевой основе избирательные связи в коре облегчают составление моторных программ.***

Эта управляющая система еще не развита у ребенка 2–3 лет. Она появляется лишь к 3–4 годам. Внешняя речь, сменяясь постепенно шепотом и переходя затем во внутреннюю речь, становится важным регулятором моторных действий взрослого человека.

6.4. НИСХОДЯЩИЕ МОТОРНЫЕ СИСТЕМЫ

Высшие отделы головного мозга осуществляют свои влияния на деятельность нижележащих отделов, в том числе спинного мозга, через нисходящие пути, которые группируют обычно в ***две основные нисходящие системы – пирамидную и экстрапирамидную.***

В настоящее время предлагают подразделять основные нисходящие пути, исходя из расположения нервных окончаний в спинном мозге и функциональных различий, на следующие две системы: более молодую латеральную, волокна которой оканчиваются в боковых (латеральных) частях спинного мозга и связанную преимущественно **с *мускулатурой дистальных звеньев конечностей*** (сюда относят корково-спинномозговую и красноядерно-спинномозговую системы), и древнюю медиальную, волокна которой оканчиваются во внутренних (медиальных) частях белого вещества, связанную главным образом с ***мускулатурой туловища и проксимальных звеньев конечностей,*** состоящую из вестибуло-спинномозговой и ретикуло-спинномозговой систем.

Пирамидная система ***выполняет три основные функции:***

• посылает мотонейронам спинного мозга импульсы – ***команды к движениям (пусковые влияния);***

• изменяет проведение нервных импульсов ***во вставочных спинальных нейронах,*** облегчая протекание нужных в данный момент спинномозговых рефлексов;

• осуществляет ***контроль за потоками афферентных сигналов*** в нервные центры, выключая постороннюю информацию и обеспечивая обратные связи от работающих мышц.

Волокна пирамидной системы вызывают преимущественно возбуждение мотонейронов мышц-сгибателей, особенно влияя на отдельные мышцы и даже части мышц верхних конечностей, в частности на мышцы пальцев рук.

Экстрапирамидная система ***оказывает обобщенные воздействия на позно-тонические реакции организма*** от коры, мозжечка, промежуточного мозга и подкорковых ядер. Влияния этой системы передаются через корково-красноядерно-спинномозговой путь, составляющий функционально единое целое с «медленной» подсистемой пирамидного тракта, и через более древнюю медиальную систему (вестибуло-спинномозговую и ретикуло-спинномозговую системы).

Таким образом, среди нисходящих моторных систем, осуществляющих функцию контроля активности мотонейронов спинного мозга, можно выделить ***одну часть, которая обусловливает фазную двигательную деятельность – это «быстрая» подсистема пирамидного тракта, и другую часть – остальные нисходящие системы, которые обеспечивают регуляцию тонуса мышц и позных реакций организма.*** Из этих систем ***три системы обеспечивают повышение возбудимости мотонейронов мышц-сгибателей*** (корково-спинномозговая, корково-красноядерно-спинномозговая и корково-ретикуло-спинномозговая), ***а одна система*** (вестибуло-спинномозговая) – ***тормозит эти мотонейроны*** (рис. 15).

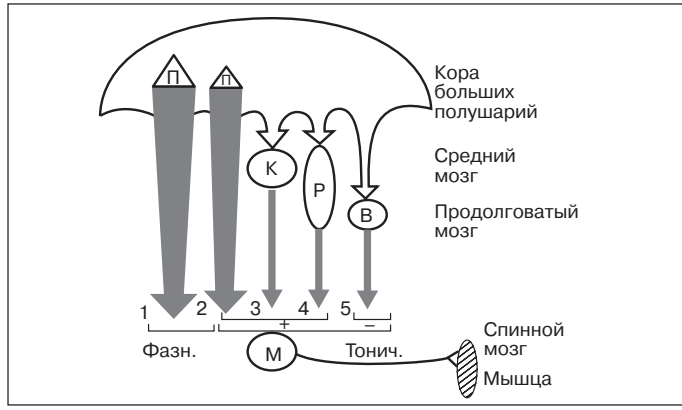


Рис. 15. Схема основных нисходящих путей регуляции двигательной деятельности:
1 – быстрая подсистема и 2 – медленная подсистема корково-спинномозгового пути (пирамидного тракта); 3 – корково-красноядерно-спинномозговой путь. Латеральная система – 1, 2, 3. Медиальная система – 4, 5. М – мотонейрон спинного мозга, получающий фазные (Фазн.) и тонические (Тонич.) возбуждающие (+) и тормозящие (–) влияния; П – пирамидная система; К – красная ядра; Р – ретикулярная система; В – вестибулярные ядра

7. СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ

Сложные акты поведения человека во внешней среде требуют постоянного анализа окружающего мира, а также осведомленности нервных центров о состоянии внутренних органов. Специальные нервные аппараты, служащие для анализа внешних и внутренних раздражений, И.П. Павлов назвал анализаторами. Современное представление об анализаторах как сложных многоуровневых системах, передающих информацию от рецепторов к коре и включающих регулирующие влияния коры на рецепторы и нижележащие центры, привело к появлению более общего понятия – сенсорные системы.

7.1. ОБЩИЙ ПЛАН ОРГАНИЗАЦИИ И ФУНКЦИИ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

В составе сенсорной системы различают три отдела: 1) периферический, состоящий из рецепторов, воспринимающих определенные сигналы, и специальных образований, способствующих работе рецепторов (эта часть представляет собой органы чувств – глаз, ухо и др.); 2) проводниковый, включающий проводящие пути и подкорковые нервные центры; 3) корковый – области коры больших полушарий, которым адресуется данная информация.

Нервный путь, связывающий рецептор с корковыми клетками, обычно состоит из четырех нейронов: ***первый чувствительный нейрон*** расположен вне ЦНС – в спинномозговых узлах или узлах черепномозговых нервов (спиральном узле улитки, вестибулярном узле и др.); ***второй нейрон*** находится в спинном, продолговатом или среднем мозге; ***третий нейрон*** – в релейных (переключательных) ядрах таламуса (промежуточный мозг); ***четвертый нейрон*** представляет собой корковую клетку проекционной зоны коры больших полушарий.

Основные функции сенсорных систем:

• ***сбор и обработка информации*** о внешней и внутренней среде организма;

• ***осуществление обратных связей,*** информирующих нервные центры о результатах деятельности;

• ***поддержание нормального уровня (тонуса) функционального состояния мозга.***

Разложение сложностей внешнего и внутреннего мира на отдельные элементы и их анализ И.П. Павлов считал основной

функцией сенсорных систем (анализаторов). Помимо ***первичного сбора информации*** важной функцией сенсорных систем является также осуществление ***обратных связей*** о результатах деятельности организма. Для уточнения и совершенствования различных действий человека, в первую очередь двигательных, ЦНС должна получать информацию о силе и длительности выполняемых сокращений мышцами, о скорости и точности перемещений тела или рабочих снарядов, об изменениях темпа движений, о степени достижения поставленной цели и т.п. Без этой информации невозможно формирование и совершенствование двигательных навыков, в том числе спортивных, затруднено совершенствование техники выполняемых упражнений.

Наконец, сенсорные системы вносят свой ***вклад в регуляцию функционального состояния организма.*** Импульсация, идущая от различных рецепторов в кору больших полушарий как по специфическим, так и по неспецифическим путям, является существенным условием поддержания нормального уровня ее функционального состояния. Искусственное выключение органов чувств в специальных экспериментах на животных приводило к резкому снижению тонуса коры и засыпанию. Такое животное просыпалось лишь во время кормления и при позывах к мочеиспусканию или опорожнению кишечника.

7.2. КЛАССИФИКАЦИЯ И МЕХАНИЗМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ РЕЦЕПТОРОВ

Рецепторами ***называются специальные образования, трансформирующие (преобразующие) энергию внешнего раздражения в специфическую энергию нервного импульса.***

Все рецепторы ***по характеру воспринимаемой среды*** делятся на экстерорецепторы, принимающие раздражения из внешней среды (рецепторы органов слуха, зрения, обоняния, вкуса, осязания), интерорецепторы, реагирующие на раздражения из внутренних органов, и проприорецепторы, воспринимающие раздражения из двигательного аппарата (мышц, сухожилий, суставных сумок).

По виду воспринимаемых раздражений различают хеморецепторы (рецепторы вкусовой и обонятельной сенсорных систем, хеморецепторы сосудов и внутренних органов); механорецепторы (проприорецепторы двигательной сенсорной системы, барорецепторы сосудов, рецепторы слуховой, вестибу-

лярной, тактильной и болевой сенсорных систем); фоторецепторы (рецепторы зрительной сенсорной системы) и терморецепторы (рецепторы температурной сенсорной системы кожи и внутренних органов).

По характеру связи с раздражителем различают дистантные рецепторы, реагирующие на сигналы от удаленных источников и обусловливающие предупредительные реакции организма (зрительные и слуховые), и контактные, принимающие непосредственные воздействия (тактильные и др.).

По структурным особенностям различают первичные и вторичные рецепторы. ***Первичные рецепторы*** – это окончания чувствительных биполярных клеток, тело которых находится вне ЦНС, один отросток подходит к воспринимающей раздражение поверхности, а другой направляется в ЦНС (например, проприорецепторы, терморецепторы, обонятельные клетки). ***Вторичные рецепторы*** представлены специализированными рецепторными клетками, которые расположены между чувствительным нейроном и точкой приложения раздражителя (например, фоторецепторы глаза).

В первичных рецепторах энергия внешнего раздражителя непосредственно преобразуется в нервный импульс в одной и той же клетке. В периферическом окончании чувствительных клеток при действии раздражителя возникает повышение проницаемости мембраны и ее деполяризация, возникает местное возбуждение – рецепторный потенциал, который, достигнув пороговой величины, обусловливает появление потенциала действия, распространяемого по нервному волокну к нервным центрам.

Во вторичных рецепторах раздражитель вызывает появление рецепторного потенциала в клетке-рецепторе. Ее возбуждение приводит к выделению медиатора в пресинаптической части контакта клетки-рецептора с волокном чувствительного нейрона. Местное возбуждение этого волокна отражается появлением возбуждающего постсинаптического потенциала или так называемого генераторного потенциала. При достижении порога возбудимости в волокне чувствительного нейрона возникает потенциал действия, несущий информацию в ЦНС. Таким образом, ***во вторичных рецепторах одна клетка преобразует энергию внешнего раздражителя в рецепторный потенциал, а другая – в генераторный потенциал и потенциал действия.***

7.3. СВОЙСТВА РЕЦЕПТОРОВ

Главным свойством рецепторов является их избирательная ***чувствительность к адекватным раздражителям.*** Большинство рецепторов настроено на восприятие ***одного вида*** (модальности) раздражителя – света, звука и т.п. К таким специфическим для них раздражителям чувствительность рецепторов чрезвычайно высока. ***Возбудимость рецептора измеряется минимальной величиной энергии адекватного раздражителя, которая необходима для возникновения возбуждения, т.е.*** порогом возбуждения.

Другим свойством рецепторов является очень низкая величина порогов ***для адекватных раздражителей.*** Например, в зрительной сенсорной системе возбуждение фоторецепторов может возникнуть при действии световой энергии, которая необходима для нагревания 1 мл воды на 1°С в течение 60 тыс. лет. Возбуждение рецепторов может возникать и при действии неадекватных раздражителей (например, ощущение света в зрительной системе при механических и электрических раздражениях). Однако в этом случае пороги возбуждения оказываются значительно более высокими.

Различают абсолютные и разностные (дифференциальные) пороги. Абсолютные пороги измеряются минимально ощущаемой величиной раздражителя. Дифференциальные пороги представляют собой минимальную разницу между двумя интенсивностями раздражителя, которая еще воспринимается организмом (различия в цветовых оттенках, яркости света, степени напряжения мышц, суставных углах и пр.).

Фундаментальным свойством всего живого является адаптация, ***т.е. приспособляемость к условиям внешней среды.*** Адаптационные процессы охватывают не только рецепторы, но и все звенья сенсорных систем. Адаптация периферических элементов проявляется в том, что пороги возбуждения рецепторов не являются постоянной величиной. ***Путем повышения порогов возбуждения, т.е. снижения чувствительности рецепторов, происходит приспособление к длительным монотонным раздражениям.*** Например, человек не ощущает постоянного давления на кожу своей одежды, не замечает непрерывного тикания часов.

По скорости адаптации к длительным раздражениям рецепторы подразделяют на быстро адаптирующиеся (фазные) ***и медленно адаптирующиеся*** (тонические). Фазные

рецепторы реагируют лишь в начале или при окончании действия раздражителя одним-двумя импульсами (например, кожные рецепторы давления – тельца Пачини), а тонические продолжают посылать в ЦНС неослабевающую информацию в течение длительного времени действия раздражителя (например, так называемые вторичные окончания в мышечных веретенах, которые информируют ЦНС о статических напряжениях).

Адаптация может сопровождаться как понижением, так и повышением возбудимости рецепторов. Так, при переходе из светлого помещения в темное происходит постепенное повышение возбудимости фоторецепторов глаза, и человек начинает различать слабо освещенные предметы – это так называемая темновая адаптация. Однако такая высокая возбудимость рецепторов оказывается чрезмерной при переходе в ярко освещенное помещение («свет режет глаза»). В этих условиях возбудимость фоторецепторов быстро снижается – происходит световая адаптация.

Нервная система тонко регулирует чувствительность рецепторов в зависимости от потребностей момента путем эфферентной регуляции рецепторов. В частности, при переходе от состояния покоя к мышечной работе чувствительность рецепторов двигательного аппарата заметно возрастает, что облегчает восприятие информации о состоянии опорно-двигательного аппарата (гамма-регуляция). Механизмы адаптации к различной интенсивности раздражителя могут затрагивать не только сами рецепторы, но и другие образования в органах чувств. Например, при адаптации к различной интенсивности звука происходит изменение подвижности слуховых косточек (молоточка, наковальни и стремячка) в среднем ухе человека.

7.4. КОДИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Амплитуда и длительность отдельных нервных импульсов (потенциалов действия), поступающих от рецепторов к центрам, ***при разных раздражениях остаются постоянными.*** Однако рецепторы передают в нервные центры адекватную информацию не только о характере, но и о силе действующего раздражителя.

Информация об изменениях интенсивности раздражителя кодируется (преобразуется в форму нервного импульсного кода) двумя способами:

1) изменением частоты импульсов, идущих по каждому из нервных волокон от рецепторов к нервным центрам;

2) изменением числа и распределения импульсов – их количества в пачке, интервалов между пачками, продолжительности отдельных пачек импульсов, числа одновременно возбужденных рецепторов и соответствующих нервных волокон (разнообразная пространственно-временная картина этой импульсации, богатая информацией, называется паттерном).

Чем больше интенсивность раздражителя, тем больше частота афферентных нервных импульсов и их количество. Это обусловливается тем, что нарастание силы раздражителя приводит к увеличению деполяризации мембраны рецептора, что, в свою очередь, вызывает увеличение амплитуды генераторного потенциала и повышение частоты возникающих в нервном волокне импульсов. Между логарифмом силы раздражения и числом нервных импульсов существует прямо пропорциональная зависимость.

Имеется еще одна возможность кодирования сенсорной информации. Избирательная чувствительность рецепторов к адекватным раздражителям уже позволяет отделить различные виды действующей на организм энергии. Однако и ***в пределах одной сенсорной системы может быть различная чувствительность отдельных рецепторов к разным по характеристикам раздражителям одной и той же модальности*** (различение вкусовых характеристик разными вкусовыми рецепторами языка, цветоразличение различными фоторецепторами глаза и др.).

7.5. ЗРИТЕЛЬНАЯ СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА

Зрительная сенсорная система служит ***для восприятия и анализа световых раздражений.*** Через нее человек получает до 80–90 % всей информации о внешней среде. Глаз человека воспринимает световые лучи лишь в ***видимой части спектра*** – в диапазоне от 400 до 800 нм.

7.5.1. Общий план организации

Зрительная сенсорная система состоит из следующих отделов:

1) периферический отдел – это сложный вспомогательный орган – глаз, в котором находятся фоторецепторы и тела первых (биполярных) и вторых (ганглиозных) нейронов;

2) проводниковый отдел – зрительный нерв (вторая пара черепно-мозговых нервов), представляющий собой волокна вторых нейронов и частично перекрещивающийся в хиазме, передает информацию третьим нейронам, часть которых располо-

жена в переднем двухолмии среднего мозга, другая часть – в ядрах промежуточного мозга, так называемых наружных коленчатых телах;

3) корковый отдел – четвертые нейроны находятся в 17-м поле затылочной области коры больших полушарий. Это образование представляет собой первичное (проекционное) поле или ядро, анализатора, функцией которого является возникновение ощущений. Рядом с ним находится вторичное поле, или периферия, анализатора (18-е и 19-е поля), функция которого – опознание и осмысливание зрительных ощущений, что лежит в основе процесса восприятия. Дальнейшая обработка и взаимосвязь зрительной информации с информацией от других сенсорных систем происходит в ассоциативных задних третичных полях коры – нижнетеменных областях.

7.5.2. Светопроводящие среды глаза и преломление света (рефракция)

Глазное яблоко представляет собой шаровидную камеру диаметром около 2,5 см, содержащую ***светопроводящие среды – роговицу, влагу передней камеры, хрусталик и студнеобразную жидкость – стекловидное тело,*** назначение которых преломлять световые лучи и фокусировать их в области расположения рецепторов на сетчатке.

Стенками камеры служат три оболочки. Наружная непрозрачная оболочка – склера – переходит спереди в прозрачную роговицу. Средняя сосудистая оболочка в передней части глаза образует ресничное тело и радужную оболочку, обусловливающую цвет глаз. В середине радужной оболочки (радужки) имеется отверстие – зрачок, регулирующий количество пропускаемых световых лучей. Диаметр зрачка регулируется зрачковым рефлексом, центр которого находится в среднем мозге. Внутренняя сетчатая оболочка (сетчатка), или ретина, содержит фоторецепторы глаза – ***палочки и колбочки*** – и служит для преобразования световой энергии в нервное возбуждение. Светопреломляющие среды глаза, преломляя световые лучи, обеспечивают четкое изображение на сетчатке.

Основными преломляющими средами глаза человека являются роговица и хрусталик. Лучи, идущие из бесконечности через центр роговицы и хрусталика (т.е. через главную оптическую ось глаза) перпендикулярно к их поверхности, не испытывают преломления. Все остальные лучи преломляются и сходятся

внутри камеры глаза в одной точке – фокусе. Приспособление глаза к четкому видению различно удаленных предметов (его фокусирование) называется аккомодацией. Этот процесс у человека осуществляется за счет изменения кривизны хрусталика. ***Ближняя точка ясного видения с возрастом отодвигается*** (от 7 см в 7–10 лет до 75 см в 60 лет и более), так как снижается эластичность хрусталика и ухудшается аккомодация. Возникает старческая дальнозоркость.

В норме длинник глаза соответствует преломляющей силе глаза. Однако у 35% людей имеются нарушения этого соответствия. В случае близорукости длинник глаза больше нормы и фокусировка лучей происходит перед сетчаткой, а изображение на сетчатке становится расплывчатым. В дальнозорком глазу, наоборот, длинник глаза меньше нормы и фокус располагается за сетчаткой. В результате изображение на сетчатке тоже расплывчато.

7.5.3. Фоторецепция

Фоторецепторы ***глаза (палочки и колбочки) – это высокоспециализированные клетки, преобразующие световые раздражения в нервное возбуждение.*** Фоторецепция начинается в наружных сегментах этих клеток, где на специальных дисках, как на полочках, расположены молекулы ***зрительного пигмента*** (в палочках – ***родопсин,*** в колбочках – разновидности его аналога). Под действием света происходит ряд очень быстрых превращений и обесцвечивание зрительного пигмента. В ответ на стимул эти рецепторы, в отличие от всех других рецепторов, формируют рецепторный потенциал в виде тормозных изменений на мембране клетки. Другими словами, на свету происходит гиперполяризация мембран рецепторных клеток, а в темноте – их деполяризация, т.е. стимулом для них является темнота, а не свет. При этом в соседних клетках происходят обратные изменения, что ***позволяет отделить светлые и темные точки пространства.*** Фотохимические реакции в наружных сегментах фоторецепторов вызывают изменения в мембранах остальной части рецепторной клетки, которые передаются биполярным клеткам (первым нейронам), а затем и ганглиозным клеткам (вторым нейронам), от которых нервные импульсы направляются в головной мозг. Часть ганглиозных клеток возбуждается на свету, часть – в темноте.

Палочки, рассеянные преимущественно по периферии сетчатки (их 130 млн), и колбочки, расположенные преимущественно

в центральной части сетчатки (их 7 млн), различаются по своим функциям (рис. 16, А). Палочки ***обладают более высокой чувствительностью, чем колбочки,*** и являются органами сумеречного зрения. ***Они воспринимают черно-белое (бесцветное) изображение.*** Колбочки представляют собой органы дневного зрения. Они ***обеспечивают цветное зрение.*** У человека три вида колбочек, воспринимающие преимущественно красный, зеленый и сине-фиолетовый цвет. Разная их цветовая

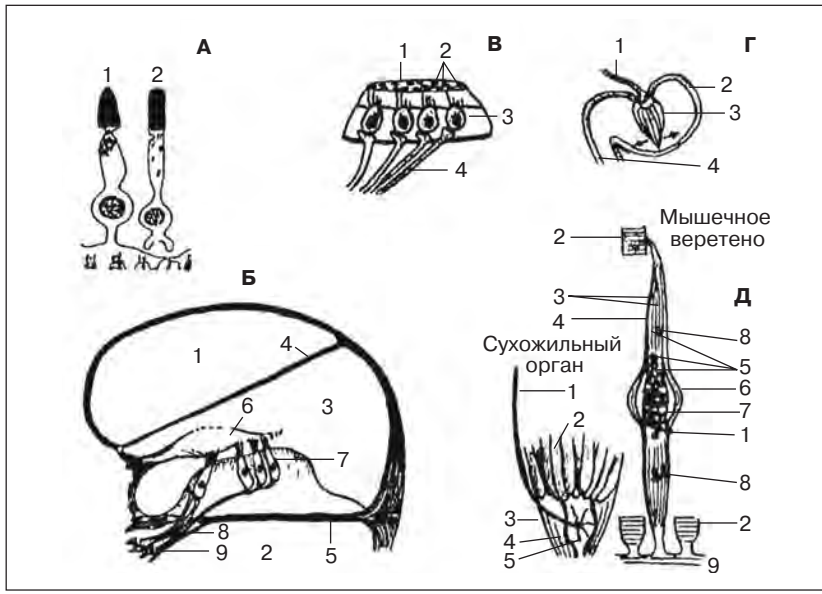


Рис. 16. Рецепторы сенсорных систем.

А – фоторецепторы: 1 – колбочки, 2 – палочки.

Б – слуховые рецепторы: 1 – вестибулярная лестница, 2 – барабанная лестница, 3 – перепончатый канал улитки, 4 – вестибулярная мембрана, 5 – основная мембрана, 6 – покровная мембрана, 7 – волосковые клетки, 8 – афферентные нервные волокна, 9 – нервные клетки спирального ганглия (первые нейроны).

В и **Г** – вестибулярные рецепторы.

В – отолитовый аппарат: 1 – отолитовая мембрана, 2 – отолиты (кристаллы углекислого кальция), 3 – волосковые рецепторные клетки, 4 – волокна вестибулярного нерва.

Г – аппарат полукружных каналов: 1 – волокно вестибулярного нерва, 2 – ампула, 3 – купула с волосковыми рецепторными клетками, 4 – дуга полукружного канала. Стрелки показывают направление колебаний купулы при инерционных смещениях эндолимфы.

Д – проприорецепторы. Мышечное веретено: 1 – афферентное нервное волокно, 2 – экстрафузальные мышечные волокна (перерезаны), 3 – внутриверетенные (интрафузальные) мышечные волокна, 4 – оболочка веретена, 5 – ядра, 6 – ядерная сумка, 7– чувствительные нервные окончания, 8 – эфферентные нервные гамма-волокна, 9 – сухожилие. Сухожильный орган: 1 – афферентное нервное волокно, 2 – мышечные волокна, 3 – сухожилие, 4 – капсула, 5 – чувствительные нервные окончания

чувствительность определяется различиями в зрительном пигменте. Комбинации возбуждения этих приемников разных цветов дают ощущения всей гаммы цветовых оттенков, а равномерное возбуждение всех трех типов колбочек – ощущение белого цвета. При нарушении функции колбочек наступает цветовая слепота ***(дальтонизм),*** человек перестает различать цвета, в частности красный и зеленый цвет. Это заболевание отмечается у 8% мужчин и у 0,5% женщин.

7.5.4. Функциональные характеристики зрения

Важными характеристиками органа зрения являются острота и поле зрения.

Остротой зрения ***называется способность различать отдельные объекты.*** Она измеряется минимальным углом, при котором две точки воспринимаются как раздельные, – примерно 0,5 угловой минуты. В центре сетчатки колбочки имеют более мелкие размеры и расположены гораздо плотнее, поэтому способность к пространственному различению здесь в 4–5 раз выше, чем на периферии сетчатки. Следовательно, ***центральное зрение отличается более высокой остротой зрения, чем периферическое зрение.*** Для детального разглядывания предметов человек поворотом головы и глаз перемещает их изображение в центр сетчатки.

Острота зрения зависит не только от густоты рецепторов, но и от четкости изображения на сетчатке, т.е. от преломляющих свойств глаза, от степени аккомодации, от величины зрачка. В водной среде преломляющая сила роговицы снижается, так как ее коэффициент преломления близок к коэффициенту воды. В результате под водой острота зрения уменьшается в 200 раз.

Полем зрения ***называется часть пространства, видимая при неподвижном положении глаза.*** Для черно-белых сигналов поле зрения обычно ограничено строением костей черепа и положением в глазницах глазных яблок. Для цветных раздражителей поле зрения меньше, так как воспринимающие их колбочки находятся в центральной части сетчатки. Наименьшее поле зрения отмечается для зеленого цвета. При утомлении поле зрения уменьшается.

Человек обладает бинокулярным зрением, т.е. зрением двумя глазами. Такое зрение имеет преимущество перед моноокулярным зрением (одним глазом) в ***восприятии глубины пространства,*** особенно на близких расстояниях (менее 100 м).

Четкость такого восприятия (глазомер) обеспечивается хорошей координацией движения обоих глаз, которые должны точно наводиться на рассматриваемый объект. В этом случае его изображение попадает на идентичные точки сетчатки (одинаково удаленные от центра сетчатки), и человек видит одно изображение. Четкий поворот глазных яблок зависит от работы наружных мышц глаза – его глазодвигательного аппарата (четырех прямых и двух косых мышц), другими словами, от мышечного баланса глаза.

Однако ***идеальный мышечный баланс глаза, или ортофорию, имеется лишь у 40% людей.*** Его нарушение возможно в результате утомления, действия алкоголя и пр., а также как следствие дисбаланса мышц, что приводит к нечеткости и раздвоению изображения ***(гетерофория).*** При небольших нарушениях сбалансированности мышечных усилий наблюдается небольшое скрытое (или физиологическое) косоглазие, которое в бодром состоянии человек компенсирует волевой регуляцией, а при значительных – явное косоглазие.

Глазодвигательный аппарат имеет важное значение в восприятии скорости движения, которую человек оценивает либо по скорости перемещения изображения по сетчатке неподвижного глаза, либо по скорости движения наружных мышц глаза при следящих движениях глаза.

Изображение, которое видит человек двумя глазами, прежде всего определяется его ведущим глазом. Ведущий глаз обладает более высокой остротой зрения, мгновенным и особенно ярким восприятием цвета, более обширным полем зрения, лучшим ощущением глубины пространства. При прицеливании воспринимается лишь то, что входит в поле зрения этого глаза. Восприятие объекта в целом в большей мере обеспечивается ведущим глазом, а восприятие окружающего фона – неведущим глазом.

7.6. СЛУХОВАЯ СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА

Слуховая сенсорная система служит для восприятия и анализа звуковых колебаний внешней среды. Она приобретает у человека особо важное значение в связи с развитием речевого общения между людьми. Деятельность слуховой сенсорной системы имеет также значение для оценки временных интервалов – темпа и ритма движений.

7.6.1. Общий план организации

Слуховая сенсорная система состоит из следующих отделов:

1) периферический отдел, который представляет собой сложный специализированный орган, состоящий из наружного, среднего и внутреннего уха;

2) проводниковый отдел – первый нейрон проводникового отдела, находящийся в спиральном узле улитки, получает возбуждение от рецепторов внутреннего уха, отсюда информация поступает по его волокнам, т.е. по слуховому нерву (входящему в 8 пар черепно-мозговых нервов) ко второму нейрону в продолговатом мозге и после перекреста часть волокон идет к третьему нейрону в заднем двухолмии среднего мозга, а часть к ядрам промежуточного мозга – внутреннему коленчатому телу;

3) корковый отдел – представлен четвертым нейроном, который находится в первичном (проекционном) слуховом поле в височной области коры больших полушарий и обеспечивает возникновение ощущения, а более сложная обработка звуковой информации происходит в расположенном рядом вторичном слуховом поле, отвечающем за формирование восприятия и опознание информации; полученные сведения поступают в третичное поле нижнетеменной зоны, где интегрируются с другими формами информации.

7.6.2. Функции наружного, среднего и внутреннего уха

Наружное ухо ***является звукоулавливающим аппаратом.*** Звуковые колебания улавливаются ушными раковинами (у животных они могут поворачиваться к источнику звука) и передаются по наружному слуховому проходу к барабанной перепонке, которая отделяет наружное ухо от среднего. Улавливание звука и весь процесс слушания двумя ушами – так называемый бинауральный слух – ***имеет значение для определения направления звука.*** Звуковые колебания, идущие сбоку, доходят до ближайшего уха на несколько десятитысячных долей секунды (0,0006 с) раньше, чем до другого. Этой ничтожной разницы во времени прихода звука к обоим ушам достаточно, чтобы определить его направление.

Среднее ухо ***является звукопроводящим аппаратом.*** Оно представляет собой воздушную полость, которая через слуховую (евстахиеву) трубу соединяется с полостью носоглотки. Колебания от барабанной перепонки через среднее ухо передают со-

единенные друг с другом ***три слуховые косточки – молоточек, наковальня и стремячко,*** а последнее через перепонку овального окна передает эти колебания жидкости, находящейся во внутреннем ухе, – перилимфе. Благодаря слуховым косточкам амплитуда колебаний уменьшается, а сила их увеличивается, что позволяет приводить в движение столб жидкости во внутреннем ухе. При сильных звуках специальные мышцы уменьшают подвижность барабанной перепонки и слуховых косточек, адаптируя слуховой аппарат к таким изменениям раздражителя и предохраняя внутреннее ухо от разрушения. Благодаря соединению через слуховую трубу воздушной полости среднего уха с полостью носоглотки возникает возможность выравнивания давления по обе стороны барабанной перепонки, что предотвращает ее разрыв при значительных изменениях давления во внешней среде – при погружениях под воду, подъемах на высоту, выстрелах и пр. Это барофункция уха.

Внутреннее ухо ***является звуковоспринимающим аппаратом.*** Оно расположено в пирамидке височной кости и содержит улитку, которая у человека образует 2,5 спиральных витка. Улитковый канал разделен двумя перегородками – ***основной мембраной и вестибулярной мембраной*** – на три узких хода: верхний (вестибулярная лестница), средний (перепончатый канал) и нижний (барабанная лестница). На вершине улитки имеется отверстие, соединяющее верхний и нижний каналы в единый, идущий от овального окна к вершине улитки и далее к круглому окну. Полость его заполнена жидкостью – ***перилимфой,*** а полость среднего перепончатого канала заполнена жидкостью иного состава – ***эндолимфой.*** В среднем канале расположен звуковоспринимающий аппарат – кортиев орган, в котором находятся ***механорецепторы звуковых колебаний – волосковые клетки.***

7.6.3. Физиологический механизм восприятия звука

Восприятие звука основано на двух процессах, происходящих в улитке:

1) ***разделение звуков различной частоты*** по месту их наибольшего воздействия на основную мембрану улитки;

2) ***преобразование*** рецепторными клетками ***механических колебаний в нервное возбуждение.***

Звуковые колебания, поступающие во внутреннее ухо через овальное окно, передаются перилимфе, а колебания этой жидко-

сти приводят к смешениям основной мембраны. От высоты звука зависит высота столба колеблющейся жидкости и соответственно место наибольшего смещения основной мембраны: звуки высокой частоты дают наибольший эффект на начале основной мембраны, а низких частот – доходят до вершины улитки. Таким образом, ***при различных по частоте звуках*** возбуждаются разные волосковые клетки и разные нервные волокна, т.е. осуществляется ***пространственный код.*** Увеличение силы звука приводит к увеличению числа возбужденных волосковых клеток и нервных волокон, что позволяет различать интенсивность звуковых колебаний.

Волоски рецепторых клеток погружены в покровную мембрану. При колебаниях основной мембраны начинают смещаться находящиеся на ней волосковые клетки и их волоски механически раздражаются покровной мембраной. В результате в волосковых рецепторах возникает процесс возбуждения, который по афферентным волокнам направляется к нейронам спирального узла улитки и далее в ЦНС (рис. 16, Б).

Различают костную и воздушную проводимость звука. В обычных условиях у человека преобладает воздушная проводимость – проведение звуковых колебаний через наружное и среднее ухо к рецепторам внутренего уха. В случае костной проводимости звуковые колебания передаются через кости черепа непосредственно улитке (например, при нырянии, подводном плавании).

Человек обычно воспринимает звуки с частотой от 15 до 20 000 Гц (в диапазоне 10–11 октав). У детей верхний предел достигает 22 000 Гц, с возрастом он понижается. Наиболее высокая чувствительность обнаружена в области частот от 1000 до 3000 Гц. Эта область соответствует наиболее часто встречающимся частотам человеческой речи и музыки.

7.7. ВЕСТИБУЛЯРНАЯ СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА

Вестибулярная сенсорная система служит для анализа положения и движения тела в пространстве. Это одна из древнейших сенсорных систем, развившаяся в условиях действия ***силы тяжести*** на земле. Импульсы вестибулярного аппарата используются в организме для поддержания равновесия тела, для регуляции и сохранения позы, для пространственной организации движений человека.

7.7.1. Общий план организации

Вестибулярная сенсорная система состоит из следующих отделов:

1) периферический отдел включает два образования, содержащие механорецепторы вестибулярной системы – преддверие (мешочек и маточка) и полукружные каналы;

2) проводниковый отдел начинается от рецепторов волокнами биполярной клетки (первого нейрона) вестибулярного узла, расположенного в височной кости, другие отростки этих нейронов образуют вестибулярный нерв и вместе со слуховым нервом в составе 8-й пары черепно-мозговых нервов входят в продолговатый мозг; в вестибулярных ядрах продолговатого мозга находятся вторые нейроны, импульсы от которых поступают к третьим нейронам в таламусе (промежуточный мозг);

3) корковый отдел представляют четвертые нейроны, часть которых представлена в проекционном (первичном) поле вестибулярной системы в височной области коры, а другая часть находится в непосредственной близости к пирамидным нейронам моторной области коры и в постцентральной извилине. (Точная локализация коркового отдела вестибулярной сенсорной системы у человека в настоящее время не установлена.)

7.7.2. Функционирование вестибулярного аппарата

Периферический отдел вестибулярной сенсорной системы находится во внутреннем ухе. Каналы и полости в височной кости образуют ***костный лабиринт*** вестибулярного аппарата, который частично заполнен ***перепончатым лабиринтом.*** Между костным и перепончатым лабиринтами находится жидкость – ***перилимфа,*** а внутри перепончатого лабиринта – ***эндолимфа.***

Аппарат преддверия ***предназначен для анализа действия силы тяжести при изменениях положения тела в пространстве и ускорений прямолинейного движения.*** Перепончатый лабиринт преддверия разделен на две полости – ***мешочек и маточку,*** содержащих отолитовые приборы. Механорецепторы отолитовых приборов представляют собой ***волосковые клетки.*** Они склеены студнеобразной массой, образующей поверх волосков ***отолитовую мембрану,*** в которой находятся кристаллы углекислого кальция – отолиты (рис. 16, В). В маточке отолитовая мембрана расположена в горизонтальной плоскости,

а в мешочке она согнута и находится во фронтальной и сагиттальной плоскостях. При изменении положения головы и тела, а также при вертикальных или горизонтальных ускорениях отолитовые мембраны свободно перемещаются под действием силы тяжести во всех трех плоскостях, натягивая, сжимая или сгибая при этом волоски механорецепторов. Чем больше деформация волосков, тем выше частота афферентных импульсов в волокнах вестибулярного нерва.

Аппарат полукружных каналов ***служит для анализа действия центробежной силы при вращательных движениях. Адекватным его раздражителем является угловое ускорение.*** Три дуги полукружных каналов расположены в трех взаимно перпендикулярных плоскостях: передняя – во фронтальной плоскости, боковая – в горизонтальной, задняя – в сагиттальной. В одном из концов каждого канала имеется расширение – ампула. Находящиеся в ней волоски чувствительных клеток склеены в гребешок – ампулярную купулу. Она представляет собой маятник, который может отклоняться в результате разности давления эндолимфы на противоположные поверхности купулы (рис. 16, Г). При вращательных движениях в результате инерции эндолимфа отстает от движения костной части и оказывает давление на одну из поверхностей купулы. Отклонение купулы изгибает волоски рецепторных клеток и вызывает появление нервных импульсов в вестибулярном нерве. ***Наибольшие изменения в положении купулы происходят в том полукружном канале, положение которого соответствует плоскости вращения.***

В настоящее время показано, что вращения или наклоны в одну сторону увеличивают афферентную импульсацию, а в другую сторону – уменьшают ее. Это позволяет различать направление прямолинейного или вращательного движения.

7.7.3. Влияния раздражений вестибулярной системы на другие функции организма

Вестибулярная сенсорная система связана со многими центрами спинного и головного мозга и вызывает ряд ***вестибуло-соматических и вестибуло-вегетативных рефлексов.***

Вестибулярные раздражения вызывают установочные рефлексы изменения тонуса мышц, лифтные рефлексы, а также особые движения глаз, направленные на сохранение изображения на сетчатке, – нистагм (движения глазных яблок со скоростью вращения, но в противоположном направлении, затем быстрое воз-

вращение к исходной позиции и новое противоположное вращение).

Помимо основной анализаторной функции, важной для управления позой и движениями человека, вестибулярная сенсорная система оказывает разнообразные побочные влияния на многие функции организма, которые возникают в результате иррадиации возбуждения на другие нервные центры при низкой устойчивости вестибулярного аппарата. Его раздражение приводит к снижению возбудимости зрительной и кожной сенсорных систем, ухудшению точности движений. ***Вестибулярные раздражения приводят к нарушениям координации движений и походки, изменениям частоты сердцебиения и артериального давления, увеличению времени двигательной реакции и снижению частоты движений, ухудшению чувства времени, изменению психических функций – внимания, оперативного мышления, кратковременной памяти, эмоциональных проявлений.*** В тяжелых случаях возникают головокружения, тошнота, рвота. Повышение устойчивости вестибулярной системы достигается в большей мере активными вращениями человека, чем пассивными.

В условиях невесомости (когда у человека выключены вестибулярные влияния) возникает утрата представления о направлении гравитационной вертикали и пространственном положении тела. Теряются навыки ходьбы, бега. Ухудшается состояние нервной системы, возникает повышенная раздражительность, нестабильность настроения.

7.8. ДВИГАТЕЛЬНАЯ СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА

Двигательная сенсорная система служит для анализа состояния двигательного аппарата – его движения и положения. Информация о степени сокращения скелетных мышц, натяжении сухожилий, изменении суставных углов необходима для регуляции двигательных актов и поз.

7.8.1. Общий план организации

Двигательная сенсорная система состоит из трех отделов:

1) периферический отдел, представленный проприорецепторами, расположенными в мышцах, сухожилиях и суставных сумках;

2) проводниковый отдел, который начинается биполярными клетками (первыми нейронами), тела которых расположе-

ны вне ЦНС – в спинномозговых узлах. Один их отросток связан с рецепторами, другой входит в спинной мозг и передает проприоцептивные импульсы ко вторым нейронам в продолговатый мозг (часть путей от проприорецепторов направляется в кору мозжечка), а далее к третьим нейронам – релейным ядрам таламуса (в промежуточный мозг);

3) корковый отдел находится в передней центральной извилине коры больших полушарий.

7.8.2. Функции проприорецепторов

К проприорецепторам относятся мышечные веретена, сухожильные органы (или органы Гольджи) и суставные рецепторы (рецепторы суставной капсулы и суставных связок). Все эти рецепторы представляют собой механорецепторы, специфическим раздражителем которых является их растяжение.

Мышечные веретена ***прикрепляются к мышечным волокнам параллельно*** – один конец к сухожилию, а другой – к волокну. Каждое веретено покрыто капсулой, образованной несколькими слоями клеток, которая в центральной части расширяется и образует ядерную сумку. Внутри веретена содержится несколько (от 2 до 14) тонких внутриверетенных, или так называемых интрафузальных, ***мышечных волокон.*** Эти волокна в 2–3 раза тоньше обычных волокон скелетных мышц (экстрафузальных).

Интрафузальные волокна подразделяются на два типа: 1) длинные, толстые, с ядрами в ядерной сумке, которые связаны с наиболее толстыми и быстропроводящими афферентными нервными волокнами, – они информируют о ***динамическом компоненте*** движения (скорости изменения длины мышцы) и 2) короткие, тонкие, с ядрами, вытянутыми в цепочку, информирующие о ***статическом компоненте*** (удерживаемой в данный момент длине мышцы). Окончания афферентных нервных волокон намотаны на интрафузальные волокна рецептора. При растяжении скелетной мышцы происходит растяжение и мышечных рецепторов, которое деформирует окончания нервных волокон и вызывает появление в них нервных импульсов. Частота проприоцептивной импульсации возрастает с увеличением растяжения мышцы, а также при увеличении скорости ее растяжения. Тем самым ***нервные центры информируются о скорости растяжения мышцы и ее длине.*** Вследствие малой адаптации импульсация от мышечных веретен продолжается в течение всего пери-

ода поддержания растянутого состояния, что обеспечивает постоянную осведомленность центров о длине мышцы. Чем более тонкие и координированные движения осуществляют мышцы, тем больше в них мышечных веретен: у человека в глубоких мышцах шеи, связывающих позвоночник с головой, среднее их число составляет 63, а в мышцах бедра и таза – менее 5 веретен на 1 г массы мышцы (рис. 16, Д).

ЦНС может тонко регулировать чувствительность проприорецепторов. Разряды мелких гамма-мотонейронов спинного мозга вызывают сокращение интрафузальных мышечных волокон по обе стороны от ядерной сумки веретена. В результате средняя несократимая часть мышечного веретена растягивается, и деформация отходящего отсюда нервного волокна вызывает повышение его возбудимости. При той же длине скелетной мышцы в нервные центры будет поступать большее число афферентных импульсов. Это позволяет, во-первых, выделять проприоцептивную импульсацию на фоне другой афферентной информации и, во-вторых, увеличивать точность анализа состояния мышц. Повышение чувствительности веретен происходит во время движения и даже в предстартовом состоянии. Это объясняется тем, что в силу низкой возбудимости гамма-мотонейронов их активность в состоянии покоя выражена слабо, а при произвольных движениях и вестибулярных реакциях она активируется. Чувствительность проприорецепторов повышается также при умеренных раздражениях симпатических волокон и выделении небольших доз адреналина.

Сухожильные органы ***расположены в месте перехода мышечных волокон в сухожилия.*** Сухожильные рецепторы (окончания нервных волокон) оплетают тонкие сухожильные волокна, окруженные капсулой. В результате ***последовательного крепления*** сухожильных органов к мышечным волокнам (а в ряде случаев – к мышечным веретенам) растяжение сухожильных механорецепторов происходит при напряжении мышц. Таким образом, в отличие от мышечных веретен, ***сухожильные рецепторы информируют нервные центры о степени напряжения мышц и скорости его развития.***

Суставные рецепторы ***информируют о положении отдельных частей тела в пространстве и относительно друг друга.*** Эти рецепторы представляют собой свободные нервные окончания или окончания, заключенные в специальную капсулу. Одни суставные рецепторы посылают информацию о величине

суставного угла, т.е. ***о положении сустава.*** Их импульсация продолжается в течение всего периода сохранения данного угла. Она тем большей частоты, чем больше сдвиг угла. Другие суставные рецепторы возбуждаются только в момент движения в суставе, т.е. посылают информацию ***о скорости движения.*** Частота их импульсации возрастает с увеличением скорости изменения суставного угла.

Сигналы, идущие от рецепторов мышечных веретен, сухожильных органов, суставных сумок и тактильных рецепторов кожи, называют кинестетическими, т.е. информирующими о движении тела. Их участие в произвольной регуляции движений различно. ***Сигналы от суставных рецепторов вызывают заметную реакцию в коре больших полушарий и хорошо осознаются.*** Благодаря им человек лучше воспринимает различия при движениях в суставах, чем различия в степени напряжения мышц при статических положениях или поддержании веса. Сигналы же от других проприорецепторов, поступающие преимущественно в мозжечок, обеспечивают бессознательную регуляцию, подсознательный контроль движений и поз.

7.9. СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ КОЖИ, ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ, ВКУСА И ОБОНЯНИЯ

В коже и внутренних органах имеются разнообразные рецепторы, реагирующие на физические и химические раздражители.

7.9.1. Кожная рецепция

В коже представлена тактильная, температурная и болевая рецепция. На 1 $см^2$ кожи в среднем приходится 12–13 холодовых точек, 1–2 тепловых, 25 тактильных и около 100 болевых.

Тактильная сенсорная система ***предназначена для анализа давления и прикосновения.*** Ее рецепторы представляют собой свободные нервные окончания и сложные образования (тельца Мейснера, тельца Паччини), в которых нервные окончания заключены в специальную капсулу. Они находятся в верхних и нижних слоях кожи, в кожных сосудах, в основаниях волос. Особенно их много на пальцах рук и ног, ладонях, подошвах, губах. Это механорецепторы, реагирующие на растяжение, давление и вибрацию. Наиболее чувствительным рецептором является тельце Паччини, которое вызывает ощущение прикоснове-

ния при смещении капсулы лишь на 0,0001 мм. Чем больше размеры тельца Паччини, тем более толстые и быстропроводящие афферентные нервы отходят от него. Они проводят кратковременные залпы (длительностью 0,005 с), информирующие о начале и окончании действия механического раздражителя. Путь тактильной информации следующий: рецептор – 1-й нейрон в спинномозговых узлах – 2-й нейрон в спинном или продолговатом мозге – 3-й нейрон в промежуточном мозге (таламус) – 4-й нейрон в задней центральной извилине коры больших полушарий (первичная соматосенсорная зона).

Температурная рецепция ***осуществляется холодовыми рецепторами*** (колбы Краузе) и ***тепловыми*** (тельца Руффини, Гольджи-Маццони). При температуре кожи +31…37°С эти рецепторы почти неактивны. Ниже этой границы холодовые рецепторы активизируются пропорционально падению температуры, затем их активность падает и совсем прекращается при +12°С. При температуре выше +37°С активизируются тепловые рецепторы, достигая максимальной активности при +43°С, затем резко прекращают ответы.

Болевая рецепция, как считает большинство специалистов, не имеет специальных воспринимающих образований. Болевые раздражения воспринимаются свободными нервными окончаниями, а также возникают при сильных температурных и механических раздражениях в соответствующих термо- и механорецепторах.

Температурные и болевые раздражения передаются в спинной мозг, оттуда в промежуточный мозг и в соматосенсорную область коры.

7.9.2. Висцероцептивная (интерорецептивная) сенсорная система

Во внутренних органах имеется множество рецепторов, воспринимающих давление – барорецепторы сосудов, кишечного тракта и др., изменения химизма внутренней среды – хеморецепторы, ее температуры – терморецепторы, осмотического давления, болевые раздражения. С их помощью безусловно-рефлекторным путем регулируется постоянство различных констант внутренней среды (поддержание гомеостаза), ЦНС информируется об изменениях во внутренних органах. Информация от интерорецепторов через блуждающий, чревный и тазовый нервы поступает в промежуточный мозг и далее в лобные и другие области

коры головного мозга. Деятельность этой системы практически не осознается, она мало локализована, однако при сильных раздражениях она хорошо ощущается. Она участвует в формировании сложных ощущений – жажды, голода и др.

7.9.3. Обонятельная и вкусовая сенсорные системы

Обонятельная и вкусовая сенсорные системы относятся к древнейшим системам. Они предназначены для ***восприятия и анализа химических раздражений, поступающих из внешней среды.***

Хеморецепторы обоняния находятся в обонятельном эпителии верхних носовых ходов. Это – волосковые биполярные клетки, передающие информацию через решетчатую кость черепа к клеткам обонятельной луковицы мозга и далее через обонятельный тракт к обонятельным зонам коры (крючек морского коня, извилина гиппокампа и др.). Различные рецепторы ***избирательно реагируют на разные молекулы пахучих веществ,*** возбуждаясь лишь теми молекулами, которые являются зеркальной копией поверхности рецептора. Они воспринимают эфирный, камфарный, мятный, мускусный и другие запахи, причем к некоторым веществам чувствительность необычайно высока.

Хеморецепторы вкуса ***представляют собой вкусовые луковицы,*** расположенные в эпителии языка, задней стенке глотки и мягкого неба. У детей их количество больше, а с возрастом – убывает. Микроворсинки рецепторных клеток выступают из луковицы на поверхность языка и реагируют на растворенные в воде вещества. Их сигналы поступают через волокна лицевого и языко-глоточного нервов (продолговатый мозг) в таламус и далее в соматосенсорную область коры. Рецепторы разных частей языка воспринимают четыре основных вкуса: ***горького (задняя часть языка), кислого (края языка), сладкого (передняя часть языка) и соленого (передняя часть и края языка).*** Между вкусовыми ощущениями и химическим строением вещества отсутствует строгое соответствие, так как вкусовые ощущения могут изменяться при заболевании, беременности, условно-рефлекторных воздействиях, изменениях аппетита. В формировании вкусовых ощущений участвуют обоняние, тактильная, болевая и температурная чувствительность. Информация вкусовой сенсорной системы используется для организации пищевого поведения, связанного с добыванием, выбором, предпочтением или отвержением пищи, формированием чувства голода, сытости.

7.10. ПЕРЕРАБОТКА, ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И ЗНАЧЕНИЕ СЕНСОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Сенсорная информация передается от рецепторов в высшие отделы мозга по двум основным путям нервной системы – специфическим и неспецифическим. Специфические проводящие пути составляют один из трех основных функциональных блоков мозга – блок приема, переработки и хранения информации. Это классические афферентные пути зрительной, слуховой, двигательной и других сенсорных систем. В обработке этой информации участвует и неспецифическая система мозга, не имеющая прямых связей с периферическими рецепторами, но получающая импульсы по коллатералям от всех восходящих специфических систем и обеспечивающая их широкое взаимодействие.

7.10.1. Обработка сенсорной информации в проводниковых отделах

Анализ получаемых раздражений происходит во всех отделах сенсорных систем. ***Наиболее простая форма анализа осуществляется в результате выделения специализированными рецепторами раздражителей различной модальности*** (свет, звук и пр.) из всех падающих на организм воздействий. При этом в одной сенсорной системе возможно уже более детальное выделение характеристик сигналов (цветоразличение фоторецепторами колбочек и др.).

Важной особенностью в работе проводникового отдела сенсорных систем является ***дальнейшая обработка*** афферентной информации, которая заключается, с одной стороны, в продолжающемся анализе свойств раздражителя, а с другой – в процессах их синтеза, в обобщении поступившей информации. По мере передачи афферентных импульсов на более высокие уровни сенсорных систем увеличивается число нервных клеток, которые реагируют на афферентные сигналы более сложно, чем простые проводники. Например, на уровне среднего мозга в подкорковых зрительных центрах имеются нейроны, которые реагируют на различную степень освещенности и обнаруживают движение, в подкорковых слуховых центрах – нейроны, извлекающие информацию о высоте тона и локализации звука, деятельность этих нейронов лежит в основе ориентировочного рефлекса на неожиданные раздражители.

Благодаря многим разветвлениям афферентных путей на уровне спинного мозга и подкорковых центров обеспечивается ***многократное взаимодействие*** афферентных импульсов в пределах одной сенсорной системы, а также взаимодействие между различными сенсорными системами (в частности, можно отметить чрезвычайно обширные взаимодействия вестибулярной сенсорной системы со многими восходящими и нисходящими путями). Особенно широкие возможности для взаимодействия различных сигналов создаются в неспецифической системе мозга, где к одному и тому же нейрону могут сходиться (конвергировать) импульсы различного происхождения (от 30 000 нейронов) и от разных рецепторов тела. Вследствие этого неспецифическая система играет большую роль в процессах ***интеграции функций*** в организме.

При поступлении в более высокие уровни нервной системы происходит ***расширение сферы сигнализации,*** приходящей от одного рецептора. Например, в зрительной системе сигналы одного рецептора связаны (через систему дополнительных нервных клеток сетчатки – горизонтальных и др.) с десятками ганглиозных клеток и могут, в принципе, передавать информацию любым корковым нейронам зрительной коры. С другой стороны, по мере проведения сигналов происходит ***сжатие информации.*** Например, одна ганглиозная клетка сетчатки объединяет информацию от сотни биполярных клеток и десятков тысяч рецепторов, т.е. такая информация поступает в зрительные нервы уже после значительной обработки, в сокращенном виде.

Существенной особенностью деятельности проводникового отдела сенсорных систем является ***передача без искажений*** специфической информации от рецепторов к коре больших полушарий. Большое количество параллельных каналов (в зрительном нерве 900 000 волокон, в слуховом – 30 000 волокон) помогает сохранить специфику передаваемого сообщения, а процессы бокового (латерального) торможения – изолировать эти сообщения от соседних клеток и путей.

Одной из важнейших сторон обработки афферентной информации является ***отбор наиболее значимых сигналов,*** осуществляемый восходящими и нисходящими влияниями на различных уровнях сенсорных систем. В этом отборе участвует также неспецифический отдел нервной системы (лимбическая система, ретикулярная формация). Активируя или затормаживая многие центральные нейроны, он способствует отбору наиболее значимой для организма информации. В отличие от обширных влияний сред-

немозговой части ретикулярной формации, импульсация из неспецифических ядер таламуса воздействует лишь на ограниченные участки коры больших полушарий. Такое избирательное повышение активности небольшой территории коры имеет значение в организации акта внимания, выделяя на общем афферентном фоне наиболее важные в данный момент сообщения.

7.10.2. Обработка информации на корковом уровне

В коре больших полушарий ***сложность обработки информации возрастает от первичных полей ко вторичным и третичным ее полям.*** Так, простые клетки первичных полей зрительной коры являются детекторами черно-белых границ прямых линий, воспринимаемых мелкими участками сетчатки, а сложные и сверхсложные нейроны вторичных зрительных полей выделяют длину линий, их углы наклона, различные контуры фигур, направление движения объектов, имеются клетки, опознающие знакомые лица людей и т.п.

Первичные поля коры осуществляют анализ раздражений определенной модальности, поступающих от связанных с ними специфических рецепторов. Это так называемые ядерные зоны анализаторов по И.П. Павлову: зрительные, слуховые и др. Их деятельность лежит в основе возникновения ***ощущений.*** Лежащие вокруг них вторичные поля (периферия анализаторов) получают от первичных полей результаты обработки информации и преобразуют их в более сложные формы. ***Во вторичных полях*** происходит осмысление полученной информации, ее узнавание, ***обеспечиваются процессы восприятия раздражений данной модальности.*** От вторичных полей отдельных сенсорных систем информация поступает в ***задние третичные поля*** – ассоциативные нижнетеменные зоны, где происходит ***интеграция сигналов различной модальности,*** позволяющая создать цельный образ внешнего мира со всеми его запахами, звуками, красками и т.п. Здесь на основе афферентных сообщений от разных частей правой и левой половины тела формируются ***сложные представления*** человека о схеме пространства и схеме тела, которые обеспечивают пространственную ориентацию движений и точную адресацию моторных команд к различным скелетным мышцам. Эти зоны также имеют особое значение в хранении полученной информации. На основе анализа и синтеза информации, обработанной в заднем третичном поле коры, в ее передних третичных полях (передней лобной области) формируются цели, задачи и программы поведения человека.

Важной особенностью корковой организации сенсорных систем является экранное, или соматотопическое (*лат.* соматикус – «телесный», топикус – «местный»), представительство функций. ***Чувствительные корковые центры первичных полей коры образуют как бы экран, отражающий расположение рецепторов на периферии,*** т.е. здесь имеются проекции «точка в точку». Так, в задней центральной извилине (общечувствительном поле) нейроны тактильной, температурной и кожной чувствительности представлены в том же порядке, что и рецепторы на поверхности тела, напоминая копию человечка (гомункулюса); в зрительной коре – как бы экран рецепторов сетчатки; в слуховой коре – в определенном порядке нейроны, реагирующие на определенную высоту звуков. Тот же принцип пространственного представительства информации наблюдается в переключательных ядрах промежуточного мозга, в коре мозжечка, что значительно облегчает взаимодействие различных отделов ЦНС.

Область коркового сенсорного представительства по своим размерам отражает функциональную значимость той или иной части афферентной информации. Так, в связи с особой значимостью анализа информации от кинестетических рецепторов пальцев руки и от речеобразующего аппарата у человека территория их коркового представительства значительно превосходит сенсорное представительство других участков тела. Аналогично этому на единицу площади центральной ямки в сетчатке глаза приходится почти в 500 раз большая зона зрительной коры, чем на такую же единицу площади периферии сетчатки.

Высшие отделы ЦНС обеспечивают активный поиск сенсорной информации. Это наглядно проявляется в деятельности зрительной сенсорной системы. Специальные исследования движений глаз показали, что взор фиксирует не все точки пространства, а лишь наиболее информативные признаки, особо важные для решения какой-либо задачи в данный момент. ***Поисковая функция глаз*** является частью активного поведения человека во внешней среде, его сознательной деятельностью. Она управляется высшими анализирующими и интегрирующими областями коры – лобными долями, под контролем которых происходит активное восприятие внешнего мира.

Кора больших полушарий обеспечивает наиболее широкое взаимодействие различных сенсорных систем и их участие в организации двигательных действий человека, в том числе в процессе его спортивной деятельности.

7.10.3. Значение деятельности сенсорных систем в спорте

Эффективность выполнения спортивных упражнений во многом зависит от процессов восприятия и переработки сенсорной информации. Эти процессы обусловливают как наиболее рациональную организацию двигательных актов, так и совершенство тактического мышления спортсмена. Четкое восприятие пространства и пространственная ориентация движений обеспечиваются функционированием зрительной, слуховой, вестибулярной, кинестетической рецепции. Оценка временных интервалов и управление временными параметрами движений базируются на проприоцептивных и слуховых ощущениях. Вестибулярные раздражения при поворотах, вращениях, наклонах и т.п. заметно влияют на координацию движений и проявление физических качеств, особенно при низкой устойчивости вестибулярного аппарата.

Экспериментальное выключение отдельных сенсорных афферентаций у спортсменов (выполнение движений в специальном ошейнике, исключающем активацию шейных проприорецепторов; при использовании очков, закрывающих центральное или периферическое поле зрения) приводило к резкому снижению оценок за упражнение или к полной невозможности его исполнения. В противоположность этому, сообщение спортсмену дополнительной информации (особенно срочной – в процессе движения) помогало быстрому совершенствованию технических действий. На основе взаимодействия сенсорных систем у спортсменов вырабатываются комплексные представления, сопровождающие его деятельность в избранном виде спорта – «чувство» льда, снега, воды и т.п. При этом в каждом виде спорта имеются наиболее важные – ведущие сенсорные системы, от активности которых в наибольшей мере зависит успешность выступлений спортсмена.

8. КРОВЬ

Кровь ***представляет собой внутреннюю жидкую среду (ткань) организма,*** обеспечивающую определенное постоянство основных физиологических и биохимических параметров и осуществляющую гуморальную связь между органами. Существует два понятия: периферическая кровь, состоящая из плазмы и находящихся в ней во взвешенном состоянии форменных элементов, и система крови (Ланг Г.Ф., 1936), куда относят

периферическую кровь, органы кроветворения и кроверазрушения (костный мозг, печень, селезенка и лимфатические узлы). Кровь является своеобразной формой ткани и характеризуется рядом особенностей: жидкая среда организма находится в постоянном движении, составные части крови имеют разное происхождение, образуются и разрушаются в основном вне ее.

8.1. СОСТАВ, ОБЪЕМ И ФУНКЦИИ КРОВИ

Кровь состоит из форменных элементов (42–46%) – ***эритроцитов*** (красных кровяных клеток), ***лейкоцитов*** (белых кровяных клеток) и ***тромбоцитов*** (кровяных пластинок) – и жидкой части – плазмы (54–58%). Плазма крови, лишенная фибриногена, называется сывороткой. ***У взрослого человека общее количество крови составляет 5–8% массы тела, что соответствует 5–6 л.*** Объем крови принято обозначать по отношению к массе тела (мл/кг). В среднем он равен у мужчин 65 мл/кг, у женщин – 60 мл/кг, у детей – около 70 мл/кг.

Количество эритроцитов в крови примерно в тысячу раз больше, чем лейкоцитов, и в десятки раз выше, чем тромбоцитов. Последние по своим размерам в несколько раз меньше, чем эритроциты. Поэтому эритроциты составляют более 90% всего объема, приходящегося на долю форменных элементов крови. ***Выраженное в процентах отношение объема форменных элементов к общему объему крови называется*** гематокритом. У мужчин гематокрит составляет в среднем 46%, у женщин – 42%. Это означает, что у мужчин форменные элементы занимают 46%, плазма – 54% объема крови, а у женщин – 42 и 58% соответственно. Эта разница обусловлена тем, что у мужчин содержание эритроцитов в крови больше, чем у женщин. У детей гематокрит выше, чем у взрослых; в процессе старения гематокрит снижается. ***Увеличение гематокрита сопровождается возрастанием*** вязкости крови (внутренним ее трением), которая у здорового взрослого человека составляет 4–5 ед. Поскольку периферическое сопротивление кровотоку прямо пропорционально вязкости, любое существенное увеличение гематокрита приводит к повышению нагрузки на сердце, в результате чего кровообращение в некоторых органах может нарушаться.

Кровь выполняет в организме целый ряд физиологических функций.

• Транспортная функция крови ***заключается в переносе всех необходимых для жизнедеятельности организма веществ*** (питательных веществ, газов, гормонов, ферментов, метаболитов).

• Дыхательная функция ***состоит в доставке кислорода от легких к тканям и углекислого газа от тканей к легким.*** Кислород переносится преимущественно эритроцитами в виде соединения с гемоглобином – оксигемоглобином (HbO_2), углекислый газ – плазмой крови в форме бикарбонатных ионов (HCO_3^-). В обычных условиях при дыхании воздухом 1 грамм гемоглобина присоединяет 1,34 мл кислорода, а так как в одном литре крови содержится 140–160 граммов гемоглобина, то количество кислорода в нем составляет около 200 мл; эту величину принято называть кислородной емкостью крови (иногда этот показатель рассчитывают на 100 мл крови). Таким образом, если принять во внимание, что общий объем крови в организме человека составляет 5 л, то количество кислорода, связанного с гемоглобином, в ней будет равно примерно одному литру.

• Питательная функция крови ***обусловлена переносом*** аминокислот, глюкозы, жиров, витаминов, ферментов и минеральных веществ ***от органов пищеварения к тканям, системам и депо.***

• Терморегуляторная функция ***обеспечивается участием крови в переносе тепла*** от органов и тканей, в которых оно вырабатывается, к органам, отдающим тепло, что и поддерживает температурный гомеостаз.

• Выделительная функция ***направлена на перенос продуктов обмена*** (мочевина, креатин, индикан, мочевая кислота, вода, соли и др.) от мест их образования к органам выделения (почки, легкие, потовые и слюнные железы).

• Защитная функция крови ***играет важную роль в формировании иммунитета,*** который может быть как ***врожденным,*** так и ***приобретенным. Различают также местный и общий, клеточный и гуморальный. Гуморальный*** иммунитет обусловлен выработкой антител в ответ на поступление в организм микробов, вирусов, токсинов, ядов, чужеродных белков; ***клеточный*** – связан с фагоцитозом, в котором ведущая роль принадлежит лейкоцитам, активно уничтожающим попадающих в организм микробов и инородные тела, а также собственные отмирающие и мутагенные клетки.

• Регуляторная функция ***заключается в осуществлении как гуморальной*** (перенос кровью гормонов, газов, минеральных веществ), ***так и рефлекторной регуляции,*** связанной с влиянием крови на интерорецепторы сосудов.

8.2. ФОРМЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КРОВИ

Образование форменных элементов крови называется гемопоэзом. Он осуществляется в различных кроветворных органах. В костном мозге образуются эритроциты, нейтрофилы, эозинофилы и базофилы. В селезенке и лимфатических узлах формируются лейкоциты. Образование моноцитов осуществляется в костном мозге и в ретикулярных клетках печени, селезенки и лимфатических узлов. В красном костном мозге и селезенке образуются тромбоциты.

8.2.1. Функции эритроцитов

Основной физиологической функцией эритроцитов является связывание и перенос кислорода от легких к органам и тканям. Этот процесс осуществляется благодаря особенностям строения эритроцитов и химического состава гемоглобина.

Эритроциты являются высокоспециализированными безъядерными клетками крови диаметром 7–8 микрон. ***В крови человека содержится 4,5–5 × 10^{12}/л эритроцитов.*** Форма эритроцитов в виде двояковогнутого диска обеспечивает большую поверхность для свободной диффузии газов через его мембрану. Суммарная поверхность всех эритроцитов в циркулирующей крови составляет около 3000 $м^2$.

В начальных фазах своего развития эритроциты имеют ядро и называются ретикулоцитами. В нормальных условиях ретикулоциты составляют около 1% от общего числа циркулирующих в крови эритроцитов. Увеличение числа ретикулоцитов в периферической крови может зависеть как от активации эритроцитоза, так и от усиления выброса ретикулоцитов из костного мозга в кровоток. ***Средняя продолжительность жизни зрелых эритроцитов составляет около 120 дней,*** после чего они разрушаются в печени и селезенке.

В процессе передвижения крови эритроциты не оседают, так как они отталкиваются друг от друга, поскольку имеют одноименные отрицательные заряды. При отстаивании крови в капилляре эритроциты оседают на дно. Скорость оседания эритро-

цитов (СОЭ) в нормальных условиях у мужчин составляет 4–8 мм в 1 час, у женщин – 6–10 мм в 1 час.

По мере созревания эритроцитов их ядро замещается дыхательным пигментом – гемоглобином (Hb), составляющим около 90% сухого вещества эритроцитов, а 10% составляют минеральные соли, глюкоза, белки и жиры. Гемоглобин – сложное химическое соединение, молекула которого состоит из белка глобина и железосодержащей части – гема. ***Гемоглобин обладает свойством легко соединяться с кислородом и столь же легко его отдавать.*** Соединяясь с кислородом, он становится ***оксигемоглобином (HbO_2),*** а отдавая его – превращается в ***восстановленный (редуцированный) гемоглобин.*** Гемоглобин крови человека составляет 14–15% ее массы, т.е. около 700 г.

В скелетных и сердечной мышцах содержится близкий по своему строению белок миоглобин (мышечный гемоглобин). Он более активно, чем гемоглобин, соединяется с кислородом, обеспечивая им работающие мышцы. Общее количество миоглобина у человека составляет около 25% гемоглобина крови. В большей концентрации миоглобин содержится в мышцах, выполняющих функциональную нагрузку. Под влиянием физических нагрузок количество миоглобина в мышцах повышается.

8.2.2. Функции лейкоцитов

Лейкоциты по функциональным и морфологическим признакам представляют собой обычные клетки, содержащие ядро и протоплазму. ***Количество лейкоцитов в крови здорового человека составляет $4–6 \times 10^9$/л.*** Лейкоциты неоднородны по своему строению: в одних из них протоплазма имеет зернистое строение ***(гранулоциты),*** в других зернистости нет ***(агранулоциты).*** Гранулоциты составляют 65–70% всех лейкоцитов и делятся в зависимости от способности окрашиваться нейтральными, кислыми или основными красками на нейтрофилы, эозинофилы и базофилы.

Агранулоциты составляют 30–35% всех белых кровяных клеток и включают в себя лимфоциты и моноциты. Функции различных лейкоцитов разнообразны.

Процентное соотношение различных форм лейкоцитов в крови называется лейкоцитарной формулой. Общее количество лейкоцитов и лейкоцитарная формула не являются постоянными. ***Увеличение числа лейкоцитов в периферической крови***

называется лейкоцитозом, ***а уменьшение*** – лейкопенией. Продолжительность жизни лейкоцитов составляет 7–10 дней.

Нейтрофилы составляют 60–70% всех лейкоцитов и ***являются наиболее важными клетками защиты организма от бактерий и их токсинов.*** Проникая через стенки капилляров, нейтрофилы попадают в межтканевые пространства, где осуществляется фагоцитоз – поглощение и переваривание бактерий и других инородных белковых тел.

Эозинофилы (1–4% от общего числа лейкоцитов) адсорбируют на свою поверхность антигены (чужеродные белки), многие тканевые вещества и токсины белковой природы, разрушая и обезвреживая их. Кроме дезинтоксикационной функции эозинофилы принимают участие в предупреждении развития аллергических реакций.

Базофилы составляют не более 0,5% всех лейкоцитов и осуществляют синтез гепарина, входящего в антисвертывающую систему крови. Базофилы участвуют также в синтезе ряда биологически активных веществ и ферментов (гистамин, серотонин, РНК, фосфотаза, липаза, пероксидаза).

Лимфоциты (25–30% от числа всех лейкоцитов) ***играют важнейшую роль в процессах образования*** иммунитета ***организма, а также активно участвуют в нейтрализации различных токсических веществ.***

Главным фактором иммунологической системы крови являются Т- и В-лимфоциты. Т-лимфоциты прежде всего выполняют роль строгого иммунного контролера. Вступив в контакт с любым антигеном, они надолго запоминают его генетическую структуру и определяют программу биосинтеза антител (иммуноглобулинов), которая осуществляется В-лимфоцитами. В-лимфоциты, получив программу биосинтеза иммуноглобулинов, превращаются в плазмоциты, являющиеся фабрикой антител.

В Т-лимфоцитах происходит синтез веществ, активирующих фагоцитоз и защитные воспалительные реакции. Они следят за генетической чистотой организма, препятствуя приживлению чужеродных тканей, активируя регенерацию и уничтожая отмершие или мутантные (в том числе и опухолевые) клетки собственного организма. Т-лимфоцитам принадлежит также важная роль регуляторов кроветворной функции, заключающаяся в уничтожении чужеродных стволовых клеток костного мозга. Лимфоциты способны синтезировать бета- и гамма-глобулины, входящие в состав антител.

К сожалению, лимфоциты не всегда могут выполнять свою роль в образовании эффективной системы иммунитета. В частности, вирус иммунодефицита человека ***(ВИЧ), вызывающий грозное заболевание СПИД*** (синдром приобретенного иммунодефицита), ***может резко снижать иммунологическую защиту организма.*** Главным пусковым механизмом СПИДа является проникновение ВИЧ из крови в Т-лимфоциты. Там вирус может оставаться в неактивном, латентном состоянии несколько лет, пока в связи со вторичной инфекцией не начнется иммунологическая стимуляция Т-лимфоцитов. Тогда вирус активируется и размножается так бурно, что вирусные клетки, покидая пораженные лимфоциты, полностью повреждают мембрану и разрушают их. ***Прогрессирующая гибель лимфоцитов снижает сопротивляемость организма к различным интоксикациям, в том числе и к микробам, безвредным для человека с нормальным иммунитетом.*** Кроме того, резко ослабевает уничтожение Т-лимфоцитами мутантных (раковых) клеток, в связи с чем существенно возрастает вероятность возникновения злокачественных опухолей. ***Наиболее частыми проявлениями СПИДа являются:*** воспаления легких, опухоли, поражения ЦНС и гнойничковые заболевания кожи и слизистых оболочек.

Первичные и вторичные нарушения при СПИДе обусловливают пеструю картину изменения периферической крови. Наряду со значительным снижением числа лимфоцитов, в ответ на воспаление или гнойничковые поражения кожи (слизистых) может возникать нейтрофильный лейкоцитоз. При поражении системы крови появляются очаги патологического кроветворения, и в кровь будут поступать в большом количестве незрелые формы лейкоцитов. При внутренних кровотечениях и истощении больного начинает развиваться прогрессирующая анемия с уменьшением числа эритроцитов и гемоглобина в крови.

Моноциты (4–8%) являются самыми крупными клетками белой крови, которые называют макрофагами. ***Они обладают самой высокой фагоцитарной активностью*** по отношению к продуктам распада клеток и тканей, а также обезвреживают токсины, образующиеся в очагах воспаления. Считают также, что моноциты принимают участие в выработке антител. К макрофагам, наряду с моноцитами, относят ретикулярные и эндотелиальные клетки печени, селезенки, костного мозга и лимфатических узлов.

8.2.3. Функции тромбоцитов

Тромбоциты – ***мелкие, безъядерные кровяные пластинки*** (бляшки Биццоцери) неправильной формы, диаметром 2–5 микрон. Несмотря на отсутствие ядра, тромбоциты обладают активным метаболизмом и являются третьими самостоятельными живыми клетками крови. ***Число их в периферической крови колеблется от 200 до 350 × 10^9/л; продолжительность жизни тромбоцитов составляет 8–12 дней.***

Тромбоцитам принадлежит ведущая роль в свертывании крови. Недостаток тромбоцитов в крови – ***тромбопения*** – наблюдается при некоторых заболеваниях и выражается в повышенной кровоточивости.

8.3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАЗМЫ КРОВИ

Плазма крови ***человека представляет собой бесцветную жидкость, содержащую 90–92% воды и 8–10% твердых веществ,*** к которым относятся глюкоза, белки, жиры, различные соли, гормоны, витамины, продукты обмена веществ и др. Физико-химические свойства плазмы определяются наличием в ней органических и минеральных веществ, они относительно постоянны и характеризуются целым рядом стабильных констант.

Удельный вес плазмы равен 1,02–1,03, а удельный вес крови – 1,05–1,06; у мужчин он несколько выше (больше эритроцитов), чем у женщин.

Осмотическое давление является важнейшим свойством плазмы. Оно присуще растворам, отделенным друг от друга полупроницаемыми мембранами, и ***создается движением молекул растворителя (воды) через мембрану в сторону большей концентрации растворимых веществ.*** Сила, которая приводит в движение растворитель, обеспечивая его проникновение через полупроницаемую мембрану, называется осмотическим давлением. Основную роль в величине осмотического давления играют минеральные соли. У человека осмотическое давление крови составляет около 770 кПа (7,5–8 атм). ***Та часть осмотического давления, которая обусловлена белками плазмы, называется*** онкотической. Из общего осмотического давления на долю белков приходится примерно 1/200 часть, что составляет примерно 3,8 кПа.

Клетки крови имеют осмотическое давление, одинаковое с плазмой. ***Раствор, имеющий осмотическое давление, равное***

давлению крови, является оптимальным для форменных элементов и называется изотоническим. Растворы меньшей концентрации называются гипотоническими; вода из этих растворов поступает в эритроциты, которые набухают и могут разрываться – происходит их гемолиз. Если из плазмы крови теряется много воды и концентрация солей в ней повышается, то в силу законов осмоса вода из эритроцитов начинает поступать в плазму через их полупроницаемую мембрану, что вызывает сморщивание эритроцитов; такие растворы называют гипертоническими. Относительное постоянство осмотического давления обеспечивается осморецепторами и реализуется главным образом через органы выделения.

Кислотно-щелочное состояние представляет одну из важных констант жидкой внутренней среды организма и ***является ее активной реакцией, обусловленной количественным соотношением H^+ и OH^- ионов.*** В чистой воде содержится одинаковое количество H^+ и OH^- ионов, поэтому она ***нейтральна.*** Если число ионов H^+ в единице объема раствора превышает число ионов OH^-, раствор имеет ***кислую реакцию;*** если соотношение этих ионов обратное, раствор является ***щелочным.*** Для характеристики активной реакции крови пользуются водородным показателем, или pH, который является отрицательным десятичным логарифмом концентрации водородных ионов. В химически чистой воде при температуре +25°С pH равен 7 (нейтральная реакция). Кислая среда (ацидоз) имеет pH ниже 7, щелочная (алкалоз) – выше 7. Кровь имеет слабощелочную реакцию: pH артериальной крови равен 7,4; pH венозной крови – 7,35, что обусловлено большим содержанием в ней углекислого газа.

Буферные системы крови обеспечивают поддержание относительного постоянства активной реакции крови, т.е. осуществляют регуляцию кислотно-щелочного состояния. Эта способность крови обусловлена особым физико-химическим составом буферных систем, нейтрализующих кислые и щелочные продукты, накапливающиеся в организме. Буферные системы состоят из смеси слабых кислот с их солями, образованными сильными основаниями. ***В крови имеются 4 буферных системы:*** 1) бикарбонатная буферная система: угольная кислота – двууглекислый натрий (H_2CO_3 – $NaHCO_3$); 2) фосфатная буферная система – одноосновный-двуосновный фосфорнокислый натрий (NaH_2PO_4 – Na_2HPO_4); 3) гемоглобиновая буферная система – восстановленный гемоглобин – калий-

ная соль гемоглобина ($HHbKHbO_2$); 4) буферная система белков плазмы. В поддержании буферных свойств крови ведущая роль принадлежит гемоглобину и его солям (около 75%), в меньшей степени – бикарбонатному, фосфатному буферам и белкам плазмы. Белки плазмы играют роль буферной системы благодаря своим амфотерным свойствам. В кислой среде они ведут себя как щелочи, связывая кислоты. В щелочной среде белки реагируют как кислоты, связывающие щелочи.

Все буферные системы создают в крови щелочной резерв, ***который в организме относительно постоянен.*** Величина его измеряется количеством миллилитров углекислого газа, которое может быть связано 100 мл крови при напряжении CO_2 в плазме, равном 40 мм рт. ст. В норме она равна 50–65 объемного процента CO_2. Резервная щелочность крови выступает прежде всего как резерв буферных систем против сдвига pH в кислую сторону.

Коллоидные свойства крови ***обеспечиваются главным образом за счет белков и в меньшей мере – углеводами и липоидами.*** Общее количество белков в плазме крови составляет 7–8% ее объема. В плазме находится ряд белков, отличающихся по своим свойствам и функциональному значению: альбумины (около 4,5%), глобулины (2–3%) и фибриноген (0,2–0,4%).

Белки плазмы крови выполняют функции регуляторов водного обмена между кровью и тканями. От количества белков зависят вязкость и буферные свойства крови; они играют важную роль в поддержании онкотического давления плазмы.

8.4. СВЕРТЫВАНИЕ И ПЕРЕЛИВАНИЕ КРОВИ

Жидкое состояние крови и замкнутость кровеносного русла являются необходимыми условиями жизнедеятельности организма. Эти условия создает система свертывания крови (система гемокоагуляции), сохраняющая циркулирующую кровь в жидком состоянии и предотвращающая ее потерю через поврежденные сосуды посредством образования кровяных тромбов; остановка кровотечения называется гемостазом.

Вместе с тем при больших кровопотерях, некоторых отравлениях и заболеваниях возникает необходимость в переливании крови, которое должно осуществляться при строгом соблюдении ее совместимости.

8.4.1. Свертывание крови

Основоположником современной ферментативной теории свертывания крови является профессор Дерптского (Тартуского) университета А.А. Шмидт (1872). В дальнейшем эта теория была значительно дополнена, и в настоящее время считают, что ***свертывание крови проходит три фазы: 1) образование протромбиназы; 2) образование тромбина; 3) образование фибрина.***

Образование протромбиназы (первая фаза) осуществляется под влиянием тромбопластина (тромбокиназы), представляющего собой фосфолипиды разрушающихся тромбоцитов, клеток тканей и сосудов. Тромбопластин формируется при участии ионов Ca^{2+} и некоторых плазменных факторов свертывания крови.

Вторая фаза свертывания крови характеризуется превращением неактивного протромбина кровяных пластинок под влиянием протромбиназы в активный тромбин. Протромбин является глюкопротеидом, образуется клетками печени при участии витамина К.

В третьей фазе свертывания из растворимого фибриногена крови, активированного тромбином, образуется нерастворимый белок фибрин, нити которого образуют основу кровяного сгустка (тромба), прекращающего дальнейшее кровотечение. Фибрин служит также структурным материалом при заживлении ран. Фибриноген представляет собой самый крупномолекулярный белок плазмы и образуется в печени.

8.4.2. Переливание крови

Основоположниками учения о группах крови и возможности ее переливания от одного человека к другому были К. Ландштейнер (1901) и Я. Янский (1903). В нашей стране переливание крови впервые было проведено профессором Военно-медицинской академии В.Н. Шамовым в 1919 г., а в 1928 г. им было предложено переливание трупной крови больному, за что позднее он был удостоен Ленинской премии.

Я. Янский выделил ***четыре группы крови, встречающиеся у людей.*** Эта классификация не утратила своего значения и до настоящего времени. Она основана на сравнении антигенов, находящихся в эритроцитах (агглютиногенов), и антител, имеющихся в плазме (агглютининов). ***Выделены главные агглютиногены А и В и соответствующие агглютинины альфа и бета.*** Агглютиноген А и агглютинин альфа, а также В и бета называются одноименными. ***В крови человека не могут содер-***

жаться одноименные вещества. При встрече их возникает реакция агглютинации, т.е. склеивания эритроцитов, а в дальнейшем и разрушение (гемолиз). ***В этом случае говорят о несовместимости крови.***

В эритроцитах крови, отнесенной к I (0) группе, не содержится агглютиногенов, в плазме же имеются агглютинины альфа и бета. В эритроцитах II (A) группы имеется агглютиноген A, а в плазме – агглютинин бета. Для III (B) группы крови характерно наличие агглютиногена B в эритроцитах и агглютинина альфа в плазме. IV (AB) группа крови характеризуется содержанием агглютиногенов A и B и отсутствием агглютининов.

Переливание несовместимой крови вызывает гемотрансфузионный шок – тяжелое патологическое состояние, которое может закончиться гибелью человека. В табл. 2 показано, в каких случаях при переливании крови донора (человека, дающего кровь) реципиенту (человеку, принимающему кровь) возникает агглютинация (обозначена знаком плюс – «+»).

Таблица 2

Агглютинация при переливании крови людей разных групп

Агглютинины в плазме реципиента	Агглютиногены в эритроцитах донора			
	I(0)	II (A)	III (B)	IV (AB)
I (α, β)	–	+	+	+
II (β)	–	–	+	+
III (α)	–	+	–	+
IV (0)	–	–	–	–

Людям первой (I) группы можно переливать кровь только этой группы, а также эту группу можно переливать людям всех других групп. Поэтому людей с I группой называют универсальными донорами. Людям IV группы можно переливать одноименную кровь, а также кровь всех остальных групп, поэтому этих людей называют универсальными реципиентами. Кровь людей II и III групп можно переливать людям с одноименной, а также с IV группой. Указанные закономерности отражены на рис. 17.

Важное значение при переливании крови имеет совместимость по резус-фактору. Впервые он был обнаружен в эритроцитах обезьян-макак породы «резус». Впоследствии оказалось, что резус-фактор ***содержится в эритроцитах 85% людей (резус-положительная кровь) и лишь у 15% людей отсутствует (резус-отрицательная кровь).*** При повторном переливании

крови реципиенту, не совместимому по резус-фактору с донором, возникают осложнения, связанные с агглютинацией несовместимых донорских эритроцитов. Это является результатом воздействия специфических антирезус-агглютининов, вырабатываемых ретикуло-эндотелиальной системой после первого переливания.

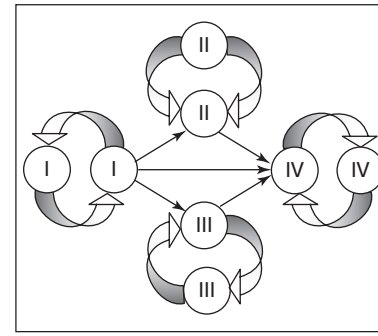


Рис. 17. Схема допустимого переливания крови

При вступлении в брак резус-положительного мужчины с резус-отрицательной женщиной (что нередко случается) плод часто наследует резус-фактор отца. Кровь плода проникает в организм матери, вызывая образование антирезус-агглютининов, которые приводят к гемолизу эритроцитов будущего ребенка. Однако для выраженных нарушений у первого ребенка их концентрация оказывается недостаточной и, как правило, плод рождается живым, но с гемолитической желтухой. При повторной беременности в крови матери резко возрастает концентрация антирезусных веществ, что проявляется не только гемолизом эритроцитов плода, но и внутрисосудистым свертыванием крови, нередко приводящим к его гибели и выкидышу.

8.5. РЕГУЛЯЦИЯ СИСТЕМЫ КРОВИ

Регуляция системы крови включает в себя поддержание постоянства объема циркулирующей крови, ее морфологического состава и физико-химических свойств плазмы. В организме существует ***два основных механизма регуляции системы крови – нервный и гуморальный.***

Высшим подкорковым центром, осуществляющим нервную регуляцию системы крови, является гипоталамус. Кора головного мозга оказывает влияние на систему крови также через гипоталамус. Эфферентные влияния гипоталамуса включают механизмы кроветворения, кровообращения и перераспределения крови, ее депонирования и разрушения. Рецепторы костного мозга, печени, селезенки, лимфатических узлов и кровеносных сосудов воспринимают происходящие здесь изменения, афферентные импульсы от этих рецепторов служат сигналом соответствующих

изменений в подкорковых центрах регуляции. ***Гипоталамус через симпатический отдел вегетативной нервной системы стимулирует кроветворение, усиливая эритропоэз. Парасимпатические нервные влияния тормозят эритропоэз и осуществляют перераспределение лейкоцитов:*** уменьшение их количества в периферических сосудах и увеличение в сосудах внутренних органов. Гипоталамус принимает также участие в регуляции осмотического давления, поддержании необходимого уровня сахара в крови и других физико-химических констант плазмы крови.

Нервная система оказывает как ***прямое,*** так и ***косвенное*** регулирующее влияние на систему крови. ***Прямой путь регуляции*** заключается в двусторонних связях нервной системы с органами кроветворения, кровераспределения и кроверазрушения. Афферентные и эфферентные импульсы идут в обоих направлениях, регулируя все процессы системы крови. ***Косвенная связь*** между нервной системой и системой крови осуществляется с помощью гуморальных посредников, которые, влияя на рецепторы кроветворных органов, стимулируют или ослабляют гемопоэз.

Среди механизмов гуморальной регуляции крови особая роль принадлежит биологически активным гликопротеидам – гемопоэтинам, синтезируемым главным образом в почках, а также в печени и селезенке. ***Продукция эритроцитов регулируется эритропоэтинами, лейкоцитов – лейкопоэтинами и тромбоцитов – тромбопоэтинами.*** Эти вещества усиливают кроветворение в костном мозге, селезенке, печени, ретикулоэндотелиальной системе. Концентрация гемопоэтинов увеличивается при снижении в крови форменных элементов, но в малых количествах они постоянно содержатся в плазме крови здоровых людей, являясь ***физиологическими стимуляторами кроветворения.***

Стимулирующее влияние на гемопоэз оказывают гормоны гипофиза (соматотропный и адренокортикотропный гормоны), ***коркового слоя надпочечников*** (глюкокортикоиды), ***мужские половые гормоны*** (андрогены). ***Женские половые гормоны*** (эстрогены) ***снижают гемопоэз,*** поэтому содержание эритроцитов, гемоглобина и тромбоцитов в крови женщин меньше, чем у мужчин. У мальчиков и девочек (до полового созревания) различий в картине крови нет, отсутствуют они и у людей старческого возраста.

9. КРОВООБРАЩЕНИЕ

Кровообращение представляет собой физиологические процессы, обеспечивающие непрерывное движение крови в организме благодаря деятельности сердца и сосудов. Посредством кровообращения достигается интеграция различных функций организма и его участие в реакциях на изменение окружающей среды.

9.1. СЕРДЦЕ И ЕГО ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Источником энергии, необходимой для продвижения крови по сосудам, является работа сердца. Оно представляет собой полый мышечный орган, разделенный продольной перегородкой на правую и левую половины. Каждая из них состоит из предсердия и желудочков, отделенных фиброзными перегородками. Односторонний ток крови из предсердий в желудочки и оттуда в аорту и легочные артерии обеспечивается соответствующими клапанами, открытие и закрытие которых зависит от градиента давлений по обе их стороны.

Толщина стенок различных отделов сердца неодинакова и определяется их функциональной ролью. У левого желудочка она составляет 10–15 мм, у правого – 5–8 мм и у предсердий – 2–3 мм. Масса сердца равна 250–300 г, а объем желудочков – 250–300 мл. Сердце снабжается кровью через коронарные (венечные) артерии, начинающиеся у места выхода аорты. Кровь через них поступает только во время расслабления миокарда, ее объем в покое составляет 200–300 мл/мин, а при напряженной физической работе может достигать 1000 мл/мин.

К основным свойствам сердечной мышцы ***относятся автоматия, возбудимость, проводимость и сократимость.***

• Автоматией сердца ***называется его способность к ритмическому сокращению без внешних раздражений под влиянием импульсов, возникающих в самом органе.*** Возбуждение в сердце возникает в месте впадения полых вен в правое предсердие, где находится так называемый синоатриальный узел (узел Кис–Фляка), являющийся главным водителем ритма сердца. Далее возбуждение по предсердиям распространяется до атриовентрикулярного узла (узел Ашоф–Тавара), расположенного в межпредсердной перегородке правого

предсердия, затем по пучку Гисса, его ножкам и волокнам Пуркинье оно проводится к мускулатуре желудочков.

Автоматия обусловлена изменением мембранных потенциалов в водителе ритма, что связано со сдвигом концентрации ионов калия и натрия по обе стороны деполяризованных клеточных мембран. На характер проявления автоматии влияет содержание солей кальция в миокарде, pH внутренней среды и ее температура, некоторые гормоны (адреналин, норадреналин и ацетилхолин).

• Возбудимость сердца ***проявляется в возникновении возбуждения*** при действии на него электрических, химических, термических и других раздражителей. В основе процесса возбуждения лежит появление отрицательного электрического потенциала в первоначально возбужденном участке, при этом сила раздражителя должна быть не менее пороговой. ***Сердце реагирует на раздражитель по закону «Все или ничего»,*** т.е. или не отвечает на раздражение, или отвечает сокращением максимальной силы. Однако этот закон проявляется не всегда. Степень сокращения сердечной мышцы зависит не только от силы раздражителя, но и от величины ее предварительного растяжения, а также от температуры и состава питающей ее крови.

Возбудимость миокарда непостоянна. ***В начальном периоде возбуждения сердечная мышца*** невосприимчива (рефрактерна) к повторным раздражениям, что составляет фазу абсолютной рефрактерности, равную по времени систоле сердца (0,2–0,3 с). Вследствие достаточно длительного периода абсолютной рефрактерности ***сердечная мышца не может сокращаться по типу тетануса,*** что имеет исключительно важное значение для координации работы предсердий и желудочков.

С началом расслабления возбудимость сердца начинает восстанавливаться и наступает фаза относительной рефрактерности. Поступление в этот момент дополнительного импульса способно вызвать ***внеочередное сокращение сердца*** – экстрасистолу. При этом ***период, следующий за экстрасистолой, длится больше времени, чем обычно, и называется*** компенсаторной паузой. После фазы относительной рефрактерности наступает ***период повышенной возбудимости.*** По времени он совпадает с диастолическим расслаблением и характеризуется тем, что импульсы даже небольшой силы могут вызвать сокращение сердца.

• Проводимость сердца ***обеспечивает распространение возбуждения от клеток водителей ритма по всему миокарду*** (рис. 18)**.** Проведение возбуждения по сердцу осуществляется электрическим путем. Потенциал действия, возникающий в одной мышечной клетке, является раздражителем для других. Проводимость в разных участках сердца неодинакова и зависит от структурных особенностей миокарда и проводящей системы, толщины миокарда, а также от температуры, уровня гликогена, кислорода и микроэлементов в сердечной мышце.

• Сократимость сердечной мышцы ***обусловливает увеличение напряжения или укорочение ее мышечных волокон при возбуждении.*** Возбуждение и сокращение являются функциями разных структурных элементов мышечного волокна. ***Возбуждение – функция поверхностной клеточной мембраны, а сокращение – функция миофибрилл.*** Связь между возбуждением и сокращением, сопряжение их деятельности достигаются при участии особого образования внутримышечного волокна – саркоплазматического ретикулума.

Сила сокращения сердца прямо пропорциональна длине его мышечных волокон, т.е. степени их растяжения при изменении величины потока венозной крови. Иными словами, ***чем больше***

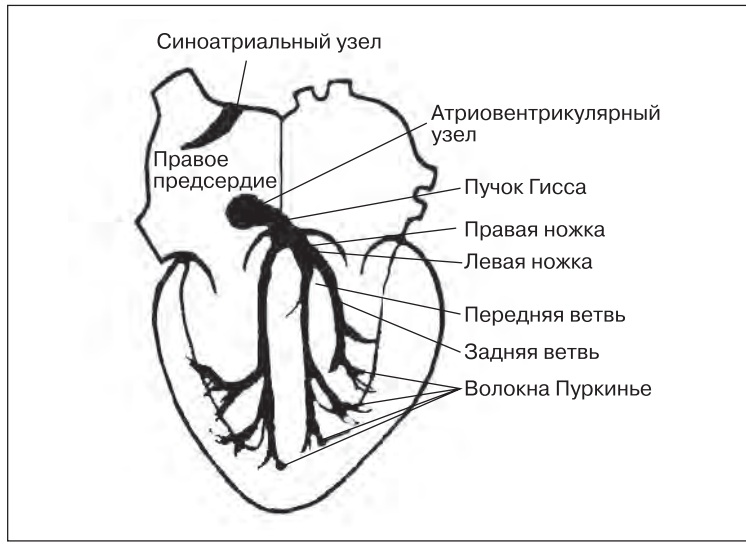


Рис. 18. Схема расположения водителя ритма (пейсмекера) и проводящей системы на фронтальном разрезе сердца

сердце растянуто во время диастолы, тем оно сильнее сокращается во время систолы. Эта особенность сердечной мышцы, установленная О. Франком и Е. Старлингом, получила название закона сердца Франка – Старлинга.

Поставщиками энергии для сокращения сердца служат АТФ и КрФ, восстановление которых осуществляется окислительным и гликолитическим фосфорилированием. При этом предпочтительными являются аэробные реакции.

В процессе возбуждения и сокращения миокарда в нем возникают биотоки и сердце становится электрогенератором. Ткани тела, обладая высокой электропроводностью, позволяют регистрировать усиленные электрические потенциалы с различных участков его поверхности. ***Запись биотоков сердца называется*** электрокардиографией, а ее кривые – электрокардиограммой ***(ЭКГ),*** которая впервые была записана в 1902 г. В. Эйнтховеном.

Для регистрации ЭКГ у человека применяют три стандартных (двухполюсных) отведения, при этом электроды накладывают на поверхность конечностей: I – правая рука – левая рука; II – правая рука – левая нога; III – левая рука – левая нога. Помимо стандартных применяют однополюсные грудные отведения ($V_1 - V_6$) и усиленные отведения от конечностей (aVL, aVR и aVF).

При анализе ЭКГ определяют величину зубцов (в милливольтах) ***и длину интервалов*** между ними (в долях секунды). В каждом сердечном цикле различают зубцы P, Q, R, S, T (рис. 19). Зубец P отражает возбуждение предсердий, интервал P–Q – время проведения возбуждения от предсердия к желудочкам (0,12–0,20 с). Комплекс зубцов QRS (0,06–0,09 с) характеризует возбуждение желудочков, а интервал S–T и зубец T – процессы восстановления в желудочках, т.е. их реполяризацию. Интервал Q–T (0,36–0,40 с), называемый электрической систолой, отражает распространение электрических процессов в миокарде, т.е. его воз-

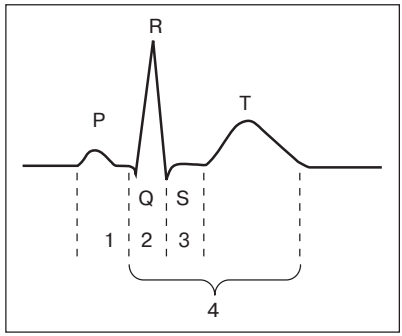


Рис. 19. Схема электрокардиограммы здорового человека

1 – интервал PQ; 2 – интервал QRS; 3 – интервал ST; 4 – интервал QT (электрическая систола сердца)

буждение. Время возбуждения миокарда зависит от ***продолжительности сердечного цикла, которую удобнее всего определять по интервалу R–R.***

По показателям ЭКГ можно судить об автоматии, возбудимости и проводимости сердечной мышцы; сократимость определяется чаще всего с помощью механокардиографии. Особенности автоматии сердца проявляются в изменениях частоты и ритма зубцов, возбудимости – динамикой ритма и вольтажом зубцов, а проводимости – продолжительностью интервалов ЭКГ. Сократимость характеризуется высотой и колебаниями зубцов механокардиограммы.

Ритм работы сердца зависит от возраста, пола, массы тела, тренированности. ***У молодых здоровых людей частота сердечных сокращений (ЧСС) составляет 60–80 ударов в 1 минуту.*** ЧСС менее 60 ударов в 1 мин называется брадикардией, а более 90 – тахикардией. У здоровых людей может наблюдаться синусовая аритмия, при которой разница в продолжительности сердечных циклов в покое составляет 0,2–0,3 с и более. Иногда аритмия связана с фазами дыхания (дыхательная аритмия), она обусловлена преобладающими влияниями блуждающего или симпатического нервов. В этих случаях сердцебиения учащаются при вдохе и урежаются при выдохе.

Безостановочное движение крови по сосудам обусловлено ритмическими сокращениями сердца, которые чередуются с его расслаблением. ***Сокращение сердечной мышцы называется*** систолой, ***а ее расслабление*** – диастолой. ***Период, включающий систолу и диастолу, составляет*** сердечный цикл. ***Он состоит из трех фаз: систолы предсердий, систолы желудочков и общей диастолы сердца.*** Длительность сердечного цикла зависит от ЧСС. При сердечном ритме 75 ударов в 1 мин она составляет 0,8 с, при этом систола предсердия равна 0,1 с, систола желудочков – 0,33 с и общая диастола сердца – 0,37 с.

Левый и правый желудочки при каждом сокращении сердца человека изгоняют соответственно в аорту и легочные артерии примерно 60–80 мл крови; этот объем называется систолическим, или ударным, объемом крови ***(УОК).*** Умножив УОК на ЧСС, можно вычислить минутный объем крови ***(МОК),*** который составляет в среднем 4,5–5 л. Важным показателем является сердечный индекс – ***отношение МОК***

к площади поверхности тела; эта величина у взрослых людей в среднем равна 2,5–3,5 л/мин/м^2. При мышечной деятельности систолический объем может возрастать до 100–150 мл и более, МОК до 30–35 л.

9.2. ДВИЖЕНИЕ КРОВИ ПО СОСУДАМ (ГЕМОДИНАМИКА)

Движение крови по сосудам обусловлено градиентом давления в артериях и венах. Оно подчинено законам гидродинамики и определяется двумя силами: давлением, влияющим на движение крови, и сопротивлением, которое она испытывает при трении о стенки сосудов.

Силой, создающей давление в сосудистой системе, является работа сердца, его сократительная способность. Сопротивление кровотоку зависит прежде всего от диаметра сосудов, их длины и тонуса, а также от объема циркулирующей крови и ее вязкости. При уменьшении диаметра сосуда в два раза сопротивление в нем возрастает в 16 раз. Сопротивление кровотоку в артериолах в 10^6 раз превышает сопротивление ему в аорте.

Различают объемную и линейную скорости движения крови.

Объемной скоростью кровотока ***называют количество крови, которое протекает за 1 минуту через всю кровеносную систему.*** Эта величина соответствует МОК и измеряется в миллилитрах в 1 мин. Как общая, так и местная объемные скорости кровотока непостоянны и существенно меняются при физических нагрузках (табл. 3).

Таблица 3

Общая и местная объемная скорость кровотока у человека
(по Вейду и Бишопу)

Показатели	Объемная скорость кровотока (мл/мин)			
	Состояние покоя	Физическая работа		
		легкая	средняя	тяжелая
Общая объемная скорость кровотока	5800	9500	17 500	25 000
Скелетные мышцы	1200	4500	12 500	22 500
Мозг	750	750	750	750
Сердце	250	350	750	1000
Органы брюшной полости	1400	1100	600	300
Почки	1100	900	600	250
Кожа	700	1500	1900	600
Другие органы	600	400	400	100

Линейной скоростью кровотока ***называют скорость движения частиц крови вдоль сосудов.*** Эта величина, измеренная в см в 1 с, прямо пропорциональна объемной скорости кровотока и обратно пропорциональна площади сечения кровеносного русла. Линейная скорость неодинакова: она больше в центре сосуда и меньше около его стенок, выше в аорте и крупных артериях и ниже в венах. Самая низкая скорость кровотока – в капиллярах, общая площадь сечения которых в 600–800 раз больше площади сечения аорты. О средней линейной скорости кровотока можно судить по ***времени полного кругооборота крови.*** В состоянии покоя оно составляет 21–23 с, при тяжелой работе снижается до 8–10 с.

При каждом сокращении сердца кровь выбрасывается в артерии под большим давлением. Вследствие сопротивления кровеносных сосудов ее передвижению в них создается давление, которое называют кровяным давлением. Величина его неодинакова в разных отделах сосудистого русла. Наибольшее давление – в аорте и крупных артериях. В мелких артериях, артериолах, капиллярах и венах оно постепенно снижается; в полых венах давление крови меньше атмосферного.

На протяжении сердечного цикла давление в артериях неодинаково: оно выше в момент систолы и ниже при диастоле. Наибольшее давление называют систолическим (максимальным), наименьшее – диастолическим (минимальным). Колебания кровяного давления при систоле и диастоле сердца происходят лишь в аорте и артериях; в артериолах и венах давление – крови постоянно на всем протяжении сердечного цикла. Среднее артериальное давление представляет собой ту величину давления, которое могло бы обеспечить течение крови в артериях без колебаний давления при систоле и диастоле. Это давление выражает энергию непрерывного течения крови, показатели которого близки к уровню диастолического давления (рис. 20).

Величина артериального давления зависит от сократительной силы миокарда, величины МОК, длины, емкости и тонуса сосудов, вязкости крови. Уровень систолического давления зависит в первую очередь от силы сокращения миокарда. Отток крови из артерий связан с сопротивлением в периферических сосудах, их тонусом, что в существенной мере определяет уровень диастолического давления. Таким образом, ***давление в артериях будет тем выше, чем сильнее сокращения сердца и чем больше периферическое сопротивление (тонус сосудов).***

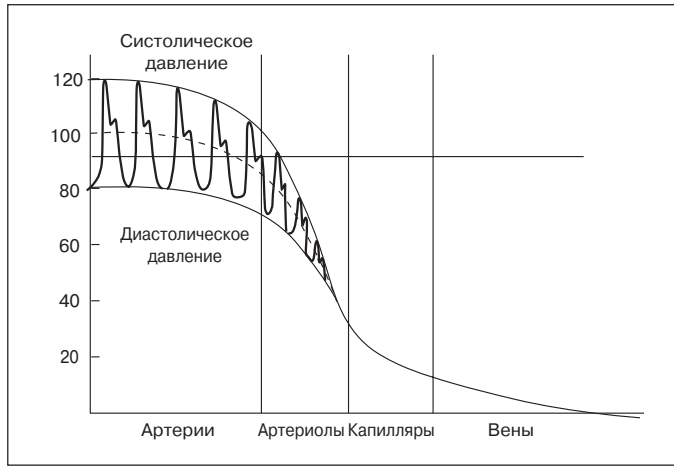


Рис. 20. Изменение кровяного давления в разных частях сосудистого русла

Артериальное давление у человека может быть измерено ***прямым и косвенным способами.*** При прямом способе в артерию вводится полая игла, соединенная с манометром. Это наиболее точный способ, однако он мало пригоден для практических целей. Косвенный, так называемый манжеточный, способ был предложен Рива-Роччи в 1896 г. и основан на определении величины давления, необходимой для полного сжатия артерии манжетой и прекращения в ней тока крови. Этим методом можно определить лишь величину систолического давления. ***Для определения систолического и диастолического давления применяется*** звуковой, или аускультативный, способ, предложенный Н.С. Коротковым в 1905 г., при котором также используются манжета и манометр, но о величине давления судят не по пульсу, а по возникновению и исчезновению звуков, выслушиваемых на артерии ниже места наложения манжеты (звуки возникают лишь тогда, когда кровь течет по сжатой артерии). В последние годы для измерения артериального давления у человека на расстоянии используются радиотелеметрические приборы.

В состоянии покоя у взрослых здоровых людей ***систолическое давление в плечевой артерии составляет 110–120 мм рт. ст., диастолическое – 60–80 мм рт. ст.*** По данным Всемирной организации здравоохранения, артериальное давление до 140/90 мм рт. ст. является нормотоническим, выше этих величин – гипертоническим, а ниже 100/60 мм рт. ст. – гипотоническим. ***Разница между систолическим и диасто-***

лическим давлениями называется пульсовым давлением, или пульсовой амплитудой; ее величина в среднем равна 40–50 мм рт. ст. У людей пожилого возраста кровяное давление выше, чем у молодых; у детей оно ниже, чем у взрослых.

В капиллярах происходит обмен веществ между кровью и тканями, количество капилляров в организме человека очень велико. Оно больше там, где интенсивнее метаболизм. Например, на единицу площади сердечной мышцы капилляров приходится в два раза больше, чем скелетной. Кровяное давление в разных капиллярах колеблется от 8 до 40 мм рт. ст.; скорость кровотока в них небольшая – 0,3–0,5 мм/с.

В начале венозной системы давление крови равно 20–30 мм рт. ст., в венах конечностей – 5–10 мм рт. ст. и в полых венах колеблется около 0. ***Стенки вен тоньше, и их растяжимость в 100–200 раз больше, чем у артерий.*** Поэтому емкость венозного сосудистого русла может возрастать в 5–6 раз даже при незначительном повышении давления в крупных венах. В этой связи вены называют емкостными сосудами, в отличие от артерий, которые оказывают большое сопротивление току крови и называются резистивными сосудами (сосудами сопротивления).

Линейная скорость кровотока даже в крупных венах меньше, чем в артериях. Например, в полых венах скорость движения крови почти в два раза ниже, чем в аорте. ***Участие дыхательных мышц в венозном кровообращении образно называется*** дыхательным насосом, ***скелетных мышц*** – мышечным насосом. При динамической работе мышц движению крови в венах способствуют оба этих фактора. При статических усилиях приток крови к сердцу снижается, что приводит к уменьшению сердечного выброса, падению артериального давления и ухудшению кровоснабжения головного мозга.

В легких имеется двойное кровоснабжение. Газообмен обеспечивается сосудами малого круга кровообращения, т.е. легочными артериями, капиллярами и венами. ***Питание легочной ткани осуществляется группой артерий большого круга*** – бронхиальными артериями, отходящими от аорты. Легочное русло, пропускающее за одну минуту то же количество крови, что и большой круг, имеет меньшую протяженность. Крупные легочные артерии более растяжимы, чем артерии большого круга, поэтому они могут вмещать относительно больше крови без существенных изменений кровяного давления. Емкость легочных

сосудов непостоянна: при вдохе она увеличивается, при выдохе – уменьшается. Легочные сосуды могут вмещать от 10 до 25% всего объема крови.

Сопротивление току крови в сосудах малого круга кровообращения примерно в 10 раз меньше, чем в сосудах большого круга. Это в значительной мере обусловлено широким диаметром легочных артериол. В связи с пониженным сопротивлением правый желудочек сердца работает с небольшой нагрузкой и развивает давление в несколько раз меньшее, чем левый. Систолическое давление в легочной артерии составляет 25–30 мм рт. ст., диастолическое – 5–10 мм рт. ст.

Капиллярная сеть малого круга кровообращения имеет поверхность около 140 м². Одномоментно в легочных капиллярах находится от 60 до 90 мл крови. За одну минуту через все капилляры легких проходит 3,5–5 л крови, а при физической работе – до 30–35 л/мин. Эритроциты проходят через легкие за 3–5 с, находясь в легочных капиллярах (где происходит газообмен) – в течение 0,7 с, при физической работе – 0,3 с. Большое количество сосудов в легких приводит к тому, что кровоток здесь в 100 раз выше, чем в других тканях организма.

Кровоснабжение сердца осуществляется коронарными, или венечными, сосудами. В отличие от других органов, ***в сосудах сердца кровоток происходит преимущественно во время диастолы.*** В период систолы желудочков сокращение миокарда настолько сдавливает расположенные в нем артерии, что кровоток в них резко снижается.

В покое через коронарные сосуды протекает в 1 минуту 200–250 мл крови, что составляет около 5% МОК. Во время физической работы коронарный кровоток может возрасти до 3–4 л/мин. Кровоснабжение миокарда в 10–15 раз интенсивнее, чем тканей других органов. Через левую венечную артерию осуществляется 85% коронарного кровотока, через правую – 15%. Венечные артерии являются концевыми и имеют мало анастомозов, поэтому их резкий спазм или закупорка приводят к тяжелым последствиям.

9.3. РЕГУЛЯЦИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

Работа сердца усиливается при увеличении венозного притока крови. Мышца сердца при этом сильнее растягивается во время диастолы, что способствует более мощному последующему ее сокращению. Однако эта зависимость проявляется не всегда. При

очень большом притоке крови сердце не успевает полностью освободить свои полости, сокращения его не только не усиливаются, но даже ослабевают.

Главную роль в регуляции деятельности сердца играют нервные и гуморальные влияния. Сердце сокращается благодаря импульсам, поступающим от главного водителя ритма, деятельность которого контролируется центральной нервной системой.

Нервная регуляция ***деятельности сердца осуществляется эфферентными ветвями блуждающего и симпатического нервов.*** Исследование нервной регуляции деятельности сердца началось с открытия в Петербурге в 1845 г. братьями Вебер ***тормозящего влияния блуждающего нерва,*** а в 1867 г. там же братья Цион обнаружили ***ускоряющее влияние симпатического нерва.*** И лишь благодаря опытам И.П. Павлова (1883) было показано, что различные волокна этих нервов по-разному влияют на работу сердца. Так, раздражение одних волокон блуждающего нерва вызывает урежение сердцебиений, а раздражение других – их ослабление. Некоторые волокна симпатического нерва учащают ритм сердечных сокращений, другие – усиливают их. ***Усиливающие нервные волокна являются трофическими,*** т.е. действующими на сердце путем повышения обмена веществ в миокарде.

На основе анализа всех влияний блуждающего и симпатического нервов на сердце создана современная классификация их эффектов. Хронотропный эффект характеризует изменение частоты сердечных сокращений, батмотропный – изменение возбудимости, дромотропный – изменение проводимости, инотропный – изменение сократимости. ***Все эти процессы блуждающие нервы замедляют и ослабляют, а симпатические – ускоряют и усиливают.***

Центры блуждающих нервов находятся в продолговатом мозге. Вторые их нейроны расположены непосредственно в нервных узлах сердца. Отростки этих нейронов иннервируют синоатриальный и атриовентрикулярный узлы и мышцы предсердий; миокард желудочков блуждающими нервами не иннервируется. ***Нейроны симпатических нервов*** расположены в верхних сегментах грудного отдела спинного мозга, отсюда возбуждение передается в шейные и верхние грудные симпатические узлы и далее к сердцу. Импульсы с нервных окончаний передаются на сердце посредством ***медиаторов.*** Для блуждающих нервов медиатором служит ***ацетилхолин,*** для симпатических – ***норадреналин.***

Центры блуждающих нервов постоянно находятся в состоянии некоторого возбуждения (тонуса), степень которого изменяется под влиянием центростремительных импульсов от разных рецепторов тела. При стойком повышении тонуса этих нервов сердцебиения становятся реже, возникает синусовая брадикардия. Тонус центров симпатических нервов выражен слабее. Возбуждение в этих центрах усиливается при эмоциях и мышечной деятельности, что ведет к учащению и усилению сердечных сокращений.

В рефлекторной регуляции работы сердца участвуют центры продолговатого и спинного мозга, гипоталамуса, мозжечка и коры больших полушарий, а также рецепторы некоторых сенсорных систем (зрительной, слуховой, двигательной, вестибулярной). Большое значение в регуляции сердца и кровеносных сосудов имеют импульсы от сосудистых рецепторов, расположенных в рефлексогенных зонах (дуга аорты, бифуркация сонных артерий и др.).Такие же рецепторы имеются и в самом сердце. Часть этих рецепторов воспринимает изменения давления в сосудах (барорецепторы). Хеморецепторы возбуждаются в результате сдвигов химического состава плазмы крови при увеличении в ней pCO_2, или снижения pO_2.

На деятельность сердечно-сосудистой системы влияют импульсы от рецепторов легких, кишечника, раздражение тепловых и болевых рецепторов, эмоциональных и условно-рефлекторных воздействий. В частности, при повышении температуры тела на 1°С частота сердцебиений возрастает на 10 уд./мин.

Гуморальная регуляция деятельности сердца осуществляется путем воздействия на него химических веществ, находящихся в крови. Представления о гуморальной регуляции связаны с экспериментами О. Леви (1922), получившего «вагусоподобное вещество» при раздражении постганглионарных волокон блуждающих нервов, и аналогичными опытами У. Кеннона (1925) на симпатических нервах, обнаружившего «симпатин». В дальнейшем было установлено, что вышеназванные вещества – это ацетилхолин и норадреналин.

Гуморальные влияния на сердце могут оказываться гормонами, продуктами распада углеводов и белков, изменениями pH, ионов калия и кальция. Адреналин, норадреналин и тироксин усиливают работу сердца, ацетилхолин – ослабляет. Снижение pH, увеличение уровня мочевины и молочной кислоты повышают сердечную деятельность. При избытке ионов калия урежается ритм

и уменьшается сила сокращений сердца, его возбудимость и проводимость. Высокая концентрация калия приводит к расслоению миокарда и остановке сердца в диастоле. Ионы кальция учащают ритм и усиливают сердечные сокращения, повышают возбудимость и проводимость миокарда; при избытке кальция сердце останавливается в систоле.

Функциональное состояние сосудистой системы, как и сердца, ***регулируется нервными и гуморальными влияниями.*** Нервы, регулирующие тонус сосудов, называются сосудодвигательными и состоят из двух частей – ***сосудосуживающих и сосудорасширяющих. Симпатические нервные волокна,*** выходящие в составе передних корешков спинного мозга, оказывают ***суживающее действие*** на сосуды кожи, органов брюшной полости, почек, легких и мозговых оболочек, но ***расширяют сосуды сердца. Сосудорасширяющие влияния оказываются парасимпатическими волокнами,*** которые выходят из спинного мозга в составе задних корешков.

Определенные взаимоотношения сосудосуживающих и сосудорасширяющих нервов поддерживаются сосудодвигательным центром, расположенным в продолговатом мозге (открыт В.Ф. Овсянниковым в 1871 г.). Сосудодвигательный центр ***состоит из*** прессорного ***(сосудосуживающего)*** и депрессорного ***(сосудорасширяющего) отделов.*** Главная роль в регуляции тонуса сосудов принадлежит прессорному отделу. Кроме того, существуют высшие сосудодвигательные центры, расположенные в коре головного мозга и гипоталамусе, и низшие – в спинном мозге. Нервная регуляция тонуса сосудов осуществляется и ***рефлекторным путем.*** На основе безусловных рефлексов (оборонительных, пищевых, половых) вырабатываются сосудистые условные реакции на слова, вид объектов, эмоции и др.

Основными естественными ***рецептивными полями,*** где возникают рефлексы на сосуды, являются кожа и слизистые оболочки ***(экстероцептивные зоны)*** и сердечно-сосудистая система ***(интероцептивные зоны).*** Главнейшими интерорецептивными зонами являются синокаротидная и аортальная; в дальнейшем подобные зоны были открыты в устье полых вен, в сосудах легких и желудочно-кишечного тракта.

Гуморальная регуляция тонуса сосудов ***осуществляется как сосудосуживающими, так и сосудорасширяющими веществами.*** К первой группе относят гормоны мозгового слоя надпочечников – ***адреналин и норадреналин,*** а также зад-

ней доли гипофиза – ***вазопрессин.*** К числу гуморальных сосудосуживающих факторов относят ***серотонин,*** образующийся в слизистой оболочке кишечника, в некоторых участках головного мозга и при распаде тромбоцитов. Аналогичный эффект оказывает образующееся в почках вещество ***ренин,*** который активирует находящийся в плазме глобулин – ***гипертензиноген,*** превращая его в активный ***гипертензин (ангиотонин).***

В настоящее время во многих тканях тела обнаружено значительное количество ***сосудорасширяющих веществ.*** Таким эффектом обладает ***медуллин,*** вырабатываемый мозговым слоем почек, и ***простогландины,*** обнаруженные в секрете предстательной железы. В подчелюстной и поджелудочной железах, в легких и коже установлено наличие весьма активного полипептида – ***брадикинина,*** который вызывает расслабление гладкой мускулатуры артериол и понижает кровяное давление. К сосудорасширяющим веществам также относятся ***ацетилхолин,*** образующийся в окончаниях парасимпатических нервов, и ***гистамин,*** находящийся в стенках желудка, кишечника, а также в коже и скелетных мышцах (при их работе).

Все сосудорасширяющие вещества, как правило, действуют местно, вызывая дилатацию капилляров и артериол. ***Сосудосуживающие*** вещества преимущественно оказывают ***общее действие*** на крупные кровеносные сосуды.

10. ДЫХАНИЕ

Дыханием называется совокупность физиологических процессов, обеспечивающих поступление кислорода в организм, использование его тканями для окислительно-восстановительных реакций и выведения из организма углекислого газа. Дыхательная функция осуществляется с помощью внешнего (легочного) дыхания, переноса O_2 к тканям и CO_2 от них, а также газообмена между тканями и кровью.

10.1. ВНЕШНЕЕ ДЫХАНИЕ

У человека внешнее дыхание обеспечивается трахеей, бронхами, бронхиолами и альвеолами, общее количество которых составляет около 700 млн. Площадь альвеол равна 80–100 м^2, а объем воздуха в них около 2–3 л; объем воздухоносных путей –

150–180 мл. В обычных условиях альвеолы не спадаются, так как находящаяся на их внутренней поверхности жидкость содержит сурфактанты – ***вещества, снижающие поверхностное натяжение.***

Газообмен между легкими и окружающей средой осуществляется за счет вдоха и выдоха. При вдохе объем легких увеличивается, давление в них становится ниже атмосферного, и воздух поступает в дыхательные пути. Этот процесс носит ***активный*** характер и обусловлен сокращением наружных межреберных мышц и опусканием (сокращением) диафрагмы, в результате чего объем легких возрастает на 250–300 мл. Во время выдоха объем грудной полости уменьшается, воздух в легких сжимается, давление в них становится выше атмосферного и воздух выходит наружу. Выдох в спокойном состоянии осуществляется ***пассивно*** за счет тяжести грудной клетки и расслабления диафрагмы. Форсированный выдох происходит вследствие сокращений внутренних межреберных мышц, частично – за счет мышц плечевого пояса и брюшного пресса.

Важное значение для осуществления вдоха и выдоха имеет герметически замкнутая плевральная полость (щель), образованная ***висцеральным*** (покрывает легкое) и ***париетальным*** (выстилает грудную клетку изнутри) ***листками плевры*** и защищенная небольшим количеством жидкости. Давление в плевральной полости ниже атмосферного, которое еще больше снижается при вдохе, способствуя поступлению воздуха в легкие. При попадании воздуха или жидкости в плевральную полость легкие спадаются за счет их эластической тяги, дыхание становится невозможным и развиваются тяжелые осложнения – пневмогидроторакс.

Количество воздуха, находящегося в легких после максимального вдоха, составляет общую емкость легких, величина которой у взрослого человека равна 4–6 л. В общей емкости легких принято выделять ***четыре составляющих ее компонента: дыхательный объем, резервный объем вдоха и выдоха и остаточный объем.***

Дыхательный объем – это количество воздуха, проходящего через легкие при спокойном вдохе (выдохе) и равное 400–500 мл. Резервный объем вдоха (1,5–3 л) составляет воздух, который можно вдохнуть дополнительно после обычного вдоха. Резервным объемом выдоха (1–1,5 л) называется объем воздуха, который еще можно выдохнуть после обычного

выдоха. Остаточный объем (1–1,2 л) – это количество воздуха, которое остается в легких после максимального выдоха и выходит только при пневмотораксе. Сумма дыхательного воздуха, резервных объемов вдоха и выдоха составляет жизненную емкость легких (ЖЕЛ), равную 3,5–5 л. У спортсменов она может достигать 6 л и более.

В покое человек делает 10–14 дыхательных циклов в 1 минуту, поэтому минутный объем дыхания (МОД) составляет 6–8 л. В состав дыхательного воздуха входит так называемое мертвое (вредное) пространство (120–150 мл), образованное воздухоносными путями (полости рта, носа, глотки, гортани, трахеи и бронхов), не участвующими в газообмене воздухом. Однако заполняющий это пространство воздух играет положительную роль в поддержании оптимальной влажности и температуры альвеолярного газа. Соотношение компонентов дыхательного цикла (длительность фаз вдоха и выдоха, глубина дыхания, динамика давления и скорость потоков в воздухоносных путях) характеризуют так называемый паттерн дыхания, который зависит от внешних и внутренних влияний на организм.

В процессе газообмена между организмом и атмосферным воздухом большое значение имеет вентиляция легких, обеспечивающая обновление состава альвеолярного газа. Интенсивность вентиляции зависит от глубины и частоты дыхания. Количественным показателем вентиляции легких служит минутный объем дыхания, ***определяемый как произведение дыхательного объема на число дыханий в минуту.***

Легочная вентиляция обеспечивается ***работой дыхательных мышц.*** Эта работа связана с преодолением эластического сопротивления легких и сопротивления дыхательному потоку воздуха (неэластическое сопротивление). При МОД, равном 6–8 л/мин, на работу дыхательных мышц расходуется 5–10 мл/мин O_2. При физических нагрузках, когда МОД достигает 150–200 л/мин, для обеспечения работы дыхательных мышц требуется уже около одного литра O_2. Высокая кислородная стоимость дыхания невыгодна для организма, так как O_2 не может использоваться для полезной работы.

Из воздуха альвеол O_2 переходит в кровь, а в него поступает CO_2. Поэтому газовый состав их воздуха в процессе вентиляции легких неодинаков (табл. 4).

Таблица 4

Состав воздуха (в %) при спокойном дыхании

Воздух	Кислород	Углекислый газ	Азот
Вдыхаемый	20,94	0,03	79,03
Выдыхаемый	16,30	4,00	79,70
Альвеолярный	14,40	5,60	80,00

Выдыхаемый воздух состоит из смеси альвеолярного и воздуха вредного пространства, по составу мало отличающегося от атмосферного. Поэтому выдыхаемый воздух содержит больше O_2 и меньше CO_2 по сравнению с альвеолярным. Назначение легочной вентиляции состоит в поддержании относительного постоянства уровня парциального давления O_2 и CO_2 в альвеолярном воздухе. При атмосферном давлении 760 мм рт. ст. pO_2 в нем равно 159 мм рт. ст. и pCO_2 – 0,2 мм рт. ст., а в альвеолярном воздухе – 102 мм рт. ст. и 40 мм рт. ст. соответственно. Характер легочной вентиляции определяется градиентом парциального давления этих газов в различных отделах дыхательных путей.

10.2. ОБМЕН ГАЗОВ В ЛЕГКИХ И ИХ ПЕРЕНОС КРОВЬЮ

Переход O_2 из альвеолярного воздуха в кровь и CO_2 из крови в альвеолы происходит только путем диффузии. Никакого механизма активного транспорта газов здесь не существует. Движущей силой диффузии являются ***разности (градиенты) парциальных давлений (напряжений) O_2 и CO_2 по обе стороны альвеолярно-капиллярной мембраны или аэрогематического барьера.*** Напряжение газов в различных средах представлено в табл. 5.

Таблица 5

Напряжение O_2 и CO_2 при спокойном дыхании воздухом (мм рт. ст.)

Среда	Кислород	Углекислый газ
Альвеолярный воздух	102	40
Венозная кровь	40	46
Артериальная кровь	100	40
Ткани	10–20	50–60

Кислород и углекислый газ диффундируют только в растворенном состоянии, что обеспечивается наличием в воздухоносных путях водяных паров, слизи и сурфактантов. В ходе диффузии через аэрогематический барьер молекулы растворенного газа преодолевают большое сопротивление, обусловленное слоем сурфактанта, альвеолярным эпителием, мембранами альвеол и капилляров, эндотелием сосудов, а также плазмой крови и мембраной эритроцитов.

Диффузионная способность легких для кислорода очень велика. Это обусловлено огромным числом (сотнями миллионов) альвеол и большой их газообменной поверхностью (около 100 $м^2$), а также малой толщиной (около 1 мкм) альвеолярно-капиллярной мембраны. Диффузионная способность легких у человека примерно равна 25 мл O_2 в 1 мин в расчете на 1 мм рт. ст. градиента парциальных давлений кислорода. Учитывая, что градиент pO_2 между притекающей к легким венозной кровью и альвеолярным воздухом составляет около 60 мм рт. ст., этого оказывается достаточно, чтобы за время прохождения крови через легочный капилляр (около 0,8 с) напряжение кислорода в ней успело уравновеситься с альвеолярным pO_2.

Диффузия CO_2 из венозной крови в альвеолы даже при сравнительно небольшом градиенте pCO_2 (около 6 мм рт. ст.) происходит достаточно легко, так как растворимость CO_2 в жидких средах в 20–25 раз больше, чем у кислорода. Поэтому после прохождения крови через легочные капилляры pCO_2 в ней оказывается равным альвеолярному и составляет около 40 мм рт. ст.

Дыхательная функция крови прежде всего обеспечивается доставкой к тканям необходимого им количества O_2. Кислород в крови находится в двух агрегатных состояниях: растворенный в плазме (0,3 об.%) и связанный с гемоглобином (около 20 об.%) – оксигемоглобин.

Отдавший кислород гемоглобин считают ***восстановленным, или дезоксигемоглобином.*** Поскольку молекула гемоглобина содержит 4 частицы гема (железосодержащего вещества), она может связать четыре молекулы O_2. Количество O_2, связанного гемоглобином в 100 мл крови, носит название кислородной емкости крови и составляет около 20 мл O_2. Кислородная емкость всей крови человека, содержащей примерно 750 г гемоглобина, приблизительно равна 1 л.

Каждому значению pO_2 в крови соответствует определенное процентное насыщение гемоглобина кислородом. Кривую

зависимости процентного насыщения гемоглобина кислородом от величины парциального напряжения называют кривой диссоциации оксигемоглобина (рис. 21). Анализ хода этой кривой сверху вниз показывает, что с уменьшением pO_2 в крови происходит диссоциация оксигемоглобина, т.е. процентное содержание оксигемоглобина уменьшается, а восстановленного – растет.

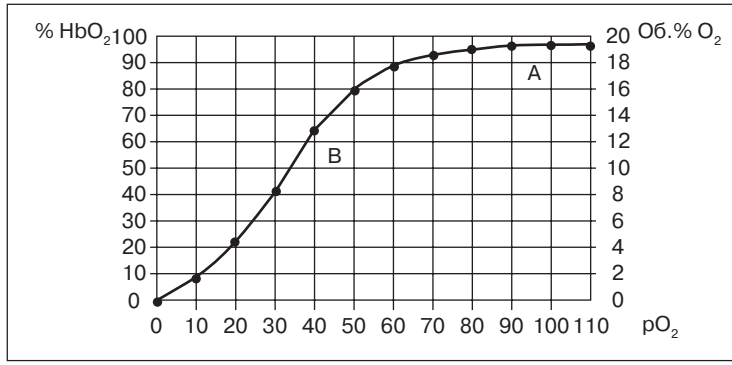


Рис. 21. Кривая диссонации оксигемоглобина в крови человека в покое:
А – содержание HbO_2 в артериальной крови, В – то же в венозной крови

В различных условиях деятельности может возникать острое снижение насыщенности крови кислородом – гипоксемия. Причины гипоксемии весьма разнообразны. Она может развиваться вследствие снижения pO_2 в альвеолярном воздухе (произвольная задержка дыхания, вдыхание воздуха с пониженным pO_2), при физических нагрузках, а также при неравномерной вентиляции различных отделов легких.

Образующийся в тканях CO_2 диффундирует в тканевые капилляры, откуда переносится венозной кровью в легкие, где переходит в альвеолы и удаляется с выдыхаемым воздухом. Углекислый газ в крови (как и O_2) находится в двух состояниях: растворенный в плазме (около 5% всего количества) и химически связанный с другими веществами (95%). CO_2 в виде химических соединений имеет ***три формы:*** угольная кислота (H_2CO_3), соли угольной кислоты ($NaHCO_3$) и в связи с гемоглобином ($HbHCO_3$).

В крови тканевых капилляров одновременно с поступлением CO_2 внутрь эритроцитов и образованием в них угольной кислоты происходит отдача O_2 оксигемоглобином. Восстановленный

Hb легко связывает водородные ионы, образующиеся при диссоциации угольной кислоты. Таким образом, восстановленный Hb венозной крови способствует связыванию CO_2, а оксигемоглобин, образующийся в легочных капиллярах, облегчает его отдачу.

В состоянии покоя с дыханием из организма человека удаляется 230–250 мл CO_2 в 1 минуту. При удалении из крови CO_2 из нее уходит примерно эквивалентное число ионов водорода. Таким порядком дыхание участвует в регуляции кислотно-щелочного состояния во внутренней среде организма.

Обмен газов между кровью и тканями осуществляется также путем диффузии. Между кровью в капиллярах и межтканевой жидкостью существует градиент напряжения O_2, который составляет 30–80 мм рт. ст., а напряжение CO_2 в интерстициальной жидкости на 20–40 мм рт. ст. выше, чем в крови. Кроме того, на обмен O_2 и CO_2 в тканях влияют площадь обменной поверхности, количество эритроцитов в крови, скорость кровотока, коэффициенты диффузии газов в тех средах, через которые осуществляется их перенос.

Артериальная кровь отдает тканям не весь O_2. Разность между об.% O_2 в притекающей к тканям артериальной крови (около 20 об.%) и оттекающей от них венозной кровью (примерно 13 об.%) называется артерио-венозной разностью по кислороду (7 об.%). Эта величина служит важной характеристикой дыхательной функции крови, показывая, какое количество O_2 доставляют тканям каждые 100 мл крови. Для того чтобы установить, какая часть приносимого кровью O_2 переходит в ткани, вычисляют коэффициент утилизации (использования) кислорода. Его определяют путем деления величины артериовенозной разности на содержание O_2 в артериальной крови и умножения на 100. В покое для всего организма коэффициент утилизации O_2 равен примерно 30–40%. Однако в миокарде, сером веществе мозга, печени и корковом слое почек он составляет 40–60%. При тяжелых физических нагрузках коэффициент утилизации кислорода работающими скелетными мышцами и миокардом достигает 80–90%.

В снабжении мышц O_2 при тяжелой работе имеет определенное значение внутримышечный пигмент миоглобин, который связывает дополнительно 1,0–1,5 л O_2. Связь O_2 с миоглобином более прочная, чем с гемоглобином. Оксимиоглобин отдает O_2 только при выраженной гипоксемии.

10.3. РЕГУЛЯЦИЯ ДЫХАНИЯ

Регуляция внешнего дыхания представляет собой физиологический процесс управления легочной вентиляцией для обеспечения оптимального газового состава внутренней среды организма в постоянно меняющихся условиях его жизнедеятельности. ***Основную роль в регуляции дыхания играют рефлекторные реакции,*** возникающие в результате возбуждения специфических рецепторов, заложенных в легочной ткани, сосудистых рефлексогенных зонах и скелетных мышцах. ***Центральный аппарат регуляции дыхания*** представляют нервные образования спинного, продолговатого мозга и вышележащих сегментов ЦНС.

Гуморальная регуляция дыхания, созданная Д. Холденом и Д. Пристли около 50 лет назад, в последние годы не находит экспериментального подтверждения, большинством специалистов считается ошибочной и упоминается сейчас только в историческом плане. Это обусловлено открытием ***специфических рецепторов (механо- и хеморецепторов),*** а также других рефлекторных влияний на дыхательный центр. Поэтому ***все изменения внешнего дыхания в настоящее время объясняются только рефлекторными механизмами.***

Дыхательный ритм и управление деятельностью дыхательных мышц генерируются работой дыхательного центра, представляющего собой совокупность взаимосвязанных нейронов ретикулярной формации продолговатого мозга и вышележащих отделов ЦНС, обеспечивающих тонкое приспособление дыхания к различным условиям внешней среды. Современные представления о работе дыхательного центра сводятся к тому, что часть дыхательных нейронов, объединенных в так называемую латеральную зону, является эфферентной частью дыхательного центра и ***обеспечивает преимущественно фазу вдоха*** (инспираторные нейроны). Другая группа нейронов, составляющая медиальную зону, является афферентной частью дыхательного центра и ***обеспечивает фазу выдоха*** (экспираторные нейроны). Предназначение этой зоны заключается в контроле за периодичностью дыхательной ритмики, организуемой латеральной зоной.

В регуляции дыхания на основе механизма обратных связей принимают участие несколько групп механорецепторов легких.

Рецепторы растяжения легких находятся в гладких мышцах трахеи и бронхов. Адекватным раздражителем этих рецепторов является растяжение стенок воздухоносных путей.

Ирритантные рецепторы расположены в эпителиальном слое верхних дыхательных путей и раздражаются при изменении объема легких, а также при пневмотораксе, коллапсе и действии на слизистую трахеи и бронхов механических или химических раздражителей. При раздражении этих рецепторов у человека возникают кашлевой рефлекс, першение и жжение, учащение дыхания и бронхоспазм.

Джи-рецепторы расположены в стенках альвеол в местах их контакта с капиллярами, поэтому их еще называют юкстакапиллярные рецепторы легких. Эти рецепторы формируют частое поверхностное дыхание при патологии легких (воспаление, отек, повреждения легочной ткани), а также раздражаются при действии некоторых биологически активных веществ (никотин, гистамин и др.).

Проприорецепторы дыхательных мышц (межреберные мышцы, мышцы живота) обеспечивают усиление вентиляции легких при повышении сопротивления дыханию.

Поддержание постоянства газового состава внутренней среды организма регулируется с помощью центральных и периферических хеморецепторов.

Центральные хеморецепторы расположены в структурах продолговатого мозга и чувствительны к изменению pH межклеточной жидкости мозга. Эти рецепторы стимулируются ионами водорода, концентрация которых зависит от pCO_2 в крови. При снижении pH интерстициальной жидкости мозга (концентрация водородных ионов растет) дыхание становится более глубоким и частым. Напротив, при увеличении pH угнетается активность дыхательного центра и снижается вентиляция легких.

Периферические (артериальные) хеморецепторы расположены в дуге аорты и месте деления общей сонной артерии (каротидный синус). Эти рецепторы вызывают рефлекторное увеличение легочной вентиляции в ответ на снижение pO_2 в крови (гипоксемия).

Афферентные влияния с работающих мышц осуществляются благодаря раздражению проприорецепторов, что приводит к усилению дыхания рефлекторным путем. Повышение активности дыхательного центра в этом случае является результатом распространения возбуждения по различным отделам ЦНС.

Существенное воздействие на регуляцию дыхания оказывают и условно-рефлекторные влияния. В частности, эмоциональные

нагрузки, предстартовые состояния, гипнотические внушения, влияния индифферентных раздражителей, сочетавшихся ранее с избытком CO_2, самообучение управлению дыханием подтверждают сказанное. Легочная вентиляция зависит также от особенностей гемодинамики (уровень АД, величина МОК), температуры внешней среды и других факторов.

11. ПИЩЕВАРЕНИЕ

Пищеварением называется процесс физической и химической переработки пищи, в результате которого становится возможным всасывание питательных веществ из пищеварительного тракта, поступление их в кровь и лимфу и усвоение организмом.

11.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

В пищеварительном аппарате происходят сложные физико-химические превращения пищи, которые осуществляются благодаря ***моторной, секреторной и всасывающей*** его функциям. Кроме того, органы пищеварительной системы выполняют и ***экскреторную*** функцию, выводя из организма остатки непереваренной пищи и некоторые продукты обмена веществ.

Физическая обработка пищи состоит в ее размельчении, перемешивании и растворении содержащихся в ней веществ. Химические изменения пищи происходят под влиянием гидролитических пищеварительных ферментов, вырабатываемых секреторными клетками пищеварительных желез. В результате этих процессов сложные вещества пищи расщепляются на более простые, которые всасываются в кровь или лимфу и участвуют в обмене веществ в организме. ***В процессе переработки пища теряет свои видовые специфические свойства, превращаясь в простые составные элементы, которые могут быть использованы организмом.***

Для равномерного и более полного переваривания пищи требуется ее перемешивание и передвижение по желудочно-кишечному тракту. Это обеспечивается ***моторной функцией*** пищеварительного тракта за счет сокращения гладких мышц стенок желудка и кишечника. Их двигательная активность характеризуется перистальтикой, ритмической сегментацией, маятникообразными движениями и тоническим сокращением.

Секреторная функция пищеварительного тракта осуществляется соответствующими клетками, входящими в состав слюнных желез полости рта, желез желудка и кишечника, а также поджелудочной железы и печени. Пищеварительный секрет представляет собой раствор электролитов, содержащий ферменты и другие вещества.

Выделяют три группы ферментов, принимающих участие в пищеварении: 1) протеазы, расщепляющие белки; 2) липазы, расщепляющие жиры; 3) карбогидразы, расщепляющие углеводы. Все пищеварительные железы вырабатывают около 6–8 литров секрета в сутки, значительная часть которого подвергается обратному всасыванию в кишечнике.

Пищеварительная система играет важную роль в поддержании гомеостаза благодаря ее ***экскреторной функции.*** Пищеварительные железы способны выделять в полость желудочно-кишечного тракта значительное количество азотистых соединений (мочевина, мочевая кислота), воды, солей, различных лекарственных и ядовитых веществ. Состав и количество пищеварительных соков могут являться регуляторами кислотно-щелочного состояния и водно-солевого обмена в организме. Существует тесная взаимосвязь выделительной функции органов пищеварения с функциональным состоянием почек.

Исследование физиологии пищеварения является прежде всего заслугой И.П. Павлова и его учеников. Ими был разработан новый метод изучения желудочной секреции – оперативным путем выкраивалась часть желудка собаки с сохранением вегетативной иннервации. В этот маленький желудочек вживлялась фистула, дающая возможность получать чистый желудочный сок (без примеси пищи) на любом этапе пищеварения. Это позволило подробно характеризовать функции органов пищеварения и раскрыть сложные механизмы их деятельности. В знак признания заслуг И.П. Павлова по физиологии пищеварения ему 7 октября 1904 г. была присуждена Нобелевская премия. Дальнейшие исследования процессов пищеварения в лаборатории И.П. Павлова раскрыли механизмы деятельности слюнных и поджелудочной желез, печени и желез кишечника. Было установлено, что чем выше расположены железы по ходу пищеварительного тракта, тем большее значение имеют нервные механизмы в регуляции их функций. Деятельность желез, находящихся в нижних отделах пищеварительного тракта, регулируется преимущественно гуморальным путем.

11.2. ПИЩЕВАРЕНИЕ В РАЗЛИЧНЫХ ОТДЕЛАХ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА

Процессы пищеварения в разных отделах желудочно-кишечного тракта имеют свои особенности. Эти отличия касаются физической и химической переработки пищи, моторной, секреторной, всасывающей и выделительной функций органов пищеварения.

11.2.1. Пищеварение в полости рта

Переработка принятой пищи начинается в ротовой полости. Здесь происходят ее измельчение, смачивание слюной, анализ вкусовых свойств пищи, начальный гидролиз некоторых пищевых веществ и формирование пищевого комка. Пища в полости рта задерживается в течение 15–18 секунд. Находясь в ротовой полости, пища раздражает вкусовые, тактильные и температурные рецепторы слизистой оболочки и сосочков языка. Раздражение этих рецепторов вызывает рефлекторные акты секреции слюнных, желудочных и поджелудочной желез, выход желчи в двенадцатиперстную кишку, изменяет моторную активность желудка, а также оказывает важное влияние на осуществление жевания, глотания и вкусовую оценку пищи.

После измельчения и перетирания зубами пища подвергается химической обработке благодаря действию гидролитических ферментов слюны. ***В полость рта открываются протоки трех групп слюнных желез: слизистых, серозных и смешанных.*** Многочисленные железы ротовой полости и языка выделяют слизистую, богатую ***муцином*** слюну, околоушные железы секретируют жидкую серозную слюну, богатую ферментами, а подчелюстные и подъязычные выделяют смешанную слюну. Белковое вещество слюны – муцин – делает пищевой комок скользким, что облегчает глотание пищи и продвижение ее по пищеводу.

Слюна – первый пищеварительный сок, который содержит гидролитические ферменты, расщепляющие углеводы. Фермент слюны ***амилаза*** (птиалин) превращает крахмал в дисахариды, а фермент ***мальтаза*** – дисахариды в моносахариды. Поэтому при достаточно длительном пережевывании пищи, содержащей крахмал, она приобретает сладкий вкус. В состав слюны входят также кислая и щелочная фосфатазы, небольшое количество протеолитических, липолитических ферментов и нуклеаз. Слюна обладает выраженными бактерицидными свойствами, обусловленными на-

личием в ней фермента ***лизоцима,*** растворяющего оболочку бактерий. Общее количество слюны, выделяемое за сутки, может составлять 1–1,5 л.

Сформированный в ротовой полости пищевой комок перемещается к корню языка и далее поступает в глотку. Афферентная импульсация при раздражении рецепторов зева и мягкого неба передается по волокнам тройничного, языкоглоточного и верхнего гортанного нерва в центр глотания, находящийся в продолговатом мозге. Отсюда эфферентные импульсы следуют к мышцам гортани и глотки, вызывая их координированные сокращения. В результате последовательного сокращения этих мышц пищевой комок поступает в пищевод и далее перемещается к желудку. Жидкая пища проходит пищевод за 1–2 секунды; твердая – за 8–10 секунд. С завершением акта глотания начинается желудочное пищеварение.

11.2.2. Пищеварение в желудке

Пищеварительные функции желудка заключаются в депонировании пищи, ее механической и химической обработке и постепенной эвакуации пищевого содержимого через привратник в двенадцатиперстную кишку. Химическая обработка пищи осуществляется желудочным соком, которого у человека образуется 2–2,5 л в сутки. Желудочный сок выделяется многочисленными железами тела желудка, которые состоят из ***главных, обкладочных и добавочных клеток. Главные клетки секретируют пищеварительные ферменты, обкладочные – соляную кислоту, добавочные – слизь.***

Основными ферментами желудочного сока являются протеазы и липаза. К протеазам относятся несколько ***пепсинов,*** а также ***желатиназа и химозин.*** Пепсины выделяются в виде неактивных ***пепсиногенов.*** Превращение пепсиногенов в активный пепсин осуществляется под воздействием ***соляной кислоты.*** Пепсины расщепляют белки до полипептидов. Дальнейший распад их до аминокислот происходит в кишечнике. Химозин створаживает молоко. Липаза желудочного сока расщепляет только эмульгированные жиры (молоко) на глицерин и жирные кислоты.

Желудочный сок имеет кислую реакцию (pH при переваривании пищи равен 1,5–2,5), что обусловлено содержанием в нем 0,4–0,5% соляной кислоты. У здоровых людей для нейтрализации 100 мл желудочного сока требуется 40–60 мл децинормального раствора щелочи. Этот показатель называется ***общей кис-***

лотностью желудочного сока. С учетом объема секреции и концентрации водородных ионов определяется также ***дебит-час*** свободной соляной кислоты.

Слизь желудочного сока ***(муцин)*** представляет собой сложный комплекс глюкопротеидов и других белков в виде коллоидных растворов. Муцин покрывает слизистую желудка по всей поверхности и предохраняет ее как от механических повреждений, так и от самопереваривания, так как он обладает выраженной антипептической активностью и способен нейтрализовать соляную кислоту.

Весь процесс желудочной секреции принято делить на три фазы: сложнорефлекторную (мозговую), нейрохимическую (желудочную) и кишечную (дуоденальную).

Секреторная деятельность желудка зависит от состава и количества поступающей пищи. Мясная пища является сильным раздражителем желудочных желез, деятельность которых стимулируется в течение многих часов. При углеводной пище максимальное отделение желудочного сока происходит в сложнорефлекторной фазе, затем секреция снижается. Тормозящее воздействие на желудочную секрецию оказывают жир, концентрированные растворы солей, кислот и щелочей.

Переваривание пищи в желудке обычно происходит в течение 6–8 часов. Длительность этого процесса зависит от состава пищи, ее объема и консистенции, а также от количества выделившегося желудочного сока. Особенно долго в желудке задерживается жирная пища (8–10 часов и более). Жидкости переходят в кишечник сразу же после их поступления в желудок.

11.2.3. Пищеварение в двенадцатиперстной кишке

В обеспечении кишечного пищеварения большое значение имеют процессы, происходящие в двенадцатиперстной кишке. Здесь пищевые массы подвергаются воздействию кишечного сока, желчи и сока поджелудочной железы. Длина двенадцатиперстной кишки невелика, поэтому пища здесь не задерживается, и основные процессы пищеварения происходят в нижележащих отделах кишечника. Кишечный сок, образуемый железами слизистой оболочки двенадцатиперстной кишки, содержит большое количество слизи и фермент ***пептидазу,*** расщепляющий белки. Более слабое действие этот сок оказывает на жиры и крахмал. В нем содержится также фермент ***энтерокиназа,*** который активирует трипсиноген поджелудочного сока. Клетки двенадцатиперстной кишки

вырабатывают два гормона – ***секретин и холецистокинин,*** усиливающий секрецию поджелудочной железы.

Кислое содержимое желудка при переходе в двенадцатиперстную кишку приобретает щелочную реакцию под влиянием желчи, кишечного и поджелудочного сока. У человека pH дуоденального содержимого колеблется от 4,0 до 8,0. В гидролизе питательных веществ, осуществляемом в двенадцатиперстной кишке, особенно значима роль сока поджелудочной железы.

Значение поджелудочной железы ***в пищеварении очень велико.*** Основная масса ткани поджелудочной железы вырабатывает пищеварительный сок, который выводится через проток в полость двенадцатиперстной кишки. У человека за сутки выделяется 1,5–2 л поджелудочного сока, представляющего собой прозрачную жидкость со щелочной реакцией (pH = 7,8–8,5). Сок поджелудочной железы богат ферментами, которые расщепляют белки, жиры и углеводы. Амилаза, лактаза, нуклеаза и липаза секретируются поджелудочной железой в активном состоянии и расщепляют соответственно крахмал, молочный сахар, нуклеиновые кислоты и жиры. Нуклеазы ***(трипсин и химотрипсин)*** образуются клетками железы в недеятельном состоянии в виде ***трипсиногена и химотрипсиногена.*** Трипсиноген в двенадцатиперстной кишке под действием ее фермента ***энтерокиназы*** превращается в трипсин. В свою очередь, трипсин превращает химотрипсиноген в активный химотрипсин. Под влиянием трипсина и химотрипсина расщепляются белки и высокомолекулярные полипептиды до низкомолекулярных пептидов и свободных аминокислот.

Значительна роль печени ***в пищеварении.*** Клетки печени непрерывно выделяют желчь, которая является одним из важнейших пищеварительных соков. У человека за сутки образуется около 500–1000 мл желчи. Процесс образования желчи идет непрерывно, а поступление ее в двенадцатиперстную кишку – периодически, в основном в связи с приемом пищи. Натощак желчь в кишечник не поступает, она направляется в желчный пузырь, где концентрируется и несколько изменяет свой состав.

В состав желчи входят желчные кислоты, желчные пигменты и другие органические и неорганические вещества. Желчные кислоты принимают участие в процессе переваривания жира. Желчный пигмент ***билирубин*** образуется как клетками печени, так и из гемоглобина в процессе разрушения там эритроцитов. Темный цвет желчи обусловлен наличием в ней этого пигмента.

Желчь повышает активность ферментов поджелудочного и кишечного соков, особенно липазы. Она эмульгирует жиры и растворяет продукты их гидролиза, чем способствует их всасыванию. Создавая щелочную реакцию в двенадцатиперстной кишке, желчь препятствует разрушению трипсина пепсином. Она выполняет и регуляторную роль, являясь стимулятором желчеобразования, желчевыделения, моторной и секреторной деятельности тонкого кишечника. Желчь обладает также бактериостатическими свойствами, задерживая гнилостные процессы в кишечнике. Велика роль желчи во всасывании из кишечника жирорастворимых витаминов, холестерина, аминокислот и солей кальция.

Печень, образуя желчь, выполняет не только секреторную, но и ***экскреторную*** (выделительную) функцию. Основными органическими экскретами печени являются соли желчных кислот, билирубин, холестерин, жирные кислоты и лецитин, а также кальций, натрий, хлор, бикарбонаты. Попадая с желчью в кишечник, все эти вещества выводятся из организма.

11.2.4. Пищеварение в тонком кишечнике

Пищевые массы (химус) из двенадцатиперстной кишки перемещаются в тонкий кишечник, где продолжается их переваривание пищеварительными соками, выделившимися в двенадцатиперстную кишку. Вместе с тем здесь начинает действовать и собственный ***кишечный сок,*** вырабатываемый либеркюновыми и бруннеровыми железами слизистой оболочки тонкой кишки. В кишечном соке содержится ***энтерокиназа,*** а также полный набор ферментов, расщепляющих белки, жиры и углеводы. Эти ферменты участвуют лишь в пристеночном пищеварении, так как в полость кишки они не выделяются. Полостное пищеварение в тонком кишечнике осуществляется ферментами, поступившими с пищевым химусом. Полостное пищеварение наиболее эффективно для гидролиза крупномолекулярных веществ.

Пристеночное (мембранное) пищеварение, открытое акад. А.М. Уголевым в 1950–60-х гг., происходит на поверхности микроворсинок тонкой кишки. Оно завершает промежуточный и заключительный этапы пищеварения путем гидролиза промежуточных продуктов расщепления. Микроворсинки представляют собой цилиндрические выросты кишечного эпителия высотой 1–2 мкм. Количество их огромно – от 50 до 200 млн на 1 мм^2

поверхности кишки, что увеличивает внутреннюю поверхность тонкого кишечника в 300–500 раз. Обширная поверхность микроворсинок улучшает и процессы всасывания. Продукты промежуточного гидролиза попадают в зону так называемой щеточной каймы, образованной микроворсинками, где происходит заключительная стадия гидролиза и переход к всасыванию. Основными ферментами, участвующими в пристеночном пищеварении, являются ***амилаза, липаза и протеазы.*** Благодаря этому пищеварению происходит расщепление 80–90% пептидных и гликолизных связей и 55–60% триглицеридов.

Пристеночное пищеварение находится в тесном взаимодействии с полостным. Полостное пищеварение подготавливает исходные пищевые субстраты для пристеночного пищеварения, а последнее уменьшает объем обрабатываемого химуса в полостном пищеварении за счет перехода продуктов частичного гидролиза в щеточную кайму. Эти процессы способствуют наиболее полному перевариванию всех компонентов пищи и подготавливают их к всасыванию.

Моторная деятельность тонкого кишечника обеспечивает перемешивание химуса с пищеварительными секретами и продвижение его по кишке благодаря сокращению круговой и продольной мускулатуры. При сокращении продольных волокон гладкой мускулатуры кишечника происходит укорочение участка кишки, при расслаблении – его удлинение. Продолжительность периодов сокращения и расслабления участков кишки при маятникообразных движениях составляет 4–6 секунд. Такая периодичность обусловлена ***автоматией*** гладкой мускулатуры кишечника – способностью мышц периодически сокращаться и расслабляться без внешних воздействий. Сокращения круговой мускулатуры кишечника вызывают перистальтические движения, которые способствуют передвижению пищи вперед. По длине кишки одновременно движется несколько перистальтических волн.

Сокращение продольных и круговых мышц регулируется блуждающим и симпатическим нервами. Блуждающий нерв стимулирует моторную функцию кишечника. По симпатическому нерву передаются тормозные сигналы, которые снижают тонус мышц и угнетают механические движения кишечника. На моторную функцию кишечника оказывают влияние и гуморальные факторы: серотонин, холин и энтерокинин стимулируют движение кишечника.

11.2.5. Пищеварение в толстом кишечнике

Переваривание пищи заканчивается в основном в тонком кишечнике. Железы толстого кишечника выделяют небольшое количество сока, богатого слизью и бедного ферментами. Низкая ферментативная активность сока толстого кишечника обусловлена малым количеством неперевареных веществ в химусе, поступающем из тонкого кишечника. Сокоотделение в этом отделе кишечника регулируется главным образом местными влияниями; механическое раздражение усиливает секрецию в 8–10 раз.

Большую роль в жизнедеятельности организма и функций пищеварительного тракта играет микрофлора толстого кишечника, где обитают миллиарды различных микроорганизмов (анаэробные и молочные бактерии, кишечная палочка и др.). Нормальная микрофлора толстого кишечника принимает участие в осуществлении нескольких функций: защищает организм от вредных микробов; участвует в синтезе ряда витаминов (витамины группы В, витамин К) и других биологически активных веществ; инактивирует и разлагает ферменты (трипсин, амилаза, желатиназа и др.), поступившие из тонкого кишечника, а также сбраживает углеводы и вызывает гниение белков. Движения толстого кишечника очень медленные, поэтому около половины времени, затрачиваемого на пищеварительный процесс (1–2 суток), идет на передвижение остатков пищи в этом отделе кишечника.

В толстом кишечнике интенсивно происходит всасывание воды, вследствие чего образуются каловые массы, состоящие из остатков неперевареной пищи, слизи, желчных пигментов и бактерий. Опорожнение прямой кишки (дефекация) осуществляется рефлекторно.

11.3. ВСАСЫВАНИЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕВАРИВАНИЯ ПИЩИ

Всасыванием ***называется процесс поступления в кровь и лимфу различных веществ из пищеварительной системы.*** Кишечный эпителий является важнейшим барьером между внешней средой, роль которой выполняет полость кишечника, и внутренней средой организма (кровь, лимфа), куда поступают питательные вещества.

Всасывание представляет собой сложный процесс и обеспечивается различными механизмами: ***фильтрацией,*** связанной с разностью гидростатического давления в средах, разделенных по-

лупроницаемой мембраной; ***диффузией*** веществ по градиенту концентрации; ***осмосом,*** требующим затрат энергии, поскольку он происходит против градиента концентрации. Количество всасывающихся веществ не зависит от потребностей организма (за исключением железа и меди), оно пропорционально потреблению пищи. Кроме того, слизистая оболочка органов пищеварения обладает способностью избирательно всасывать одни вещества и ограничивать всасывание других.

Способностью к всасыванию обладает эпителий слизистых оболочек всего пищеварительного тракта. Например, слизистая полости рта может всасывать в небольшом количестве эфирные масла, на чем основано применение некоторых лекарств. В незначительной степени способна к всасыванию и слизистая оболочка желудка. Вода, алкоголь, моносахариды, минеральные соли могут проходить через слизистую желудка в обоих направлениях.

Наиболее интенсивно процесс всасывания осуществляется в тонком кишечнике, особенно в тощей и подвздошной кишке, что определяется их большой поверхностью, во много раз превышающей поверхность тела человека. Поверхность кишечника увеличивается наличием ворсинок, внутри которых находятся гладкие мышечные волокна и хорошо развитая кровеносная и лимфатическая сеть. Интенсивность всасывания в тонком кишечнике составляет около 2–3 л в 1 час.

Углеводы всасываются в кровь в основном в виде глюкозы, хотя могут всасываться и другие гексозы (галактоза, фруктоза). Всасывание происходит преимущественно в двенадцатиперстной кишке и верхней части тощей кишки, но частично может осуществляться в желудке и толстом кишечнике.

Белки всасываются в кровь в виде аминокислот и в небольшом количестве в виде полипептидов через слизистые оболочки двенадцатиперстной и тощей кишок. Некоторые аминокислоты могут всасываться в желудке и проксимальной части толстого кишечника.

Жиры всасываются большей частью в лимфу в виде жирных кислот и глицерина только в верхней части тонкого кишечника. Жирные кислоты нерастворимы в воде, поэтому их всасывание, а также всасывание холестерина и других липоидов происходит лишь при наличии желчи.

Вода и некоторые электролиты проходят через мембраны слизистой оболочки пищеварительного канала в обоих направлениях. Вода проходит путем диффузии, и в ее всасывании боль-

шую роль играют гормональные факторы. Наиболее интенсивное всасывание происходит в толстом кишечнике. Растворенные в воде соли натрия, калия и кальция всасываются преимущественно в тонком кишечнике по механизму активного транспорта, против градиента концентрации.

12. ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ

Обмен веществ и энергии – это совокупность физических, химических и физиологических процессов усвоения питательных веществ в организме с высвобождением энергии. ***В обмене веществ*** (метаболизме) ***выделяют два взаимосвязанных, но разнонаправленных процесса – анаболизм и катаболизм.*** Анаболизм – это совокупность процессов биосинтеза органических соединений, компонентов клеток, органов и тканей из поглощенных питательных веществ. Катаболизм – это процессы расщепления сложных компонентов до простых веществ, обеспечивающих энергетические и пластические потребности организма. Жизнедеятельность организма обеспечивается энергией за счет ***анаэробного и аэробного*** катаболизма поступающих с пищей белков, жиров и углеводов.

12.1. ОБМЕН БЕЛКОВ

Белки – ***основной пластический материал,*** из которого построены клетки и ткани организма. Они являются составной частью мышц, ферментов, гормонов, гемоглобина, антител и других жизненно важных образований. В состав белков входят различные аминокислоты, ***которые подразделяются на заменимые и незаменимые.*** Заменимые аминокислоты могут синтезироваться в организме, а незаменимые (валин, лейцин, изолейцин, лизин, метионин, триптофан, треонин, фенилаланин, аргинин и гистидин) – поступают только с пищей.

Поступившие в организм белки расщепляются в кишечнике до аминокислот и в таком виде всасываются в кровь и транспортируются в печень. ***Поступившие в печень аминокислоты подвергаются дезаминированию и переаминированию.*** Эти процессы обеспечивают синтез ***видоспецифичных*** аминокислот. Из печени такие аминокислоты поступают в ткани и используются для синтеза ***тканеспецифичных*** белков. При избыточном поступ-

лении белков с пищей, после отщепления от них аминогрупп, они превращаются в организме в углеводы и жиры. ***Белковых депо в организме человека нет.***

Наряду с основной пластической функцией, белки могут играть роль источников энергии. ***При окислении в организме 1 г белка выделяется 4,1 ккал энергии.*** Конечными продуктами расщепления белков в тканях являются мочевина, мочевая кислота, аммиак, креатин, креатинин и некоторые другие вещества. Они выводятся из организма почками и частично потовыми железами.

О состоянии белкового обмена в организме судят по азотистому балансу, т.е. по соотношению количества азота, поступившего в организм, и его количества, выведенного из организма. Если это количество одинаково, то состояние называется азотистым равновесием. Состояние, при котором усвоение азота превышает его выведение, называется положительным азотистым балансом. Оно характерно для растущего организма, спортсменов в период их тренировки и лиц после перенесенных заболеваний. При полном или частичном белковом голодании, а также во время некоторых заболеваний азота усваивается меньше, чем выделяется. Такое состояние называется отрицательным азотистым балансом. При голодании белки одних органов могут использоваться для поддержания жизнедеятельности других, более важных. При этом расходуются в первую очередь белки печени и скелетных мышц; содержание белков в миокарде и тканях мозга остается почти без изменений.

Нормальная жизнедеятельность организма возможна лишь при азотистом равновесии, или положительном азотистом балансе. Такие состояния достигаются, если организм получает ***около 100 г белка в сутки;*** при больших физических нагрузках потребность в белках возрастает до 120–150 г. Всемирная организация здравоохранения рекомендует употреблять не менее 0,75 г белка на 1 кг массы тела в сутки.

12.2. ОБМЕН УГЛЕВОДОВ

Углеводы ***поступают в организм человека в основном в виде крахмала и гликогена.*** В процессе пищеварения их них образуются глюкоза, фруктоза, лактоза и галактоза. Глюкоза всасывается в кровь и через воротную вену поступает в печень. Фруктоза и галактоза превращаются в глюкозу в печеночных клетках. Избыток глюкозы в печени фосфорилируется и переходит в гли-

коген. Его запасы в печени и мышцах у взрослого человека составляют 300–400 г. При углеводном голодании происходит распад гликогена, и глюкоза поступает в кровь.

Углеводы служат в организме основным источником энергии. При окислении 1 г углеводов освобождается 4,1 ккал энергии. Для окисления углеводов требуется значительно меньше кислорода, чем при окислении жиров. Это особенно повышает роль углеводов при мышечной деятельности. При уменьшении концентрации глюкозы в крови резко снижается физическая работоспособность. Большое значение углеводы имеют для нормальной деятельности нервной системы.

Глюкоза выполняет в организме и некоторые пластические функции. В частности, промежуточные продукты ее обмена (пентозы) входят в состав нуклеотидов и нуклеиновых кислот, некоторых ферментов и аминокислот, а также служат структурными элементами клеток. Важным производным глюкозы является аскорбиновая кислота (витамин С), которая не синтезируется в организме человека.

При голодании запасы гликогена в печени и концентрация глюкозы в крови уменьшаются. То же происходит при длительной и напряженной физической работе без дополнительного приема углеводов. Снижение содержания глюкозы в крови до 0,06–0,07% (нормальная концентрация 0,08–0,12%) приводит к развитию гипогликемии, что проявляется мышечной слабостью, падением температуры тела, а в дальнейшем – судорогами и потерей сознания. При гипергликемии (содержание сахара в крови достигает 0,15% и более) избыток глюкозы быстро выводится почками. Такое состояние может возникать при эмоциональном возбуждении, после приема пищи, богатой легкоусвояемыми углеводами, а также при заболеваниях поджелудочной железы. При истощении запасов гликогена усиливается синтез ферментов, обеспечивающих реакцию глюконеогенеза, т.е. синтеза глюкозы из лактата или аминокислот.

12.3. ОБМЕН ЛИПИДОВ

Физиологическая роль липидов ***(нейтральные жиры, фосфатиды и стерины)*** в организме заключается в том, что они входят в состав клеточных структур ***(пластическое значение липидов)*** и являются богатыми источниками энергии ***(энергетическое значение)***.

Нейтральные жиры расщепляются в кишечнике до глицерина и жирных кислот. Эти вещества, проходя через кишечник, вновь превращаются в жир, который всасывается в лимфу и в небольшом количестве в кровь. Кровь транспортирует жиры в ткани, где они используются для пластического синтеза и в качестве энергетического материала.

Общее количество жира в организме человека колеблется в широких пределах и составляет 10–20% массы тела, при ожирении оно может достигать 40–50%. Жировые депо в организме непрерывно обновляются. При обильном углеводном питании и отсутствии жиров в пище синтез жира в организме может происходить из углеводов.

Нейтральные жиры, поступающие в ткани из кишечника и жировых депо, окисляются и используются как ***источник энергии. При окислении 1 г жира освобождается 9,3 ккал энергии.*** В связи с тем, что в молекуле жира содержится относительно мало кислорода, последнего требуется для окисления жиров больше, чем при окислении углеводов. Как энергетический материал жиры используются главным образом в состоянии покоя и при выполнении длительной малоинтенсивной физической работы. В начале более напряженной мышечной деятельности используются преимущественно углеводы, которые в дальнейшем в связи с уменьшением их запасов замещаются жирами. При длительной работе до 80% всей энергии расходуется в результате окисления жиров.

Жировая ткань, покрывающая различные органы, предохраняет их от механических воздействий. Скопление жира в брюшной полости обеспечивает фиксацию внутренних органов, а подкожная жировая клетчатка защищает организм от излишних теплопотерь. Секрет сальных желез предохраняет кожу от высыхания и излишнего смачивания водой.

Пищевые продукты, богатые жирами, содержат некоторое количество ***фосфатидов и стеринов.*** Они также синтезируются в стенке кишечника и в печени из нейтральных жиров, фосфорной кислоты и холина. Фосфатиды входят в состав клеточных мембран, ядра и протоплазмы; они имеют большое значение для функциональной активности нервной ткани и мышц.

Важная физиологическая роль принадлежит стеринам, в частности ***холестерину.*** Эти вещества являются источником образования в организме желчных кислот, а также гормонов коры надпочечников и половых желез. При избытке холестерина в орга-

низме развивается патологический процесс – атеросклероз. Некоторые стерины пищи, например ***витамин D,*** также обладают большой физиологической активностью.

Обмен липидов тесно связан с обменом белков и углеводов. Поступающие в организм в избытке белки и углеводы превращаются в жир. Наоборот, при голодании жиры, расщепляясь, служат источником углеводов.

12.4. ОБМЕН ВОДЫ И МИНЕРАЛЬНЫХ СОЛЕЙ

Вода является составной частью всех клеток и тканей и в организме находится в виде ***солевых растворов.*** Тело взрослого человека на 50–65% состоит из воды, у детей – на 80% и более. В разных органах и тканях содержание воды на единицу массы неодинаково. Оно меньше всего в костях (20%) и жировой ткани (30%). В мышцах воды содержится 70%, во внутренних органах – 75–85% их массы. Наиболее велико и постоянно содержание воды в крови (92%).

Лишение организма воды и минеральных солей вызывает тяжелые нарушения и смерть. Полное голодание, но при приеме воды переносится человеком в течение 40–45 суток, без воды – лишь 5–7 дней. При минеральном голодании, несмотря на достаточное поступление в организм других питательных веществ и воды, у животных наблюдались потеря аппетита, отказ от еды, исхудание и смерть.

При обычной температуре и влажности внешней среды суточный водный баланс взрослого человека составляет 2,2–2,8 л. Около 1,5 л жидкости поступает в виде выпитой воды, 600–900 мл – в составе пищевых продуктов и 300–400 мл образуется в результате окислительных реакций. Организм теряет в сутки примерно 1,5 л с мочой, 400–600 мл с потом, 350–400 мл с выдыхаемым воздухом и 100–150 мл с испражнениями.

Обмен минеральных солей в организме имеет большое значение для его жизнедеятельности. Они находятся во всех тканях, составляя примерно 0,9% общей массы тела человека. В состав клеток входят многие минеральные вещества (калий, кальций, натрий, фосфор, магний, железо, йод, сера, хлор и другие). Нормальное функционирование тканей обеспечивается не только наличием в них тех или иных солей, но и строго определенными их количественными соотношениями. При избыточном поступлении минеральных солей в организм они могут откладываться

в виде запасов. Натрий и хлор депонируются в подкожной клетчатке, калий – в скелетных мышцах, кальций и фосфор – в костях.

Физиологическое значение минеральных солей многообразно. Они составляют основную массу костной ткани, определяют уровень осмотического давления, участвуют в образовании буферных систем и влияют на обмен веществ. Велика роль минеральных веществ в процессах возбуждения нервной и мышечной тканей, в возникновении электрических потенциалов в клетках, а также в свертывании крови и переносе ею кислорода.

Все необходимые для организма минеральные элементы поступают с пищей и водой. Большинство минеральных солей легко всасывается в кровь; их выведение из организма происходит главным образом с мочой и пóтом. При напряженной мышечной деятельности потребность в некоторых минеральных веществах увеличивается.

И коротко о значении витаминов, которые не выполняют энергетическую или пластическую функцию, а, являясь составными компонентами ферментных систем, играют роль ***катализаторов*** в обменных процессах. Они представляют собой вещества химической природы, необходимые для нормального обмена веществ, роста, развития организма, поддержания высокой работоспособности и здоровья.

Витамины делят на водорастворимые (группа B, C, P и др.) и жирорастворимые (A, D, E, K). Достаточное поступление витаминов в организм зависит от правильного рациона питания и нормальной функции процессов пищеварения; некоторые витамины (К, B_{12}) синтезируются бактериями в кишечнике. Недостаточное поступление витаминов в организм ***(гиповитаминоз)*** или полное их отсутствие ***(авитаминоз)*** приводят к нарушению многих функций.

12.5. ОБМЕН ЭНЕРГИИ

В организме должен поддерживаться энергетический баланс поступления и расхода энергии. Живые организмы получают энергию в виде ее потенциальных запасов, аккумулированных в химических связях молекул углеводов, жиров и белков. В процессе биологического окисления эта энергия высвобождается и используется прежде всего для синтеза АТФ.

Запасы АТФ в клетках невелики, поэтому они должны постоянно восстанавливаться. Этот процесс осуществляется путем

окисления питательных веществ. Запас энергии в пище выражается ее ***калорийностью,*** т.е. способностью освобождать при окислении то или иное количество энергии. Расход энергии зависит от возраста и пола, характера и количества выполняемой работы, времени года, состояния здоровья и других факторов.

Интенсивность энергетического обмена в организме определяется при помощи калориметрии. ***Определение энергообмена можно производить методами прямой и непрямой калориметрии.***

Прямая калориметрия основана на измерении тепла, выделяемого организмом, и проводится с помощью специальных камер (калориметров). Это тепло определяет величину израсходованной энергии. Прямая калориметрия – наиболее точный метод, но он требует длительных наблюдений, громоздкого специального оборудования и неприемлем во многих видах профессиональной и спортивной деятельности.

Значительно проще определять расходы энергии методами непрямой калориметрии. Один из них ***(непрямая респираторная калориметрия)*** основан на изучении газообмена, т.е. на определении количества потребляемого организмом кислорода и выдыхаемого за это время углекислого газа. С этой целью используются различные ***газоанализаторы.***

Для окисления различных питательных веществ требуется разное количество кислорода. Количество энергии, освобождаемое при использовании 1 л кислорода, называется его калорическим эквивалентом. При окислении углеводов калорический эквивалент равен 5,05 ккал, при окислении жиров – 4,7 ккал и белков – 4,85 ккал. В организме обычно окисляется смесь питательных веществ, поэтому калорический эквивалент O_2 колеблется от 4,7 до 5,05 ккал. С увеличением в окисляемой смеси углеводов калорический эквивалент повышается, а с увеличением жиров – снижается.

О величине калорического эквивалента O_2 узнают по уровню дыхательного коэффициента (ДК) – ***относительного объема выдыхаемой углекислоты к объему поглощаемого кислорода*** (CO_2 / O_2). Величина ДК зависит от состава окисляемых веществ. При окислении углеводов он равен 1,0, при окислении жиров – 0,7 и белков – 0,8. При окислении смеси питательных веществ величина его колеблется в пределах 0,8–0,9.

При втором методе непрямой калориметрии ***(алиментарная калориметрия)*** учитывают калорийность принимаемой пищи

и ведут наблюдения за массой тела. Постоянство массы тела свидетельствует о балансе между поступлением энергетических ресурсов в организм и их расходованием. Однако при использовании этого метода возможны существенные ошибки; кроме того, он не позволяет определить энерготраты за короткие промежутки времени.

В зависимости от активности организма и воздействий на него факторов внешней среды различают ***три уровня энергетического обмена:*** основной обмен, энерготраты в состоянии покоя и энерготраты при различных видах труда.

Основным обменом называется количество энергии, которое тратит организм при полном мышечном покое, через 12–14 часов после приема пищи и при окружающей температуре +20…22°С. У взрослого человека он в среднем равен 1 ккал на 1 кг массы тела в 1 час. У людей при массе тела в 70 кг основной обмен в среднем равен около 1700 ккал. Нормальные его колебания составляют ± 10%. У женщин основной обмен несколько ниже, чем у мужчин; у детей он выше, чем у взрослых.

Энерготраты в состоянии относительного покоя превышают величину основного обмена. Это обусловлено влиянием на энергообмен процессов пищеварения, терморегуляцией вне зоны комфорта и тратами энергии на поддержание позы тела человека.

Энерготраты при различных видах труда определяются характером деятельности человека. Суточный расход энергии в таких случаях включает величину основного обмена и энергию, необходимую для выполнения конкретного вида труда. По характеру производственной деятельности и величине энерготрат взрослое население может быть разделено на четыре группы: 1) люди умственного труда, их суточный расход энергии составляет 2200–3000 ккал; 2) люди, выполняющие механизированную работу и расходующие за сутки 2300–3200 ккал; 3) люди частично механизированного труда с суточным расходом энергии 2500–3400 ккал; 4) люди немеханизированного тяжелого физического труда, энерготраты которых достигают 3500–4000 ккал. При спортивной деятельности расход энергии может составлять 4500–5000 ккал и более. Это обстоятельство следует учитывать при составлении пищевого рациона спортсменов, который должен обеспечивать восполнение расходуемой энергии.

На механическую работу тратится не вся освобождающаяся в организме энергия. Большая ее часть превращается

в тепло. То количество энергии, которое идет на выполнение работы, называется коэффициентом полезного действия (КПД). У человека КПД не превышает 20–25%. ***КПД при мышечной деятельности*** зависит от мощности, структуры и темпа движений, от количества вовлекаемых в работу мышц и степени тренированности человека.

12.6. РЕГУЛЯЦИЯ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ

Центральной структурой регуляции обмена веществ и энергии является гипоталамус. В гипоталамусе локализованы ядра и центры регуляции голода и насыщения, осморегуляции и энергообмена. В ядрах гипоталамуса осуществляется анализ состояния внутренней среды организма и формируются управляющие сигналы, которые посредством эфферентных систем приспосабливают ход метаболизма потребностям организма. Эфферентными звеньями системы регуляции обмена являются симпатический и парасимпатический отделы вегетативной нервной системы и эндокринная система.

Обмен веществ и получение аккумулируемой в АТФ энергии протекают внутри клеток. Поэтому важнейший эффектор, через который вегетативная нервная и эндокринная системы воздействуют на обмен веществ и энергии, – это клетки органов и тканей. Регуляция обмена веществ заключается в воздействии на скорость биохимических реакций, протекающих в клетках.

Воздействие гипоталамуса на обмен белков осуществляется через систему гипоталамус – гипофиз – щитовидная железа. Повышенная продукция тиреотропного гормона передней доли гипофиза приводит к увеличению синтеза тироксина и трийодтиронина щитовидной железы, регулирующих белковый обмен. На обмен белков оказывает прямое влияние соматотропный гормон гипофиза.

Регуляторная роль гипоталамуса в жировом обмене связана с функцией серого бугра. Влияние гипоталамуса на обмен жиров опосредовано изменением гормональной функции гипофиза, щитовидной и половых желез. Недостаточность гормональной функции желез ведет к ожирению. Более сложные расстройства жирового обмена наблюдаются при изменении функций поджелудочной железы. В этом случае они оказываются связанными с нарушениями углеводного обмена. Истощение запасов гликоге-

на при инсулиновой недостаточности приводит к компенсаторному усилению процессов глюконеогенеза. Вследствие этого в крови увеличивается содержание ***кетоновых тел*** (бета-оксимасляной, ацетоуксусной кислот и ацетона). Нарушение фосфолипидного обмена приводит к жировой инфильтрации печени. Лецитины и кефалины при этом легко отдают жирные кислоты, идущие на синтез холестерина, что в последующем обуславливает изменения, связанные с гиперхолестеринемией.

На углеводный обмен гипоталамус воздействует через симпатическую нервную систему. Симпатические влияния усиливают функцию мозгового слоя надпочечников, выделяющего адреналин, который стимулирует мобилизацию гликогена из печени и мышц. Действие «сахарного» укола в дно IV желудочка продолговатого мозга также связано с усилением симпатических влияний. ***Главными гуморальными факторами*** регуляции углеводного обмена являются гормоны коры надпочечников и поджелудочной железы (глюкокортикоиды, инсулин и глюкагон). ***Глюкокортикоиды*** (кортизон, гидрокортизон) оказывают ингибирующее (тормозящее) воздействие на глюкокиназную реакцию печени, снижая уровень глюкозы в крови. ***Инсулин*** способствует утилизации сахара клетками, а ***глюкагон*** усиливает мобилизацию гликогена, его расщепление и увеличение содержания глюкозы в крови.

В гипоталамусе расположены нервные центры, регулирующие водно-солевой обмен. Здесь же находятся и осморецепторы, раздражение которых рефлекторно влияет на водно-солевой обмен, обеспечивая постоянство внутренней среды организма. Большую роль в регуляции водно-солевого обмена играют ***антидиуретический гормон гипофиза и гормоны коры надпочечников (минералкортикоиды).*** Гормон гипофиза стимулирует обратное всасывание воды в почках и уменьшает этим мочеобразование. Минералкортикоиды (альдостерон) действуют на эпителий почечных канальцев и повышают обратное всасывание в кровь натрия. Регулирующее воздействие на обмен воды и солей оказывают также ***гормоны щитовидной и паращитовидной желез.*** Первый увеличивает мочеобразование, второй способствует выведению из организма солей кальция и фосфора.

Энергетический обмен в организме регулируется нервной и эндокринной системами. Уровень энергообмена даже в состоянии относительного покоя может изменяться под влиянием ***условно-рефлекторных раздражителей.*** Например, у спортсме-

нов расход энергии повышается в предстартовом состоянии. Существенное влияние на уровень энергообмена оказывают ***гормоны гипофиза и щитовидной железы.*** При усилении функции этих желез величина его повышается, при ослаблении – понижается.

13. ВЫДЕЛЕНИЕ

Основной физиологической функцией выделительных процессов является освобождение организма от конечных продуктов обмена веществ, избытка воды, органических и неорганических соединений, т.е. сохранение постоянства внутренней среды организма.

13.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Выделительные функции у человека осуществляются многими органами и системами организма: почками, желудочно-кишечным трактом, легкими, потовыми, сальными железами и др. Через почки у человека удаляются избыток воды, солей и продукты обмена веществ. Желудочно-кишечный тракт выводит из организма остатки пищевых веществ и пищеварительных соков, желчь, соли тяжелых металлов и некоторые лекарственные вещества. Через легкие выделяются углекислый газ, пары воды и летучие вещества (продукты распада алкоголя, лекарственные вещества). Потовые железы удаляют воду, соли, мочевину, креатинин и молочную кислоту; сальные железы – кожное сало, образующее защитный слой на поверхности тела. Ведущая роль в выделительных процессах и сохранении гомеостаза принадлежит почкам и потовым железам.

13.2. ПОЧКИ И ИХ ФУНКЦИИ

Почки ***выполняют целый ряд выделительных и гомеостатических функций в организме человека.*** К ним относятся: 1) поддержание нормального содержания в организме воды, солей и некоторых веществ (глюкоза, аминокислоты); 2) регуляция pH крови, осмотического давления, ионного состава и кислотно-щелочного состояния; 3) экскреция из организма продуктов белкового обмена и чужеродных веществ; 4) регуляция кровяного

давления, эритропоэза и свертывания крови; 5) секреция ферментов и биологически активных веществ (ренин, брадикинин, простагландины и др.). Таким образом, почка является органом, обеспечивающим два главных процесса – мочеобразовательный и гомеостатический.

Основные функции почек осуществляются в нефронах. В каждой почке человека имеется около одного миллиона нефронов, являющихся ее ***функциональными единицами*** и включающими мальпигиево (почечное) тельце и мочевые канальцы.

Мальпигиево тельце состоит из капсулы Шумлянского–Боумена, внутри которой находится сосудистый клубочек (рис. 22). В корковом слое расположено около 75% капсул и извитых канальцев. В пограничной зоне (между корковым и мозговым слоем) – ***юкстамедуллярной зоне*** – располагаются

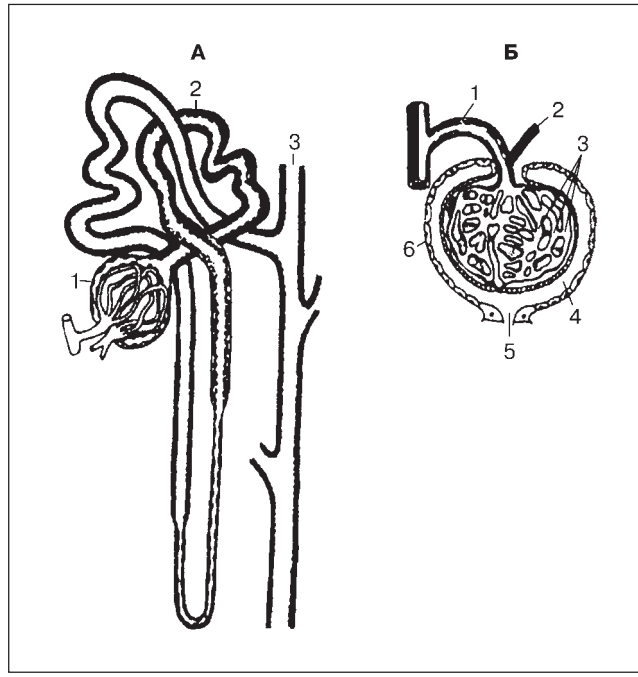


Рис. 22. Схема строения нефрона:
А – нефрон: 1 – сосудистый (мальпигиев) клубочек;
2 – извитой каналец первого порядка; 3 – собирательная трубка;
Б – тельце Шумлянского–Боумена: 1 – приносящий сосуд;
2 – выносящий сосуд; 3 – капиллярная сеть клубочка; 4 – полость капсулы;
5 – начало извитого канальца; 6 – капсула Шумлянского–Боумена

остальные капсулы; извитые канальцы этого комплекса находятся у границы с почечной лоханкой. Юкстамедуллярные нефроны отличаются от корковых некоторыми особенностями в строении и кровоснабжении (одинаковый диаметр приносящих и выносящих артериол). Считают также, что юкстамедуллярный комплекс выполняет эндокринную роль (образуется ренин), стимулирует секрецию гормона альдостерона надпочечниками и регулирует водно-солевой баланс.

Капсула Шумлянского–Боумена имеет форму двустенной чаши и образована вдавлением слепого расширенного конца мочевого канальца в ее просвет. Внутренняя стенка капсулы, состоящая из однослойного плоского эпителия, тесно соприкасается со стенками капилляров сосудистого клубочка, образуя базальную фильтрующую мембрану. Между ней и наружной стенкой капсулы находится ***щелевидная полость,*** в которую поступает плазма крови, фильтрующаяся через базальную мембрану из капилляров клубочка.

Клубочек состоит из приносящей артерии, сложной сети артериальных капилляров и выносящей артерии. Диаметр выносящей артериолы меньше, чем приносящей, что способствует поддержанию в капиллярах клубочков относительно высокого кровяного давления.

Мочевые канальцы начинаются от щелевидной полости капсулы, которая непосредственно переходит в ***проксимальный*** (каналец первого порядка) извитой каналец. В некотором отдалении от капсулы проксимальный каналец выпрямляется и образует ***петлю Генле,*** переходящую в ***дистальный*** (каналец второго порядка) извитой каналец, открывающийся в собирательную трубку. Собирательные трубки проходят через мозговой слой почки и открываются на верхушках сосочков. Собирание конечной мочи происходит в почечных лоханках, куда открываются почечные чашечки.

В обычных условиях через обе почки, составляющие лишь 0,43% массы тела человека, проходит около 25% объема крови, выбрасываемой сердцем. Кровоток в коре почки достигает 4–5 мл/мин на 1 г ткани – это наиболее высокий уровень органного кровотока. Особенность почечного кровотока заключается также в том, что, несмотря на существенные колебания артериального давления, кровоток в почках остается постоянным. Это обусловлено специальной системой саморегуляции кровообращения в них.

13.3. ПРОЦЕСС МОЧЕОБРАЗОВАНИЯ И ЕГО РЕГУЛЯЦИЯ

Согласно современным представлениям, образование конечной мочи является результатом трех процессов: фильтрации, реабсорбции и секреции.

Процесс фильтрации воды и низкомолекулярных компонентов плазмы через стенки капилляров клубочка происходит только в том случае, если давление крови в капиллярах (около 70 мм рт. ст.) превышает сумму онкотического давления белков плазмы (около 30 мм рт. ст.) и давления жидкости (около 20 мм рт. ст.) в капсуле клубочка. Таким образом, эффективное фильтрационное давление, определяющее скорость клубочковой фильтрации, составляет около 20 мм рт. ст.

Фильтрат, поступивший в капсулу Шумлянского–Боумена, составляет первичную мочу, ***которая по своему содержанию отличается от состава плазмы крови только отсутствием белков.*** В сутки через почки человека протекает 1500–1800 л крови, и из каждых 10 л крови, проходящей через капилляры клубочков, образуется около 1 л фильтрата, что составляет в течение суток 150–180 л первичной мочи. Такая интенсивная фильтрация возможна только в условиях обильного кровоснабжения почек и при особом строении фильтрационной поверхности капилляров клубочка, в которых поддерживается высокое давление крови.

Канальцевая реабсорбция, или обратное всасывание, ***происходит в извитых канальцах и петле Генле, куда поступает образовавшаяся первичная моча.*** Из 150–180 л первичной мочи реабсорбируется около 148–178 л воды. В почечных канальцах остается небольшое количество жидкости – вторичная (конечная) моча, суточный объем которой равен около 1,5 л. Через собирательные трубки, почечные лоханки и мочеточники она поступает в мочевой пузырь. Такое значительное обратное всасывание объясняется тем, что общая суммарная площадь канальцев почек человека составляет 40–50 $м^2$, а длина всех извитых канальцев достигает 80–100 км. Длина канальцев одного нефрона не превышает 40–50 мм. Реабсорбции подвергаются кроме воды многие необходимые для организма органические (глюкоза, аминокислоты, витамины) и неорганические (ионы K^+, Na^+, Ca^{2+}, фосфаты) вещества.

Канальцевая секреция ***осуществляется клетками канальцев, которые также способны выводить из организма***

некоторые вещества. Такие вещества слабо фильтруются или совсем не проходят из плазмы крови в первичную мочу (некоторые коллоиды, органические кислоты). Механизм канальцевой секреции состоит в том, что клетки эпителия нефрона захватывают названные вещества из крови и межклеточной жидкости и переносят их в просвет канальца. Другой вариант канальцевой секреции заключается в выделении в просвет канальцев новых органических веществ, синтезированных в клетках нефрона (мочевина, мочевая кислота, уробилин и др.). Скорость каждого из этих процессов регулируется в зависимости от состояния организма и характера воздействия на него.

Регуляция мочеобразования ***осуществляется нейрогуморальным путем.*** Высшим подкорковым центром регуляции мочеобразования является ***гипоталамус.*** Импульсы от рецепторов почек по симпатическим нервам поступают в гипоталамус, где вырабатывается ***антидиуретический гормон (АДГ), или вазопрессин,*** усиливающий реабсорбцию воды из первичной мочи и являющийся основным компонентом гуморальной регуляции. Этот гормон поступает в гипофиз, там накапливается и затем выделяется в кровь. Повышение секреции АДГ сопровождается увеличением проницаемости извитых канальцев и собирательных трубок для воды. Усиленная реабсорбция воды при недостаточном ее поступлении в организм приводит к снижению диуреза; моча при этом характеризуется высокой концентрацией находящихся в ней веществ. При избытке воды в организме осмотическое давление плазмы падает. Через осмо- и ионорецепторы гипоталамуса и почек происходит рефлекторное снижение продукции АДГ и его поступления в кровь. В этом случае организм избавляется от избытка воды путем выделения большого количества мочи низкой концентрации. Существенное значение в гуморальной регуляции мочеобразования принадлежит гормону коры надпочечников ***альдостерону*** (из группы минералокортикоидов), который увеличивает реабсорбцию ионов Na^+ и секрецию ионов K^+, уменьшая диурез.

Нервная регуляция мочеобразования выражена слабее, чем гуморальная, и осуществляется как условно-рефлекторным, так и безусловно-рефлекторным путем. В основном она происходит благодаря рефлекторным изменениям просвета почечных сосудов под влиянием различных воздействий на организм. Это ведет к сдвигам почечного кровотока и, следовательно, процесса мочеобразования. Условно-рефлекторное повышение диуреза на

индифферентный раздражитель, подкрепленное повышенным потреблением воды, свидетельствует об участии коры больших полушарий в регуляции мочеобразования. Следует иметь в виду, что почки обладают высокой способностью к саморегуляции. Выключение высших корковых и подкорковых центров регуляции не приводит к прекращению мочеобразования.

13.4. ГОМЕОСТАТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ПОЧЕК

Поддержание почками постоянства объема и состава внутренней среды и прежде всего крови осуществляется специальной системой рефлекторной регуляции, включающей специфические рецепторы, афферентные пути и нервные центры, где происходит переработка информации. Команды к почкам поступают по эфферентным нервам или гуморальным путем. Приспособление работы почек к изменяющимся условиям определяется преимущественным влиянием на клубочковый и канальцевый аппарат различных гормонов (АДГ, альдостерон, паратгормон, инсулин, гастрин, тирокальциотонин).

Почки являются основным органом осмо- и волюморегуляции (регуляции объема). Они обеспечивают выделение избытка воды из организма в виде гипотонической мочи при увеличенном содержании воды ***(гипергидратации)*** или задерживают воду и выводят мочу, гипертоническую по отношению к плазме крови, при обезвоживании организма ***(дегидратации)***. Эти особенности мочевыведения определяются активностью центральных и периферических осмо- и натриорецепторов и уровнем выделения АДГ из гипотатамуса.

В почках осуществляется синтез ряда биологически активных веществ (ренин, брадикинин, урокиназа, простагландины и др.), которые участвуют в регуляции и поддержании постоянства внутренней среды организма, т.е. почки являются типичным органом внутренней секреции.

13.5. МОЧЕВЫВЕДЕНИЕ И МОЧЕИСПУСКАНИЕ

Образующаяся в почечных канальцах конечная моча по собирательным трубкам поступает в почечные лоханки, мочеточники и мочевой пузырь. Объем мочи в нем постепенно увеличивается, его стенки растягиваются. На начальном этапе заполнения пузыря напряжение его стенок не изменяется, и давление внутри его

не растет. Когда объем мочи в пузыре достигает 250–300 мл, напряжение гладкомышечных волокон его стенок резко нарастает, давление жидкости в его полости достигает 15–16 см водн. ст. и наступает рефлекторный акт мочеиспускания.

Ведущим фактором, вызывающим раздражение механорецепторов мочевого пузыря, является именно растяжение его стенок и в меньшей степени – увеличение давления. Если поместить пузырь в капсулу, препятствующую его растяжению, то повышение давления внутри пузыря не вызывает соответствующих рефлекторных реакций. Возбуждение, возникшее при раздражении механорецепторов мочевого пузыря, поступает по афферентным нервам в крестцовый отдел спинного мозга, где находится рефлекторный центр мочеиспускания. Эфферентная иннервация мочевого пузыря осуществляется симпатическими и парасимпатическими волокнами. Импульсы, передающиеся по симпатическим волокнам, расслабляют мышцы пузыря и повышают тонус его жома, что способствует заполнению пузыря мочой и ее удержанию в нем. Противоположный эффект вызывают импульсы, поступающие по парасимпатическим волокнам, что приводит к более частому мочеиспусканию.

Спинальный центр мочеиспускания находится под контролем вышележащих отделов мозга: тормозящие влияния исходят из коры головного мозга и среднего мозга, возбуждающие – из гипоталамуса и варолиева моста. Первые позывы к мочеиспусканию появляются у взрослого человека, когда объем мочи в пузыре достигает 150 мл. Усиленный поток импульсов наступает при увеличении мочи в пузыре до 250–300 мл. При этом имеет место произвольное мочеиспускание. При дальнейшем повышении объема содержимого пузыря акт мочеиспускания становится непроизвольным.

13.6. ПОТООТДЕЛЕНИЕ

Потоотделение выполняет ряд важных функций в организме. Выделение пота освобождает организм от конечных продуктов обмена веществ; путем выведения воды и солей поддерживается постоянство осмотического давления, а также нормализуется температура тела вследствие теплоотдачи при испарении пота с поверхности кожи.

Пот содержит 98–99% воды, минеральные соли (хлористый натрий и хлористый калий, сульфаты, фосфаты) и органические

вещества (мочевина, мочевая кислота, креатинин, гиппуровая кислота). Плотность пота составляет 1,010–1,012. В среднем за сутки в условиях относительного физического и эмоционального покоя, при комфортной температуре окружающей среды выделяется 500–600 мл пота.

Различают термическое и эмоциональное потоотделение. ***Термическое потоотделение*** происходит на всей поверхности тела, эмоциональное – на ладонях, подошвенной стороне стоп, в подмышечных впадинах, на лице и реже на других участках тела.

Интенсивность и скорость термического потоотделения находится в прямой зависимости от уровня повышения температуры окружающей среды. При температуре воздуха около +60°С у человека в течение часа образуется 2,5 л пота. В горячих цехах за рабочую смену выделение пота может составлять 10–12 л. Испарение пота в таких условиях имеет исключительное значение для поддержания температурного гомеостаза, так как на испарение 1 г воды с поверхности тела человека расходуется 2,43 кДж (0,58 ккал).

Эмоциональное (холодное) потоотделение возникает при различных психических реакциях (страх, радость, гнев), умственном напряжении, т.е. факторов, не оказывающих существенного влияния на терморегуляцию. Эмоциональное потоотделение в отличие от термического имеет очень короткий латентный период, быстро достигает максимума, соответствующего силе возбуждения, и так же быстро прекращается с окончанием раздражения.

Потоотделение, вызываемое физической работой, представляет сочетание обоих видов – термического (вследствие повышения теплопродукции при мышечной деятельности) и эмоционального. Следовательно, интенсивность потоотделения при спортивной деятельности зависит как от ее характера, так и от эмоционального фона.

Образование пота является сложным секреторным процессом, находящимся под контролем нейрогуморальной регуляции. Иннервация потовых желез осуществляется симпатическими нервами. Отличительной особенностью волокон симпатических нервов является то, что они выделяют в качестве медиатора не адреналин, а ацетилхолин, т.е. действуют по механизму парасимпатических, холинэргических структур. Механизм эмоционального потоотделения отличается от теплового тем, что холодный пот выделяется под влиянием тех симпатических нервов,

в синапсах которых выделяется адреналин. Парасимпатическая иннервация на деятельность потовых желез не оказывает влияния. Центры регулирующие потообразование, расположены в спинном мозге и в гипоталамусе. Условно-рефлекторно или при нагревании терморецепторов кожи импульсы поступают в соответствующие центры, и оттуда по симпатическим нервам возбуждение передается к потовым железам.

14. ТЕПЛОВОЙ ОБМЕН

Способность организма человека сохранять постоянную температуру обусловлена сложными биологическими и физико-химическими процессами терморегуляции. В отличие от холоднокровных ***(пойкилотермных)*** животных, температура тела теплокровных ***(гомойотермных)*** животных при колебаниях температуры внешней среды поддерживается на определенном уровне, наиболее выгодном для жизнедеятельности организма. Поддержание теплового баланса осуществляется благодаря строгой соразмерности в образовании тепла и в его отдаче.

Величина теплообразования зависит от интенсивности ***химических реакций,*** характеризующих уровень обмена веществ. Теплоотдача регулируется преимущественно ***физическими процессами*** (теплоизлучение, теплопроведение, испарение).

14.1. ТЕМПЕРАТУРА ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА И ИЗОТЕРМИЯ

Температура тела человека и высших животных поддерживается на относительно постоянном уровне, несмотря на колебания температуры внешней среды. Это постоянство температуры тела носит название изотермии. Изотермия в процессе онтогенеза развивается постепенно. У новорожденных детей она далеко не совершенна и устойчивый характер приобретает с возрастом. Перераспределение тепла между тканями осуществляется кровью. Кровь, обладая высокой теплоемкостью, переносит тепло от тканей с высоким уровнем теплообразования к тканям, где тепло образуется в небольших количествах. В результате выравнивается уровень температуры в различных частях тела.

Температура ***поверхностных тканей («оболочки»)*** как правило ниже температуры ***глубоких тканей («ядра»).*** Температура поверхности тела неравномерна и зависит от интенсивности

переноса к ней тепла кровью из глубоких частей тела, а также от охлаждающего или согревающего действия температуры внешней среды (рис. 23). Так, температура кожи на покрытых одеждой участках колеблется от +29°С до +34°С; колебания температуры кожи на открытых частях тела в существенной мере зависят от температуры внешней среды.

Температура глубоких тканей более равномерна и составляет +37…37,5°С. Температура печени, мозга, почек несколько выше, чем других внутренних органов.

О температуре тела человека судят обычно на основании ее измерения в подмышечной впадине. Здесь температура у здорового человека равна +36,5…37°С. Температура тела ниже +24°С и выше +43°С не совместима с жизнью. Изотермия имеет большое значение для метаболических процессов. Ферменты и гормоны обладают наибольшей активностью при температуре +35…40°С. Температура тела человека не остается постоянной, а колеблется в течение суток в пределах 0,5…0,8°С. Максимальная температура тела наблюдается в 16–18 часов, а минимальная – в 3–4 часа.

Постоянство температуры тела у человека может сохраняться лишь при условии равенства теплообразования и теплопотери всего организма. Это достигается посредством физиологических ***механизмов терморегуляции,*** которую принято разделять на химическую и физическую. Способность человека противостоять воздействию тепла и холода, сохраняя стабильную температуру тела, имеет известные пределы. При чрезмерно низкой или очень высокой температуре среды защитные терморегуляционные механизмы оказываются недостаточными, и температура тела начинает резко падать или повышаться. В первом случае развивается состояние гипотермии, во втором – гипертермии.

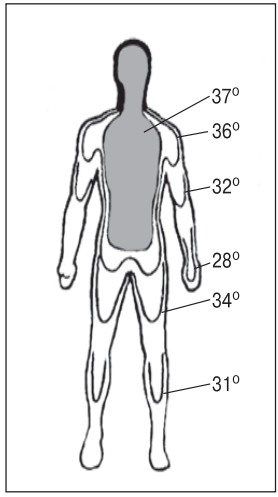


Рис. 23. Температурное ядро (серым цветом) и оболочка

14.2. МЕХАНИЗМЫ ТЕПЛООБРАЗОВАНИЯ

Образование тепла в организме происходит главным образом в результате химических реакций обмена веществ. При окислении пищевых компонентов и других реакций тканевого метаболизма образует-

ся тепло. Величина теплообразования находится в тесной связи с уровнем метаболической активности организма. Поэтому теплопродукцию называют также ***химической терморегуляцией.***

Химическая терморегуляция имеет особо важное значение для поддержания постоянства температуры тела в условиях охлаждения. При понижении температуры окружающей среды происходит увеличение интенсивности обмена веществ и, следовательно, теплообразования. У человека усиление теплообразования отмечается в том случае, когда температура окружающей среды становится ниже ***оптимальной температуры,*** или зоны комфорта. В обычной легкой одежде эта зона находится в пределах +18…20°С, для обнаженного человека +28°С.

Суммарное теплообразование в организме происходит в ходе химических реакций обмена веществ (окисление, гликолиз), что составляет так называемое первичное тепло, и при расходовании энергии макроэргических соединений (АТФ) на выполнение работы (вторичное тепло). В виде первичного тепла в тканях рассеивается 60–70% энергии. Остальные 30–40% после расщепления АТФ обеспечивают работу мышц, различные процессы синтеза, секреции и др. Но и при этом та или иная часть энергии переходит затем в тепло. Таким образом, и вторичное тепло образуется вследствие экзотермических химических реакций, а при сокращении мышечных волокон – в результате их трения. В конечном итоге переходит в тепло или вся энергия, или подавляющая ее часть.

Наиболее интенсивное теплообразование в организме происходит в мышцах при их сокращении. Относительно небольшая двигательная активность ведет к увеличению теплообразования в 2 раза, а тяжелая работа – в 4–5 раз и более. Однако в этих условиях существенно возрастают потери тепла с поверхности тела.

При продолжительном охлаждении организма возникают ***непроизвольные периодические сокращения скелетной мускулатуры (холодовая дрожь).*** При этом почти вся метаболическая энергия в мышце освобождается в виде тепла. ***Активация в условиях холода симпатической нервной системы стимулирует липолиз в жировой ткани.*** В кровоток выделяются и в последующем окисляются с образованием большого количества тепла свободные жирные кислоты. Наконец, повышение теплопродукции связано с ***усилением функций надпочечников и щитовидной железы.*** Гормоны этих желез, усиливая обмен веществ,

вызывают повышенное теплообразование. Следует также иметь в виду, что все физиологические механизмы, которые регулируют окислительные процессы, влияют в то же время и на уровень теплообразования.

14.3. МЕХАНИЗМЫ ТЕПЛООТДАЧИ

Отдача тепла организмом (физическая терморегуляция) осуществляется путем излучения, проведения и испарения.

Излучением теряется примерно 50–55% тепла в окружающую среду путем лучеиспускания за счет инфракрасной части спектра. Количество тепла, рассеиваемого организмом в окружающую среду с излучением, пропорционально площади поверхности частей тела, которые соприкасаются с воздухом, и разности средних значений температур кожи и окружающей среды. Отдача тепла излучением прекращается, если выравнивается температура поверхности кожи и окружающей среды.

Теплопроведение ***может происходить путем кондукции и конвекции.*** Кондукцией тепло теряется при непосредственном контакте участков тела человека с другими физическими средами. При этом количество теряемого тепла пропорционально разнице средних температур контактирующих поверхностей и времени теплового контакта. Конвекция – способ теплоотдачи организма, осуществляемый путем переноса тепла движущимися частицами воздуха. Конвекцией тепло рассеивается при обтекании поверхности тела потоком воздуха с более низкой температурой, чем температура кожи. Движение воздушных потоков (ветер, вентиляция) увеличивает количество отдаваемого тепла. Путем теплопроведения организм теряет 15–20% тепла, при этом конвекция представляет более мощный механизм теплоотдачи, чем кондукция.

Теплоотдача путем испарения – это способ рассеивания организмом тепла (около 30%) в окружающую среду за счет его затраты на испарение пота или влаги с поверхности кожи и слизистых дыхательных путей. При температуре внешней среды +20°С испарение влаги у человека составляет 600–800 г в сутки. При переходе в воздух 1 г воды организм теряет 0,58 ккал тепла. Если внешняя температура превышает среднее значение температуры кожи, то организм не отдает во внешнюю среду тепло излучением и проведением, а наоборот, поглощает тепло извне. Испарение жидкости с поверхности тела происходит при влажности воздуха менее 100%.

14.4. РЕГУЛЯЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА

Регуляция теплообмена обеспечивает баланс между количеством продуцируемого в единицу времени тепла и количеством тепла, рассеиваемого организмом за то же время в окружающую среду. В результате температура тела человека поддерживается на относительно постоянном уровне.

Восприятие и анализ температуры окружающей среды осуществляется с помощью терморецепторов. Терморецепторы имеются в коже, мышцах, сосудах, во внутренних органах, дыхательных путях, спинном и среднем мозге. Одни из них реагируют на холод – ***холодовые рецепторы,*** которых на поверхности тела человека насчитывается около 250 000; другие реагируют на тепло – ***тепловые рецепторы,*** их примерно 30 000. Разветвленная сеть терморецепторов обеспечивает подробную информацию о температурных сдвигах во внешней и внутренней среде организма, поступающую в высшие центры теплообмена.

Центральный аппарат терморегуляции находится в передней и задней части гипоталамуса, а также в ретикулярной формации среднего мозга. ***Центр терморегуляции*** содержит различные по функциям группы нервных клеток. Термочувствительные нейроны переднего гипоталамуса поддерживают ***базальный уровень («установочную точку»)*** температуры тела в организме человека. Эффекторные нейроны заднего гипоталамуса и среднего мозга управляют ***процессами теплопродукции и теплоотдачи.***

Важная роль в терморегуляции принадлежит высшим отделам ЦНС – коре и ближайшим подкорковым центрам. Эмоциональное возбуждение, изменения в психическом состоянии оказывают существенное влияние на уровень теплообразования и теплоотдачи. Отчетливые изменения температуры тела наблюдаются у спортсменов при стартовом возбуждении (предстартовая лихорадка). При длительной мышечной работе температура тела может повышаться до +39…40°С и более.

В осуществлении гуморальной регуляции теплообмена участвуют железы внутренней секреции, главным образом щитовидная железа и надпочечники. Участие щитовидной железы в терморегуляции обусловлено тем, что влияние пониженной температуры приводит к усиленному выделению ее гормонов, повышающих обмен веществ и, следовательно, теплообразование.

Роль надпочечников связана с выделением ими в кровь катехоламинов, которые, усиливая окислительные процессы в тканях, в частности в мышцах, увеличивают теплопродукцию и суживают кожные сосуды, уменьшая теплоотдачу.

15. ВНУТРЕННЯЯ СЕКРЕЦИЯ

ЦНС управляет деятельностью различных органов и систем организма с помощью нервной и гуморальной регуляции. В систему гуморальной регуляции различных функций организма включены специальные железы, выделяющие свои активные вещества (гормоны) непосредственно в кровь, – так называемые железы внутренней секреции.

15.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭНДОКРИННОЙ СИСТЕМЫ

Гуморальная регуляция осуществляется двумя способами:

1) ***системой желез внутренней секреции, или эндокринными железами*** (*греч.* эндон – «внутрь», крино – «выделять»), продукты которых (гормоны) поступают непосредственно в кровь и действуют дистантно на удаленные от них органы и ткани, а также ***системой эндокринных тканей других органов;***

2) ***системой местной саморегуляции,*** т.е. действием на соседние клетки (в пределах одного органа или ткани) биологически активных веществ (тканевых «гормонов» – гистамина, серотонина, кининов, простагландинов) и продуктов клеточного метаболизма (например, появление при физических нагрузках молочной кислоты в мышцах ведет к расширению в них кровеносных сосудов и увеличению доставки кислорода).

К эндокринным железам относят следующие образования: эпифиз (верхний придаток мозга, или шишковидная железа), ***гипофиз*** (нижний придаток мозга), ***вилочковая железа*** (тимус, или зобная железа), ***щитовидная*** (тиреоидная) железа, ***околощитовидные*** (паратиреоидные) железы, ***поджелудочная*** железа (панкреас), ***надпочечники, половые*** железы (гонады). Гормоны выделяются также клетками некоторых органов (почки, сердце, плацента, пищеварительный тракт).

Методами изучения желез внутренней секреции являются традиционные методы удаления или разрушения (у человека при заболеваниях или у животных в эксперименте), введение

определенного гормона в организм, а также наблюдения в клинике за больными с патологией эндокринной системы. В современных условиях концентрацию гормонов в железах, крови или моче изучают биологическими и химическими методами, используют ультразвуковое исследование, применяют радиоиммунологический метод.

Общие свойства желез внутренней секреции:

1) ***отсутствие внешних протоков*** в отличие от желез внешней секреции, имеющих такие протоки (например, сальных, молочных, слюнных и др.); продуцируемые эндокринными железами гормоны всасываются непосредственно в кровь, проходящую через железу;

2) сравнительно ***небольшие размеры и масса;***

3) действие гормонов на клетки и ткани в весьма ***малых концентрациях*** (например, всего 1 г адреналина может активизировать 100 млн лягушачьих сердец);

4) ***избирательность действия гормонов на определенные ткани и клетки-мишени,*** имеющие специальные рецепторы на поверхности клеточной мембраны или в плазме, с которыми связываются гормоны;

5) специфичность вызываемых ими функциональных эффектов;

6) ***быстрое разрушение гормонов*** (например, период полураспада в крови адреналина и норадреналина – около 0,5–2,5 мин, большей части гормонов гипофиза – 10–15 мин).

Эндокринные железы должны постоянно вырабатывать гормоны, чтобы, несмотря на быстрое разрушение, поддерживать необходимую их концентрацию в крови. Сохранение нормального уровня каждого гормона и их соотношений в организме регулируется особыми нервными и гуморальными механизмами ***отрицательной обратной связи:*** при избытке в крови какого-либо гормона или образуемых под его воздействием веществ секреция этого гормона соответствующей железой снижается, а при недостатке – увеличивается. Нарушения деятельности эндокринных желез могут проявляться в их чрезмерной активности – гиперфункции или ослаблении активности – гипофункции, что приводит к снижению работоспособности, различным заболеваниям организма и даже смерти.

Гормонами называют особые химические вещества, выделяемые специализированными эндокринными клетками и обладающие дистантным действием, с помощью которых осуществ-

ляется гуморальная регуляция функций различных органов и тканей организма.

По химической структуре выделяют три группы гормонов:

1) ***стероидные гормоны*** – половые гормоны и кортикостероидные гормоны надпочечников;

2) ***производные аминокислот*** – гормоны мозгового вещества надпочечников (адреналин, норадреналин), щитовидной железы;

3) ***пептидные гормоны*** – гормоны гипофиза, поджелудочной железы, околощитовидных желез, а также гипоталамические нейропептиды.

Функции гормонов заключаются в изменении обмена веществ в тканях (метаболическое действие), активации генетического аппарата, регулирующего рост и формообразование различных органов тела, запуске различных функций (например, выделение из печени глюкозы в кровь при работе), модуляции текущей активности различных органов (например, изменения частоты сердцебиений при эмоциональных состояниях организма).

Механизм влияния гормонов на клеточную активность зависит от их способности связываться с рецепторами клеток-мишеней. Влияние пептидных гормонов и производных аминокислот осуществляется путем их связывания со специфическими рецепторами на поверхности клеточных мембран, что вызывает цепную реакцию биохимических преобразований в клетках. Стероидные гормоны и гормоны щитовидной железы, обладающие способностью проникать через клеточную мембрану, образуют в цитоплазме комплекс со специфическими рецепторами, который проникает в клеточное ядро и запускает морфогенетические эффекты образования ферментов и видоспецифичных белков, а также усиление энергообразования в митохондриях, транспорта глюкозы и аминокислот и другие изменения в жизнедеятельности клеток.

В клетках-мишенях имеются ***механизмы для саморегуляции*** собственных реакций на гормональные воздействия. При избытке молекул гормона уменьшается число свободных рецепторов клетки для их связывания, и тем самым снижается чувствительность клетки к действию гормона, а при недостатке гормонов – увеличение числа свободных рецепторов повышает клеточную восприимчивость.

Почти для всех гормонов выявлены отчетливые ***суточные колебания*** их содержания в крови. Большей частью происходит уве-

личение их концентрации в дневное время и уменьшение в ночное время. Однако в этой периодике имеются специфические особенности – так, максимальное содержание гормона роста в крови наблюдается поздним вечером, в начальные стадии сна, а гормонов надпочечников глюкокортикоидов – в утренние часы.

15.2. ФУНКЦИИ ЖЕЛЕЗ ВНУТРЕННЕЙ СЕКРЕЦИИ

Деятельность желез внутренней секреции находится под контролем многочисленных прямых и обратных связей в организме. ***Основным регулятором их функций является гипоталамус,*** непосредственно связанный с главной эндокринной железой – гипофизом, влияния которого распространяются на другие периферические железы.

15.2.1. Функции гипофиза

Гипофиз состоит из трех долей: 1) передняя доля, или аденогипофиз, 2) промежуточная доля и 3) задняя доля, или нейрогипофиз.

В аденогипофизе главную секреторную функцию выполняют пять групп клеток, которые вырабатывают пять специфических гормонов. Среди них выделяют тропные гормоны (*лат.* тропос – «направление»), регулирующие функции периферических желез, и эффекторные гормоны, непосредственно действующие на клетки-мишени. К тропным гормонам относят: кортикотропин, или адренокортикотропный гормон (АКТГ), регулирующий функции коркового слоя надпочечников; тиреотропный гормон (ТТГ), активизирующий щитовидную железу; гонадотропный гормон (ГТГ), влияющий на функции половых желез.

Эффекторными гормонами являются соматотропный гормон (СТГ), или соматотропин, определяющий рост тела, и пролактин, контролирующий деятельность молочных желез.

Выделение гормонов ***передней доли гипофиза*** регулируется веществами, образуемыми нейросекреторными клетками гипоталамуса – гипоталамическими нейропептидами, стимулирующими секрецию (либеринами) и тормозящими ее (статинами). Эти регулирующие вещества доставляются потоком крови из гипоталамуса в переднюю долю гипофиза, где и оказывают влияние на секрецию гормонов клетками гипофиза.

Соматотропин представляет собой видоспецифичный белок, определяющий рост тела (главным образом увеличивающий

рост костей в длину). Работы по генной инженерии с внедрением крысиного соматотропина в генетический аппарат мышей позволили получить супермышей вдвое большего роста. Однако современные исследования показали, что соматотропин организмов одного вида может увеличивать рост тела у видов, стоящих на более низких ступенях эволюционного развития, но не эффективен для более высокоразвитых организмов. В настоящее время найдено вещество-посредник, передающее влияния СТГ на клетки-мишени, – ***соматомедин,*** который вырабатывается клетками печени и костной ткани. Соматотропин обеспечивает синтез белка в клетках, накопление РНК, усиливает транспорт из крови аминокислот в клетки, способствует усвоению азота, создавая положительный азотистый баланс в организме, помогает утилизации жиров. Выделение соматотропного гормона увеличивается во время сна, при физических нагрузках, травмах, некоторых инфекциях. В гипофизе взрослого человека его содержание составляет около 4–15 мг, у женщин среднее его количество несколько выше. Особенно увеличивается концентрация СТГ в крови у подростков в период полового созревания. При голодании его концентрация возрастает в 10–15 раз.

Чрезмерное выделение соматотропина в раннем возрасте приводит к резкому увеличению длины тела (до 240–250 см) – ***гигантизму,*** а его недостаток – к задержке роста – ***карликовости.*** Гипофизарные гиганты и карлики имеют пропорциональное телосложение, однако у них наблюдаются изменения некоторых функций организма, в частности снижение внутрисекреторных функций половых желез. Избыток соматотропина во взрослом состоянии (после окончания роста тела) приводит к разрастанию еще не окостеневших окончательно частей скелета – удлинению пальцев рук и ног, кистей и стоп, уродливому росту носа, подбородка, а также к увеличению внутренних органов. Такое заболевание называется ***акромегалия.***

Пролактин регулирует рост молочных желез, синтез и секрецию молока (выведение молока обеспечивает другой гормон – окситоцин), стимулирует инстинкт материнства, а также влияет на водно-солевой обмен в организме, эритропоэз, вызывает послеродовое ожирение и другие эффекты. Его выделение рефлекторно активизируется актом сосания. В связи с тем, что пролактин поддерживает существование желтого тела и выработку им гормона прогестерона, он получил также название лютеотропного гормона.

Кортикотропин (адренокортикотропный гормон – АКТГ) является крупным белком, при образовании которого выделяются в качестве побочных продуктов ***меланотропин*** (влияющий на образование пигмента меланина) и важный пептид – ***эндорфин,*** обеспечивающий обезболивающие эффекты в организме. Основное влияние кортикотропин оказывает на функции коркового слоя надпочечников, особенно на образование глюкокортикоидов. Кроме того, он вызывает расщепление жиров в жировой ткани, увеличивает секрецию инсулина и соматотропина. Стимулируют выделение кортикотропина различные стрессовые раздражители: сильная боль, холод, значительные физические нагрузки, психоэмоциональное напряжение. Способствуя усилению белкового, жирового и углеводного обменов в стрессовых ситуациях, он обеспечивает повышение сопротивляемости организма действию неблагоприятных факторов среды, т.е. является адаптивным гормоном.

Тиреотропин (тиреотропный гормон – ТТГ) увеличивает массу щитовидной железы, число активных клеток, способствует захвату йода, что в целом усиливает секрецию ее гормонов. В результате нарастает интенсивность всех видов обмена веществ, повышается температура тела. Образование ТТГ увеличивается при понижении внешней температуры среды и тормозится травмами, болевыми ощущениями. Секреция ТТГ может вызываться условно-рефлекторным путем – по сигналам, предшествующим охлаждению, т.е. контролируется корой больших полушарий. Это имеет большое значение для процессов закаливания, тренировки к пониженным температурам.

Гонадотропные гормоны (ГТГ) – ***фоллитропин и лютропин*** (их иначе еще называют фолликулостимулирующий и лютеинизирующий гормоны) – синтезируются и секретируются одними и теми же клетками гипофиза, они одинаковы у мужчин и женщин и по своему действию являются синергистами. Эти молекулы химически защищены от разрушения в печени. ГТГ стимулируют образование и секрецию половых гормонов, а также функции яичников и семенников. Содержание ГТГ в крови зависит от концентрации в крови мужских и женских половых гормонов, от рефлекторных влияний при половом акте, от различных факторов внешней среды, от уровня нервно-психических расстройств.

Задняя доля гипофиза секретирует гормоны вазопрессин и окситоцин, которые образуются в клетках гипоталамуса, затем по нервным волокнам поступают в нейрогипофиз, где накапливаются и затем выделяются в кровь.

Вазопрессин (*лат.* ваз – «сосуд», прессус – «давление») оказывает двоякий физиологический эффект в организме. Во-первых, он вызывает сужение кровеносных сосудов и повышение артериального давления. Во-вторых, этот гормон увеличивает обратное всасывание воды в почечных канальцах, что вызывает повышение концентрации и уменьшение объема мочи, т.е. он действует в качестве ***антидиуретического гормона (АДГ).*** Его секреция в кровь стимулируется изменениями водно-солевого обмена, физическими нагрузками, эмоциональными стрессами. При употреблении алкоголя угнетается секреция вазопрессина (АДГ), увеличивается выведение мочи и возникает обезвоживание организма. В случае резкого падения выработки этого гормона возникает ***несахарный диабет,*** проявляющийся в патологической потере воды организмом.

Окситоцин стимулирует сокращения матки при родах, выделение молока молочными железами. Его секрецию усиливают импульсы от механорецепторов матки при ее растяжении, а также влияния женского полового гормона эстрогена.

Промежуточная доля гипофиза почти не развита у человека, имеется лишь небольшая группа клеток, секретирующих меланотропный гормон, вызывающий образование ***меланина*** – пигмента кожи и волос. В основном эту функцию у человека обеспечивает кортикотропин передней доли гипофиза.

15.2.2. Функции надпочечников

Надпочечники располагаются над почками и состоят из двух различающихся по своим функциям частей – коры надпочечников (близкой по происхождению к половым железам) и мозгового вещества (формирующегося из симпатических клеток).

В коре вырабатывается группа гормонов, называемых кортикоидами, или кортикостероидами. Кортикоиды являются жизненно необходимыми для организма гормонами, их отсутствие приводит к смерти.

Кора надпочечников состоит из следующих трех слоев:

- клубочковая (наружная) зона, секретирующая гормоны ***минералкортикоиды*** (в основном – ***альдостерон***);
- пучковая (средняя) зона, секретирующая ***глюкокортикоиды*** (преимущественно ***кортизол*** или гидрокортизол);
- сетчатая (внутренняя) зона, секретирующая небольшое количество ***половых гормонов (андрогенов и эстрогенов).***

Минералкортикоиды у человека представлены основным гормоном – альдостероном, который имеет существенное значение в регуляции минерального обмена в организме. Он способствует поддержанию на постоянном уровне натрия и калия в крови, лимфе и межтканевой жидкости, увеличивая при необходимости обратное всасывание натрия в почках и выход калия в мочу. Сохранение натрия в плазме крови приводит к задержке воды в организме и повышению артериального давления. От правильного соотношения натрия и калия в жидких средах зависят процессы возникновения и проведения возбуждения в нервной и мышечной тканях, т.е. все процессы восприятия, переработки информации и управления поведением организма. Нарушение секреции альдостерона может привести к гибели организма. Образование альдостерона регулируется не только содержанием Na и K в крови, но и с помощью ренина, выделяемого эндокринной тканью почек при ухудшении в них кровотока.

Глюкокортикоиды главным образом обеспечивают синтез глюкозы (глюконеогенез), образование запасов гликогена в печени и мышцах, увеличение концентрации глюкозы в крови (мобилизация из печени). При этом они выполняют особую роль в белковом обмене. Они угнетают синтез белков в печени и мышцах (создают отрицательный азотистый баланс), увеличивают выход свободных аминокислот, их переаминирование и стимулируют образование из них ферментов, необходимых для новообразования глюкозы. Вызывая при этом мобилизацию жиров из жировой ткани, глюкокортикоиды создают необходимые жировые и углеводные энергоресурсы для активной деятельности организма. Повышению работоспособности помогает также увеличение этими гормонами восприимчивости тканей к адреналину и норадреналину, повышение иммунитета и снижение аллергических реакций, улучшение процессов переработки информации в сенсорных системах и ЦНС. ***Все указанные эффекты глюкокортикоидов (кортизола) обеспечивают повышение устойчивости организма к действию неблагоприятных факторов среды, стрессовым ситуациям, в связи с чем их называют адаптивными гормонами.***

Избыточное содержание кортизола в организме приводит к ***ожирению, гипергликемии, распаду белков, отекам, повышению артериального давления.*** При недостаточности кортизола развивается ***бронзовая (или аддисонова) болезнь,*** которая сопровождается бронзовой окраской кожи, ослаблением деятель-

ности сердечной и скелетных мышц, повышенной утомляемостью, снижением устойчивости к инфекционным заболеваниям.

Половые гормоны надпочечников – это преимущественно андрогены (мужские половые гормоны) и эстрогены (женские половые гормоны), которые наиболее активны на ранних этапах онтогенеза (до полового созревания) и в пожилом возрасте (после снижения активности половых желез). Они ускоряют половое созревание мальчиков, формируют половое поведение у женщин. Андрогены вызывают анаболические эффекты, повышая синтез белков в коже, мышечной и костной ткани, способствуют развитию вторичных половых признаков по мужскому типу (характерное оволосение у мальчиков и избыточное оволосение – ***вирилизация*** – у девушек).

Мозговой слой надпочечников содержит аналоги симпатических клеток (хромаффинные клетки), которые секретируют адреналин и норадреналин, называемые катехоламинами. Они синтезируются из аминокислоты тирозина в результате цепочки поэтапных преобразований из предшественников (тирозин–ДОФА–дофамин–норадреналин–адреналин). В мозговом слое синтезируется в 6 раз больше гормона адреналина, чем норадреналина. Однако в плазме крови норадреналина оказывается в 4 раза больше за счет дополнительного его поступления из окончаний симпатических нервов. Эти гормоны различаются по способности связывать разные адренорецепторы клеток-мишеней: норадреналин имеет сродство к альфа-адренорецепторам всех сосудов, а адреналин к альфа-рецепторам сосудов большинства органов и к бета-адренорецепторам сосудов сердца, мышц и мозга, что определяет некоторые различия их влияний.

Адреналин и норадреналин играют важную роль в адаптации организма к чрезвычайным напряжениям – стрессам, т.е. они являются адаптивными гормонами.

Адреналин вызывает целый ряд эффектов, обеспечивающих деятельное состояние организма:

• учащение и усиление сердечных сокращений, облегчение дыхания путем расслабления бронхиальных мышц, что обеспечивает увеличение доставки кислорода тканям;

• рабочее перераспределение крови – путем сужения сосудов кожи и органов брюшной полости и расширения сосудов мозга, сердечной и скелетных мышц;

• мобилизация энергоресурсов организма за счет увеличения выхода в кровь глюкозы из печеночных депо и жирных кислот из жировой ткани;

• усиление в тканях окислительных реакций и повышение теплопродукции;

• стимуляция анаэробного расщепления глюкозы в мышцах, т.е. повышение анаэробных возможностей организма;

• повышение возбудимости сенсорных систем и ЦНС.

Норадреналин вызывает сходные эффекты, но сильнее действует на кровеносные сосуды, вызывая повышение артериального давления, и менее активен в отношении метаболических реакций.

Активация выброса адреналина и норадреналина в кровь обеспечивается симпатической нервной системой, вместе с которой эти гормоны функционально составляют единую симпато-адреналовую систему, обеспечивающую приспособительные реакции организма к любым изменениям внешней среды.

15.2.3. Функции щитовидной (тиреоидной) железы

В щитовидной железе имеются две группы клеток, образующих два основных вида гормонов. ***Одна группа клеток вырабатывает трийодтиронин и тироксин, а другая – кальцитонин.*** Первые клетки захватывают из крови соединения йода, преобразуют их в атомарный йод и в комплексе с остатками аминокислоты тирозина синтезируют гормоны трийодтиронин (T_3) и тетрайодтиронин, или тироксин (T_4), которые поступают в кровь и лимфу. Эти гормоны, активизируя генетический аппарат клеточного ядра и митохондрии клеток, стимулируют все виды обмена веществ и энергетический обмен организма. Они усиливают поглощение кислорода, увеличивают основной обмен в организме и повышают температуру тела, влияют на белковый, жировой и углеводный обмен, обеспечивают рост и развитие организма, усиливают эффективность симпатических воздействий на частоту сердечных сокращений, артериальное давление и потоотделение, повышают возбудимость ЦНС.

В крови тироксин существует в связанной с белками неактивной форме. Лишь около 0,1% его количества находится в свободной, активной форме, которая и вызывает функциональные эффекты. Более выраженным физиологическим действием обладает трийодтиронин, но его содержание в крови значительно ниже.

Гормон кальцитонин (или тирокальцитонин) вместе с гормонами околощитовидных желез участвует в регуляции содер-

жания кальция в организме. Он вызывает снижение концентрации кальция в крови и поглощение его костной тканью, что способствует образованию и росту костей. В регуляции секреции кальцитонина участвуют гормоны желудочно-кишечного тракта, в частности гастрин.

При недостаточном поступлении в организм йода возникает резкое снижение активности щитовидной железы – ***гипотиреоз.*** В детском возрасте это приводит к развитию ***кретинизма*** – задержке роста, полового, физического и умственного развития, нарушениям пропорций тела. Дефицит гормонов щитовидной железы у взрослых вызывает ***слизистый отек тканей – микседему.*** Он возникает в результате нарушения белкового обмена, повышающего онкотическое давление тканевой жидкости и соответственно вызывающего задержку воды в тканях. При этом, несмотря на разрастание железы (зоб), секреция гормонов снижена. Для компенсации недостатка йода в пище и воде, имеющегося в некоторых регионах земли и вызывающего так называемый ***эндемический зоб,*** в рацион населения включают йодированную соль и морепродукты. Гипотиреоз может также возникать при генетических аномалиях, в результате аутоиммунного разрушения щитовидной железы и при нарушениях секреции тиреотропного гормона гипофиза.

В случае ***гипертиреоза*** (избыточного образования гормонов щитовидной железы) возникают токсические явления, вызывающие Базедову болезнь. Происходит разрастание щитовидной железы (зоб), повышается основной обмен, наблюдаются потеря веса, пучеглазие, повышение раздражительности, тахикардия.

15.2.4. Функции околощитовидных желез

У человека имеются четыре околощитовидные железы, прилегающие к задней поверхности щитовидной железы. Их продукт – паратирин, или паратгормон – участвует в регуляции содержания кальция в организме. Он повышает концентрацию кальция в крови, усиливая его всасывание в кишечнике и выход из костей. Выработка паратгормона усиливается при недостаточном содержании кальция в крови и в результате симпатических влияний, а подавление секреции – при избытке кальция. Нарушение нормальной секреции приводит в случае гиперфункции околощитовидных желез к потере костной тканью кальция и фосфора (деминерализация костей) и деформации

костей, а также к появлению камней в почках, падению возбудимости нервной и мышечной тканей, ухудшению процессов внимания и памяти. В случае недостаточной функции околощитовидных желез возникают резкое повышение возбудимости нервных центров, патологические судороги и смерть в результате тетанического сокращения дыхательных мышц.

15.2.5. Функции вилочковой железы и эпифиза

Вилочковая железа (син.: тимус, зобная железа) имеет основное значение для обеспечения в организме иммунитета (образование и специализация Т-лимфоцитов), а также выполняет эндокринные функции. Секрет этой железы – гормон тимозин – способствует иммунологической специализации Т-лимфоцитов. Кроме того, он обеспечивает процессы проведения возбуждения в синапсах, стимулирует гормональные реакции, облегчая связывание гормонов, активирует метаболические реакции в организме.

Функции эпифиза (син.: верхнего мозгового придатка, шишковидной железы) связаны со степенью освещенности организма и соответственно имеют четкую суточную периодичность. Это своеобразные «биологические часы» организма. Гормон эпифиза мелатонин вырабатывается и секретируется в кровь и цереброспинальную жидкость под влиянием импульсов от сетчатки глаза. На свету выработка его снижается, а в темноте – повышается. Мелатонин угнетает функции гипофиза, снижая, с одной стороны, выработку облегчающих его функции гипоталамических либеринов, а с другой – непосредственно угнетая активность аденогипофиза, в первую очередь подавляя образование гонадотропинов. Под действием мелатонина задерживается преждевременное развитие половых желез, формируется цикличность половых функций, определяется длительность овариально-менструального цикла женского организма.

15.2.6. Эндокринные функции поджелудочной железы

Поджелудочная железа функционирует как ***железа внешней секреции,*** выделяя пищеварительный сок через специальные протоки в двенадцатиперстную кишку, и как ***железа внутренней секреции,*** секретируя непосредственно в кровь ***гормоны инсулин и глюкагон.*** Около 1% массы этой железы составляют особые скопления клеток – ***островки Лангерганса,*** среди которых имеются в преобладающем количестве бета-клетки, выраба-

тывающие гормон инсулин, и в меньшем числе альфа-клетки, выделяющие гормон глюкагон.

Глюкагон вызывает расщепление гликогена в печени и выход в кровь глюкозы, а также стимулирует расщепление жиров в печени и жировой ткани.

Инсулин – это полипептид, обладающий широким действием на различные процессы в организме – регулирует все виды обмена веществ и энергообмен. Действуя путем повышения проницаемости клеточных мембран мышечных и жировых клеток, он способствует переходу глюкозы внутрь мышечных волокон, увеличивая мышечные запасы синтезируемого в них гликогена, а в клетках жировой ткани способствует превращению глюкозы в жир. Проницаемость клеточных мембран под влиянием инсулина повышается также и для аминокислот, в результате чего стимулируется синтез информационной РНК и внутриклеточный синтез белка. В печени инсулин вызывает синтез гликогена, аминокислот и белков в печеночных клетках. Все указанные процессы обусловливают анаболический эффект инсулина.

Продукция гормонов поджелудочной железы регулируется содержанием глюкозы в крови, собственными особыми клетками в островках Лангерганса, ионами Ca^{2+} и влияниями вегетативной нервной системы. В случае снижения концентрации глюкозы в крови (гипогликемии) до 2,5 мМоль/л или 40–50 мг% в первую очередь резко нарушается деятельность мозга, лишенного источников энергии, наступают судороги, потеря сознания и даже смерть. Гипогликемия может возникать при избытке инсулина в организме, при повышенном расходе глюкозы во время мышечной работы.

Дефицит инсулина вызывает тяжелое заболевание – ***сахарный диабет*** (мочеизнурение), характеризующийся гипергликемией. В организме при этом нарушается утилизация в клетках глюкозы, резко повышается концентрация глюкозы в крови и в моче, что сопровождается значительными потерями воды с мочой (до 12–15 л в сутки), соответственно сильной жаждой и большим потреблением воды. Возникает мышечная слабость, падение веса. Потерю углеводных источников энергии организм компенсирует распадом жиров и белков. В результате их неполной переработки в крови накапливаются ядовитые вещества, кетоновые тела и возникает сдвиг pH крови в кислую сторону (ацидоз). Это приводит к диабетической коме с потерей сознания и угрозой смерти.

15.2.7. Функции половых желез

К половым железам (гонадам) относят семенники в мужском организме и яичники в женском организме. ***Эти железы выполняют двоякую функцию: формируют половые клетки и выделяют в кровь половые гормоны.*** Как в мужском, так и в женском организме вырабатываются и мужские половые гормоны (андрогены), и женские половые гормоны (эстрогены), которые отличаются по их количеству. Их выработка и активность регулируются гонадотропными гормонами гипофиза. По химической структуре они являются стероидами (производными холестерина), продуцируются из общего предшественника. Эстрогены образуются путем преобразования из тестостерона.

Мужской половой гормон тестостерон вырабатывается специальными клетками в области извитых канальцев семенников. Другая часть клеток обеспечивает созревание сперматозоидов и вместе с тем продуцирует эстрогены. Гормон тестостерон начинает действовать еще в стадии внутриутробного развития, формируя организм по мужскому типу. Он обеспечивает развитие первичных и вторичных половых признаков мужского организма, регулирует процессы сперматогенеза, протекание половых актов, формирует характерное половое поведение, особенности строения и состава тела, психические особенности. Тестостерон обладает сильным анаболическим действием – он стимулирует синтез белков, способствуя гипертрофии мышечной ткани.

Выработка женских половых гормонов (эстрогенов) осуществляется в яичниках клетками фолликулов. Основным гормоном этих клеток является ***эстрадиол.*** В яичниках также вырабатываются мужские половые гормоны – андрогены. Эстрогены регулируют процессы формирования женского организма, развитие первичных и вторичных половых признаков женского организма, рост матки и молочных желез, становление цикличности половых функций, протекание родового акта. Эстрогены обладают анаболическим действием в организме, но в меньшей степени, чем андрогены. Кроме гормонов эстрогенов, в женском организме вырабатывается гормон ***прогестерон.*** Этой функцией обладают клетки желтого тела, которое после овуляции становится особой железой внутренней секреции. Секреция эстрогенов и прогестерона находится под контролем полового центра гипоталамуса и гонадотропного гормона гипофиза, которые формируют периодичность ***овариально-менструального цикла (ОМЦ)***

длительностью, в среднем, около 28 дней на протяжении всего детородного периода жизни женщины (примерно с 12–15 лет до 45–55 лет).

Овариально-менструальный цикл состоит из пяти фаз:

– ***менструальная*** (примерно 1–3 день) – отторжение неоплодотворенной яйцеклетки с частью маточного эпителия и кровотечением (менструацией);

– ***постменструальная*** (4–12 день) – созревание очередного фолликула с яйцеклеткой и усиленное выделение эстрогенов;

– ***овуляторная*** (13–14 день) – разрыв фолликула и выход яйцеклетки в маточные трубы;

– ***постовуляторная*** (15–25 день) – образование из лопнувшего фолликула желтого тела и продуцирование гормона прогестерона, необходимого для внедрения оплодотворенной яйцеклетки в стенку матки и нормального протекания беременности;

– ***предменструальная*** (26–28 день) – разрушение желтого тела (при отсутствии оплодотворения), снижение секреции эстрогенов и прогестерона, ухудшение самочувствия и работоспособности.

15.3. ИЗМЕНЕНИЯ ЭНДОКРИННЫХ ФУНКЦИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СОСТОЯНИЯХ

При чрезвычайных физических и психических раздражениях (перегревание, переохлаждение, боль, страх, тяжелые психические переживания, непомерная физическая нагрузка и др.) у человека возникает состояние напряжения – ***стресс.*** При этом в организме развертываются как специфические реакции защиты от действующего фактора, так и неспецифические приспособительные реакции. ***Комплекс защитных неспецифических реакций организма на неблагоприятные влияния среды*** был назван канадским ученым Г. Селье (1960) ***общим адаптационным синдромом.*** Это стандартные реакции, которые возникают при любых раздражителях, связаны с эндокринными изменениями и протекают в следующие три стадии.

• ***Стадия тревоги*** проявляется дискоординацией различных функций организма, подавлением функций щитовидной и половых желез, в результате чего нарушаются анаболические процессы синтеза белков и РНК; отмечается снижение иммунных свойств организма – уменьшаются активность вилочковой

железы и количество лимфоцитов в крови; возможно появление язв желудка и 12-перстной кишки; организмом включаются срочные защитные реакции быстрого рефлекторного выброса в кровь гормона надпочечников адреналина, что позволяет резко повысить деятельность сердечной и дыхательной систем, начать мобилизацию углеводных и жировых источников энергии; характерен также излишне высокий уровень энерготрат при низкой умственной и физической работоспособности.

• ***Стадия резистентности,*** т.е повышенной устойчивости организма, характеризуется возрастанием секреции гормонов коркового слоя надпочечников – кортикоидов, что способствует нормализации белкового обмена (активации синтеза белков в тканях); повышается содержание в крови углеводных источников энергии; возникает преобладание концентрации в крови норадреналина над адреналином – это обеспечивает оптимизацию вегетативных изменений и экономизацию энерготрат; повышается тканевая устойчивость к действию на организм неблагоприятных факторов среды; возрастает работоспособность.

• ***Стадия истощения*** возникает при чрезмерно сильных и длительных раздражениях; функциональные резервы организма исчерпываются; происходит истощение гормональных и энергетических ресурсов (содержание катехоламинов в надпочечниках снижается до 10–15% от исходного уровня); уменьшается максимальное и пульсовое артериальное давление крови; падает сопротивляемость организма повреждающим воздействиям; невозможность дальнейшей борьбы с вредными влияниями может приводить к смертельному исходу.

Стрессовые реакции – это нормальные приспособительные реакции организма к действию сильных неблагоприятных раздражителей – ***стрессоров.*** Действие стрессоров воспринимается различными рецепторами тела и через кору больших полушарий передается на гипоталамус, где включаются нервные и нейрогуморальные механизмы адаптации. При этом происходит ***вовлечение двух основных систем активации*** всех метаболических и функциональных процессов в организме.

• Осуществляется активация так называемой ***симпато-адреналовой системы.*** По симпатическим волокнам к мозговому слою надпочечников поступают рефлекторные влияния, вызывающие срочный выброс в кровь адаптивного гормона адреналина.

• Действие адреналина на ядра гипоталамуса стимулирует активность ***гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы.*** Образуемые в гипоталамусе облегчающие вещества – либерины – с током крови передаются в переднюю долю гипофиза и уже через 2–2,5 мин усиливают секрецию кортикотропина (АКТГ), который, в свою очередь, уже через 10 мин вызывает увеличенный выброс гормонов коркового слоя надпочечников – глюкокортикоидов и альдостерона. Вместе с повышенной секрецией соматотропного гормона и норадреналина эти гормональные изменения обусловливают мобилизацию энергетических ресурсов организма, активацию обменных процессов и повышение тканевой сопротивляемости.

Выполнение кратковременной и малоинтенсивной мышечной работы (как показали исследования работающего человека или экспериментальных животных) ***не вызывают заметных изменений содержания гормонов*** в плазме крови и в моче. Значительные мышечные нагрузки (превышающие 50–70% от максимального потребления кислорода) вызывают состояние напряжения в организме и повышенную секрецию соматотропного гормона, кортикотропина, вазопрессина, глюкокортикоидов, альдостерона, адреналина, норадреналина и паратгормона. Реакции эндокринной системы меняются в зависимости от особенностей спортивных упражнений. В каждом отдельном случае создается сложная специфическая ***система гормональных взаимоотношений с какими-либо ведущими гормонами.*** Их регулирующее влияние на метаболические и энергетические процессы осуществляется ***вместе с другими биологически активными веществами (эндорфины, простагландины)*** и зависит от состояния ***связывающих гормоны рецепторов клеток-мишеней.***

С увеличением тяжести работы, повышением ее мощности и напряженности (особенно в соревнованиях) происходит повышение секреции адреналина, норадреналина и кортикоидов. Однако ***гормональные реакции у нетренированных лиц и квалифицированных спортсменов заметно различаются.*** У людей, не подготовленных к физическим нагрузкам, происходит быстрый и очень большой выброс в кровь этих гормонов (запасы которых невелики), и вскоре наступает их истощение, ограничивающее работоспособность. У тренированных спортсменов функциональные резервы надпочечников существенно увеличены.

Секреция катехоламинов не является чрезмерной, она более равномерна и намного более длительна.

Активация симпато-адреналовой системы увеличивается еще в предстартовом состоянии, особенно у более слабых, тревожных и неуверенных в своих силах спортсменов, выступления которых в соревнованиях оказываются неуспешными. У них в большей мере нарастает секреция адреналина – «гормона тревоги». У высококвалифицированных и уверенных в себе спортсменов с большим стажем активация симпато-адреналовой системы оптимизируется и наблюдается преобладание норадреналина – «гормона гомеостаза». Под его влиянием развертываются функции дыхательной и сердечно-сосудистой систем, усиливается доставка кислорода тканям и стимулируются окислительные процессы, повышаются аэробные возможности организма.

Увеличение выработки адреналина и норадреналина у спортсменов в условиях напряженной соревновательной деятельности сопряжено с ***состоянием эмоционального стресса.*** При этом секреция адреналина и норадреналина может быть увеличена в 5–6 раз по сравнению с исходным фоном в дни отдыха от нагрузок. Описаны отдельные случаи нарастания выделения адреналина в 25 раз, а норадреналина в 17 раз от исходного уровня при марафонском беге и лыжных гонках на 50 км.

Активизация гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы зависит от вида спорта, состояния тренированности и квалификации спортсмена. ***В циклических видах спорта*** подавление активности этой системы в предстартовом состоянии и во время соревнований коррелирует с низкой работоспособностью. Наиболее успешно выступают спортсмены, в организме которых секреция кортикоидов увеличивается в 2–4 раза по сравнению с исходным фоном. Особенное увеличение выхода кортикоидов и кортикотропина отмечается при выполнении физических нагрузок большого объема и интенсивности.

У спортсменов ***скоростно-силовых видов спорта*** (например, у десятиборцев в легкой атлетике) активность гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы в предстартовом состоянии снижена (эффект экономизации расхода гормонов), но во время соревнований увеличена в 5–8 раз.

В возрастном плане отмечена повышенная фоновая и рабочая секреция кортикоидов и соматотропного гормона у спортсменов-подростков, особенно у акселератов. У взрослых спортсме-

нов их секреция увеличивается с ростом спортивного мастерства, что тесно коррелирует с успешностью выступлений на соревнованиях. При этом отмечено, что в результате адаптации к систематическим физическим нагрузкам ***одно и то же количество гормонов быстрее совершает свой кругооборот*** в организме квалифицированных спортсменов, чем у людей, не занимающихся физическими упражнениями и не адаптированных к таким нагрузкам. Гормоны быстрее образуются и секретируются железами, успешнее проникают в клетки-мишени и стимулируют обменные процессы, быстрее проходят метаболические превращения в печени, а продукты их распада срочно выводятся почками. Таким образом, при одних и тех же стандартных нагрузках у опытных спортсменов секреция кортикоидов протекает наиболее экономно, но при выполнении предельных нагрузок их выделение значительно превышает уровень у нетренированных лиц.

Глюкокортикоиды усиливают приспособительные реакции в организме, стимулируя глюконеогенез и восполняя затраты энергоресурсов в организме. Увеличение секреции ***альдостерона*** при мышечной работе позволяет компенсировать потери натрия с потом и вывести накопившиеся излишки калия.

Активность ***щитовидной железы и половых желез*** у большей части спортсменов (за исключением наиболее подготовленных) изменяется незначительно. Усиление продукции ***инсулина и тиреоидных гормонов*** особенно велико после окончания работы для пополнения затрат энергоресурсов в организме. Адекватные физические нагрузки являются важным стимулятором развития и функционирования половых желез. Однако большие нагрузки, особенно у юных спортсменов, подавляют их гормональную активность. В организме женщин-спортсменок большие объемы физических нагрузок могут нарушать протекание овариально-менструального цикла. В организме мужчин ***андрогены*** стимулируют нарастание мышечной массы и силы скелетных мышц. Размеры ***вилочковой железы*** у тренирующихся спортсменов уменьшаются, но активность ее не снижается.

Развитие утомления сопровождается снижением выработки гормонов, а состояния переутомления и перетренированности – расстройством эндокринных функций. Вместе с тем оказалось, что высококвалифицированные спортсмены обладают особенно развитыми возможностями произвольной саморегуляции функций в работающем органе. При волевом преодолении

утомления у них отмечено возобновление роста секреции адаптивных гормонов и новая активация метаболических процессов в организме. Следует также иметь в виду, что предельные нагрузки не только уменьшают выделение гормонов, но и нарушают процесс их связывания рецепторами клеток-мишеней (например, нарушается связывание глюкокортикоидов в миокарде и гормон теряет активирующее действие на работу сердечной мышцы).

Активность эндокринных желез находится также под контролем деятельности ***эпифиза*** и подчиняется суточным колебаниям. ***Перестройка суточных биоритмов гормональной активности*** у человека при дальних перелетах, пересечении многих временных поясов занимает около двух недель.

Часть II
СПОРТИВНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

Спортивная физиология ***является как учебной, так и научной дисциплиной.*** Ее изучение осуществляется во всех высших и средних физкультурных учебных заведениях, на факультетах физического воспитания педагогических вузов, а также на отдельных кафедрах государственных университетов и медицинских вузов. В преподавании предмета, практической деятельности тренеров, физиологов и спортивных врачей используются материалы, полученные при выполнении научно-исследовательских работ, которые проводятся в соответствующих НИИ, лабораториях и на кафедрах.

РАЗДЕЛ I
ОБЩАЯ СПОРТИВНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

Спортивная физиология включает в себя два относительно самостоятельных и вместе с тем связанных между собой раздела. Содержанием первого – ***общей спортивной физиологии*** – являются физиологические основы адаптации к физическим нагрузкам и резервные возможности организма, функциональные изменения и состояния организма при спортивной деятельности, а также физическая работоспособность спортсмена и физиологические основы утомления и восстановления в спорте. Второй раздел – ***частная спортивная физиология*** – включает в себя физиологическую классификацию физических упражнений, механизмы и закономерности формирования и развития двигательных качеств и навыков, спортивную работоспособность в особых условиях внешней среды, физиологические особенности тренировки женщин и детей разного возраста, физиологические основы массовых форм оздоровительной физической культуры.

1. СПОРТИВНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ — УЧЕБНАЯ И НАУЧНАЯ ДИСЦИПЛИНА

Спортивная физиология – ***специальный раздел физиологии человека, изучающий изменения функций организма и механизмы их регуляции под влиянием мышечной (спортивной) деятельности и обосновывающий практические мероприятия по повышению ее эффективности.***

1.1. СПОРТИВНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ, ЕЕ СОДЕРЖАНИЕ И ЗАДАЧИ

Спортивная физиология по своему месту в системе подготовки специалистов по физической культуре и спорту связана с тремя группами учебных и научных дисциплин.

Первую группу составляют фундаментальные науки, на которых ***базируется*** спортивная физиология, она и использует их теоретические достижения, методики исследования и сведения о факторах среды, с которыми взаимодействует организм спортсмена в процессе тренировочной и соревновательной деятельности. К числу таких дисциплин следует отнести биологию, физиологию человека и животных, химию и физику.

Во вторую группу входят учебные и научные дисциплины, ***взаимодействующие*** со спортивной физиологией таким образом, что они взаимно обогащают или дополняют друг друга. В этом плане спортивная физиология тесно связана с анатомией, биохимией, биомеханикой, гигиеной и психологией.

Третью группу дисциплин, с которыми связана спортивная физиология, составляют те из них, которые ***используют*** ее научные достижения и методики исследования в своих целях. К ним относятся теория и методика физической культуры, педагогика, спортивно-педагогические дисциплины, спортивная медицина, лечебная физкультура.

Одной из важных задач спортивной физиологии является научное обоснование, разработка и реализация мероприятий, обеспечивающих достижение высоких спортивных результатов и сохранения здоровья спортсменов. Следовательно, ***спортивная физиология – наука прикладная и в основном профилактическая,*** так как, исследуя и учитывая резервные возможности организма человека, она обосновывает пути и средства повышения работоспособности, ускорения восстановительных процессов, предупреждения переутомления, перенапряжения и патологиче-

ских сдвигов функций организма, а также профилактику возникновения различных заболеваний.

Отличительная методическая особенность спортивной физиологии – ее материалы могут быть получены только из экспериментов с человеком, где применение ряда классических методов физиологии невозможно. В связи с этим лишь отдельные уточняющие эксперименты, как правило с целью изучения механизмов физиологических сдвигов при физических нагрузках, проводятся на животных. Важно также подчеркнуть, что основной задачей спортивной физиологии является сравнительное изучение функционального состояния организма человека, т.е. исследование проводится до, во время и после двигательной активности, что в натурных условиях весьма затруднительно. Поэтому разработаны специальные нагрузочные тесты, позволяющие дозировать физическую активность и регистрировать соответствующие изменения функций организма в различные периоды деятельности человека. С этой целью используются велоэргометр, бегущая дорожка (тредбан), ступеньки разной высоты, а также различные приборы, позволяющие регистрировать функции сердечно-сосудистой, дыхательной, мышечной и центральной нервной систем на расстоянии, передавая соответствующие показатели по телеметрическим каналам.

Спортивная физиология занимает важное место в теории физической культуры, составляя фундамент знаний, необходимых тренеру и преподавателю для достижения высоких спортивных результатов и сохранения здоровья спортсменов. Тренер и педагог должны хорошо знать о физиологических процессах, происходящих в организме спортсмена во время тренировочной и соревновательной деятельности, чтобы научно обоснованно строить и совершенствовать эту работу, уметь аргументировать свои распоряжения и рекомендации, избегать переутомления и перенапряжения и не причинить вреда здоровью тренирующихся. Они также должны понимать суть изменений, возникающих в организме спортсмена в реабилитационном периоде, чтобы активно и грамотно влиять на них, ускоряя восстановительные реакции.

Таким образом, из изложенного следует, что ***спортивная физиология как учебная и научная дисциплина решает две основные проблемы.***

• ***Одна из них состоит в физиологическом обосновании закономерностей укрепления здоровья человека*** с помощью физических упражнений и повышения устойчивости его организ-

ма к действию различных неблагоприятных факторов внешней среды (температура, давление, радиация, загрязненность воздуха и воды, инфекции и т.д.), а также в сохранении и восстановлении работоспособности, препятствии развитию раннего утомления и коррекции психоэмоциональных перегрузок в процессе профессиональной деятельности человека. Эти задачи спортивной физиологии решаются в рамках массовых форм физической культуры.

• ***Вторая проблема спортивной физиологии заключается в физиологическом обосновании мероприятий, направленных на достижение высоких спортивных результатов, особенно в большом спорте.***

Эти две проблемы полностью не совпадают, так как для достижения наивысших результатов в процессе тренировок в ряде случаев применяются такие нагрузки, которые могут приводить к снижению устойчивости организма к неблагоприятным воздействиям внешней среды, ухудшению состояния здоровья и даже к возникновению заболеваний.

Очевидно, что физиологические особенности функций организма следует изучать и оценивать раздельно как в отношении массовой физической культуры и физической подготовки специальных контингентов (военнослужащие, пожарные, геологи, студенты, школьники и некоторые другие категории), так и в отношении различных видов спорта, особенно спорта высших достижений.

1.2. КАФЕДРА ФИЗИОЛОГИИ И ЕЕ РОЛЬ В СТАНОВЛЕНИИ И РАЗВИТИИ СПОРТИВНОЙ ФИЗИОЛОГИИ

Физиология включалась в программу обучения в физкультурных вузах с первых дней их организации. На созданных П.Ф. Лесгафтом в 1896 г. Высших курсах физического образования сразу же был открыт кабинет физиологии, первым руководителем которого являлся академик Иван Рамазович Тарханов (Тархнишвили). В последующие годы физиологию здесь преподавали Н.П. Кравков, А.А. Вальтер, П.П. Ростовцев, В.Я. Чаговец, А.Г. Гинецинский, А.А. Ухтомский, Л.А. Орбели, И.С. Беритов (Бериташвили), А.Н. Крестовников, Г.В. Фольборт и др.

Декретом Совета Народных Комиссаров от 22 октября 1919 г. на базе Высших курсов физического образования был создан Институт физического образования им. П.Ф. Лесгаф-

та с учреждением ряда кафедр; в том числе кафедры физиологии – первой такой кафедры среди физкультурных вузов страны (в 1929 г. преобразован в Институт физической культуры им. П.Ф. Лесгафта, в 1993 г. – в академию, в 2006 г. – в университет, в 2008 г. – в национальный университет).

Организованную кафедру с 1919 по 1927 г. возглавлял Леон Абгарович Орбели, впоследствии действительный член АН СССР, АМН СССР и АН АрмССР, Герой Социалистического Труда, лауреат Государственных премий СССР, генерал-полковник медицинской службы, почетный член ряда зарубежных академий. Уже в те годы под руководством Л.А. Орбели были выполнены первые научно-исследовательские работы по влиянию физических нагрузок на организм. Предмет в основном преподавался по программе медицинских институтов в виде чтения лекций и выполнения отдельных лабораторных занятий по курсу общей физиологии с некоторым акцентом на разделе «Физиология мышц». В прикладном плане освещались лишь отдельные медицинские вопросы, связанные с влиянием физических упражнений на организм. Такое содержание дисциплины отражало в то время объективное состояние научных знаний в области физиологии мышечной деятельности как в нашей стране, так и за рубежом. Это был ***начальный, первый период становления спортивной физиологии.***

После ухода из института Л.А. Орбели заведующим избирается Алексей Николаевич Крестовников, руководивший кафедрой физиологии на протяжении 28 лет – с 1927 по 1955 г. В этот период сотрудники кафедры провели большую работу по сбору функциональных показателей организма спортсменов под влиянием различных физических упражнений и анализу их изменений. Обобщенный материал позволил профессору А.Н. Крестовникову издать первый в нашей стране и за рубежом учебник физиологии для институтов физической культуры (1938) и первую монографию по спортивной физиологии (1939). Издание названных книг дало возможность выделить и окончательно сформировать в физиологии человека новый учебный и научный раздел предмета – ***спортивную физиологию.*** С этого времени начинается ***второй (переходный) период развития спортивной физиологии*** (1930–1950-е годы) как учебной и научной дисциплины. С 1955 по 1960 г. кафедрой руководит профессор Е.К. Жуков.

Современный третий период развития спортивной физиологии (1960–1990-е годы) характеризуется созданием система-

тического учебного и научного разделов дисциплины, соответствующих новым задачам подготовки высококвалифицированных, грамотных специалистов по физической культуре и спорту. В учебных программах этого периода отражаются две взаимосвязанные части предмета (общая и частная спортивная физиология). С этого времени физиологи спорта начинают изучать не только воздействие отдельных физических нагрузок на функции организма, но и влияние систематических тренировок и их особенностей на функциональное состояние спортсменов, особенно в процессе достижения высшего спортивного мастерства.

Важную роль в становлении современного курса спортивной физиологии сыграл профессор Николай Васильевич Зимкин, заведовавший кафедрой физиологии с 1961 по 1975 г. Под его редакцией вышли три издания учебника «Физиология человека» (1964, 1970, 1975). Интенсивно развивались исследования в области кровообращения, нервно-мышечного аппарата, электроэнцефалографии, изучалась физиология стрессовых состояний в спорте. Докторские диссертации защитили В.В. Васильева, Е.Б. Сологуб, Ю.З. Захарьянц. В 1975–1984 гг. кафедрой заведовал профессор Александр Сергеевич Мозжухин, заслуженный деятель науки РСФСР. Основным направлением научно-исследовательской работы стало изучение функциональных резервов спортсмена. На протяжении 1984–1986 гг. обязанности заведующего кафедрой временно исполняла профессор Елена Борисовна Сологуб, почетный работник высшего образования России. С 1986 г. кафедрой заведует профессор Алексей Сергеевич Солодков, заслуженный деятель науки РФ. Научные интересы коллектива сосредоточились на проблеме физиологической адаптации организма спортсменов к физическим нагрузкам.

Есть все основания говорить и о ***четвертом периоде развития физиологии спорта,*** который начался в XXI столетии и обусловлен созданием ***системы многоуровневой подготовки специалистов (бакалавриат, специалитет и магистратура) и появлением Государственных образовательных стандартов в этой области.*** Данное обстоятельство послужило основой создания новых учебных программ для различных категорий обучающихся и издания учебников и учебных пособий в соответствии с этими программами. Кафедра физиологии оказалась первой в этом разделе работы, а профессорами А.С. Солодковым и Е.Б. Сологуб подготовлены и изданы новые учебные программы для бакалавров (2001) и магистров (2002), а также учебник

и три учебных пособия по общей, спортивной и возрастной физиологии (2000–2001).

В 2005 г. исправленный и дополненный вариант учебника «Физиология человека» был переиздан, а в 2006 г. издательством «Советский спорт» выпущено учебное пособие «Руководство к практическим занятиям по физиологии человека», подготовленное профессорско-преподавательским составом кафедры.

Располагая высококвалифицированными сотрудниками, кафедра физиологии внесла большой вклад в ***подготовку научно-педагогических кадров и становление учебного процесса в институтах и техникумах физической культуры.*** Так, с 1935-го (когда была введена защита диссертаций) по 1998 г. под руководством сотрудников кафедры успешно защищено 13 докторских и 160 кандидатских диссертаций (в том числе иностранными аспирантами из Кубы, Китая, Индии, Египта и Польши).

Сотрудники кафедры принимали участие в составлении всех изданных с 1938 по 1990 г. 11 учебных программ и 10 учебников по физиологии для институтов физической культуры. При этом редакторами 8 учебных программ и 6 учебников были заведующие кафедрой физиологии ГДОИФК им. П.Ф. Лесгафта. В 13 учебниках по спортивно-педагогическим дисциплинам главы по физиологической характеристике физических упражнений написаны также сотрудниками кафедры физиологии. Кафедрой подготовлено и издано: 8 методических пособий в виде практикумов по проведению лабораторных занятий по физиологии, 7 специальных учебных пособий для студентов заочного факультета и 4 – для техникумов физической культуры. Опубликовано более 30 лекций по различным вопросам физиологической характеристики физических упражнений.

Научно-исследовательская работа преподавателей охватывала все основные разделы физиологии: нервную и мышечную системы, органы чувств, кровообращение и дыхание, выделение, внутреннюю секрецию, а также специальные проблемы спортивной физиологии: адаптация к физическим нагрузкам, функциональные резервы организма спортсмена, утомление и восстановление и др. Ежегодно по различным вопросам спортивной физиологии печатаются десятки научных работ. С 1939 по 1990 г. сотрудниками кафедры опубликовано 20 монографий, непосредственно связанных со спортивной физиологией, некоторые из них переведены за рубежом (Болгария, Германия, Польша, Румыния, Греция, Чехословакия).

Коллектив высококвалифицированных сотрудников кафедры физиологии постоянно привлекал к себе внимание преподавательского состава других институтов, особенно вновь образованных. Начиная с довоенных лет ***на кафедре стажировались преподаватели ряда институтов физической культуры и факультетов физического воспитания педагогических институтов, институтов физической культуры социалистических стран и некоторых медицинских вузов.*** Только за последние 5 лет такую стажировку на кафедре прошли около 40 человек. Кроме того, повышение квалификации преподавателей из названных институтов по специализации «физиология» регулярно осуществляется в Институте повышения квалификации и переподготовки кадров (ИПК и ПК) нашего вуза.

Существенна роль сотрудников кафедры и в области организационной деятельности. А.Н. Крестовников до 1955 г. возглавлял методическую комиссию по физиологии Всесоюзного комитета по физической культуре и спорту при Совете Министров СССР; Н.В. Зимкин с 1962 по 1976 г. наряду с руководством этой комиссией был председателем научной комиссии по физиологии, биомеханике, морфологии и биохимии спорта, председателем координационной комиссии по преподаванию медико-биологических дисциплин и членом президиума Научного совета при Госкомспорте СССР; А.С. Мозжухин с 1976 по 1985 г. состоял членом методической комиссии Госкомспорта СССР и был председателем Совета заведующих кафедрами физиологии институтов физической культуры РСФСР; А.С. Солодков – членом Научного совета Госкомспорта СССР по биологическим наукам, председателем секции «Физиология спорта» Проблемной комиссии АН СССР и АМН СССР, а в настоящее время руководит секцией «Физиология спорта» Санкт-Петербургского общества физиологов, биохимиков и фармакологов им. И.М. Сеченова и состоит членом Правления этого общества.

В последние годы коллектив кафедры ведет большую работу по перестройке и совершенствованию преподавания физиологии и проведению научных исследований. В соответствии с новым учебным планом и новой программой по физиологии переделаны рабочие программы и тематические планы лекций и лабораторных занятий по предмету. С учетом того, что количество лекционных часов в новой программе существенно уменьшено, лекции носят преимущественно проблемный характер. Лабораторные занятия проводятся таким образом, чтобы они способство-

вали пониманию сущности механизмов и особенностей регуляции физиологических процессов при мышечной деятельности, овладению методиками исследования, привитию студентам навыков научно-исследовательской работы.

Реализация нового учебного плана по многоуровневой структуре высшего физкультурного образования требует создания специальных образовательно-профессиональных программ по физиологии с учетом подготовки бакалавров, дипломированных специалистов и магистров наук. Решение этих задач особенно важно и приоритетно для кафедры потому, что нашей академией разработан свой вариант учебного плана по осуществлению многоуровневой структуры высшего физкультурного образования в России.

За достигнутые успехи в учебной и научной работе и в связи с 75-летием основания кафедры в апреле 1995 г. решением Ученого Совета университета ей присвоено имя профессора А.Н. Крестовникова, а для студентов учреждены две его именные стипендии.

1.3. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СПОРТИВНОЙ ФИЗИОЛОГИИ

Основные учебные и научные разработки по спортивной физиологии впервые начались и неразрывно связаны с историей развития кафедры физиологии университета физической культуры им. П.Ф. Лесгафта. Особенностью деятельности кафедры физиологии явилось создание при ней научных лабораторий по основным разделам спортивной физиологии.

Выполненные исследования в этих лабораториях позволили получить новые данные по спортивной биоэнергетике и осуществить классификацию спортивных упражнений с учетом их энергетической характеристики (А.Б. Гандельсман); была разработана методика неинвазивного определения композиции скелетных мышц и вскрыты механизмы развития двигательного навыка (Н.В. Зимкин); выявлен феномен синхронизации потенциалов на электромиограммах при утомлении (Е.К. Жуков); определены особенности сосудистых реакций у спортсменов различных специализаций (В.В. Васильева); создана оригинальная методика регистрации электроэнцефалограмм непосредственно в процессе высокоинтенсивной мышечной работы и впервые исследованы корковые механизмы регуляции движений спортсме-

нов (Е.Б. Сологуб); изучены эмоции при соревновательной деятельности (С.А. Разумов); развито представление о физиологических резервах спортсмена (А.С. Мозжухин); обосновано учение о функциональной системе адаптации спортсменов (А.С. Солодков) и др.

В дальнейшем изучение различных проблем спортивной физиологии в нашей стране существенно расширялось и углублялось, но ***в большинстве случаев использовались методические подходы, разработанные на кафедре физиологии УФК им. П.Ф. Лесгафта.*** В настоящее время исследования ведутся во всех учебных и научно-исследовательских институтах физической культуры, во многих университетах, медицинских и педагогических вузах. Изучаются роль и значение всех физиологических систем организма при мышечной деятельности, а также приоритетные для спортивной физиологии проблемы: адаптация к физическим нагрузкам, работоспособность, утомление и восстановление спортсменов, функциональные резервы организма и др.

Выяснение вопроса о процессах экстраполяции в ЦНС имеет существенное значение для обоснования вариативности нагрузок в процессе спортивной тренировки. Только на основе этой концепции может быть правильно построен тренировочный процесс, при котором должны варьироваться величина, скорость и интенсивность нагрузок, что еще не всегда принимается во внимание медиками, тренерами и спортсменами. Необходимо также учитывать возрастную динамику локомоторных функций человека.

Приоритетными направлениями дальнейших исследований физиологии ЦНС являются выяснение особенностей формирования и мобилизации функциональных резервов мозга спортсменов и изучение перестроек корковых функциональных систем взаимосвязанной активности в процессе адаптации их к специализированным нагрузкам. Существенное внимание следует уделить исследованиям вызванной активности коры больших полушарий и спинного мозга, а также роли функциональной асимметрии и сенсорных систем в формировании некоторых специальных двигательных навыков.

В последние годы развивается ***новое направление спортивной физиологии, связанное с разработкой спортивной генетики*** и рассматривающее особенности наследственных влияний и тренируемости различных физиологических показателей

и физических качеств и, в первую очередь, роли врожденных индивидуально-типологических особенностей организма для спортивной ориентации, отбора и прогнозирования достижений в спорте.

Благоприятные изменения, происходящие в организме, в частности ***в сердечно-сосудистой системе, при занятиях физической культурой и спортом,*** – очевидны. Далеко не все вопросы этого раздела спортивной кардиологии решены, и изучение функциональных сдвигов нельзя считать законченным. Требует дальнейшего исследования вероятность развития патологических изменений в сердце (патологическое спортивное сердце по Г.Ф. Лангу), которые могут возникнуть прежде всего вследствие чрезмерных тренировочных нагрузок, превышающих возможности конкретного спортсмена. Трудности в изучении и предупреждении ряда заболеваний у спортсменов заключаются в том, что в настоящее время нет разработанного и научно обоснованного курса патологической физиологии спорта.

До настоящего времени отсутствуют данные, касающиеся эффективности разных сочетаний темпа движений и частоты дыхания в различных видах спорта, а также о характере и степени произвольных коррекций ***внешнего дыхания.***

До сих пор остается спорным вопрос о длительности ***восстановления после напряженных тренировочных и соревновательных нагрузок.***

Касаясь некоторых специальных теоретических вопросов, имеющих и несомненное прикладное значение в спорте, нужно в первую очередь указать на ***проблемы адаптации к физическим нагрузкам, функциональных резервов организма, спортивной биоритмологии, психофизиологического и медицинского отбора и профессиональной ориентации спортсменов.*** В частности, ближайшими задачами являются определение количественных критериев различных стадий адаптации, анализ адаптивных функциональных систем, формирующихся при различных видах спортивной деятельности, дифференцирование адаптационных изменений от предпатологических состояний и исследование компенсаторных реакций.

Уже многие годы проводятся исследования различных функций организма спортсменов. Однако ***комплексные обследования*** осуществляются относительно редко, а анализ их результатов связан с длительной обработкой получаемых данных. В связи с этим в спортивной физиологии большое значение приобретают так на-

зываемые экспресс-методы, позволяющие оценивать функциональное состояние спортсмена не только после, но и в процессе тренировок и соревнований. Важной задачей спортивных физиологов является также ***обоснование, разработка и внедрение экспресс-методов*** с целью исследования функциональных систем адаптации, формирующихся к различным видам физических упражнений. Использование компьютеров даст возможность быстро анализировать и обобщать результаты, полученные различными методами исследования, а наиболее важные и информативные сразу внедрять в практику.

Говоря о ***массовой физической культуре,*** нужно учитывать следующее. Применяемые нагрузки должны вызывать изменения, соответствующие только ***стадии повышения неспецифической устойчивости (адаптированности) организма.*** Необходимо также предупреждение возможности возникновения травм. Все это относится и к физической подготовке специальных контингентов: военнослужащих, спасательных команд и др. Особого внимания заслуживают занятия физической культурой с детьми, женщинами, инвалидами и лицами с ослабленным здоровьем. Требуются дальнейшая разработка и научное обоснование целого ряда физиологических проблем, связанных с возрастными и медико-биологическими особенностями этих контингентов, характером их адаптивных перестроек.

В ближайшие годы в массовой физической культуре следует решить вопросы о ***минимальном объеме физических упражнений*** при различном их сочетании и необходимой продолжительности занятий, что в совокупности позволит получить достаточный ***оздоровительный эффект в отношении устойчивости людей к действию неблагоприятных факторов окружающей среды и сохранения высокой умственной и физической работоспособности.*** Такого рода исследования сложны, объемны, но они крайне необходимы. При этом минимальные нормы нагрузки и времени при занятиях физическими упражнениями, очевидно, будут неодинаковы для лиц различного возраста, состояния здоровья, пола, профессии, что потребует дифференцированного подхода к исследованиям разных групп населения. Необходимо подчеркнуть, что и до настоящего времени основное внимание исследователей было обращено на спорт, особенно спорт высших достижений. Физическая культура массового характера находится в стороне, и функциональные изменения, адаптивные перестройки при этом изучаются в меньшей степени.

Интенсивно развивающаяся практика физической культуры и спорта требует быстрейшей реализации прикладных направлений спортивной физиологии. Вместе с тем еще раз следует напомнить общеизвестное положение: не разрабатывая глубоко теоретических проблем и не проводя фундаментальных исследований, мы постоянно будем отставать и в практике. Полезно вспомнить слова известного итальянского физика и физиолога Алессандро Вольта, сказанные еще в 1815 году: ***«Нет ничего практичнее хорошей теории».***

2. АДАПТАЦИЯ К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ И РЕЗЕРВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОРГАНИЗМА

Одна из важнейших проблем современной физиологии и медицины – ***исследование закономерностей процесса адаптации организма к различным факторам среды.*** Адаптация человека затрагивает широкий спектр общебиологических закономерностей, интересы работников различных научных дисциплин и связана прежде всего с саморегулированием многокомпонентных функциональных систем. Неслучайно проблема адаптации человека – один из основных разделов обширной Международной биологической программы.

В настоящее время имеется ряд определений адаптации. На наш взгляд, наиболее полным является понятие физиологической адаптации, данное в третьем издании Большой Советской Энциклопедии: «Адаптация физиологическая – ***совокупность физиологических реакций, лежащая в основе приспособления организма к изменению окружающих условий и направленная к сохранению относительного постоянства его внутренней среды – гомеостаза»*** (М., 1969, т. 1, с. 216).

Значение проблемы адаптации в спорте определяется прежде всего тем, что ***организм спортсмена должен приспосабливаться к физическим нагрузкам в относительно короткое время.*** Именно скорость наступления адаптации и ее длительность во многом определяют состояние здоровья и тренированность спортсмена. В этой связи значительный научный интерес для практики спорта представляет разработка системного обоснования адаптации организма в процессе достижения высшего спортивного мастерства. Общеизвестно, что морфофункциональные особенности организма человека, сформировавшиеся в течение длитель-

ного периода эволюции, не могут изменяться с такой же быстротой, с какой изменяются структура и характер тренировочных и соревновательных нагрузок в спорте. Несоответствие во времени между этими процессами может приводить к возникновению функциональных расстройств, которые проявляются различными патологическими нарушениями.

2.1. ДИНАМИКА ФУНКЦИЙ ОРГАНИЗМА ПРИ АДАПТАЦИИ И ЕЕ СТАДИИ

Определение функциональных изменений, возникающих в период тренировочных и соревновательных нагрузок, необходимо прежде всего для оценки процесса адаптации, степени утомления, уровня тренированности и работоспособности спортсменов и является основой для совершенствования восстановительных мероприятий. О влиянии физических нагрузок на человека можно судить только на основе всестороннего учета совокупности реакций целостного организма, включая реакции со стороны центральной нервной системы, гормонального аппарата, сердечно-сосудистой и дыхательной систем, анализаторов, обмена веществ и др. Следует подчеркнуть, что выраженность изменений функций организма в ответ на физическую нагрузку зависит прежде всего от индивидуальных особенностей человека и уровня его тренированности. Изменения функциональных показателей организма спортсменов могут быть правильно проанализированы и всесторонне оценены только при рассмотрении их в отношении к процессу адаптации.

Приспособительные изменения в здоровом организме бывают двух видов: изменения в привычной зоне колебаний факторов среды, когда система функционирует в обычном составе; изменения при действии чрезмерных (непривычных) факторов с включением в функциональную систему дополнительных элементов и механизмов. В литературе первая и вторая группы приспособительных изменений нередко называются адаптационными. По-видимому, более оправданным будет называть первую группу изменений ***обычными физиологическими реакциями,*** поскольку эти сдвиги не связаны с существенными физиологическими перестройками в организме и не выходят за пределы физиологической нормы. Вторая группа приспособительных изменений отличается значительным использованием физиологических резервов и перестройкой функциональных сис-

тем, в связи с чем их целесообразно называть ***адаптационными сдвигами*** (Солодков А.С., 1981).

Несомненный интерес представляет понятие ***общего адаптационного синдрома,*** предложенное канадским ученым Гансом Селье (1960). Под последним он понимает ***совокупность защитных реакций организма человека или животных, возникающих в условиях стрессовых ситуаций.*** В адаптационном синдроме автор выделяет три стадии: ***стадию тревоги,*** обусловленную мобилизацией защитных сил организма; ***стадию резистентности,*** связанную с приспособлением человека к экстремальным факторам среды, и ***стадию истощения,*** возникающую при длительном стрессе, что может привести к возникновению заболеваний и даже смерти.

В динамике адаптационных изменений у спортсменов мы выделяем четыре стадии: физиологического напряжения (преадаптации), адаптированности, дизадаптации и реадаптации. Каждой из них присущи свои функциональные изменения и регуляторно-энергетические механизмы. Основными, имеющими принципиальное значение в спорте следует считать две первые стадии. ***Применительно к общей схеме адаптации такие стадии свойственны людям в процессе приспособления к любым условиям деятельности.*** Это положение было теоретически обосновано, экспериментально доказано и опубликовано А.С. Солодковым еще в 1974 г.

Стадия преадаптации ***(физиологического напряжения организма) характеризуется преобладанием процессов возбуждения в коре головного мозга*** и распространением их на подкорковые и нижележащие двигательные и вегетативные центры, возрастанием функции коры надпочечников, увеличением показателей вегетативных систем и уровня обмена веществ. ***На уровне двигательного аппарата*** характерным для этой стадии является ***увеличение числа активных моторных единиц,*** дополнительное включение мышечных волокон, увеличение силы и скорости сокращения мышц, увеличение в мышцах гликогена, АТФ и креатинфосфата. ***Спортивная работоспособность неустойчива.***

В стадии напряжения организма основная нагрузка ложится на регуляторные механизмы. За счет напряжения регуляторных механизмов осуществляется приспособление физиологических реакций и метаболизма к возросшим физическим нагрузкам. При этом в некоторых случаях изменения функций организма могут носить выраженный характер.

Стадия адаптированности ***организма в значительной мере тождественна состоянию его тренированности.*** Другими словами, в основе развития тренированности лежит процесс адаптации организма к физическим нагрузкам. ***Физиологическую основу этой стадии составляет вновь установившийся уровень функционирования различных органов и систем для поддержания гомеостаза в конкретных условиях деятельности.*** Определяемые в это время функциональные сдвиги не выходят за рамки физиологических колебаний, а работоспособность спортсменов стабильна и даже повышается.

Стадия дизадаптации ***организма развивается в результате перенапряжения адаптационных механизмов и включения компенсаторных реакций вследствие интенсивных тренировочных нагрузок и недостаточного отдыха между ними.*** Процесс дизадаптации по сравнению с процессом приспособления развивается, как правило, медленнее, причем сроки его наступления, продолжительность и степень выраженности функциональных изменений отличаются большой вариативностью и зависят от индивидуальных особенностей организма. Стадия дизадаптации характеризуется еще и тем, что ***отсутствуют признаки активации нервной и эндокринной систем и имеет место некоторое снижение общей функциональной устойчивости организма.*** Это состояние может быть отнесено к предболезненному. При дизадаптации наблюдаются эмоциональная и вегетативная неустойчивость, раздражительность, вспыльчивость, головные боли, нарушение сна. ***Снижается умственная и физическая работоспособность.***

Процесс дизадаптации является результатом того, что биосоциальная плата за адаптацию к интенсивным тренировочным и соревновательным нагрузкам вышла за пределы физиологических резервов организма и выдвинула перед ним новые проблемы. Конечный исход дизадаптационных расстройств может протекать с достаточной еще способностью к восстановлению всех функций организма и работоспособности, что чаще всего и наблюдается у спортсменов. В других случаях дизадаптация будет иметь скрытые дефекты, которые выявляются только с течением времени под влиянием или очень высоких нагрузок, или какой-то дополнительной вредности. И наконец, дизадаптация может закончиться стойкими неблагоприятными изменениями функций организма, снижением или утратой спортивной работоспособности. Очевидно, ***стадия дизадаптации по своим патофизиоло-***

гическим основам в значительной мере соответствует состоянию перетренированности спортсменов.

Стадия реадаптации возникает после длительного перерыва в систематических тренировках или их прекращении совсем и ***характеризуется приобретением некоторых исходных свойств и качеств организма.*** Физиологический смысл этой стадии – снижение уровня тренированности и возвращение некоторых показателей к исходным величинам. Можно полагать, что спортсменам, систематически тренировавшимся многие годы и оставляющим большой спорт, требуются специальные, научно обоснованные оздоровительные мероприятия для возвращения организма к нормальной жизнедеятельности.

Следует иметь в виду, что возникшие в процессе длительных и интенсивных физических нагрузок структурные изменения в миокарде и скелетных мышцах, нарушенный уровень обмена веществ, гормональные и ферментативные перестройки, своеобразно закрепленные механизмы регуляции к исходным значениям, как правило, не возвращаются. За систематические чрезмерные физические нагрузки, а затем за их прекращение организм спортсменов в дальнейшем платит определенную ***биологическую цену,*** что может проявляться развитием кардиосклероза, ожирением, снижением резистентности клеток и тканей к различным неблагоприятным воздействиям и повышением уровня общей заболеваемости.

При адаптации к чрезмерным для данного организма физическим нагрузкам в полной мере реализуется общебиологическая закономерность – все приспособительные реакции организма к необычным факторам среды обладают лишь относительной целесообразностью. Иными словами, даже устойчивая, долговременная адаптация к физическим нагрузкам имеет свою функциональную или структурную цену.

Цена адаптации может проявляться в двух различных формах: 1) в прямом ***изнашивании функциональной системы,*** на которую при адаптации падает главная нагрузка; 2) ***в явлениях отрицательной перекрестной адаптации,*** т.е. в нарушении у адаптированных к определенной физической нагрузке людей других функциональных систем и адаптационных реакций, не связанных с этой нагрузкой.

Прямая функциональная недостаточность может реализоваться в условиях остро возникшей большой нагрузки, при которой наблюдаются прямые повреждения структур сердца, скелетных мышц, нарушения ферментной активности и другие изменения,

являющиеся как итогом самой нагрузки, так и возникающей при этом стресс-реакции (Пшенникова М.Г., 1986). Эта цена срочной адаптации ярко проявляется при первых нагрузках нетренированных людей и устраняется правильно построенным тренировочным процессом и развитием адаптированности.

Цена адаптации в значительной мере зависит от вида физических нагрузок, к которым происходит приспособление. Так, например, у тяжелоатлетов, высокотренированных к статическим силовым нагрузкам, наблюдается снижение выносливости к динамической работе; утомление при таких нагрузках у них развивается быстрее, чем у нетренированных здоровых людей. Одновременно у тяжелоатлетов в противоположность людям, тренированным на выносливость, обнаружено снижение плотности капилляров в скелетных мышцах и отсутствие роста массы митохондриев.

На фоне высокой тренированности у штангистов, борцов и других спортсменов нередко наблюдается ***снижение резистентности*** к действию холода и простудным заболеваниям, ***нарушение клеточного и гуморального иммунитета.*** У высокотренированных на выносливость спортсменов отмечаются нарушения функций желудочно-кишечного тракта, печени и почек, что является следствием ограниченного кровоснабжения этих органов в период длительной мышечной работы.

Однако высокая цена адаптации и феномены отрицательной перекрестной резистентности при таком приспособлении представляют собой возможное, но вовсе не обязательное явление. Наиболее рациональный путь к предупреждению адаптационных нарушений состоит в правильно построенном режиме тренировок, отдыха и питания, закаливании, повышении устойчивости к стрессорным воздействиям и гармоничном физическом и психическом развитии личности спортсмена.

2.2. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ

Адаптация как общее универсальное свойство живого ***обеспечивает жизнеспособность организма в изменяющихся условиях и представляет процесс адекватного приспособления его функциональных и структурных элементов к окружающей среде.*** В целом исследование процесса адаптации и ее механизмов, по-видимому, следует отнести к ***междисциплинарной проблеме,*** которая может стать ключевой в понимании

многих аспектов развития тренированности, здоровья и заболеваемости спортсменов.

Система закаливания и формирования сильного, красивого и выносливого человека всегда связывалась с адаптацией его к физическим нагрузкам. Физические нагрузки – самый естественный и древний фактор, воздействовавший на человека. Будучи обусловленным самой природой земной гравитации, этот фактор во все времена сопровождал человека, и двигательная активность всегда была важным звеном его приспособления к окружающему миру. Одно из непременных условий развития адаптации к физическим нагрузкам – мобилизация и использование физиологических резервов организма.

С физиологической точки зрения ведущими в тренировке являются повторность и возрастание физических нагрузок, что за счет обратных биологических связей позволяет совершенствовать функциональные возможности органов и систем и их энергетическое обеспечение на основе механизма саморегуляции организма. С этих позиций тренировка сводится к активизации механизмов адаптации, включению физиологических резервов, благодаря которым организм человека легче и быстрее приспосабливается к повышенным нагрузкам, совершенствуя свои физические, физиологические и психические качества, повышая состояние тренированности.

Физиологическая сущность состояния тренированности – это такой уровень функционального состояния организма, который характеризуется совершенствованием механизмов регуляции, увеличением физиологических резервов и готовностью к их мобилизации, что выражается в его повышенной устойчивости к длительным и интенсивным физическим нагрузкам и высокой работоспособности.

Развившееся в процессе тренировки состояние тренированности по своим физиологическим механизмам и морфофункциональной сути соответствует стадии адаптированности организма к физическим нагрузкам. В понятиях ***«адаптация, адаптированность»,*** с одной стороны, и ***«тренировка, тренированность»,*** с другой стороны, много общих черт, главная из которых – достижение нового уровня работоспособности на основе образования в организме ***специальной адаптивной функциональной системы*** с определенным уровнем физиологических констант. Тренировка и тренированность – понятия педагогические, хотя они базируются на знаниях физиологических закономерностей организма спортсменов. Исследование и характеристика этих про-

цессов и состояний, связанных прежде всего с обоснованием рационально построенных тренировочных нагрузок, является прерогативой педагогов. ***Адаптация и адаптированность спортсменов к физическим нагрузкам и все функциональные и структурные перестройки, совершающиеся при этом в организме, относятся к биологическим категориям*** и составляют основные научные и учебные проблемы медиков и физиологов.

Адаптация организма к физическим нагрузкам заключается в мобилизации и использовании функциональных резервов организма, в совершенствовании имеющихся физиологических механизмов регуляции. Никаких новых функциональных явлений и механизмов в процессе адаптации не наблюдается, просто имеющиеся уже механизмы начинают работать совершеннее, интенсивнее и экономичнее. В основе адаптации к физическим нагрузкам лежат нервно-гуморальные механизмы, включающиеся в деятельность и совершенствующиеся при работе двигательных единиц (мышц и мышечных групп). При адаптации спортсменов происходит ***усиление деятельности ряда функциональных систем за счет мобилизации и использования их резервов, а системообразующим фактором при этом должен являться приспособительный полезный результат – выполнение поставленной задачи, т.е. конечный спортивный результат.***

Комплекс функциональных систем, обеспечивающих конечный спортивный результат, формируется организмом спортсмена ради достижения этого результата. Отсутствие результата или систематически недостаточный его уровень могут не только стимулировать формирование данного комплекса, но и разрушать его, прекращать функционирование в зависимости от величины и характера физиологических резервов, воли, мотивации и других факторов. Таким образом, ***адаптация к мышечной деятельности представляет собой системный ответ организма, направленный на достижение состояния высокой тренированности и минимизацию физиологической цены за это.***

2.3. СРОЧНАЯ И ДОЛГОВРЕМЕННАЯ АДАПТАЦИЯ К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ

При всем многообразии индивидуальной фенотипической адаптации развитие ее у человека характеризуется некоторыми общими чертами. Среди таких черт в приспособлении организма к любым факторам среды следует выделять ***два вида адаптации*** –

срочную, но несовершенную, и долговременную, совершенную (Меерсон Ф.З., 1986).

Срочная адаптация ***возникает непосредственно после начала действия раздражителя и может реализоваться на основе готовых, ранее сформировавшихся физиологических механизмов и программ.*** Очевидными проявлениями срочной адаптации являются: увеличение теплопродукции в ответ на холод; увеличение теплоотдачи в ответ на жару; рост легочной вентиляции, ударного и минутного объемов крови в ответ на физическую нагрузку и недостаток кислорода; приспособление органа зрения к темноте; бег человека, обусловленный социально значимой необходимостью, и др. ***Отличительной чертой срочной адаптации является то, что деятельность организма протекает на пределе его возможностей при почти полной мобилизации физиологических резервов, но далеко не всегда обеспечивает необходимый адаптационный эффект.*** Так, бег неадаптированного человека происходит при близких к предельным величинах ударного объема крови и легочной вентиляции, при максимальной мобилизации гликогена в печени. Быстрое накопление молочной кислоты в крови лимитирует интенсивность физической нагрузки – двигательная реакция не может быть ни достаточно быстрой, ни достаточно длительной.

Таким образом, функциональная адаптивная система, ответственная за двигательную реакцию при срочной адаптации, характеризуется предельным напряжением отдельных ее звеньев и вместе в тем определенным несовершенством самой двигательной реакции.

На уровне ***нервной и нейрогуморальной регуляции*** реализуется интенсивное, избыточное по своему пространственному распространению возбуждение корковых, подкорковых и нижележащих двигательных центров, которому соответствует значительная, но недостаточно координированная двигательная деятельность. Этот процесс характеризует начальный этап формирования двигательного навыка.

Со стороны ***двигательного аппарата*** срочная адаптация проявляется включением в реакцию дополнительной части двигательных единиц, а также генерализованным вовлечением лишних мышечных групп. В результате сила и скорость сокращения мобилизованных мышц оказываются ограниченными, но максимально достижимыми для данного вида адаптации; координация мышц недостаточно совершенна.

На уровне ***вегетативных систем*** обеспечения срочной адаптации к физическим нагрузкам наблюдается максимальная мобилизация функциональных резервов органов дыхания и кровообращения, но реализующихся при это неэкономным путем. Так, увеличение минутного объема крови достигается ростом частоты сердечных сокращений при ограниченном возрастании ударного объема крови. Увеличение легочной вентиляции осуществляется за счет возрастания частоты дыхания, но не глубины дыхания, при этом наблюдается несоответствие между частотой дыхания и движений. В итоге легочная вентиляция все же не избавляет от развития гипоксии и гиперкапнии.

В целом срочная адаптация к физическим нагрузкам характеризуется максимальной по уровню и неэкономной гиперфункцией, ответственной за адаптацию функциональной системы, резким снижением физиологических резервов данной системы, явлениями чрезмерной стресс-реакции организма и возможным повреждением органов и систем. В результате двигательные, по сути – поведенческие, реакции организма оказываются в значительной мере лимитированными.

Долговременная адаптация ***возникает постепенно, в результате длительного или многократного действия на организм факторов среды.*** Принципиальной особенностью такой адаптации является то, что она возникает не на основе готовых физиологических механизмов, а ***на базе вновь сформированных программ регулирования.*** Долговременная адаптация, по существу, развивается на основе многократной реализации срочной адаптации и характеризуется тем, что в итоге постепенного количественного накопления каких-то изменений организм приобретает новое качество в определенном виде деятельности – из неадаптированного превращается в адаптированный. В результате обеспечивается осуществление организмом ранее недостижимых силы, скорости и выносливости при физических нагрузках, развитие устойчивости организма к значительной гипоксии, которая ранее была несовместима с активной жизнедеятельностью, способность организма к работе при существенно измененных показателях гомеостаза, развитие устойчивости к холоду, теплу, большим дозам ядов, введение которых ранее было смертельным.

Долговременная адаптация характеризуется ***возникновением в ЦНС новых временных связей,*** а также ***перестройкой аппарата гуморальной регуляции*** функциональной системы – эко-

номичностью функционирования гуморального звена и повышением его мощности. В ответ на ту же самую нагрузку не возникает резких изменений в организме и мышечная работа сопровождается меньшим увеличением легочной вентиляции, минутного объема крови, ферментов, гормонов, лактата, аммиака, отсутствием выраженных повреждений. В результате становится возможным длительное и стабильное выполнение физических нагрузок.

Переход от срочной к долговременной адаптации знаменует собой узловой момент адаптационных процессов, так как именно этот переход делает возможной жизнь организма в новых условиях, расширяет сферу его обитания и свободу поведения в меняющейся среде. Этот момент определяется прежде всего тем, что возникает ***активация синтеза нуклеиновых кислот и белков,*** что приводит к избирательному развитию определенных структур, лимитирующих двигательную деятельность. Формируются устойчивые двигательные динамические стереотипы, развивается экстраполяция, повышающая возможность быстрой перестройки ответных реакций при изменениях среды, происходит умеренная гипертрофия в скелетных мышцах, сердце, дыхательных мышцах и других рабочих органах, увеличение массы митохондрий. Существенно увеличивается аэробная и анаэробная мощность организма. Нормализуется гомеостаз организма, уменьшается стресс-реакция. Интенсивность и длительность мышечной работы возрастают.

В процессе адаптации организма ***обмен перестраивается в направлении более экономного расходования энергии в состоянии покоя и повышенной мощности метаболизма в условиях физического напряжения. Такая перестройка биологически более целесообразна и может явиться общим механизмом физиологической адаптации.***

Адаптивные сдвиги энергетического обмена заключаются в ***переключении с углеводного типа на жировой.*** Ведущую роль в этом играют гормоны: глюкокортикоиды ускоряют распад белка, активируя превращение аминокислот в глюкозу, а катехоламины вызывают мобилизацию резерва гликогена в печени и активацию липолиза жировой ткани, увеличивая приток кислорода, глюкозы, аминокислот и жирных кислот к работающим тканям.

Определенные черты фенотипа, сформировавшиеся в результате долговременной адаптации организма к физическим нагруз-

кам, становятся ***фактором профилактики конкретных болезней или патологических синдромов.*** Повышение расхода жиров приводит к атрофии жировой ткани, снижению избыточного веса и, при прочих равных условиях, уменьшает развитие атеросклероза. Увеличение емкости и пропускной способности коронарных сосудов, развитие системы экстракардиальных анастомозов способствуют уменьшению вероятности закупорки коронарных артерий и возникновения инфаркта миокарда. Увеличение потенциальных резервов и мощности сердечной мышцы может в течение даже длительного времени воздействия неблагоприятных факторов на организм не приводить к возникновению сердечно-сосудистых расстройств у тренированных людей.

2.4. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА АДАПТАЦИИ

Проведенные в последние годы исследования механизмов и закономерностей адаптации людей к различным условиям деятельности привели нас к убеждению в том, что ***долговременная адаптация обязательно сопровождается следующими физиологическими процессами: а) перестройкой регуляторных механизмов; б) мобилизацией и использованием резервных возможностей организма; в) формированием специальной функциональной системы адаптации*** к конкретной трудовой (спортивной) деятельности человека (Солодков А.С., 1981, 1988). По сути, эти три физиологические реакции являются главными и основными составляющими процесса адаптации, а общебиологическая закономерность таких приспособительных перестроек относится к любой деятельности человека.

В достижении устойчивой и совершенной адаптации большую роль играют перестройка регуляторных приспособительных механизмов и мобилизация физиологических резервов, а также последовательность их включения на разных функциональных уровнях. Очевидно, вначале включаются обычные физиологические реакции и лишь затем – реакции напряжения механизмов адаптации, требующие значительных энергетических затрат с использованием резервных возможностей организма, что приводит в конечном итоге к формированию специальной функциональной системы адаптации, обеспечивающей конкретную деятельность человека (Солодков А.С., 1988).

Такая функциональная система у спортсменов представляет собой ***вновь сформированное взаимоотношение нервных центров, гормональных, вегетативных и исполнительных органов, необходимое для решения задач приспособления организма к физическим нагрузкам.*** Морфофункциональной основой такой системы является образование в организме ***системного структурного следа*** (Меерсон Ф.З., 1981) в ответ на мышечную работу, что проявляется созданием новых межцентральных взаимосвязей, повышением активности дыхательных ферментов, гипертрофией сердца, скелетных мышц и надпочечников, увеличением количества митохондрий, усилением функций вегетативных систем. В целом, ***функциональная система, ответственная за адаптацию к физическим нагрузкам, включает в себя три звена: афферентное, центральное регуляторное и эффекторное.***

Афферентное звено функциональной системы адаптации состоит из рецепторов, а также чувствительных нейронов и совокупностей афферентных нервных клеток в центральной нервной системе. Все эти элементы нервной системы воспринимают раздражения из внешней среды и от самого организма и участвуют в осуществлении так называемого афферентного синтеза, необходимого для адаптации. Афферентный синтез возникает, по П.К. Анохину, при взаимодействии мотивации, памяти, обстановочной и пусковой информации. В спорте в одних случаях (например, у бегунов, лыжников, гимнастов) афферентный синтез для принятия решения о начале своих движений относительно прост, и это облегчает формирование адаптивной системы, в других (единоборства, спортивные игры) – весьма сложен, и это затрудняет образование такой системы.

Центральное регуляторное звено функциональной системы представлено нейрогенными и гуморальными процессами управления адаптивными реакциями. В ответ на афферентные сигналы нейрогенная часть звена включает двигательную реакцию и мобилизует вегетативные системы на основе рефлекторного принципа регуляции функций. Афферентная импульсация от рецепторов к коре головного мозга вызывает возникновение положительных (возбудительных) и отрицательных (тормозных) процессов, которые и формируют функциональную адаптивную систему. В адаптированном организме нейрогенная часть звена быстро и четко реагирует на афферентную импульсацию соответствующей мышечной активностью и мобилизацией вегетативных функций. В неадаптированном организ-

ме такого совершенства нет, мышечное движение будет выполнено приблизительно, а вегетативное обеспечение окажется недостаточным.

При поступлении сигнала о физической нагрузке одновременно с описанными выше изменениями происходит нейрогенная активация ***гуморальной части центрального регуляторного звена,*** ответственного за управление адаптационным процессом. Функциональное значение гуморальных реакций (повышенное высвобождение гормонов, ферментов и медиаторов) определяется тем, что они путем воздействия на метаболизм органов и тканей обеспечивают более полноценную мобилизацию функциональной адаптивной системы и ее способность к длительной работе на повышенном уровне.

Эффекторное звено функциональной системы адаптации включает в себя скелетные мышцы, органы дыхания, кровообращения, кровь и другие вегетативные системы. Интенсивность и длительность физических нагрузок на уровне скелетных мышц определяется тремя основными факторами: числом и типом активируемых моторных единиц; уровнем и характером биохимических процессов в мышечных клетках; особенностями кровоснабжения мышц, отчего зависит приток кислорода, питательных веществ и удаление метаболитов. Увеличение силы, скорости и точности движений в процессе долговременной адаптации достигается двумя основными процессами: формированием в центральной нервной системе функциональной системы управления движениями и морфофункциональными изменениями в мышцах (гипертрофия мышц, увеличение мощности систем аэробного и анаэробного энергообразования, возрастание количества миоглобина и митохондрий, уменьшение образования и накопления аммиака, перераспределение кровотока и др.).

Таким образом, ***формирование функциональной адаптивной системы с вовлечением в этот процесс различных морфофункциональных структур организма составляет принципиальную основу долговременной адаптации к физическим нагрузкам и реализуется повышением эффективности деятельности различных органов и систем и организма в целом.*** Зная закономерности формирования функциональной системы, можно различными средствами эффективно влиять на отдельные ее звенья, ускоряя приспособление к физическим нагрузкам и повышая тренированность, т.е. управлять адаптационным процессом.

2.5. ПОНЯТИЕ О ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ РЕЗЕРВАХ ОРГАНИЗМА, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА И КЛАССИФИКАЦИЯ

Учение о физиологических резервах представляет одну из важнейших основ физиологии спорта, так как позволяет правильно оценивать и решать задачи по сохранению здоровья и повышению тренированности спортсменов. Представление о резервных возможностях организма связаны с физиологическим учением К. Бернара, П. Бэра, У. Кеннона о сохранении гомеостаза при действии на организм различных неблагоприятных факторов за счет усиления функций жизненно важных органов и систем с использованием их резервов.

Принципиальные положения учения о физиологических резервах в нашей стране были разработаны в 30-х годах прошлого столетия академиком Л.А. Орбели, который неоднократно подчеркивал положение о значительных возможностях организма человека приспосабливаться к необычным условиям внешней среды за счет его резервных возможностей. В дальнейшем идеи Л.А. Орбели нашли плодотворное теоретическое и прикладное развитие прежде всего в физиологии военного труда (Бресткин М.П., 1968; Сапов И.А., Солодков А.С., 1970, 1978; Загрядский В.П., 1976; и др.). В физиологии спорта эта проблема начала изучаться в Москве В.В. Кузнецовым (1970) и в Ленинграде А.С. Мозжухиным (1979).

В настоящее время под физиологическими резервами организма понимается ***выработанная в процессе эволюции адаптационная и компенсаторная способность органа, системы и организма в целом усиливать во много раз интенсивность своей деятельности по сравнению с состоянием относительного покоя*** (Бресткин М.П., 1968). Физиологические резервы, по мнению автора, обеспечиваются определенными анатомо-физиологическими и функциональными особенностями строения и деятельности организма, а именно наличием парных органов, обеспечивающих замещение нарушенных функций (анализаторы, железы внутренней секреции, почки и др.); значительным усилением деятельности сердца; увеличением общей интенсивности кровотока, легочной вентиляции и усилением деятельности других органов и систем; высокой резистентностью клеток и тканей организма к различным внешним воздействиям и внутренним изменениям условий их функционирования.

В качестве примера проявления физиологических резервов можно указать на то, что во время тяжелой физической нагрузки минутный объем крови у хорошо тренированного человека может достигать 40 л, т.е. увеличиваться в 8 раз; легочная вентиляция при этом возрастает в 10 раз, обусловливая увеличение потребления кислорода и выделение углекислого газа в 15 раз и более. В этих условиях работа сердца человека, как показывают расчеты, возрастает в 10 раз.

Все резервные возможности организма А.С. Мозжухин (1979) предлагает разделить на две группы: социальные резервы ***(психологические и спортивно-технические)*** и биологические резервы ***(структурные, биохимические и физиологические).*** Морфофункциональной основой физиологических резервов являются органы, системы организма и механизмы их регуляции, обеспечивающие переработку информации, поддержание гомеостаза и координацию двигательных и вегетативных актов.

Физиологические резервы, по мнению автора, включаются не все сразу, а поочередно. ***Первая очередь резервов*** реализуется при работе до 30% от абсолютных возможностей организма и включает переход от состояния покоя к повседневной деятельности. Механизм этого процесса – условные и безусловные рефлексы. ***Вторая очередь*** включения резервов осуществляется при напряженной деятельности, нередко в экстремальных условиях при работе от 30% до 65% от максимальных возможностей (тренировки, соревнования). При этом включение резервов происходит благодаря нейрогуморальным влияниям, а также волевым усилиям и эмоциям. ***Резервы третьей очереди*** включаются обычно в борьбе за жизнь, часто после потери сознания, в агонии. Включение резервов этой очереди обеспечивается, по-видимому, безусловнорефлекторным путем и обратной гуморальной связью.

Во время соревнований или работы в экстремальных условиях диапазон физиологических резервов снижается, поэтому основная задача состоит в его повышении. Оно может достигаться закаливанием организма, общей и специально направленной физической тренировкой, использованием фармакологических средств и адаптогенов. При этом ***тренировки восстанавливают и закрепляют физиологические резервы организма, ведут к их расширению.*** Еще в 1890 г. И.П. Павлов указывал, что израсходованные ресурсы организма восстанавливаются не только до исходного уровня, но и с некоторым избытком ***(феномен избыточной компенсации).*** Биологический смысл этого феноме-

на огромен. ***Повторные нагрузки, приводящие к суперкомпенсации, обеспечивают повышение рабочих возможностей организма.*** В этом и состоит главный эффект систематических тренировок. Под влиянием тренирующих воздействий спортсмен в процессе восстановления становится сильнее, быстрее и выносливее, т.е. ***в конечном итоге расширяются его физиологические резервы.***

3. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ СПОРТСМЕНОВ

Функциональные состояния занимают одно из центральных мест в спортивной физиологии, так как лежат в основе работоспособности и тренированности спортсменов. Несмотря на многообразие этих состояний, они имеют общие психофизиологические механизмы и закономерности. Это позволяет рассматривать их с физиологических представлений, сформулированных прежде всего отечественными физиологами (И.М. Сеченов, И.П. Павлов, А.А. Ухтомский, Л.А. Орбели, П.К. Анохин и др.).

К числу наиболее важных функциональных состояний организма спортсменов следует отнести оперативный покой, психоэмоциональную напряженность, монотонию, утомление, хроническое утомление и переутомление, тренированность, перетренированность и перенапряжение, физиологическая характеристика части которых изложена ниже. Другая группа названных состояний (утомление, хроническое утомление, переутомление, тренированность, перетренированность и перенапряжение) достаточно подробно представлена в соответствующих разделах учебника, и поэтому здесь они не рассматриваются.

3.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

Под функциональным состоянием организма ***понимают совокупность характеристик его физиологических функций и психофизиологических качеств, которые несут наибольшую нагрузку в обеспечении профессиональной и поведенческой деятельности человека.*** В связи с этим представление о функциональном состоянии не может быть создано на основании изучения одного или нескольких показателей, а требует ***интегральной оценки*** целого ряда функций организма, пря-

мо и косвенно обусловливающих эффективное выполнение профессиональной деятельности.

Решающим для развития целостного организма является представление о сложной интегральной системе рефлекторных реакций, осуществляющихся при совместном нервно-гуморальном механизме регуляции и объединенных конкретной программой взаимодействия. Такая программа формируется благодаря различным физиологическим процессам.

Ведущую роль в этом отношении занимает открытое И.М. Сеченовым (1903) явление центрального торможения и интерпретация его в качестве механизма, обеспечивающего ***единство целевой направленности рефлекторной деятельности.*** В дальнейшем И.П. Павлов обосновал положение ***о целевой функции,*** определяющей целостность ответа организма на разнообразные воздействия факторов среды. Это явление автором было подтверждено как исследованиями по саморегуляции кровообращения, так и при анализе параметров высшей нервной деятельности.

В 30-х годах прошлого столетия Л.А. Орбели опроверг существовавшее мнение о независимости и антагонизме нервной и гуморальной регуляции. Он установил, что в процессе жизнедеятельности ***центральная нервная система в зависимости от содержания целевых задач по-разному использует оба возможных способа регуляции.*** Идея системной организации целенаправленного ответа получила дальнейшее развитие ***в уровневой теории построения движений*** Н.А. Бернштейна (1941). Развиваемые представления окончательно оформились в исследованиях П.К. Анохина (1975), посвященных разработке ***проблемы функциональных систем организма.***

Несмотря на большое разнообразие функциональных состояний, все они имеют общие физиологические компоненты. Первую группу составляют энергетические компоненты деятельности, которые обеспечивают требуемый уровень энергозатрат. В зависимости от характера нагрузок энергозатраты обеспечиваются как аэробным, так и анаэробным путем.

Для поддержания необходимого уровня энергообразования должна осуществляться доставка к рабочим органам и тканям достаточного количества питательных веществ, кислорода и удаляться продукты метаболизма. Эти функции реализуются благодаря усилению деятельности ***вегетативных систем*** (вегетативный компонент) и прежде всего сердечно-сосудистой, дыхательной и системы крови.

Далее следуют сенсорные компоненты деятельности, которые характеризуют возможность приема и первичной обработки поступающей информации (зрительной, слуховой и др.). Сюда входит вся последовательность обработки разнообразной информации от момента ее воздействия на рецепторные поля до поступления в виде импульсов в корковые центры.

Информационные компоненты деятельности обеспечивают дальнейшую переработку информации и на ее основе принятие решений. К этой группе относятся показатели основных когнитивных процессов – ***памяти*** и ***мышления.*** Характеристика этих психофизиологических параметров осуществляется главным образом благодаря использованию различных многофакторных личностных опросников (память на числа, расстановка и сложение чисел с переключением, установление закономерностей и др.).

Моторные компоненты деятельности осуществляют реализацию принятых решений в двигательных и поведенческих актах. Среди моторных компонентов различают ***эргономические и двигательные показатели.*** Эргономические константы характеризуют производительность труда, темп трудовых операций, точность, безошибочность и т.д. К двигательным параметрам относят тремор, мышечную силу, скорость реакций, координацию движений и др.

Следующую группу составляют активационные компоненты деятельности, которые характеризуют способность человека к реализации имеющихся у него психофизиологических свойств и качеств личности. Сюда относят особенности нервной и гуморальной регуляции функций, уровень гормональной активности, внимание установки и мотивацию субъекта, комплекс эмоционально-волевых качеств.

Любое функциональное состояние как целостная реакция организма может анализироваться на разных уровнях: физиологическом, психологическом и поведенческом. ***Физиологический уровень*** функционального состояния представлен органами и системами, характеризующими его энергетические, двигательные и вегетативные реакции; ***психологический*** – показателями основных психических процессов (восприятие, внимание, память, мышление, эмоционально-волевые процессы); ***поведенческий уровень*** – данными скорости, точности, особенностями двигательного и речевого сопровождения деятельности.

3.2. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

Процесс формирования любого функционального состояния начинается с определенного побуждения к деятельности, которое задается подкорковыми и корковыми мотивационными зонами. У спортсменов – главным образом стремлением к достижению высшего спортивного мастерства и сохранению здоровья. Оптимальный уровень мотиваций и эмоций, регулярность тренировок и тщательный медицинский контроль способствуют успешному решению поставленных задач.

Окончательное формирование функционального состояния осуществляется ассоциативными зонами коры больших полушарий (переднелобными и нижнетеменными). Они создают общий план предполагаемого действия. Вначале это лишь представление о профессиональной задаче, которое возникает либо при показе основных элементов другим лицом (тренером, педагогом, психологом), либо после словесной инструкции, самоинструкции, речевого описания. В сознании спортсмена складывается определенный эталон требуемого действия. Эту функцию П.К. Анохин назвал ***«опережающим отражением действительности».*** На ее основе в организме формируются те или другие функциональные состояния, удовлетворяющие социальные и биологические потребности человека.

Формирование такой наглядно-образной модели складывается из представления ситуации в целом и образа тех рабочих действий, выполнение которых необходимы для достижения поставленной цели. Имея представление о требуемой модели действия, человек может осуществлять ее различными профессиональными приемами.

Особое значение имеют в этом процессе восприятие и переработка зрительной информации (при показе) и слуховой (при рассказе). Опытные спортсмены быстрее формируют зрительный образ действия, так как у них лучше выражена поисковая функция глаза и они способны эффективно выделять наиболее важные элементы. У них богаче кладовая сенсорной и моторной памяти, откуда при необходимости быстро происходит извлечение нужных сенсомоторных программ деятельности.

Наряду с совершенствованием сенсомоторных параметров действий, в процессе обучения и тренировок у спортсменов происходит формирование ***навыков тактического мышления*** – специ-

ализированной формы умственной деятельности. Повторяя определенные тактические комбинации, специалисты автоматизируют мыслительные операции. Это позволяет многие решения принимать почти мгновенно, как бы интуитивно, а осознавать их уже после выполнения.

На ***начальном этапе*** спортивной деятельности существует ***два возможных пути развития функциональных состояний.*** Первый путь состоит в постепенном включении все новых элементов и усложнении формируемой системы до достижения ею полного соответствия требованиям выполняемых действий. Второй путь предполагает изначально мобилизацию всей функциональной системы с включением явно избыточных элементов. В последующем эти элементы, представляющие собой менее выгодные ответные реакции организма, переходят в состав резервных.

В период оптимального соответствия ответных реакций требованиям конкретной деятельности достижение цели осуществляется прежде всего за счет тех функций, реализация которых обеспечивает минимальный расход энергетических ресурсов организма. Часть вышеназванных ***основных функций*** и менее выгодные ***резервные*** включаются в ***интегральный комплекс*** функционального состояния, формирующегося в процессе любой профессиональной деятельности человека.

При ***продолжении*** деятельности по мере истощения энергетических возможностей часть функций, включенных в интегральный комплекс в качестве ***основных компонентов,*** снижает свою эффективность и может оказаться недостаточной для реализации определенной работы. Этот недостаток компенсируется мобилизацией ***резервных функций,*** позволяющей добиться достижения поставленной цели за счет повышения ее физиологической цены. Надо также иметь в виду, что включение в интегральный комплекс некоторых резервных заменителей основных функций – необходимое условие возможности продолжения деятельности при изменении условий ее выполнения. Быстрота и эффективность приспособления к новым условиям во многом зависят от разнообразия функциональных резервов организма и степени их реализации.

Таким образом, развитие функционального состояния характеризуется увеличением или уменьшением активности одних функций, поддержанием стабильности других, входящих в систему интегрального комплекса. ***Разнообразная картина величи-***

ны и направленности изменений отдельных функций является необходимым условием развития любого функционального состояния. Ее формирование, в свою очередь, свидетельствует о физиологической целесообразности взаимоотношений между отдельными элементами целостной ответной реакции организма. Точное представление о целевом назначении каждого компонента в интегральном комплексе показателей и изучение его динамики во взаимосвязи с другими компонентами позволит осуществлять количественную оценку основных параметров функционального состояния и прогнозировать направление его развития.

Функциональное состояние обладает достаточной устойчивостью и является диапазоном, в пределах которого возможны колебания параметров отдельных функций при условии сохранения целесообразной структуры этого состояния в целом. Поэтому далеко не всякое отклонение регистрируемых показателей функционального состояния будет свидетельствовать о его качественных и количественных перестройках.

Существенные сдвиги большинства параметров функционального состояния, как правило, сопровождаются изменением эффективности деятельности спортсменов и проявляются как в результативности выполняемой работы, так и в повышении физиологической цены этой деятельности, направленной на достижение определенного результата. Если физиологическая цена достаточно высока, а работа продолжается, в организме могут развиваться преморбидные и даже патологические состояния.

3.3. ВИДЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

В основу классификации различных видов функциональных состояний могут быть положены такие социально-биологические критерии, как работоспособность человека, его эмоциональный тонус, нервно-психическое напряжение, нормальные сдвиги функций организма, пограничные и патологические изменения.

При этом ***характеристика определенного функционального состояния осуществляется с учетом основных факторов, которые обусловливают его возникновение.*** Так, например, психоэмоциональная напряженность рассматривается как результат воздействия стресс-факторов, а состояние монотонии – как следствие однообразной деятельности.

3.3.1. Состояние оперативного покоя

К числу важнейших функциональных состояний относится проблема ***оперативного покоя,*** являющегося ***базовым эталоном,*** на основе которого формируются любые другие состояния организма. В качестве такого эталона А.А. Ухтомский (1935) предложил использовать понятие оперативного покоя, которое характеризует готовность человека к любой деятельности независимо от особенностей определенного вида труда.

Состояние оперативного покоя характеризуется повышением функций ряда органов и систем. При этом отмечается умеренное увеличение частоты сердечных сокращений, ударного и минутного объемов крови, повышение артериального давления и минутного объема дыхания. Растет биоэлектрическая активность центральной нервной системы, ряда желез внутренней секреции, преобладают симпатотонические реакции, повышается тонус скелетной мускулатуры, увеличивается число межсистемных и внутрисистемных взаимосвязей различных органов и систем. ***Основная цель состояния оперативного покоя заключается в психофизиологической готовности организма для решения определенных поведенческих задач.***

Анализируя это состояние, Л.А. Орбели (1946) обратил внимание на сходство наблюдаемых при его развитии изменений с теми, которые возникают при подготовке к физической деятельности. Это позволило ему высказать предположение, что такие сдвиги, во многом схожие с аналогичными при развитии ***ориентировочной реакции,*** генетически детерминированы и были приобретены человеком на ранних этапах эволюционного развития, когда двигательная активность являлась преобладающей над всеми остальными видами деятельности.

Показатели, характеризующие состояние оперативного покоя, имеют исключительную прикладную значимость, так как они могут служить фоновыми (исходными) данными, с которыми сравниваются соответствующие параметры организма при различных видах деятельности. Иногда в качестве таких исходных величин используются расчетные (табличные) показатели с учетом возраста, пола, региона проживания людей и т.д. Последние материалы носят более обобщенный характер, не связаны с конкретными категориями лиц и в меньшей степени отражают соответствующие физиологические закономерности. Следует также иметь в виду, что для характеристики моторной активно-

сти специалистов преимущественное значение имеет анализ показателей двигательной и вегетативных систем, а для оценки умственного труда – анализ психофизиологических функций организма.

3.3.2. Психоэмоциональная напряженность

В настоящее время психоэмоциональная напряженность рассматривается как общая психофизиологическая реакция организма, возникающая при смене стереотипа деятельности и наиболее резко проявляющаяся при мнимой или реальной угрозе здоровью или жизни. ***Она характеризуется прежде всего временным понижением устойчивости психических и двигательных функций, выраженными вегетативными реакциями и снижением профессиональной работоспособности.*** Иногда в литературе подобное функциональное состояние обозначают как нервно-психическое напряжение.

Состояние нервно-психического напряжения может выражаться в ***сдвигах двух форм: по типу нарастания возбуждения или по типу развития тормозных реакций.*** Резкое изменение форм реагирования, выражающееся в крайних состояниях возбуждения или торможения, вызывается исключительно острыми психогенными раздражителями. При относительно длительном действии стресс-факторов нередко наблюдается постепенный переход фазы возбуждения в тормозную.

Отличительная особенность поведения в состоянии психоэмоционального напряжения заключается в его негибкости, отсутствии лабильности и пластичности. В то же время стереотипные, шаблонные действия в состоянии напряженности протекают быстрее, приобретая тенденцию к автоматизму. Таким образом, ***самой общей характеристикой состояния психоэмоционального напряжения является нарушение структуры сложной спортивной деятельности.***

Условия спортивной борьбы, особенно в ситуационных видах спорта (спортивных играх, единоборствах), вызывают у человека повышенное нервно-психическое напряжение. Огромный объем информации, который должен перерабатывать спортсмен в кратчайшие отрезки времени (часто в десятые и сотые доли секунды), высокая мотивация его выступлений приводят к появлению эмоционального стресса, а в особо сложных условиях – к негативным переживаниям – дистрессу.

Стресс (*англ.* stress – «напряжение») – ***общая системная реакция организма человека на экстремальные раздражения.*** В спорте возможны различные проявления стресса.

Физический стресс – возникающий во время высокоинтенсивной двигательной деятельности спортсмена, но не связанный с какими-либо эмоциональными переживаниями (например, тренировочные занятия, особенно в стандартных видах спорта).

Эмоциональный стресс – отражающий высокое нервно-психическое напряжение во время соревновательной деятельности и вызывающий мобилизацию функциональных резервов организма и значительные психические, вегетативные и гормональные реакции.

При развитии эмоционального стресса чрезвычайные раздражители (стрессоры) действуют на высшие отделы центральной нервной системы. Эти влияния вызывают возбуждение симпатического отдела вегетативной нервной системы и выделение связанных с ним гормонов и медиаторов, а через гипоталамус воздействуют на гормональную активность гипофиза. Адренокортикотропный гормон гипофиза вызывает выделение надпочечниками адреналина, норадреналина, глюкокортикоидов и минералкортикоидов. В результате возникает ***комплекс приспособительных реакций организма.*** Увеличивается частота и регулярность дыхания, укорачивается фаза вдоха относительно выдоха; увеличивается частота сердечных сокращений и почти исчезает аритмия; повышается артериальное давление; усиливается обмен веществ и энергии; увеличивается амплитуда ЭМГ и повышается сила сокращений скелетных мышц; в ЭЭГ уменьшается выраженность ритма покоя (альфа-ритма) и увеличивается проявление ритмов напряжения (тета-ритма) и активации (бета-ритма); концентрируется внимание. Все эти реакции обеспечивают высокую работоспособность и формируют ***функциональную систему адаптации*** (Солодков А.С., 1988).

Однако ***в результате чрезмерного нервно-психического напряжения развивается состояние дистресса и могут возникать различные негативные реакции*** – ухудшается кровоснабжение различных отделов головного мозга, урежается частота сердечных сокращений, падает артериальное давление, увеличивается время двигательных реакций и снижается моторная активность. При многократных стрессах у спортсменов часто возникает спортивный травматизм.

Нервно-психическое напряжение у разных людей может проявляться в различных стрессовых реакциях. Эмоциональный

стресс выражен у спортсменов тем сильнее, чем более значимо для них достижение цели действия (их потребность) и чем меньше у них доступной информации, энергии и имеющегося в распоряжении времени. Элементы новизны и неопределенность ситуации повышают напряженность в организме спортсменов. У более опытных спортсменов, уверенных в своих силах, с сильными и уравновешенными нервными процессами, состояние нервно-психического напряжения выражено слабее.

3.3.3. Монотония

Проблема монотонности является одной из важнейших в физиологии спорта. Это понятие чаще всего употребляется для обозначения особого психофизиологического состояния человека, возникающего при выполнении однообразно повторяющейся деятельности в бедной раздражителями обстановке. Она вызывается основными ***специфическими факторами:*** однообразием, малым количеством раздражителей, ограниченным полем наблюдения, достаточной длительностью и повторяющимся характером работы, малой степенью сложности выполняемых операций и их стереотипностью.

В развитии монотонии принципиальное значение имеет факт снижения психофизиологической активности вследствие уменьшения потока раздражителей в центральную нервную систему от рецепторов сенсорных систем. Развитие монотонии у спортсменов может привести к снижению функций организма, ошибочным действиям и падению профессиональной работоспособности. Поэтому диагностика начальных проявлений этого состояния приобретает большое практическое значение.

Монотония обычно развивается через 1,5–2 часа однообразной деятельности и характеризуется как субъективными, так и объективными признаками. ***К субъективным критериям*** относят апатию, скуку, сонливость, утрату интереса к выполняемой работе. ***Объективные признаки*** включают в себя различные изменения физиологических показателей, обусловленные преобладанием тормозных реакций в организме: уменьшение возбудимости и лабильности сенсорных систем, замедление сенсомоторных реакций, снижение мышечного тонуса, урежение пульса, дыхания, падение артериального давления, легочной вентиляции и др. И те и другие изменения приводят к снижению профессиональной надежности человека.

Существует обоснованное мнение, что повышенная чувствительность к монотонии свойственна людям, стремящимся к активному контакту с внешним миром (экстраверты). Лица же, концентрирующее свое внимание на внутренних переживаниях (интроверты), подвержены ее влиянию в меньшей степени. Эти особенности важно учитывать в процессе профессионального отбора спортсменов.

Источником положительных эмоций у спортсмена, как у всякого человека, является поиск новой информации, новых путей решения двигательных и тактических задач. При длительном выполнении однообразных двигательных актов (например, в циклической работе умеренной мощности) приток информации значительно снижается, что вызывает скуку, падение интереса к тренировкам, понижение функциональных возможностей.

Такая работа вызывает у человека состояние пониженной психической активности, чувство безразличия, усталости, сонливости, снижение частоты сердечных сокращений и дыхания, понижение амплитуды ЭМГ работающих мышц, падение работоспособности.

Одним из механизмов возникновения состояния монотонии ***является*** привыкание. Если один и тот же стимул многократно повторяется, то внимание к нему ослабляется, реакции понижаются, т.е. утрачивается его новизна. В процессе автоматизации простых двигательных навыков эмоциональное напряжение прогрессивно уменьшается. При этом активируются неспецифические тормозные отделы ствола головного мозга, которые, при отсутствии тонизирующего сенсорного притока в мозг из окружающей среды, вызывают снижение активности высших отделов мозга. В условиях монотонной деятельности изменяется роль левого и правого полушария в управлении движениями. У спортсменов-правшей отмечено снижение активности левого доминирующего полушария головного мозга и повышение роли правого неведущего полушария. Это позволяет продолжать работу, но делает ее менее эффективной.

Разные люди неодинаково реагируют на монотонную работу. Главным фактором сопротивляемости монотонии являются ***врожденные свойства нервной системы.*** Успешнее работают в этих условиях спортсмены с сильными уравновешенными нервными процессами и невысокой их подвижностью – ***флегматики.*** Обследования высококвалифицированных лыжников-гонщиков, бегунов-стайеров, велосипедистов-шоссейников пока-

зали, что флегматики составляют основную долю спортсменов в данных видах спорта.

Для борьбы с монотонией используют варьирование скорости перемещений спортсменов, разные отрезки дистанций, создают соревновательные ситуации и т.п.

Описание других функциональных состояний изложено в тематических разделах учебника.

4. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ОРГАНИЗМЕ ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Физические нагрузки вызывают перестройки различных функций организма, особенности и степень которых зависят от мощности и характера двигательной деятельности.

4.1. ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИЙ РАЗЛИЧНЫХ ОРГАНОВ И СИСТЕМ ОРГАНИЗМА

В состоянии покоя деятельность различных функций отрегулирована соответственно невысокому уровню кислородного запроса и энергообеспечения. При переходе к рабочему уровню необходима перестройка функций различных органов и систем на более высокий уровень активности и новое межсистемное согласование на рабочем уровне.

В центральной нервной системе происходит повышение лабильности и возбудимости многих проекционных и ассоциативных нейронов. Во время работы «нейроны движения» организуют через пирамидный путь моторную активность, а «нейроны положения» через экстрапирамидную систему – формирование рабочей позы. В различных отделах ЦНС создается ***функциональная система нервных центров,*** обеспечивающая выполнение задуманной цели действия на основе анализа внешней информации, действующих в данный момент мотиваций и хранящихся в мозгу памятных следов двигательных навыков и тактических комбинаций. Возникающий комплекс нервных центров становится ***рабочей доминантой,*** которая имеет повышенную возбудимость, подкрепляется различными афферентными раздражениями и избирательно затормаживает реакции на посторонние раздражители. В пределах доминирующих нервных центров создается цепь условных и безусловных рефлексов, или

двигательный динамический стереотип, облегчающий последовательное выполнение одинаковых движений (в циклических упражнениях) или программы различных двигательных актов (в ациклических упражнениях).

Еще перед началом работы в коре больших полушарий происходит предварительное программирование и формирование преднастройки на предстоящее движение, которые отражаются в ***различных формах изменений электрической активности:*** избирательном увеличении межцентральных взаимосвязей корковых потенциалов; изменении формы кривой, огибающей амплитуду колебаний ЭЭГ; появлении «меченых ритмов» ЭЭГ – потенциалов в темпе предстоящего движения; возникновении условных отрицательных колебаний, или так называемых «волн ожидания», а также премоторных и моторных потенциалов.

В ***спинном мозгу*** за 60 мс перед началом двигательного акта повышается возбудимость мотонейронов, что отражается в нарастании амплитуды вызываемых в этот момент спинальных рефлексов (Н-рефлексов).

В мобилизации функций организма и их резервов значительна роль ***симпатической нервной системы, выделения гормонов гипофиза и надпочечников, нейропептидов.***

В двигательном аппарате при работе ***повышаются возбудимость и лабильность работающих мышц,*** чувствительность их проприорецепторов, растет температура и снижается вязкость мышечных волокон. В мышцах дополнительно открываются капилляры, которые в состоянии покоя находились в спавшемся состоянии, и улучшается кровоснабжение. Однако при больших статических напряжениях (более 30% максимального усилия) кровоток в мышцах резко затрудняется или вовсе прекращается из-за сдавливания кровеносных сосудов. Нервные импульсы, приходящие в мышцу с небольшой частотой, вызывают слабые одиночные сокращения мышечных волокон, а при повышении частоты – их более мощные тетанические сокращения.

Различные двигательные единицы (ДЕ) в целой скелетной мышце при длительных физических нагрузках вовлекаются в работу ***попеременно,*** восстанавливаясь в периоды отдыха, а при больших кратковременных напряжениях включаются ***синхронно.*** В зависимости от мощности работы активируются разные ДЕ: при небольшой интенсивности работы активны лишь высоковозбудимые и менее мощные медленные ДЕ, а с повышением мощ-

ности работы – промежуточные и, наконец, маловозбудимые, но наиболее мощные быстрые ДЕ.

Дыхание значительно увеличивается при мышечной работе – растет глубина дыхания (до 2–3 л) и частота дыхания (до 40–60 вдохов в 1 мин). Минутный объем дыхания при этом может увеличиваться до 150–200 л/мин. Однако большое потребление кислорода дыхательными мышцами (до 1 л/мин) делает нецелесообразным предельное напряжение внешнего дыхания.

Сердечно-сосудистая система, участвуя в доставке кислорода работающим тканям, претерпевает заметные рабочие изменения. Увеличивается систолический объем крови (при больших нагрузках у спортсменов до 150–200 мл), нарастает ЧСС (до 180 уд./мин и более), растет минутный объем крови (у тренированных спортсменов до 35 л/мин и более). Происходит ***перераспределение крови*** в пользу работающих органов – главным образом, скелетных мышц, а также сердечной мышцы, легких, активных зон мозга – и снижение кровоснабжения внутренних органов и кожи. Перераспределение крови тем более выражено, чем больше мощность работы. Количество циркулирующей крови при работе увеличивается за счет ее выхода из кровяных депо. Увеличивается скорость кровотока, а время кругооборота крови снижается вдвое.

В системе крови наблюдается увеличение количества форменных элементов. Наблюдаются ***миогенный эритроцитоз*** (до $5{,}5–6 \times 10^{12}$/ л) и ***миогенный тромбоцитоз*** (увеличение в 2 раза). В зависимости от тяжести работы проявляются различные стадии ***миогенного лейкоцитоза.*** Небольшие тренировочные нагрузки вызывают появление первой стадии – лимфоцитарной – с преобладанием в лейкоцитарной формуле лимфоцитов и ростом общего количества лейкоцитов до $10–12 \times 10^9$/л. Более значительные нагрузки, особенно в соревнованиях, вызывают появление второй стадии, или первой нейтрофильной, с ростом количества нейтрофилов (особенно юных и палочкоядерных) и увеличением количества лейкоцитов до $16–18 \times 10^9$/л. Истощающая нагрузка приводит к третьей стадии, или второй нейтрофильной, с резким ростом количества лейкоцитов в крови до $20–50 \times 10^9$/л, преобладанием незрелых форм нейтрофилов и исчезновением других форм лейкоцитов (эозинофилов, базофилов).

При работе увеличивается отдача кислорода из крови в ткани. Соответственно становятся ***больше артериовенозная разность по кислороду и коэффициент использования кислорода.***

Рост кислородного долга при передвижениях спортсменов на средних и длинных дистанциях сопровождается, ***увеличением в крови концентрации молочной кислоты и снижением pH крови.*** В связи с потерей воды и увеличением количества форменных элементов ***повышение вязкости крови*** достигает 70%.

При циклических упражнениях различной длительности с увеличением дистанции снижаются единичные энерготраты и растут суммарные энерготраты на всю работу, а анаэробный путь энергопродукции (за счет АТФ, КрФ и гликолиза) сменяется постепенно аэробным путем (за счет окисления углеводов, а затем и жиров).

4.2. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СДВИГИ ПРИ НАГРУЗКАХ ПОСТОЯННОЙ МОЩНОСТИ

Функциональные изменения в организме спортсмена зависят от характера физической нагрузки. Если работа совершается с относительно постоянной мощностью (что характерно для циклических упражнений, выполняемых на средних, длинных и сверхдлинных дистанциях), то степень функциональных сдвигов зависит от уровня ее мощности. Чем больше мощность работы, тем больше потребление кислорода в единицу времени, минутный объем крови и дыхания, ЧСС, выброс катехоламинов. Эти изменения имеют индивидуальные особенности, связанные с генетическими свойствами организма: у некоторых лиц реакция на нагрузку сильно выражена, а у других – незначительна. Функциональные сдвиги также зависят от уровня работоспособности и спортивного мастерства. Имеются также половые и возрастные различия. При одинаковой мощности мышечной работы функциональные сдвиги больше у менее подготовленных лиц, а также у женщин по сравнению с мужчинами и у детей по сравнению со взрослыми.

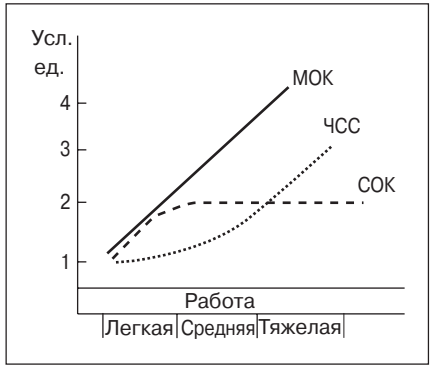


Рис. 24. Изменения частоты сердечных сокращений (ЧСС), систолического (СОК) и минутного объемов крови (МОК) при различной работе

Особенно следует отметить ***прямо пропорциональную***

зависимость между мощностью работы и ЧСС, которая у взрослых тренированных лиц наблюдается в диапазоне от 130 до 180 уд./мин, а у пожилых – от 110 до 150–160 уд./мин (рис. 24). Эта закономерность позволяет контролировать мощность работы спортсменов на дистанции (например, у пловцов, бегунов, лыжников с помощью кардиолидеров), а также она лежит в основе различных тестов физической работоспособности, так как регистрация ЧСС наиболее доступна в естественных условиях двигательной деятельности.

4.3. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СДВИГИ ПРИ НАГРУЗКАХ ПЕРЕМЕННОЙ МОЩНОСТИ

Работа переменной мощности особенно характерна для спортивных игр и единоборств, она наблюдается и при стандартных ациклических упражнениях в гимнастике, акробатике, фигурном катании и др., а также при рывках, спуртах, финишировании в циклических упражнениях.

Каждое изменение мощности работы требует нового сдвига активности различных органов и систем организма спортсмена. При этом быстрые изменения в деятельности ЦНС и двигательного аппарата не могут сопровождаться столь же быстрыми перестройками вегетативного обеспечения работы. На этот переходный процесс затрачивается некоторое время, так называемое ***время задержки,*** при котором ткани организма испытывают недостаточность кислородного снабжения и возникает кислородный долг. Чем больше спортсмен адаптирован к работе переменной мощности, тем меньше у него время задержки, т.е. быстрее возникают сдвиги в дыхании, кровообращении, энерготратах и накапливается меньший кислородный долг. Вегетативные системы у адаптированных спортсменов становятся более лабильными – они легче повышают функциональную активность при повышении мощности работы и быстрее успевают восстанавливаться при каждом ее снижении, даже в процессе работы (рис. 25). Важно при этом, что восстановление по ходу работы не доводит функциональные показатели до уровня покоя, а сохраняет их на некотором оптимальном уровне. Например, ЧСС в процессе игры в баскетбол колеблется в диапазоне от 130 до 180 уд./мин. У фехтовальщиков в ходе тренировочных индивидуальных уроков или соревновательных поединков каждая отдельная микропауза позволяет несколько снять высокий уровень нервно-эмоциональной

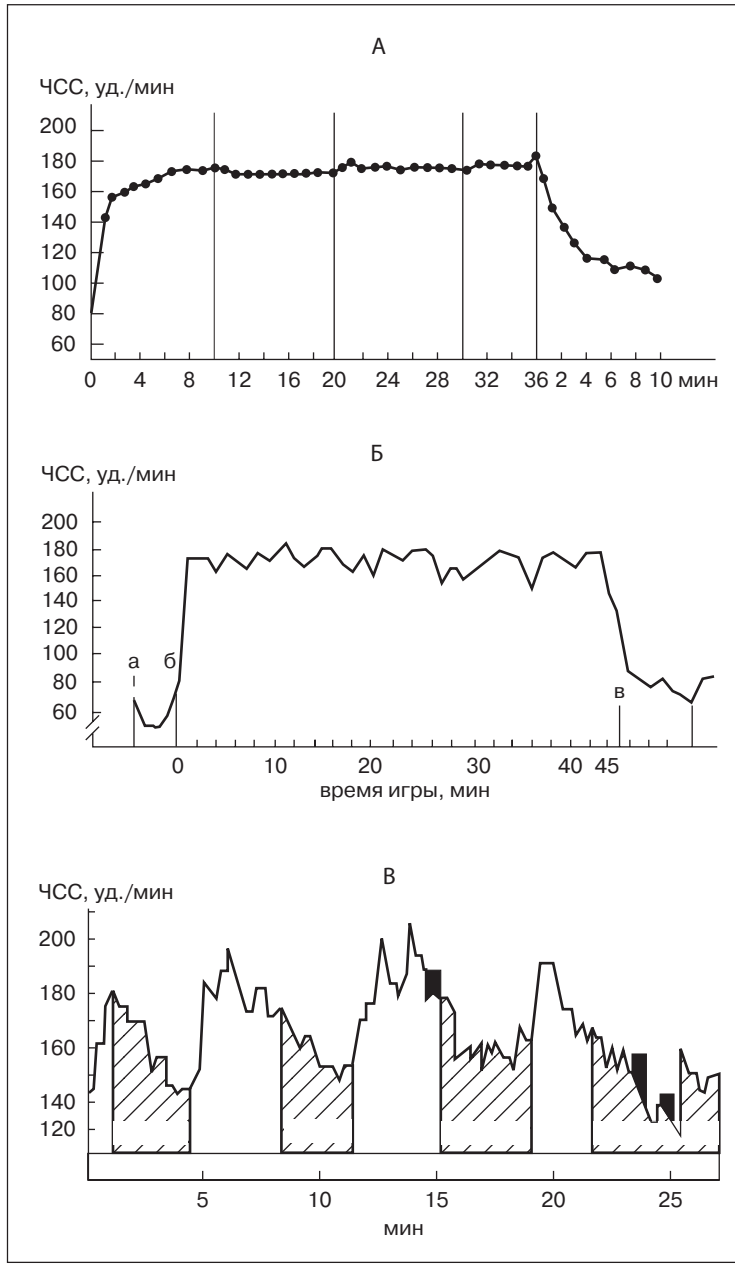


Рис. 25. Частоты сердечных сокращений при работе постоянной мощности – бег на 10 км (А) и при работе переменной мощности – игра в футбол (Б) и волейбол (В)

напряженности и немного восстановить функции дыхания и кровообращения, но при этом сохраняется необходимый рабочий уровень их показателей и не удлиняется время реакции.

Для тестирования адаптации спортсменов к работе переменной мощности используют физические нагрузки (степ-тест, велоэргометрический тест), в которых в случайном порядке или с определенной закономерностью варьируют мощность работы и при этом регистрируют ЧСС (или другие физиологические показатели). Расчет корреляции ЧСС и мощности нагрузки позволяет судить о приспособленности организма конкретного спортсмена к данной работе.

4.4. ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СПОРТСМЕНОВ

Знание основных закономерностей функциональных сдвигов организма человека при мышечной работе позволяет использовать их для решения многих прикладных задач, в частности для физиологии спорта.

Среди важнейших физиологических критериев, определяющих адаптированность организма спортсмена к физическим нагрузкам и текущий уровень работоспособности, можно отметить:

• ***скорость перестройки*** деятельности отдельных органов и систем организма от уровня покоя на оптимальный рабочий уровень и скорость обратного перехода к уровню покоя, что характеризует хорошую приспособленность организма спортсменов к физическим нагрузкам;

• ***длительность удержания рабочих сдвигов различных*** функций на оптимальном уровне, что определяет адаптацию к работе постоянной мощности;

• ***величину функциональных сдвигов*** при одинаковой работе, по которой можно оценивать уровень подготовленности спортсмена по более экономному выполнению нагрузки;

• тесное ***соответствие перестроек*** вегетативных функций переменному характеру работы, что характеризует адаптацию к работе переменной мощности;

• ***прямо пропорциональную зависимость*** между уровнем потребления кислорода, ЧСС, минутного объема дыхания и кровообращения, с одной стороны, и мощностью работы, с другой стороны, которая позволяет использовать различные нагрузочные тесты с регистрацией данных показателей для оценки работоспособности спортсменов.

5. ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТОЯНИЙ ОРГАНИЗМА ПРИ СПОРТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В ходе систематической тренировки в организме спортсмена возникает ***ряд различных функциональных состояний, тесно взаимосвязанных друг с другом,*** где каждое предыдущее влияет на протекание последующего. До начала работы у спортсмена возникает ***предстартовое и собственно стартовое состояние,*** к которым присоединяется влияние ***разминки;*** от качества разминки и характера предстартового состояния зависит скорость и эффективность ***врабатывания*** в начале работы, а также наличие или отсутствие ***мертвой точки.*** Эти процессы определяют в свою очередь степень выраженности и длительность ***устойчивого состояния,*** а от него зависит скорость наступления и глубина развития ***утомления,*** что далее обусловливает особенности процессов ***восстановления.*** В зависимости от успешности протекания восстановительных процессов у спортсмена перед началом следующего тренировочного занятия или соревнования проявятся те или иные формы предстартовых реакций, что опять-таки будет определять последующую двигательную деятельность.

5.1. РОЛЬ ЭМОЦИЙ ПРИ СПОРТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В регуляции функциональных состояний, которые являются базой двигательной деятельности человека, принимают участие различные психологические, нервные и гуморальные механизмы: потребности, основные источники активности; мотивы, побуждающие к удовлетворению этих потребностей; эмоции, подкрепляющие деятельность; речевая регуляция (самоорганизация и самомобилизация); гормональные влияния – выделение гормонов гипофиза, надпочечников и др.

5.1.1. Значение эмоций

Спортивная деятельность (в первую очередь – выступления на соревнованиях) вызывает в организме спортсмена двоякого рода влияния:

- ***физическое напряжение,*** связанное с осуществлением нагрузочной мышечной работы;
- ***эмоционально-психическое напряжение,*** вызываемое экстремальными раздражителями (стрессорами).

К последним относятся три фактора:

• ***большой объем информации,*** поступающий к спортсмену, который создает информационную перегрузку (особенно, в игровых видах спорта, единоборствах, скоростном спуске на лыжах с гор и т. п.);

• необходимость перерабатывать информацию ***в условиях дефицита времени;***

• ***высокий уровень мотивации*** – социальной значимости принимаемых спортсменом решений.

При осуществлении этих процессов огромна роль эмоций.

Эмоции представляют собой ***личностное отношение человека к окружающей среде и к себе,*** которое определяется его потребностями и мотивами. Их значение в поведении заключается в ***оценочном влиянии на деятельность специфических систем организма (сенсорных и моторных). Эмоции обеспечивают избирательное поведение*** человека в ситуации со многими выборами, подкрепляя определенные пути решения задач и способы действий.

В спорте они постоянно сопровождают спортсменов, которые испытывают «мышечную радость», «спортивную злость», «горечь поражения» и «радость победы». Эмоции ярко проявляются в предстартовом состоянии, а также во время спортивной борьбы, являются важным компонентом в процессе тактического мышления. Эмоциональный настрой увеличивает максимальную произвольную силу и скорость локомоций.

5.1.2. Психофизиологические механизмы проявления эмоций

Эмоции подразделяют на ***низшие*** (имеющиеся и у животных) и ***высшие,*** связанные с социальными аспектами жизни человека (интеллектуальные, моральные, эстетические), его сознательным поведением и познавательной деятельностью – интересами, сознаваемыми и несознаваемыми мотивами (побуждениями, влечениями), чувствами, поисками информации. Они возникают при недостаточном удовлетворении потребностей, при расхождении необходимой и реальной информации.

В возникновении эмоций участвуют некоторые отделы коры больших полушарий и подкорковые образования – нижние и внутренние поверхности больших полушарий (поясная извилина, гиппокамп), некоторые ядра таламуса, гипоталамус, сетевидное образование срединных отделов ствола мозга. Эти образования представляют собой так называемый ***лимбико-ре-***

тикулярный комплекс, который совместно с высшими отделами коры формирует эмоции человека.

Эмоциональные реакции включают ***двигательные, вегетативные и эндокринные проявления:*** изменения дыхания, частоты сердечных сокращений, артериального давления, деятельности скелетных и мимических мышц, выделение гормонов – адренокортикотропного гормона гипофиза, адреналина, норадреналина и кортикоидов, выделяемых надпочечниками.

Различают эмоции положительные и отрицательные. При электрических раздражениях в опытах на животных и при лечебных процедурах в клинике у человека были обнаружены ***центры удовольствия*** (в гипоталамусе, среднем мозге) и ***неудовольствия*** (в некоторых областях таламуса). Больные при раздражении этих центров испытывали «беспричинную радость», «беспредметную тоску», «безотчетный страх».

Включаясь в сложные психические процессы, эмоции участвуют в принятии решений, обеспечивают так называемое эвристическое мышление при внезапных открытиях у человека, подкрепляя его «озарение». У детей 2–3 лет в отличие от взрослых эмоциональная окраска слов имеет большее значение, чем их смысловой компонент.

Эмоции являются механизмом регуляции интенсивности движений, вызывая мобилизацию функциональных резервов организма в экстремальных ситуациях. Это особенно наглядно проявляется в соревновательных условиях, когда результативность выступлений спортсмена превышает его достижения на тренировочных занятиях. Одиночное выполнение работы при обычной мотивации всегда менее длительно и менее эффективно, чем при соревновании с другими лицами при повышенной мотивации (рис. 26). Способность к мобилизации функциональных резервов при повышенной мотивации в наибольшей мере присуща опытным квалифицированным спортсменам, а нетренированные лица чаще всего исчерпывают резервы своего организма уже при обычной мотивации.

Значительные нервно-психические напряжения при спортивной деятельности приводят к резкому усилению эмоциональных реакций, обусловливая эмоциональный стресс у спортсменов, а при чрезмерном воздействии вызывают негативные проявления эмоций – дистресс (ухудшение функционального состояния и активности организма, снижение иммунитета).

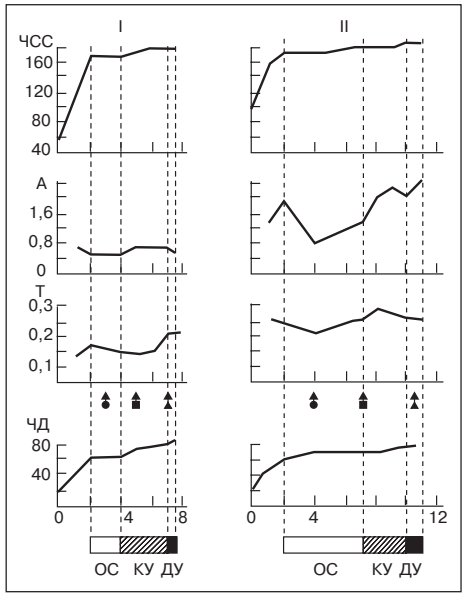


Рис. 26. Изменение различных показателей текущей работоспособности при работе на велоэргометре до отказа с обычной (I) и повышенной (II) мотивацией у велосипедиста-перворазрядника.

По оси абсцисс – время работы, с. По оси ординат: частота сердечных сокращении (ЧСС), уд./мин; амплитуда (А) ЭМГ икроножной мышцы, мВ; длительность активности (Т) в ЭМГ икроножной мышцы, с; отчет испытуемого о самочувствии: стрелка с кружком – «Хорошо!», с квадратом – «Устал!», с треугольником – «Очень устал!»; частота дыхания (ЧД), 1/мин; стадии работоспособности: ОС (светлые прямоугольники) – оптимальное (устойчивое) состояние, КУ (косая штриховка) – компенсированное утомление, ДУ (черные столбики) – декомпенсированное утомление

В формировании эмоций и эмоциональных стрессов участвует ***особый класс биологических регуляторов – нейропептиды*** (энкефалины, эндорфины, опиатные пептиды). Они представляют собой осколки белковых молекул – короткие аминокислотные цепочки. Нейропептиды распределены широко и неравномерно в различных отделах головного и спинного мозга. Действуя в области контактов между нейронами, они способны усиливать или угнетать их функции, обеспечивая обезболивающий эффект, улучшая память и формирование двигательных навыков, изменяя сон и температуру тела, снимая тяжелые состояния при алкоголизме. Их концентрация в нервной системе уменьшается при ограничениях двигательной активности и увеличивается при эмоциональных реакциях, стрессах. Обнаружено, в частности, что у спортсменов в соревновательных условиях концентрация нейропептидов в 5–6 раз превышает их обычное содержание у нетренированных лиц.

5.2. ПРЕДСТАРТОВЫЕ СОСТОЯНИЯ

Предстартовые состояния возникают задолго до выступления, за несколько дней и недель до ответственных стартов – мысленная настройка на соревнование, повышение мотивации, рост двигательной активности во время сна, повышение

обмена веществ, увеличение мышечной силы, содержания гормонов, эритроцитов и гемоглобина в крови.

Эти проявления усиливаются за несколько часов до старта и еще более за несколько минут перед началом работы, когда возникает собственно стартовое состояние.

5.2.1. Формы проявления и физиологические механизмы предстартовых состояний

Предстартовые состояния возникают по механизму условных рефлексов. Физиологические изменения возникают на условные сигналы, которыми являются раздражители, сопутствующие предшествующим занятиям (вид стадиона, спортивного зала, наличие соперников, спортивная форма и др.).

В мозгу человека перед выполнением какого-либо произвольного действия рождаются замысел и план предстоящего действия. Происходят изменения электрической активности в коре больших полушарий – усиливаются межцентральные взаимосвязи, изменяется амплитуда потенциалов и огибающая их кривая, появляется отражающая подготовительные процессы условная негативная волна (так называемая «волна ожидания»), наблюдаются медленные потенциалы в темпе предстоящего движения («меченые ритмы» ЭЭГ), в моторной коре возникают так называемые премоторные и моторные потенциалы. Все эти изменения отражают ***подготовку мозга к предстоящему действию*** и вызывают сопутствующие вегетативные сдвиги и изменения моторной системы, т.е. ***происходит актуализация рабочей доминанты со всеми ее моторными и вегетативными компонентами.***

Различают предстартовые изменения двух видов – неспецифические (при любой работе) и специфические (связанные со спецификой предстоящих упражнений).

К числу неспецифических изменений относят три формы предстартовых состояний: боевую готовность, предстартовую лихорадку и предстартовую апатию.

Боевая готовность ***обеспечивает наилучший психологический настрой и функциональную подготовку спортсменов к работе.*** Наблюдается оптимальный уровень физиологических сдвигов – повышенная возбудимость нервных центров и мышечных волокон, адекватная величина поступления глюкозы в кровь из печени, благоприятное превышение концентрации норадреналина над адреналином, оптимальное усиление частоты

и глубины дыхания и частоты сердцебиений, укорочение времени двигательных реакций.

В случае возникновения предстартовой лихорадки ***возбудимость мозга чрезмерно повышена,*** что вызывает нарушение тонких механизмов межмышечной координации, излишние энерготраты и преждевременный доработочий расход углеводов, избыточные кардиореспираторные реакции. При этом у спортсменов отмечена повышенная нервозность, возникают фальстарты, а движения начинаются в неоправданно быстром темпе и вскоре приводят к истощению ресурсов организма.

В противоположность этому, состояние предстартовой апатии ***характеризуется недостаточным уровнем возбудимости центральной нервной системы,*** увеличением времени двигательной реакции, невысокими изменениями в состоянии скелетных мышц и вегетативных функций, подавленностью и неуверенностью спортсмена в своих силах. В процессе длительной работы негативные сдвиги состояний лихорадки и апатии могут преодолеваться, но при кратковременных упражнениях такой возможности нет.

Специфические предстартовые реакции отражают особенности предстоящей работы. Например, функциональные изменения в организме выше перед бегом на короткие дистанции по сравнению с предстоящим бегом на длинные дистанции; они больше перед соревнованиями по сравнению с обычной тренировкой. В коре больших полушарий больше активируются те зоны, которые должны вовлекаться в работу; перед циклическими упражнениями возникают колебания потенциалов в темпе предстоящего движения.

5.2.2. Регуляция предстартовых состояний

Чрезмерные предстартовые реакции снижаются у спортсменов по мере привыкания к соревновательным условиям.

На формы проявления предстартовых реакций оказывает влияние ***тип нервной системы:*** у спортсменов с сильными уравновешенными нервными процессами – сангвиников и флегматиков – чаще наблюдается боевая готовность, у холериков – предстартовая лихорадка; меланхолики в трудных ситуациях подвержены предстартовой апатии.

Умение тренера провести необходимую беседу или переключить спортсмена на другой вид деятельности способствует оптимизации предстартовых состояний. Используют для этого и мас-

саж. Однако наибольшее регулирующее воздействие оказывает правильно проведенная разминка. В случае предстартовой лихорадки необходимо проводить разминку в невысоком темпе, подключить глубокие ритмичные дыхания (гипервентиляцию), так как дыхательный центр оказывает мощное нормализующее влияние на кору больших полушарий. При апатии, наоборот, требуется проведение разминки в быстром темпе для повышения возбудимости в нервной и мышечной системах.

5.3. РАЗМИНКА И ВРАБАТЫВАНИЕ

В подготовке организма к предстоящей работе очень велика роль разминки, так как здесь к условно-рефлекторному механизму предстартовых состояний подключаются безусловно-рефлекторные реакции, вызванные работой мышц.

5.3.1. Разминка

Различают общую и специальную часть разминки.

Общая разминка неспецифична. Она направлена на повышение функционального состояния организма и создание оптимального возбуждения центральных и периферических звеньев двигательного аппарата. Еще до начала работы создаются условия для формирования новых двигательных навыков и наилучшего проявления физических качеств. Разогревание мышц снижает их вязкость, повышает гибкость суставно-связочного аппарата, способствует отдаче тканям кислорода из оксигемоглобина крови, активирует ферменты и ускоряет протекание биохимических реакций. Однако разминка не должна доводить спортсмена до выраженного утомления и вызывать повышение температуры тела выше 38°С, что вызовет отрицательный эффект.

Специальная часть разминки обеспечивает специфическую подготовку к предстоящей работе именно тех нервных центров и скелетных мышц, которые несут основную нагрузку. Происходит оживление рабочих доминант и созданных на их базе двигательных динамических стереотипов, вегетативные сдвиги достигают уровня, необходимого для быстрого вхождения в работу.

Оптимальная длительность разминки составляет 10–30 мин, а интервал до работы не должен превышать 15 мин, после чего эффект разминки снижается.

5.3.2. Врабатывание

Периоды покоя и работы характеризуются относительно устойчивым состоянием функций организма, с отлаженной их регуляцией. Между ними имеются два переходных периода – врабатывания (от покоя к работе) и восстановления (от работы к покою).

Период врабатывания отсчитывают от начала работы до появления устойчивого состояния.

Во время врабатывания осуществляются два процесса:

– переход организма на рабочий уровень;

– сонастройка различных функций.

Врабатывание различных функций отличается гетерохронностью, т.е. разновременностью, и увеличением вариативности их показателей.

Сначала и очень быстро врабатываются двигательные функции, а затем более инертные вегетативные. Из вегетативных показателей быстрее всего нарастают до рабочего уровня частотные параметры – частота сердечных сокращений и дыхания, затем объемные характеристики – ударный и минутный объемы крови, глубина вдоха и минутный объем дыхания. За их перестройками следует рост потребления кислорода и, позже всего, налаживание терморегуляции (этот момент сопровождается потоотделением). Инерция вегетативных сдвигов связана, в частности, с тем, что в начальные моменты работы мощная моторная доминанта оказывает отрицательное (тормозное) влияние на вегетативные центры.

Более быстрое врабатывание наблюдается у квалифицированных спортсменов, в молодом возрасте (у подростков) и в период спортивной формы у спортсмена.

Увеличение вариативности отражает поиски различными функциями рабочего уровня сдвигов, адекватного для данного упражнения. Анализ длительности сердечных и дыхательных циклов показывает их большой разброс в этот трудный для организма переходный период. С переходом к устойчивому состоянию при работе постоянной мощности вариативность функций снижается. Например, коэффициент вариации длительности сердечных циклов составляет у бегунов-разрядников в покое 5–10%, при врабатывании – 25–30%, в устойчивом состоянии – 2–4%.

Период врабатывания может завершаться появлением «мертвой точки». Она возникает у недостаточно подготовленных спортсменов в результате ***дискоординации двигательных и вегетативных функций.*** При слишком интенсивных движени-

ях и замедленной перестройке вегетативных процессов нарастает заметный кислородный долг, возникает тяжелое субъективное состояние. Происходит рост содержания лактата в крови, pH крови снижается до 7,2 и менее. У спортсмена наблюдаются одышка и нарушения сердечного ритма (аритмия, экстрасистолия), уменьшается жизненная емкость легких. В ЭМГ увеличивается амплитуда потенциалов работающих мышц, в ЭЭГ развивается десинхронизация активности. В этот период работоспособность резко падает. Она возрастает лишь после волевого преодоления «мертвой точки», когда открывается «второе дыхание», или в результате снижения интенсивности работы. Подобное состояние может неоднократно повторяться во время длительной работы при повышениях ее мощности, неадекватных возможностям спортсмена.

5.4. УСТОЙЧИВОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЯХ

При длительной циклической работе относительно постоянной мощности (в зонах большой и умеренной мощности, частично субмаксимальной мощности) в организме спортсмена возникает устойчивое состояние (steady state), которое продолжается от момента завершения врабатывания до начала утомления.

5.4.1. Виды устойчивого состояния

По характеру снабжения организма кислородом выделяют два вида устойчивого состояния:

– кажущееся (или ложное) устойчивое состояние (при работе большой и субмаксимальной мощности), когда спортсмен достигает уровня максимального потребления кислорода, но это ***потребление не покрывает высокого кислородного запроса и образуется значительный кислородный долг;***

– истинное устойчивое состояние при работе умеренной мощности, когда ***потребление кислорода соответствует кислородному запросу и кислородный долг почти не образуется.***

5.4.2. Физиологические особенности устойчивого состояния при циклических упражнениях

За исключением кратковременных циклических упражнений максимальной мощности, во всех других зонах мощности после окончания врабатывания устанавливается устойчивое состояние. При этом мощность работы, несмотря на некоторые отклонения, практически близка к постоянной.

Такое состояние характеризуется следующими особенностями:

– ***мобилизация*** всех систем организма на высокий рабочий уровень (главным образом, кардиореспираторной системы и системы крови, обеспечивающих достижение МПК);

– ***стабилизация*** множества показателей, влияющих на спортивные результаты – длины и частоты шагов, амплитуды колебаний общего центра масс, частоты и глубины дыхания, частоты сердечных сокращений, уровня потребления кислорода и пр.; некоторые показатели могут монотонно возрастать (например, температура тела), или снижаться (например, оксигенация крови);

– ***согласование*** работы различных систем организма, которое сменяет их дискоординацию в период врабатывания – например, устанавливается определенное соотношение темпа дыхания и движения (1:1, 1:3 и др.).

У тренированных спортсменов выраженность устойчивого состояния и КПД работы больше, чем у нетренированных лиц. Оно у них дольше продолжается.

5.5. ОСОБЫЕ СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА ПРИ АЦИКЛИЧЕСКИХ, СТАТИЧЕСКИХ И УПРАЖНЕНИЯХ ПЕРЕМЕННОЙ МОЩНОСТИ

Различные виды стандартных ациклических упражнений, а также ситуационных упражнений характеризуются переменной мощностью работы, т.е. отсутствием классических форм устойчивого состояния.

5.5.1. Особые состояния при стандартных ациклических и статических упражнениях

Выполнение различных упражнений в гимнастике, прыжках в воду, тяжелой атлетике, метаниях, прыжках в длину, в высоту, с шестом, стрельбе и т.п. весьма кратковременно. В отличие от длительных циклических упражнений здесь невозможно достижение устойчивого состояния по потреблению кислорода и другим физиологическим показателям.

Однако ***повторная работа*** в этих видах спорта вызывает своеобразное проявление процесса врабатывания и последующей стабилизации функций. Каждое предыдущее выполнение упражнения служит разминкой для последующего и вызывает враба-

тывание организма с постепенным нарастанием функциональных сдвигов, вплоть до необходимого рабочего уровня с повышением КПД работы.

5.5.2. Особые состояния при ситуационных упражнениях

В спортивных играх и единоборствах (бокс, борьба, фехтование) деятельность спортсмена характеризуется не только изменением текущей ситуации, но и переменной мощностью работы. Несмотря на постоянные изменения мощности, после прохождения врабатывания различные соматические и вегетативные показатели устанавливаются в пределах некоторого ***оптимального рабочего диапазона.*** Например, при игре в баскетбол ЧСС держится в пределах 130–180 уд./мин. Хотя на уровень 180 уд./мин этот показатель поднимается лишь в отдельных эпизодах игры, зато он не снижается менее 130 уд./мин в моменты игровых пауз. Поддержание этого оптимального диапазона функциональных возможностей требует необходимых затрат энергии и произвольных усилий. У каждого спортсмена имеется индивидуальная длительность непрерывного сохранения такого состояния.

Оптимальная доза непрерывной работы зависит от врожденных особенностей, уровня спортивного мастерства, технической или тактической направленности тренировочного занятия, интенсивности деятельности и других причин. Фехтовальщики, например, используют различные микропаузы для некоторого восстановления функций организма. Эти паузы не должны быть длительными, чтобы не снизить достигнутый рабочий уровень (чтобы не увеличилось время двигательной реакции, не повысилась его вариативность, не снизилась точность уколов), зато они позволяют избежать быстрого наступления утомления, сохранить высокий уровень внимания, несколько восстановить двигательные и вегетативные функции.

6. ФИЗИЧЕСКАЯ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СПОРТСМЕНА

Физическая работоспособность спортсмена является выражением жизнедеятельности человека, имеющим в своей основе движение, универсальность которого была блестяще охарактеризована еще И.М. Сеченовым. Она проявляется в различных формах мышечной деятельности и зависит от способности и готовности человека к физической работе.

В настоящее время физическая работоспособность наиболее широко исследуется в спортивной практике, представляя несомненный интерес для специалистов как медико-биологического, так и спортивно-педагогического направлений. Физическая работоспособность – одна из важнейших составляющих спортивного успеха. Это качество является также определяющим во многих видах производственной деятельности, необходимым в повседневной жизни, тренируемым и косвенно отражающим состояние физического развития и здоровья человека, его пригодность к занятиям физической культурой и спортом.

6.1. ПОНЯТИЕ О ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЮ

Термин «физическая работоспособность» употребляется достаточно широко, однако ему не дано пока единого теоретически и практически обоснованного определения. Предложенные определения работоспособности (Виноградов М.И., 1969; Косилов С.А., 1965; Карпман В.Л., 1974; Аулик И.В., 1977; Astrand P., 1954; Lehman G., 1967; и др.), по мнению ряда специалистов, нередко носят односторонний характер и не всегда учитывают при этом функциональное состояние организма и эффективность труда.

С учетом изложенного, В.П. Загрядский и А.С. Егоров (1971) предложили определять работоспособность как способность человека совершать конкретную деятельность в рамках заданных параметров времени и эффективности труда. При этом оценивать работоспособность следует по критериям профессиональной деятельности и состояния функций организма, другими словами, с помощью прямых и косвенных ее показателей.

Развивая дальше эти представления и проводя многочисленные обследования специалистов различного профиля деятельности, И.А. Сапов, А.С. Солодков, В.С. Щеголев и В.И. Кулешов (1976, 1986) внесли некоторые дополнения в определение работоспособности человека и, главное, уточнили характер прямых показателей, обосновали и предложили небольшой комплекс информативных косвенных констант, ввели количественный интегральный показатель для оценки работоспособности. Под последней авторы понимают ***способность человека выполнять в заданных параметрах и конкретных условиях профессиональную деятельность, сопровождающуюся обратимыми***

(в сроки регламентированного отдыха) функциональными изменениями в организме.

Адаптируя приведенное выше определение работоспособности к практике спорта, следует указать, что прямые показатели у спортсменов позволяют оценивать их спортивную деятельность как ***с количественной*** (метры, секунды, килограммы, очки и т.д.), так и с ***качественной*** (надежность и точность выполнения конкретных физических упражнений) стороны. С этой точки зрения все методики исследования прямых показателей работоспособности подразделяются на количественные, качественные и комбинированные. С помощью комбинированных методик исследования можно оценивать как производительность, так надежность и точность спортивной деятельности.

К косвенным критериям работоспособности относят различные клинико-физиологические, биохимические и психофизиологические показатели, характеризующие изменения функций организма в процессе работы. Другими словами, ***косвенные критерии работоспособности представляют собой реакции организма на определенную нагрузку и указывают на то, какой физиологической ценой для человека обходится эта работа,*** т.е. чем, например, организм спортсмена расплачивается за достигнутые секунды, метры, килограммы и т.д. Кроме этого установлено, что косвенные показатели работоспособности в процессе труда ухудшаются значительно раньше, чем ее прямые критерии. Это дает основание использовать различные физиологические методики для прогнозирования работоспособности человека, а также для выяснения механизмов адаптации к конкретной профессиональной деятельности, оценке развития утомления и анализа других функциональных состояний организма.

При оценке работоспособности и функционального состояния человека необходимо также учитывать его субъективное состояние (усталость), являющееся довольно информативным показателем. Ощущая усталость, человек снижает темп работы или вовсе прекращает ее. Этим самым предотвращается функциональное истощение различных органов и систем и обеспечивается возможность быстрого восстановления работоспособности человека. А.А. Ухтомский считал ощущение усталости одним из наиболее чувствительных показателей снижения работоспособности и развития утомления: «Так называемые субъективные показания столь же объективны, как и всякие другие для того, кто умеет их понимать и расшифровывать. Физиолог более чем

кто-либо знает, что за всяким субъективным переживанием кроется физико-химическое событие в организме» (Ухтомский А.А., Собр. соч. – Л., 1952. Т. 3. – С. 134).

Обобщенные данные по оценке работоспособности человека с учетом его субъективного и функционального состояния, прямых и косвенных показателей работоспособности представлены в табл. 6, составленной И.А. Саповым, А.С. Солодковым, В.С. Щеголевым и В.И. Кулешовым (1986). Располагая такими данными и сопоставляя их с фактически наблюдаемыми сдвигами у человека в период любой его деятельности, можно с достаточной достоверностью судить о динамике работоспособности, утомления и переутомления и при необходимости рекомендовать проведение соответствующих оздоровительных мероприятий.

6.2. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Определение уровня физической работоспособности у человека осуществляется путем применения тестов с максимальными и субмаксимальными мощностями физических нагрузок. Все тесты, о которых в дальнейшем пойдет речь, хорошо и подробно изложены в специальных пособиях (Карпман В.Л. с соавт., 1988; Аулик И.А., 1990; и др.)

В данном разделе будут изложены лишь общие принципы тестирования и их физиологическая характеристика.

В тестах с максимальными мощностями физических нагрузок испытуемый выполняет работу с прогрессивным увеличением ее мощности до истощения (до отказа). К числу таких проб относят тест Vita Maxima, тест Новакки и др. Применение этих тестов имеет и определенные недостатки: во-первых, пробы небезопасны для испытуемых и потому должны выполняться при обязательном присутствии врача; во-вторых, момент произвольного отказа – критерий очень субъективный и зависит от мотивации испытания и других факторов.

Тесты с субмаксимальной мощностью нагрузок осуществляются с регистрацией физиологических показателей во время работы или после ее окончания. Тесты данной группы технически проще, но их показатели зависят не только от проделанной работы, но и от особенностей восстановительных процессов. К их числу относятся хорошо известные пробы С.П. Летунова, Гарвардский степ-тест, PWC_{170}, тест Мастера и др. Принципиальная осо-

Таблица 6

Схема оценки работоспособности

Периоды работоспособности	Субъективное состояние	Клинико-физиологические показатели	Психо-физиологические показатели	Профессиональная работоспособность	Функциональное состояние организма	Степень снижения работоспособности по интегральному критерию
Врабатывание	Улучшается	Улучшаются	Улучшаются	Улучшается	Нормальное состояние – утомление	До 16%
Стабильная работо-способность	Хорошее	Устойчивость показателей	Устойчивость показателей	Сохраняется на стабильном уровне		
Неустойчивая работо-способность	Ухудшается	Разнонаправленные сдвиги вегетативных функций. Ухудшение показателей функциональных проб	Разнонаправ-ленные сдвиги показателей; некоторые константы не изменяются	Незначитель-ное снижение	Переходное состояние – хроническое утомление	16–19%
Прогресси-рующее снижение работо-способности	Постоянное ощущение усталости, не проходящее после дополни-тельного отдыха	Однонаправленное ухудшение всех показателей, величины которых могут выходить за пределы физиологических колебаний. При функциональных пробах – значительное снижение показателей, а также появление атипичных реакций	Однонаправленное ухудшение всех показателей. Признаки неврастенических состояний	Выраженное снижение, появление грубых ошибок в работе	Патологи-ческое состояние – переутомление	Более 19%

бенность этих проб заключается в том, что между мощностью мышечной работы и длительностью ее выполнения имеется обратно пропорциональная зависимость, и с целью определения физической работоспособности для таких случаев построены специальные номограммы.

В практике физиологии труда, спорта и спортивной медицины наиболее широкое распространение получило тестирование физической работоспособности по ЧСС. Это объясняется в первую очередь тем, что ЧСС является легко регистрируемым физиологическим параметром. Не менее важно и то, что ЧСС линейно связана с мощностью внешней механической работы, с одной стороны, и количеством потребляемого при нагрузке кислорода, – с другой.

Анализ литературы, посвященной проблеме определения физической работоспособности по ЧСС, позволяет говорить о следующих подходах. Первый, наиболее простой, заключается в измерении ЧСС при выполнении физической работы какой-то определенной мощности (например, 1000 кГм/мин). Идея тестирования физической работоспособности в данном случае состоит в том, что выраженность учащения сердцебиения обратно пропорциональна физической подготовленности человека, т.е. чем чаще сердечный ритм при нагрузке такой мощности, тем ниже работоспособность человека, и наоборот.

Второй подход состоит в определении той мощности мышечной работы, которая необходима для повышения ЧСС до определенного уровня. Такой подход является наиболее перспективным, но он технически более сложен и требует серьезного физиологического обоснования.

Сложности физиологического обоснования такого подхода к тестированию физической работоспособности обусловлены несколькими моментами: возможными предпатологическими изменениями сердечно-сосудистой системы; различными типами кровообращения, при которых одинаковое кровоснабжение мышц может обеспечиваться различной величиной ЧСС; неодинаковой физиологической ценой учащения сердечной деятельности при физических нагрузках, определяемой так называемым законом исходных величин, и т.д.

Среди спортсменов эти различия в значительной степени сглаживаются сходством возраста, хорошим здоровьем, тенденцией к брадикардии в покое, расширением функциональных резервов сердечно-сосудистой системы и возможностей их использования

при физических нагрузках. Это обстоятельство, по-видимому, определило использование в современном спорте теста PWC_{170} (PWC – это первые буквы английского термина «физическая работоспособность» – Physical Working Capacity), который ориентирован на достижение определенной ЧСС (170 сердечных сокращений в 1 минуту).

Испытуемому предлагается выполнение на велоэргометре или в степ-тесте двух 5-минутных нагрузок умеренной мощности с интервалом 3 мин, после которых измеряют ЧСС.

Расчет показателя PWC_{170} производится по следующей формуле:

$$PWC_{170} = W_1 + (W_2 - W_1)\frac{170 - f}{f_2 - f_1},$$

где W_1 и W_2 – мощность первой и второй нагрузки; f_1 и f_2 – ЧСС в конце первой и второй нагрузки.

В настоящее время считается общепринятым, что ЧСС, равная 170 уд./мин, с физиологической точки зрения характеризует собой начало оптимальной рабочей зоны функционирования кардиореспираторной системы, а с методической – начало выраженной нелинейности на кривой зависимости ЧСС от мощности физической работы. Существенным физиологическим доводом в пользу выбора уровня ЧСС в данной пробе служит и тот факт, что при частоте пульса больше 170 уд./мин рост минутного объема крови если и происходит, то уже сопровождается относительным снижением систолического объема крови.

Проба PWC_{170} рекомендована Всемирной организацией здравоохранения для оценки физической работоспособности человека. Перспективы использования этой пробы в спорте очень широки, так как принцип ее пригоден для определения как общей, так и специальной работоспособности спортсменов.

Широко распространенной пробой также является разработанный в США Гарвардский степ-тест. Этот тест рассчитан на оценку работоспособности у здоровых молодых людей, так как от исследуемых лиц требуется значительное напряжение. Гарвардский тест заключается в подъемах на ступеньку высотой 50 см для мужчин и 40 см для женщин в течение 5 минут в темпе 30 подъемов в 1 мин (2 шага в 1 с).

После окончания работы в течение 30 секунд второй минуты восстановления подсчитывают количество ударов пульса и вычисляют индекс Гарвардского степ-теста (ИГСТ) по формуле:

$$\text{ИГСТ} = \frac{\text{продолжительность работы (с)} \times 100}{5{,}5 \times \text{число ударов пульса}}.$$

Более точно можно рассчитать ИГСТ, если пульс считать 3 раза – в первые 30 секунд 2-й, 3-й и 4-й минут восстановления; в этом случае ИГСТ вычисляют по формуле:

$$\text{ИГСТ} = \frac{t \times 100}{(f_1 + f_2 + f_3) \times 2},$$

где t – время восхождения на ступеньку (с); f_1, f_2, f_3 – число пульсовых ударов за 30 секунд 2-й, 3-й и 4-й минут восстановления.

Оценку работоспособности проводят по табл. 7.

Одним из распространенных и точных методов является определение физической работоспособности по величине максимального потребления кислорода (МПК). Этот метод высоко оценивает Международная биологическая программа, которая рекомендует для оценки физической работоспособности использовать информацию о величине аэробной производительности.

Как известно, величина потребляемого мышцами кислорода эквивалентна производимой ими работе. Следовательно, потребление организмом кислорода возрастает пропорционально мощности выполняемой работы. МПК характеризует собой то предельное количество кислорода, которое может быть использовано организмом в единицу времени.

Аэробная возможность (аэробная мощность) человека определяется прежде всего максимальной для него скоростью потребления кислорода. Чем выше МПК, тем больше (при прочих равных условиях) абсолютная мощность максимальной аэробной нагрузки. ***МПК зависит от двух функциональных систем: кислородтранспортной системы*** (органы дыхания, кровь, сердечно-сосудистая система) ***и системы утилизации кислорода,*** главным образом – мышечной.

Таблица 7

Оценка физической работоспособности по индексу Гарвардского степ-теста (по: И.В. Аулик, 1979)

ИГСТ	Оценка
До 55	Слабая
56–64	Ниже средней
65–79	Средняя
80–89	Хорошая
90 и более	Отличная

Максимальное потребление кислорода может быть определено с помощью максимальных проб (прямой метод) и субмаксимальных проб (непрямой метод). Для определения ***МПК прямым методом*** используются чаще всего велоэргометр или тредбан и газоанализаторы. При применении прямого метода от испытуемого требуется желание выполнить работу до отказа, что не всегда достижимо. Поэтому было разработано несколько ***методов непрямого определения МПК,*** основанных на линейной зависимости МПК и ЧСС при работе определенной мощности. Эта зависимость выражается графически на соответствующих номограммах.

В дальнейшем обнаруженная взаимосвязь была описана простым линейным уравнением, широко используемым с научно-прикладными и учебными целями для нетренированных лиц и спортсменов скоростно-силовых видов спорта:

$$\text{МПК} = 1{,}7 \times \text{PWC}_{170} + 1240 .$$

Для определения МПК у высококвалифицированных спортсменов циклических видов спорта В.Л. Карпман (1987) предложил следующую формулу:

$$\text{МПК} = 2{,}2 \times \text{PWC}_{170} + 1070 .$$

По мнению автора, и PWC_{170}, и МПК примерно в равной степени характеризуют физическую работоспособность человека: коэффициент корреляции между ними очень высок (0,7–0,9 по данным различных авторов), хотя взаимосвязь этих показателей и не носит строго линейного характера. Тем не менее названные константы могут быть рекомендованы в практических целях для анализа тренировочного процесса.

6.3. СВЯЗЬ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ С НАПРАВЛЕННОСТЬЮ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА В СПОРТЕ

Определение физической работоспособности по тесту PWC_{170} широко вошло в практику спортивной физиологии и медицины. В связи с этим повысилась актуальность вопроса о диагностическом и прогностическом значении теста – в какой мере этот неспецифический показатель может быть использован для поиска оптимального тренировочного процесса спортсменов различной специализации.

К настоящему времени имеется достаточное количество исследований по этому вопросу. В общей форме ответ наметился

уже при анализе антропометрических данных спортсменов, которые довольно тесно сопряжены с направленностью тренировочного процесса. Так, В.Л. Карпман и соавторы (1988) высказали предположение (и подтвердили его простыми формулами для боксеров и борцов) о линейной зависимости между массой тела и абсолютными величинами PWC_{170}. Вместе с тем они отметили, что относительные значения (в расчете на 1 кг веса) с нарастанием массы тела даже имеют тенденцию к снижению, по-видимому, за счет увеличения жировой ткани (баскетболисты, ватерполисты). А наибольшие относительные величины PWC_{170} наблюдаются у спортсменов, тренирующих качество выносливости.

Для борцов и боксеров В.Л. Карпман с соавторами (1988) предложил следующие формулы:

$$PWC_{170}\ (\text{для боксеров}) = 15{,}0\,P + 300,$$

$$PWC_{170}\ (\text{для борцов}) = 19{,}0\,P + 50,$$

где P – масса тела.

Возможно, спортивная практика и подтверждает такую закономерность, но раскрыть физиологическую сущность ее с помощью данных формул не представляется возможным.

Выяснено, что спортсмены скоростно-силовой группы (борцы, боксеры, гимнасты) отстают по показателям PWC_{170} и МПК даже от менее квалифицированных лыжников, гребцов, футболистов. Физическая работоспособность высококвалифицированных лыжников выше, чем бегунов, как в обычных условиях, так и в «климатической» камере при температуре +40°С, а затем на «высоте» 3000 м.

Универсальная зависимость ЧСС от мощности работы позволяет в циклических видах спорта оценивать специальную работоспособность по сдвигам ЧСС в определенном диапазоне (методом телепульсометрии) и по скорости перемещения спортсмена.

Необходимо также коснуться одной методической стороны теста PWC_{170}, которая обозначалась и при анализе собственного материала и на которую, по нашему мнению, пока обращается недостаточное внимание. Это – вопрос о специфичности для спортсмена самой тестовой нагрузки. Очевидно, что работа на тредбане или велоэргометре будет более привычной (и более экономной) для велосипедистов, бегунов, лыжников, чем для спортсменов других специализаций. Возможно, что с этим частично связаны и упоминавшиеся уже различия параметров физической работоспособности между группой боксеров, борцов, гимнастов и группой лыжников, гребцов, футболистов. Некоторые авторы

считают общепринятый тест PWC_{170} недостаточно информативным для ряда видов спорта и предлагают раздельное выполнение нагрузки как ногами, так и руками, указывая что соотношение физической работоспособности нижних и верхних конечностей претерпевает существенные возрастные изменения.

6.4. РЕЗЕРВЫ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Актуальность данного раздела обусловлена тем, что современные высшие спортивные достижения невозможны без максимального напряжения физических и духовных сил человека. Следовательно, знание этих закономерностей необходимо как тренеру, физиологу и спортивному врачу, так и самому спортсмену.

Общефизиологическое значение этой проблемы состоит в том, что на примере спортивной деятельности она раскрывает значение пластичности нервной системы как для реакций срочной адаптации, так и для формирования сложных функциональных систем долговременного значения (И.П. Павлов, Л.А. Орбели, П.К. Анохин). Если при этом учесть высказанную еще И.М. Сеченовым мысль об универсальности мышечного сокращения, как важнейшего жизненного акта, то становится очевидным, что проблема резервов физической работоспособности сопряжена со многими фундаментальными законами общей физиологии человека.

Наиболее важной характеристикой резервных возможностей организма является адаптационная сущность, эволюционно выработанная способность организма выдерживать большую, чем обычно нагрузку (Бресткин М.П., 1968). Исследование физической работоспособности спортсмена (особенно высшей квалификации) дает уникальный фактический материал для оценки и анализа функций организма в зоне видовых предельных напряжений. Поэтому можно считать, что лимитирующими факторами физической работоспособности спортсмена являются индивидуальные пределы использования им своих структурно-функциональных резервов различных органов и систем. В табл. 8 (данные различных авторов) представлены основные сведения по характеристике функциональных резервов при физической работе разной мощности. Из материалов этой таблицы следует, что основными резервами являются функциональные возможности ЦНС, нервно-мышечного аппарата, кардиореспираторной системы, метаболические и биоэнергетические процессы. Очевидно, что при различных мощностях работы и в разных видах спорта степень участия этих систем будет неодинаковой.

Таблица 8

Функциональные резервы при физической работе различной мощности

Мощность работы				Авторы
максимальная	субмаксимальная	большая	умеренная	
Гликолиз, АТФ, КрФ; резервы нервно-мышечной системы	Буферные системы, нейрогуморальная регуляция функций по поддержанию гомеостаза	Резервы кардио-респираторной системы, глюкозы, аэробных процессов и гомеостаза	Резервы водно-солевого обмена, глюкозы; глюконеогенез, использование жиров	Мозжухин А.С., 1979
Запасы АТФ и КрФ	Аэробно-анаэробный обмен, глюкоза	Аэробно-анаэробный обмен, гликоген мышц	Аэробный обмен; глюкоза крови, запасы гликогена	Степочкина Н.А., 1984
Анаэробный обмен; запасы АТФ и КрФ	Анаэробный обмен, потребление кислорода	Усиление функций кардио-респираторной системы, аэробный обмен	Аэробный обмен, ограниченные энерготраты	Фомин Н.А., 1984
Фосфагенная энергетическая система	Аэробно-анаэробный обмен, резервы кардио-респираторной системы	Аэробно-анаэробный обмен, запасы глюкозы и гликогена	Резервы глюкозы, гликогена; использование жиров; емкость окислительной системы	Коц Я.М., 1986
Алактатный энергетический резерв	Лактатный энергетический резерв	Резервы аэробно-анаэробного обмена	Резервы окислительного фосфорилирования, использование жиров	Калинин В.М., 1992

При работе ***максимальной мощности*** из-за ее кратковременности главным энергетическим резервом являются анаэробные процессы (запас АТФ и КрФ, анаэробный гликолиз, скорость ресинтеза АТФ), а функциональным резервом – способность нервных центров поддерживать высокий темп активности, сохраняя необходимые межцентральные взаимосвязи. При этой работе мобилизуются и расширяются резервы силы и быстроты.

При работе ***субмаксимальной мощности*** биологически активные вещества нарушенного метаболизма в большом количестве поступают в кровь. Действуя на хеморецепторы сосудов и тканей, они рефлекторно вызывают максимальное повышение функций сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Еще большему повышению системного артериального тонуса способствуют вазодилятаторы гипоксического происхождения, способствующие одновременно увеличению капиллярного кровотока.

Функциональными резервами при работе субмаксимальной мощности являются буферные системы организма и резервная щелочность крови – важнейшие факторы, тормозящие нарушение гомеостаза в условиях гипоксии и интенсивного гликолиза; дальнейшее усиление работы кардиореспираторной системы. Значимым остается гликолитический вклад в биоэнергетику работающих мышц и выносливость нервных центров к интенсивной работе в условиях недостатка кислорода.

При работе ***большой мощности*** физиологические резервы в общем те же, что и при субмаксимальной работе, но первостепенное значение имеют следующие факторы: поддержание высокого (около предельного) уровня работы кардиореспираторной системы; оптимальное перераспределение крови; резервы воды и механизмов физической терморегуляции. Ряд авторов энергетическими резервами такой работы считают не только аэробные, но и анаэробные процессы, а также метаболизм жиров.

При работе ***умеренной мощности*** резервами служат пределы выносливости ЦНС, запасы гликогена и глюкозы, а также жиры и процессы глюконеогенеза, интенсивно усиливающиеся при стрессе. К важным условиям длительного обеспечения такой работы относят резервы воды и солей и эффективность процессов физической терморегуляции.

Общие сведения о резервных возможностях различных звеньев системы транспорта кислорода представлены в табл. 9, из которой видно, что наибольшим (двадцатикратным) резервом адаптации обладает система внешнего дыхания. Но даже при таких функциональных возможностях она может вносить определенный вклад в ограничение физической работоспособности спортсмена.

Аппарат кровообращения занимает особое место, поскольку является основным лимитирующим звеном транспорта кислорода. Кроме того, сердечно-сосудистая система служит тонким индикатором цены адаптации организма к различным факторам

Таблица 9

Предельные сдвиги в висцеральных системах при мышечной работе
(по: В.П. Загрядскому, З.К. Сулимо-Самуйлло, 1976)

Показатели	В покое	При физической работе	Кратность изменений
Частота сердечных сокращений, уд./мин	70	220	3
Артериальное давление систолическое, мм рт. ст.	120	200	2
Артериальное давление диастолическое, мм рт. ст.	80	40	2
Артериальное давление пульсовое	40	160	4
Ударный объем крови, мл	60	180	3
Минутный объем крови, л	4,5	40	8
Артериовенозная разница по кислороду, об. %	4	16	4
Частота дыхания в мин.	10	60	6
Глубина дыхания, л	0,5	5	10
Минутный объем дыхания, л	6	120	20
Потребление кислорода, л/мин	0,25	5	20
Выделение углекислого газа, л/мин	0,2	4	20

внешней среды и к физическим нагрузкам. Об этой же ее роли свидетельствуют формирование так называемого «спортивного сердца» и участившиеся в последнее время предпатологические и патологические изменения функции сердца при высоких спортивных нагрузках. К числу таких изменений можно отнести нарушения сердечного ритма, возникновение синдрома дистрофии миокарда вследствие физического перенапряжения и другие сдвиги.

В табл. 10 показано, что сердечно-сосудистая система обладает мощным резервом перераспределения кровотока, и по его суммарной мощности на первом месте стоит скелетная мускулатура.

Среди всех органов и тканей мышцы занимают главенствующее положение по своему влиянию на центральную гемодинамику. Это объясняется большой массой скелетных мышц (около 40% массы тела) и их способностью к быстрому изменению уровня функциональной активности в широких пределах: в состоянии покоя кровоток в поперечно-полосатых мышцах составляет 15–20% от минутного объема крови (МОК), а при тяжелой работе он может достигать 80–85% от МОК.

Таблица 10

Распределение кровотока в покое и при физических нагрузках различной интенсивности
(по: Н.М. Амосову и Н.А. Брендету, 1975)

Органы	Покой		Физическая нагрузка					
			легкая		средняя		тяжелая	
	мл/мин	%	мл/мин	%	мл/мин	%	мл/мин	%
Органы брюшной полости	1400	24	1100	12	600	3	300	1
Почки	1100	19	900	10	600	3	250	1
Мозг	750	13	750	8	750	4	750	3
Сердце	250	4	350	4	750	4	1000	4
Скелетная мускулатура	1200	21	4500	47	12 500	71	22 000	88
Кожа	500	9	1500	15	1900	12	600	2
Другие органы	600	10	400	4	300	3	100	1
Итого	**5800**	**100**	**9500**	**100**	**17 500**	**100**	**25 000**	**100**

В нашу задачу не входил анализ биохимических основ физической работоспособности спортсменов. Этой проблеме посвящены многие работы биохимиков спорта. Но есть два биохимических аспекта, без которых невозможно рассматривать физиологические резервы работоспособности человека. Первый – биоэнергетическое обеспечение мышечного сокращения, которое выступает в роли резервного фактора при нагрузке различной мощности и направленности физической работы. Второй аспект – регулирующая роль метаболитов, образующихся при мышечной деятельности, которые являются пусковым звеном (через хеморецепторы) централизации кровообращения, препятствующей нарушению тонуса сосудов. Сдвиги биохимических констант при напряженной мышечной работе (метаболический ацидоз, гипоксия и гипоксемия, гиперкапния) являются также важнейшими факторами рефлекторной и гуморальной регуляции различных звеньев кардиореспираторной системы, включая дыхательный и сосудодвигательный центры.

Все перечисленное выше функциональные резервы физической работоспособности должны рассматриваться не изолированно, а во временной, динамической взаимосвязи. Поэтому построение и тренировочного процесса, и восстановительных мероприятий, и реабилитации должно быть тоже динамическим и комплексным, учитывающим разнообразие адаптивных пере-

строек в организме спортсмена при физических нагрузках и закономерную последовательность их включения и функционирования на всех этапах его жизнедеятельности.

7. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УТОМЛЕНИЯ СПОРТСМЕНОВ

Теоретическое и практическое значение проблемы утомления определяется тем, что ее закономерности являются физиологической основой работоспособности человека и научной организации труда. Это прежде всего предполагает приведение условий труда человека в соответствие с его психофизиологическими возможностями.

7.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ РАЗВИТИЯ УТОМЛЕНИЯ

Утомление является важнейшей проблемой физиологии спорта и одним из наиболее актуальных вопросов медико-биологической оценки тренировочной и соревновательной деятельности спортсменов. Знание механизмов утомления и стадий его развития позволяет правильно оценить функциональное состояние и работоспособность спортсменов и должно учитываться при разработке мероприятий, направленных на сохранение здоровья и достижение высоких спортивных результатов.

К настоящему времени имеется около 100 определений понятия утомления и ряд теорий его происхождения. Обилие формулировок само по себе указывает на еще недостаточное знание этого сложного явления и его механизмов. С физиологической точки зрения, утомление ***является функциональным состоянием организма, вызванным умственной или физической работой, при котором могут наблюдаться временное снижение работоспособности, изменение функций организма и появление субъективного ощущения усталости*** (Солодков А.С., 1978). Исходя из этого, принято выделять два основных вида утомления – физическое и умственное, хотя такое деление достаточно условно.

Таким образом, ***главным и объективным признаком утомления человека является снижение его работоспособности.*** Однако понижение работоспособности не всегда является симптомом утомления. Работоспособность может снизиться вследствие

пребывания человека в неблагоприятных условиях (высокая температура и влажность воздуха, пониженное парциальное давление кислорода во вдыхаемом воздухе и др.). С другой стороны, длительная работа с умеренным напряжением может протекать на фоне выраженного утомления, но без снижения производительности. Следовательно, снижение работоспособности является признаком утомления только тогда, когда известно, что оно наступило вследствие конкретно выполненной физической или умственной работы. При утомлении работоспособность снижается временно, она быстро восстанавливается при ежедневном обычном отдыхе. Состояние утомления имеет свою динамику – усиливается во время работы и уменьшается в процессе отдыха (активного, пассивного и сна). Утомление можно рассматривать как естественное ***нормальное функциональное состояние организма*** в процессе труда.

Другим важным критерием оценки утомления является изменение функций организма в период работы. При этом в зависимости от степени утомления функциональные сдвиги могут носить различный характер. В начальной стадии утомления клинико-физиологические и психофизиологические показатели отличаются неустойчивостью и ***разнонаправленным*** характером изменений, однако их колебания, как правило, не выходят за пределы физиологических нормативов. При хроническом утомлении, и особенно переутомлении, имеет место ***однонаправленное*** значительное ухудшение всех функциональных показателей организма с одновременным снижением уровня профессиональной деятельности человека (Солодков А.С., 1978, 1990).

Процесс утомления характеризуется и еще одним признаком – субъективным симптомом, усталостью (тяжесть в голове, конечностях, общая слабость, разбитость, вялость, недомогание, трудность выполнения работы и т.д.). А.А. Ухтомский усмотрел в усталости не только субъективный признак наличия развивающегося утомления, но и нечто другое и большее, что имеет весьма важное практическое значение. Он считал, что усталость является одновременно и «натуральным предупредителем утомления». Ощущая усталость, человек снижает темп работы или вовсе ее прекращает. Этим самым предотвращается «функциональное истощение» корковых клеток и обеспечивается возможность быстрого восстановления работоспособности человека. Автор считал ощущение усталости одним из наиболее чувствительных показателей утомления.

Однако выраженность усталости не всегда соответствует степени утомления, т.е. объективным прямым и косвенным показателям работоспособности. В основе этого несоответствия в первую очередь лежит разная эмоциональная настройка работающего на выполняемую работу. При выполнении приятной или социально значимой работы, при высокой мотивации работающего, усталость не возникает у него в течение длительного времени. Наоборот, при бесцельной, неинтересной работе усталость может возникнуть, когда объективно утомление или вовсе еще не наступило, или выраженность его далеко не соответствует степени усталости.

Следовательно, ***один и тот же признак утомления является информативным только в конкретных условиях деятельности и при определенном состоянии организма.*** Поэтому для констатации утомления в каждом виде работы целесообразно использовать особый набор прямых и косвенных показателей, адекватный для данного вида труда.

Настойчивые попытки многих исследователей проникнуть в тайны физиологических механизмов состояния утомления привели к накоплению обширного экспериментального материала. На основе этих данных было создано много гипотез и теорий, но в настоящее время в качестве самостоятельных они могут выступать только в историческом аспекте. К их числу следует отнести теорию истощения энергетических ресурсов в мышцах Шиффа (1868), теорию засорения мышц продуктами обмена Пфлюгера (1872), теорию отравления метаболитами Вейхарда (1902) и теорию задушения (вследствие недостатка кислорода) Ферворна (1903). Все эти так называемые ***локально-гуморальные теории*** не полностью вскрывают механизмы утомления, так как в качестве его основной причины рассматривают лишь местные изменения в мышечной ткани, и частные сдвиги принимаются за общие процессы. Однако каждая из этих теорий правильно отражала одну из многих сторон сложного процесса утомления.

Наиболее распространенная в нашей стране ***центрально-нервная теория утомления,*** сформулированная И.М. Сеченовым в 1903 году, всесторонне развитая и дополненная А.А. Ухтомским, связывает возникновение утомления только с деятельностью нервной системы, в частности, коры больших полушарий. При этом предполагалось, что основой механизма утомления является ослабление основных нервных процессов в коре головного мозга, нарушение их уравновешенности с относительным преобладанием

процесса возбуждения над более ослабленным процессом внутреннего торможения и развитием охранительного торможения.

Однако современные электрофизиологические и биохимические методы исследования и полученные на их основе экспериментальные данные не позволяют свести причины утомления к изменениям в каком-то одном органе или системе органов, в том числе нервной системе. Следовательно, приписывать возникновение первичного утомления какой-либо одной системе неправомерно. В зависимости от состояния функций организма и характера деятельности человека первичное возникновение утомления вариативно и может наблюдаться в различных органах и системах организма.

Мышечная работа связана с вовлечением в деятельность многих органов и формированием в организме специальной функциональной системы адаптации, обеспечивающей конкретную деятельность человека. Поэтому на снижение работоспособности влияет возникновение функциональных изменений не только в нервной системе, но и в других рабочих звеньях – скелетных мышцах, органах дыхания, кровообращения, системе крови, железах внутренней секреции и др. Таким образом, ***согласно современным представлениям о физическом утомлении, оно связано, во-первых, с развитием функциональных изменений во многих органах и системах, во-вторых, с различным сочетанием деятельности органов и систем, ухудшение функций которых наблюдается при том или ином виде физических упражнений.*** Поэтому создание общей теории о физиологических механизмах утомления не может основываться на отдельных системах организма и должно учитывать все многообразие и вариативность характера сдвигов функций, обусловливающих ту или иную деятельность человека. В зависимости от характера работы, ее напряженности и продолжительности ведущая роль в развитии утомления может принадлежать различным функциональным системам.

Итак, ***утомление является нормальной физиологической реакцией организма на работу.*** С одной стороны, оно служит очень важным для работающего человека фактором, так как ***препятствует крайнему истощению организма,*** переходу его в патологическое состояние, ***являясь сигналом необходимости прекратить работу и перейти к отдыху.*** Наряду с этим, утомление играет существенную роль, способствуя тренировке функций организма, их совершенствованию и развитию. С другой сто-

роны, ***утомление ведет к снижению работоспособности спортсменов, к неэкономичному расходованию энергии и уменьшению функциональных резервов организма***. Эта сторона утомления является невыгодной, нарушающей длительное выполнение спортивных нагрузок.

7.2. ФАКТОРЫ УТОМЛЕНИЯ И СОСТОЯНИЕ ФУНКЦИЙ ОРГАНИЗМА

Основным фактором, вызывающим утомление, является физическая или умственная нагрузка, падающая на афферентные системы во время работы. Зависимость между величиной нагрузки и степенью утомления почти всегда бывает линейной, то есть чем больше нагрузка, тем более выраженным и ранним является утомление. Помимо абсолютной величины нагрузки, на характере развития утомления сказывается еще и ряд ее ***особенностей,*** среди которых следует выделить: статический или динамический характер нагрузки, постоянный или периодический ее характер и интенсивность нагрузки.

Наряду с основным фактором (рабочей нагрузкой), ведущим к утомлению, существует ***ряд дополнительных или способствующих факторов.*** Эти факторы сами по себе не ведут к развитию утомления, однако, сочетаясь с действием основного, способствуют более раннему и выраженному наступлению утомления.

К числу дополнительных факторов можно отнести:

• факторы внешней среды (температура, влажность, газовый состав, барометрическое давление и др.);

• факторы, связанные с нарушением режимов труда и отдыха;

• факторы, обусловленные изменением привычных суточных биоритмов, и выключение сенсорных раздражений;

• социальные факторы, мотивация, взаимоотношения в команде и др.

Субъективные и объективные признаки утомления весьма многообразны, и их выраженность в значительной мере зависит от характера выполняемых упражнений и психофизиологических особенностей человека. К ***субъективным признакам утомления*** относится чувство усталости, общее или локальное. При этом появляются боли и чувство онемения в конечностях, пояснице, мышцах спины и шеи, желание прекратить работу или изменить ее ритм и др.

Еще более разнообразными являются ***объективные признаки.*** При любом виде утомления детальное обследование может

обнаружить изменения в характере функционирования любой системы организма, начиная от двигательной, сердечно-сосудистой и центральной нервной систем и кончая такими, казалось бы не связанными с непосредственной работой системами, как пищеварительная и выделительная. Такое многообразие изменений отражает закономерности функционирования организма как единого целого и характеризует непосредственные реакции обеспечения функциональной нагрузки, а также адаптационные и компенсаторные сдвиги.

При утомлении со стороны ***центральной нервной системы*** отмечаются нарушение межцентральных взаимосвязей в коре головного мозга, ослабление условно-рефлекторных реакций, неравномерность сухожильных рефлексов, а при переутомлении – развитие неврозоподобных состояний.

Изменения ***сердечно-сосудистой и дыхательной систем*** характеризуются тахикардией, лабильностью артериального давления, неадекватными реакциями на дозированную физическую нагрузку, некоторыми электрокардиографическими сдвигами. Кроме того, снижается насыщение артериальной крови кислородом, учащается дыхание и ***ухудшается легочная вентиляция,*** которая при переутомлении может существенно уменьшаться.

В ***крови*** снижается количество эритроцитов и гемоглобина, отмечается лейкоцитоз, несколько угнетается фагоцитарная активность лейкоцитов и уменьшается количество тромбоцитов. При переутомлении иногда отмечают болезненность и увеличение печени, нарушение белкового и углеводного обмена.

Однако все эти изменения не возникают одновременно и не развиваются в одном и том же направлении. Их динамика определяется рядом закономерностей; лишь обнаружив эти закономерности, можно не только понять ход развития утомления, но и дать правильную оценку состоянию человека и активно противодействовать развивающемуся утомлению.

Изменения возникают в первую очередь в тех органах и системах, которые непосредственно осуществляют выполнение спортивной деятельности. При физической работе – это мышечная система и двигательный анализатор. Одновременно изменения могут появляться в тех системах и органах, которые обеспечивают функционирование этих основных работающих систем – дыхательной, сердечно-сосудистой, крови и др. С другой стороны, может быть и такое положение, когда уже имеет место снижение функций организма (основных и обеспечиваю-

щих систем), а спортивная работоспособность еще сохраняется на высоком уровне. Это зависит от морально-волевых качеств спортсмена, мотивации и др.

Изменения в некоторых системах, не связанных непосредственно с обеспечением выполнения специальных упражнений, при утомлении имеют принципиально иной генез и либо являются вторичными, имеющими общий, неспецифический характер, либо имеют регуляторное или компенсаторное значение, то есть направлены на сбалансирование функционального состояния организма. Из сказанного становится очевидным, что ***ведущее значение в развитии явлений утомления имеет центральная нервная система,*** обеспечивающая интеграцию всех систем организма, регуляцию и приспособление этих систем во время работы. Возникшие в процессе утомления изменения функционального состояния центральной нервной системы отражают таким образом двойственный процесс – изменения, связанные с перестройкой функционирования регулируемых систем, и сдвиги, возникающие в связи с процессом утомления в самих нервных структурах.

Утомление динамично по своей сущности и в своем развитии имеет несколько последовательно возникающих признаков. ***Первый признак возникновения утомления при физической работе – нарушение автоматичности рабочих движений. Второй признак,*** который наиболее четко может быть установлен, – ***нарушение координации движений. Третий признак – значительное напряжение вегетативных функций при одновременном падении производительности работы, а затем и нарушение самого вегетативного компонента.*** При выраженных степенях утомления новые, мало усвоенные двигательные навыки могут угаснуть полностью. При этом очень часто растормаживаются старые, более прочные навыки, не соответствующие новой обстановке. В спортивной практике это может служить причиной возникновения различных срывов, травм и т.д.

7.3. ОСОБЕННОСТИ УТОМЛЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Один из основных признаков утомления – снижение работоспособности, которая в процессе выполнения различных физических упражнений изменяется по разным причинам; поэтому и физиологические механизмы развития утомления неодинако-

вы. Они обусловлены мощностью работы, ее длительностью, характером упражнений, сложностью их выполнения и пр.

При выполнении циклической ***работы максимальной мощности*** основной причиной снижения работоспособности и развития утомления является ***уменьшение подвижности основных нервных процессов в ЦНС*** с преобладанием торможения вследствие большого потока эфферентной импульсации от нервных центров к мышцам и афферентных импульсов от работающих мышц к центрам. ***Разрушается рабочая система взаимосвязанной активности корковых нейронов.*** Кроме того, ***в нейронах падает уровень содержания АТФ и креатинфосфата,*** и в структурах мозга повышается содержание тормозного медиатора – гамма-аминомасляной кислоты. Существенное значение в развитии утомления при этом имеет изменение функционального состояния самих мышц, снижение их возбудимости, лабильности и скорости расслабления.

При циклической ***работе субмаксимальной мощности ведущими причинами утомления являются угнетение деятельности нервных центров и изменения внутренней среды организма.*** Причина этого – ***большой недостаток кислорода,*** вследствие которого ***развивается гипоксемия,*** снижается pH крови, в 20–25 раз увеличивается содержание молочной кислоты в крови. Кислородный долг достигает максимальных величин – 20–22 л. Недоокисленные продукты обмена веществ, всасываясь в кровь, ухудшают деятельность нервных клеток. Напряженная деятельность нервных центров осуществляется на фоне кислородной недостаточности, что и приводит к быстрому развитию утомления.

Циклическая ***работа большой мощности приводит к развитию утомления вследствие дискоординации моторных и вегетативных функций.*** На протяжении нескольких десятков минут должна поддерживаться весьма напряженная работа сердечно-сосудистой и дыхательной систем для обеспечения интенсивно работающего организма необходимым количеством кислорода. При этой работе кислородный запрос несколько превышает потребление кислорода, и кислородный долг достигает 12–15 л. Суммарный расход энергии при такой работе очень велик, при этом расходуется до 200 г глюкозы, что приводит к некоторому ее снижению в крови. Происходит также уменьшение в крови гормонов некоторых желез внутренней секреции (гипофиза, надпочечников).

Длительность выполнения циклической работы умеренной мощности приводит к развитию охранительного торможения в ЦНС, истощению энергоресурсов, напряжению функций кислородтранспортной системы, желез внутренней системы и изменению обмена веществ. ***В организме снижаются запасы гликогена, что ведет к уменьшению содержания глюкозы в крови.*** Значительная потеря организмом воды и солей, изменение их количественного соотношения, нарушение терморегуляции также ведут к понижению работоспособности и возникновению утомления у спортсменов. В механизме развития утомления при длительной физической работе могут играть определенную роль изменения белкового обмена и снижение функций желез внутренней секреции. При этом в крови снижается концентрация глюко- и минералкортикоидов, катехоламинов и гормонов щитовидной железы. Вследствие этих изменений, а также в результате длительного влияния монотонных афферентных раздражений в нервных центрах возникает торможение. Угнетение деятельности этих центров приводит к снижению эффективности регуляции движений и нарушению их координации. При длительном выполнении работы в разных климатических условиях развитие утомления, кроме того, может быть ускорено нарушением терморегуляции.

При различных видах ***ациклических движений*** механизмы развития утомления также неодинаковы. В частности, при выполнении ***ситуационных упражнений, при разных формах работы переменной мощности*** большие нагрузки испытывают ***высшие отделы головного мозга и сенсорные системы,*** так как спортсменам необходимо постоянно анализировать изменяющуюся ситуацию, программировать свои действия и осуществлять переключение темпа и структуры движений, что и приводит к развитию утомления. В некоторых видах спорта (например, футболе) существенная роль принадлежит недостаточности кислородного обеспечения и развитию кислородного долга. При выполнении гимнастических упражнений и в единоборствах, утомление развивается вследствие ***ухудшения пропускной способности мозга и снижения функционального состояния мышц*** (уменьшается их сила и возбудимость, снижается скорость сокращения и расслабления). При ***статической*** **работе** основными причинами утомления являются ***непрерывное напряжение нервных центров и мышц,*** выключение деятельности менее устойчивых мышечных волокон и большой поток афферентных и эфферентных импульсов между мышцами и моторными центрами.

7.4. ПРЕДУТОМЛЕНИЕ, ХРОНИЧЕСКОЕ УТОМЛЕНИЕ И ПЕРЕУТОМЛЕНИЕ

В последние десятилетия выдвинуто представление о предутомлении, или скрытом утомлении, под которым понимается ***наличие при работе существенных функциональных изменений со стороны некоторых органов и систем, но компенсированных другими функциями, вследствие чего работоспособность человека сохраняется на прежнем уровне.*** Такая трактовка начальных явлений утомления вполне оправдана. Действительно при выполнении некоторых циклических упражнений (легкая атлетика, бег на коньках и лыжах, велогонки, плавание) при неизменной скорости движения отмечается учащение темпа и уменьшение длины шага (гребка). Снижение же скорости передвижения начинается лишь тогда, когда учащение темпа уже не компенсирует уменьшение шага или когда темп также начинает урежаться. При этом важно подчеркнуть, что учащение темпа и уменьшение шага возникает задолго до того времени, когда для спортсмена становится невозможным сохранять исходные величины этих показателей. Аналогично этому поддержание необходимого рабочего уровня минутного объема дыхания (и соответственно, потребления кислорода) возможно за счет повышения частоты дыхания, компенсирующего понижение глубины дыхания в начальные моменты утомления (рис. 27). Следовательно, такие рано возникающие изменения носят профилактический характер, они направлены на предупреждение или задержку развития утомления и свидетельствуют о совершенстве регуляции различных органов и систем.

Таким образом, ***развитие скрытого утомления обусловлено изменениями координации двигательных и вегетативных функций без снижения эффективности работы.*** В физиологическом механизме возникновения этой стадии утомления важная роль принадлежит условным рефлексам и развитию экстраполяции. Благодаря им хорошо тренированный человек значительно лучше использует функциональные резервы организма для смены форм координации двигательных и вегетативных функций с целью предотвращения или отсрочки развития утомления.

Иногда скрытую стадию утомления еще называют компенсированной, а при существенно выраженных признаках утомления – декомпенсированной формой (Моногаров В.Д., 1986). Такая классификация утомления, на наш взгляд, является не-

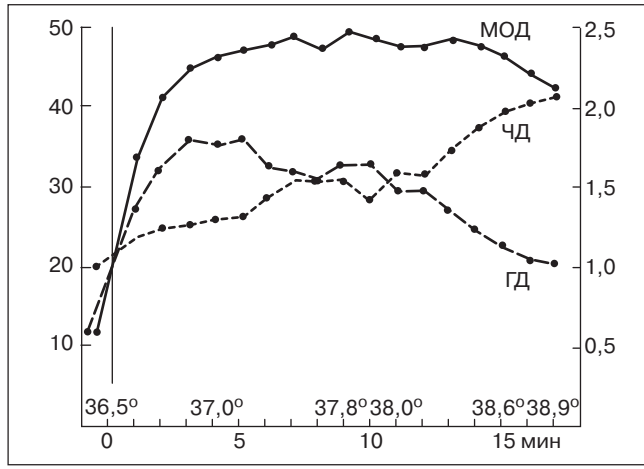


Рис. 27. Изменения минутного объема дыхания (МОД), частоты дыхания (ЧД) и глубины дыхания (ГД) в процессе бега:
по абсциссе: время, мин; цифры сверху – температура тела;
по ординате: слева – МОД, л/мин, и ЧД, вд./мин, справа – ГД, л

удачной как по форме, так и по содержанию. ***Утомление – это нормальная реакция организма на работу.*** Компенсация и особенно декомпенсация функций – это совокупность реакций организма на патологические процессы, на повреждения в органах и системах. Соединение нормального функционального состояния организма с патологическими его проявлениями некорректно и теряет всякий физиологический смысл как в теоретическом плане, так и особенно при разработке практических мероприятий по предупреждению развития утомления. Поэтому наиболее целесообразно выделять просто утомление (без каких-либо определений) как нормальное функциональное состояние организма во время работы, признаки которого полностью исчезают после обычного (регламентированного) отдыха. При длительной или интенсивной работе, нарушении режимов труда и отдыха симптомы утомления кумулируются, и оно может переходить в ***хроническое утомление и переутомление*** (Солодков А.С., 1978).

Хроническое утомление – ***пограничное функциональное состояние организма, которое характеризуется сохранением к началу очередного трудового цикла субъективных и объективных признаков утомления от предыдущей работы, для ликвидации которых необходим дополнительный отдых.*** Хроническое утомление возникает во время длительной работы

при нарушении режимов труда и отдыха. Основными субъективными признаками его являются ощущение усталости перед началом работы, быстрая утомляемость, раздражительность, неустойчивое настроение; объективно при этом отмечается выраженное изменение функций организма, значительное снижение спортивных результатов и появление ошибочных действий.

При хроническом утомлении необходимый уровень спортивной работоспособности может поддерживаться лишь кратковременно за счет повышения биологической цены и быстрого расходования функциональных резервов организма. Для ликвидации неблагоприятных изменений функций организма и сохранения спортивной работоспособности необходимо устранить нарушения режимов тренировок и отдыха и предоставить спортсменам дополнительный отдых. При несоблюдении этих мероприятий хроническое утомление может перейти в переутомление.

Переутомление – ***патологическое состояние организма, которое характеризуется постоянным ощущением усталости, вялостью, нарушением сна и аппетита, болями в области сердца и других частях тела.*** Для ликвидации этих симптомов ***дополнительного отдыха недостаточно,*** требуется специальное лечение. Наряду с перечисленными объективными признаками переутомления проявляются резкие изменения функций организма, часть которых выходит за пределы нормальных колебаний: потливость, одышка, снижение массы тела, расстройства внимания и памяти, атипичные реакции на функциональные пробы, которые часто не доводятся до конца.

Главный объективный критерий переутомления – резкое снижение спортивных результатов и появление грубых ошибок при выполнении специальных физических упражнений. Спортсмены с признаками переутомления должны быть отстранены от тренировок и соревнований и подвергнуты медицинской коррекции.

Осуществленная в последние годы физиологами труда (Сапов И.А., Солодков А.С., Щеголев В.С., 1986) ***количественная оценка работоспособности*** различных специалистов позволила установить, что ***снижение прямых и косвенных ее показателей до 15% (по сравнению с исходными) свидетельствует о развитии в организме явлений утомления, 16–19% – о наличии хронического утомления, а снижение на 20% и более – о возникновении переутомления.***

8. ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Восстановительные процессы – важнейшее звено работоспособности спортсмена. Способность к восстановлению при мышечной деятельности является естественным свойством организма, существенно определяющим его тренируемость. Поэтому скорость и характер восстановления различных функций после физических нагрузок являются одним из критериев оценки функциональной подготовленности спортсменов.

8.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Во время мышечной деятельности в организме спортсменов происходят связанные друг с другом анаболические и катаболические процессы, при этом диссимиляция преобладает над ассимиляцией. В соответствии с концепцией академика В. А. Энгельгардта (1953), всякая реакция расщепления вызывает или усиливает в организме реакции ресинтеза, которые после прекращения трудовой деятельности ведут к преобладанию процессов ассимиляции. В это время восполняются израсходованные при тренировочной и соревновательной работе энергоресурсы, ликвидируется кислородный долг, удаляются продукты распада, нормализуются нейроэндокринные, анимальные и вегетативные системы, стабилизируется гомеостаз. ***Вся совокупность происходящих в этот период физиологических, биохимических и структурных изменений, которые обеспечивают переход организма от рабочего уровня к исходному (доработочему) состоянию, и объединяется понятием*** восстановление.

При характеристике восстановительных процессов следует исходить из учения И.П. Павлова о том, что процессы истощения и восстановления в организме (деятельном органе) тесно связаны между собой и с процессами возбуждения и торможения в ЦНС. Это положение полностью подтверждено экспериментальными исследованиями Г.В. Фольборта (1951), в которых была установлена тесная связь между процессами истощения и восстановления функциональных потенциалов в работающем органе. Показано также, чем больше энергетические траты во время работы, тем интенсивнее процессы их восстановления. Но если истощение функциональных потенциалов в процессе работы пре-

вышает оптимальный уровень, то полного восстановления не происходит. В этом случае физическая нагрузка вызывает дальнейшее угнетение процессов клеточного анаболизма. При несоответствии реакций обновления в клетках катаболическим процессам в организме могут возникать структурные изменения, ведущие к расстройству функций и даже повреждению клеток.

После окончания физических нагрузок в организме человека некоторое время сохраняются функциональные изменения, присущие периоду спортивной деятельности, и лишь затем начинают осуществляться основные восстановительные процессы, которые носят неоднородный характер. Важно подчеркнуть, что ***вследствие функциональных и структурных перестроек, осуществляющихся в процессе восстановления, функциональные резервы организма расширяются и наступает*** сверхвосстановление (суперкомпенсация).

Процессы восстановления различных функций в организме могут быть разделены на три отдельных периода.

К первому (рабочему) периоду ***относят те*** восстановительные реакции, которые осуществляются уже в процессе самой мышечной работы ***(восстановление АТФ, креатинфосфата, переход гликогена в глюкозу и ресинтез глюкозы из продуктов ее распада – глюконеогенез). Рабочее восстановление поддерживает нормальное функциональное состояние организма и допустимые параметры основных гомеостатических констант в процессе выполнения мышечной нагрузки.***

Рабочее восстановление имеет различный генез в зависимости от напряженности мышечной работы. При выполнении умеренной нагрузки поступление кислорода к работающим мышцам и органам покрывает кислородный запрос организма, и ресинтез АТФ осуществляется аэробным путем. Восстановление в этих случаях протекает при оптимальном уровне окислительно-восстановительных процессов. Такие условия наблюдаются при малоинтенсивных тренировочных нагрузках, а также на отдельных участках бега на длинные дистанции, который характеризуется истинным устойчивым состоянием. Однако при ускорении, а также в состоянии «мертвой точки» аэробный ресинтез дополняется анаэробным обменом.

Смешанный характер ресинтеза АТФ и креатинфосфата по ходу работы свойственен упражнениям, лежащим в зоне большой мощности. При выполнении работы максимальной и субмаксимальной мощности возникает резкое несоответствие между

возможностями рабочего восстановления и скоростью ресинтеза фосфагенов. Это одна из причин быстрого развития утомления при этих видах нагрузок.

Второй (ранний) период восстановления наблюдается ***непосредственно после окончания работы легкой и средней тяжести в течение нескольких десятков минут*** и характеризуется восстановлением ряда уже названных показателей, а также нормализацией кислородной задолженности, гликогена, некоторых физиологических, биохимических и психофизиологических констант.

Раннее восстановление лимитируется главным образом временем ***погашения кислородного долга. Погашение алактатной части кислородного долга*** происходит довольно быстро, в течение нескольких минут, и связано с ресинтезом АТФ и креатинфосфата. ***Погашение лактатной части кислородного долга*** обусловлено скоростью окисления молочной кислоты, уровень которой при длительной и тяжелой работе увеличивается в 20–25 раз по сравнению с исходным, а ликвидация этой части долга происходит в течение 1,5–2 часов.

Третий (поздний) период ***восстановления отмечается после длительной напряженной работы*** (бег на марафонские дистанции, многокилометровые лыжные и велосипедные гонки) и ***затягивается на несколько часов и даже суток.*** В это время нормализуется большинство физиологических и биохимических показателей организма, удаляются продукты обмена веществ, восстанавливаются водно-солевой баланс, гормоны и ферменты. Эти процессы ускоряются правильным режимом тренировок и отдыха, рациональным питанием, применением комплекса медико-биологических, педагогических и психологических реабилитационных средств.

8.2. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Как и любой процесс, происходящий в организме, восстановление регулируется двумя основными механизмами – нервным (за счет условных и безусловных рефлексов) и гуморальным. Одни авторы (Смирнов К.М., 1970) указывали на ведущую роль нервной регуляции при восстановлении, другие (Виру А.А., 1988; Волков В.М., 1990) сообщали о доминирующем влиянии гуморальной. По мнению последних, именно накопление продуктов

обмена веществ и гормональные изменения в процессе физических нагрузок определяют скорость, интенсивность и продолжительность восстановительных процессов.

Можно полагать, что в данном случае дело обстоит несколько иначе. Прежде всего следует иметь в виду, что в целостном организме, особенно во время ответственной и напряженной работы и после ее окончания, отделять один механизм от другого нельзя. ***В любом периоде восстановления (рабочем, раннем, позднем) регуляция этого процесса осуществляется при участии как нервного, так и гуморального механизмов.*** Вместе с тем очевидно, что на разных этапах деятельности человека их роль неодинакова.

Нервный механизм регуляции, как более быстрый, прежде всего направляет и осуществляет восстановление в период самой деятельности и в раннем периоде восстановления. С помощью нервного механизма преимущественно регулируется нормализация внутренней среды организма, главным образом через сердечно-сосудистую и дыхательную системы (доставка кислорода, питательных веществ, удаление продуктов обмена).

Более медленный ***гуморальный механизм регуляции*** обеспечивает прежде всего восстановление водно-солевого обмена, запасов глюкозы и гликогена, а также ферментов и гормонов. Однако еще раз подчеркиваем, что в процессе трудовой и спортивной деятельности человека регуляция органов, систем и их функций в целом осуществляется только совместным, нервно-гуморальным путем.

Во время работы и после ее окончания нервно-гуморальный механизм регулирует, с одной стороны, процессы освобождения и мобилизации энергии, что принято считать ***эрготропным*** направлением регуляции, а с другой – процессы, усиливающие анаболизм, т.е. ***трофотропное*** направление регуляции (Королев Л.А., 1977).

Многочисленные наблюдения за ходом восстановления различных функций организма спортсменов выявили некоторые особенности в регуляции этих реакций. При изучении функций гемодинамики в периоде раннего восстановления после спортивных нагрузок отчетливо прослеживались своеобразные соотношения адренэргических и холинэргических влияний на регуляцию сердечно-сосудистой системы. Так, относительно быстрое восстановление частоты сердечных сокращений, ударного объема крови и времени систолы указывает на преимущественно адренэргические влияния. Более медленно регулировались и нор-

мализовывались артериальное кровяное давление, время диастолы, тонус мышечных артерий и периферическое сопротивление кровотоку. Такие особенности на данном этапе восстановления обеспечивают своеобразную экономизацию метаболических процессов, выражающуюся в общем снижении потребления кислорода и аккумуляции лактата (холинэргическое влияние).

Наблюдаемая заметная ***вариативность восстановления зависит также от индивидуальных особенностей спортсменов, уровня их тренированности и характера мышечной работы.*** Для наиболее быстрого и полного восстановления, свойственного тренированным людям, характерна ускоренная перестройка регуляции в трофотропном направлении. Ускорение этого перехода обусловлено снижением тонуса симпатического отдела и повышением тонуса парасимпатического отдела вегетативной иннервации в процессе систематических тренировок.

В ходе специальных исследований установлено, что ***в фазе раннего восстановления около 50% составляют эрготропные реакции,*** на долю трофотропных реакций приходится примерно 20%, 30% принадлежат смешанному направлению регуляции. ***В фазе позднего восстановления более половины составляют трофотропные процессы,*** что, по-видимому, является метаболической базой для образования в организме «структурного следа» долговременной адаптации.

Как и всякие системы с обратной связью, восстановительные процессы вследствие функциональных и структурных перестроек приводят к ***супервосстановлению.*** Это явление составляет одну из важнейших физиологических основ тренировки, которое, расширяя функциональные резервы организма, обеспечивает рост силы, быстроты и выносливости.

8.3. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

В настоящее время большинство исследователей (Луговцев В.П., 1988; Волков В.М., 1990; Солодков А.С., 1990; и др.) сводят ***основные физиологические закономерности восстановительных процессов*** к следующему: их неравномерности, гетерохронности, фазовому характеру восстановления работоспособности, избирательности восстановления и ее тренируемости.

1. Неравномерность восстановительных процессов впервые была установлена А. Хиллом (1926) при анализе

ликвидации кислородной задолженности организма. Автор показал, что сразу после окончания работы восстановление идет быстро, а затем скорость его снижается и наблюдается фаза медленного восстановления. В последующем было показано, что наличие двух фаз восстановления отмечается, как правило, после тяжелой физической работы. После умеренных нагрузок погашение кислородного долга носит однофазный характер, т.е. наблюдается только фаза быстрого восстановления.

Факт неравномерного восстановления в дальнейшем был отмечен в динамике показателей сердечно-сосудистой системы, органов дыхания, нервно-мышечного аппарата, картины периферической крови и обмена веществ. Тщательный анализ этих данных привел к заключению о том, что физиологические константы организма восстанавливаются на различных этапах последействия с разной скоростью. Этот факт составляет принципиальную особенность после рабочих функциональных сдвигов, которую следует учитывать при регламентации режимов труда и отдыха и при выборе тактики применения различных средств рекреации.

2. В основе гетерохронности восстановления лежит принцип саморегуляции, свидетельствующий в данном случае о том, что неодновременное протекание различных восстановительных процессов обеспечивает наиболее оптимальную деятельность целостного организма. В частности, многолетний опыт наблюдений за спортсменами показывает, что сразу после окончания физических нагрузок восстанавливаются алактатная фаза кислородного долга и фосфагены. Через несколько минут отмечается нормализация пульса, артериального давления, ударного и минутного объемов крови, скорости кровотока, то есть тех показателей, которые обеспечивают восстановление лактатной фазы кислородного долга. Спустя несколько часов после нагрузок восстанавливаются показатели внешнего дыхания, глюкоза и гликоген. Обмен веществ, периферическая кровь, водно-солевой баланс, ферменты и гормоны восстанавливаются через несколько суток. Таким образом, в различные временные интервалы восстановительного периода функциональное состояние организма неоднозначно. Это следует принимать во внимание, планируя характер нагрузок и реабилитационные мероприятия.

3. Следующей особенностью после рабочих изменений является фазность восстановления, которая, в частности, выражается в изменении уровня работоспособности.

В динамике восстановления работоспособности различают три фазы:

• сразу после напряженной работы наблюдается тенденция к восстановлению до исходного уровня, что соответствует ***фазе пониженной работоспособности;*** повторные нагрузки в этот период вырабатывают ***выносливость;***

• в дальнейшем восстановление продолжает увеличиваться, наступает сверхвосстановление, соответствующее ***фазе повышенной работоспособности;*** повторные нагрузки в эту фазу повышают ***тренированность;***

• восстановление до исходного уровня соответствует ***фазе исходной работоспособности;*** повторные нагрузки в это время мало эффективны и лишь ***поддерживают состояние тренированности*** (рис. 28).

4. Различный характер деятельности человека оказывает избирательное влияние на отдельные функции организма, на разные стороны энергетического обмена. Избирательность восстановительных процессов подчиняется этим же закономерностям. Понимание избирательного характера тренировочных и соревновательных нагрузок, а также избирательного характера восстановления позволяет целенаправленно и эффективно управлять двигательным аппаратом, вегетативными функциями и энергетическим обменом.

Избирательность восстановительных процессов после тренировочных и соревновательных нагрузок определяется и характером энергообеспечения. После работы преимущественно аэроб-

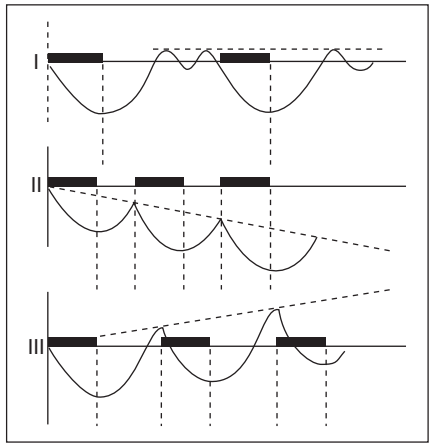


Рис. 28. Значение восстановительных процессов в изменении работоспособности:
черные прямоугольники – период работы, горизонтальная линия – исходный уровень работоспособности;
I – поддерживание исходной работоспособности при длительных интервалах отдыха;
II – снижение работоспособности при недостаточном восстановлении;
III – повышение работоспособности при повторной работе в период суперкомпенсации

ной направленности восстановительные процессы показателей внешнего дыхания, фазовой структуры сердечного цикла, функциональной устойчивости к гипоксии происходят медленнее, чем после нагрузок анаэробного характера. Такая особенность прослеживается как после отдельных тренировочных занятий, так и после недельных микроциклов.

5. Развитие и совершенствование долговременной адаптации во время тренировок к физическим нагрузкам проявляется на разных этапах спортивной деятельности (врабатывание, устойчивая работоспособность), а также и в период восстановления. Восстановительные процессы, происходящие в различных органах и системах, подвержены тренируемости. Другими словами, в ходе развития адаптированности организма к нагрузкам восстановительные процессы улучшаются, повышается их эффективность. У нетренированных лиц восстановительный период удлинен, а фаза сверхвосстановления выражена слабо. У высококвалифицированных спортсменов отмечаются непродолжительный период восстановления и более значительные явления суперкомпенсации.

Таким образом, анализ физиологических закономерностей восстановительных процессов свидетельствует не только об определенном теоретическом интересе, но и существенном прикладном значении. Важная роль медико-биологических особенностей восстановления и их реализация в практике тренировочной деятельности будут способствовать достижению высоких спортивных результатов, правильному применению реабилитационных мероприятий и самое главное – сохранению здоровья спортсменов.

8.4. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

В настоящее время все мероприятия, направленные на ускорение восстановительных процессов, делят на педагогические, психологические, медицинские и физиологические. Первые три вида достаточно хорошо известны и отражены в литературе, по поводу же физиологических мероприятий ясности нет. Конечно, в какой-то мере они взаимосвязаны с медицинскими и другими мероприятиями, но имеют и свои особенности. Что же такое физиологические мероприятия по ускорению процессов восстановления? Их теоретическое обоснование

построено на представлениях о физиологических закономерностях спортивной деятельности и функциональных резервах организма. ***Они включают в себя контроль за состоянием функций организма, динамикой работоспособности и утомления в период тренировки и соревнований, а также мобилизацию и использование функциональных резервов организма для ускорения восстановления. Интегральным критерием оценки эффективности восстановительных процессов является уровень общей и специальной работоспособности.***

Все восстановительные физиологические мероприятия могут быть разделены на ***постоянные и периодические.***

Мероприятия первой группы проводятся с целью профилактики неблагоприятных функциональных изменений, сохранения и повышения неспецифической резистентности и физиологических резервов организма, предупреждения развития раннего утомления и переутомления спортсменов. К таким мероприятиям относятся рациональный режим тренировок и отдыха, сбалансированное питание, дополнительная витаминизация, закаливание, общеукрепляющие физические упражнения, оптимизация эмоционального состояния. Эти мероприятия достаточно хорошо известны, реализуются в спортивной практике и не требуют дополнительного обоснования.

Мероприятия второй группы осуществляются по мере необходимости с целью мобилизации резервных возможностей организма для поддержания, экстренного восстановления и повышения работоспособности спортсменов. К мероприятиям этой группы относят различные воздействия на биологически активные точки, вдыхание чистого кислорода при нормальном и повышенном атмосферном давлении (гипербарическая оксигенация), гипоксическую тренировку, массаж, применение тепловых процедур, ультрафиолетовое облучение, а также использование биологических стимуляторов и адаптогенов, не относящихся к допингам, пищевых веществ повышенной биологической активности и некоторые другие.

Часть мероприятий этой группы апробирована и внедрена в практику спорта, в отношении других (особенно фармакологических средств) следует говорить пока с определенной осторожностью. Во-первых, отдельные вещества, не относившиеся ранее к допингам, начинают причислять к последним, а во-вторых, систематическое применение некоторых препаратов может приводить к истощению резервных возможностей организма, сниже-

нию его неспецифической устойчивости и возникновению ряда патологических состояний.

Из числа биологически активных веществ, рекомендуемых для ускорения восстановительных процессов и повышения работоспособности, наибольшее распространение получили растительные стимуляторы и адаптогены (женьшень, элеутерококк, левзея, китайский лимонник, заманиха и др.). Они характеризуются широким диапазоном действия, низкой токсичностью, возможностью использования их как в качестве тонизирующих и стимулирующих средств при выполнении ответственных работ, так и с целью ускорения адаптации, повышения общей неспецифической резистентности организма и улучшения восстановительных процессов.

В экстренных случаях можно рекомендовать препараты стимулирующего действия, которые быстро снимают усталость, ускоряют восстановление пластических и энергетических процессов и повышают работоспособность; положительное действие при этом появляется лишь на фоне выраженного утомления. К числу таких препаратов относят сиднокарб, биметил, пироцетам, олифен и актовит. Они восстанавливают функциональное состояние путем срочной мобилизации сохранившихся резервных возможностей организма. Следует иметь в виду, что длительное применение подобных веществ без дополнительного отдыха может приводить к возникновению нежелательных изменений в организме. Поэтому непременным условием достижения благоприятного эффекта является правильный выбор курса приема, а также индивидуализация дозировки в зависимости от функционального состояния организма и характера спортивной деятельности.

Контроль за восстановлением функций организма и работоспособности – довольно трудная задача, для решения которой требуются подготовленные специалисты, необходимое аппаратурное обеспечение и условия для проведения исследований. Однако существуют рекомендации по использованию более простых методических приемов. В частности, для оценки эффективности восстановления при занятиях оздоровительными физическими упражнениями Е.Г. Мильнер (1985) рекомендует использовать пульсометрию или ортостатическую пробу. Если при ежедневном подсчете частоты пульса утром после сна лежа его колебания не превышают 2–4 уд./мин, можно полагать, что нагрузка адекватна функциональным возможностям организма и восстановительные процессы протекают нормально. При выполнении ортостатиче-

ской пробы в этих условиях (подсчет пульса лежа и после медленного вставания) принято считать, что разница пульсовых ударов менее 16 свидетельствует о хорошем восстановлении, при разнице 16–18 ударов – восстановительные процессы удовлетворительные, и если частота сердечных сокращений повысилась на 18 уд./мин и более – это говорит о переутомлении и неполном восстановлении. Существуют и другие аналогичные рекомендации.

Совершенно очевидно, что некоторые из названных физиологических восстановительных мероприятий используются педагогами, психологами и спортивными врачами, что, во-первых, характеризует восстановление как комплексную проблему, а во-вторых, говорит о том, что физиологические закономерности функционирования организма должны учитываться и учитываются различными специалистами. В заключение отметим, что проблема восстановления в спорте состоит в дальнейшем изыскании и разработке наиболее эффективных реабилитационных средств и особенно в научном обосновании системы их применения.

РАЗДЕЛ II
ЧАСТНАЯ СПОРТИВНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

К разделу частной спортивной физиологии, как уже указывалось выше, относятся физиологическая классификация физических упражнений, характеристика двигательных качеств и навыков и особенности функционального состояния и работоспособности лиц разного возраста и пола в особых условиях внешней среды. Важной физиологической особенностью этого раздела является также рассмотрение механизмов и закономерностей функционирования организма при специфической профессиональной деятельности спортсменов с учетом их тренированности и генетической обусловленности.

9. ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ

Физические упражнения – это двигательная деятельность, с помощью которой решаются задачи физического воспитания: образовательная, воспитательная и оздоровительная.

Физические упражнения чрезвычайно многообразны. Для их классификации невозможно применить один-единственный

критерий. Этим объясняется наличие различных систем физиологической классификации по разным критериям, положенным в их основу.

9.1. РАЗЛИЧНЫЕ КРИТЕРИИ КЛАССИФИКАЦИИ УПРАЖНЕНИЙ

В связи с многообразием физических упражнений, различными их формами и физиологическими механизмами в основу классификации положены разные критерии.

Среди них выделяют следующие основные критерии:

• ***энергетические*** – классифицирующие упражнения по преобладающим источникам энергии (аэробные и анаэробные) и по уровню энерготрат (единичные – ккал в 1 с, суммарные – на всю выполненную работу);

• ***биомеханические*** – отличающиеся по структуре движений упражнения циклические, ациклические и смешанные;

• ***ведущего физического качества*** – упражнения силовые, скоростные, скоростно-силовые, упражнения на выносливость, координационные или сложно-технические;

• ***предельного времени работы*** – подразделяющие упражнения по зонам относительной мощности.

Предлагали также классифицировать упражнения по отношению мощности энерготрат к основному обмену (Seliger V., 1972); учитывали взаимодействие со спортивным снарядом и человека с человеком (Фомин В.С., 1985); классифицировали виды спорта по соотношению интенсивности статической и динамической работы и степени опасности для здоровья (Mitchell at al., 1985). Выделяли также две группы спортивных упражнений: 1) связанные с предельными физическими нагрузками и развитием физических качеств и 2) технические, требующие специальных психофизиологических качеств, – автомотоспорт, санный, парусный, парашютный, конный спорт, дельтапланеризм и др. (Коц Я.М., 1986). Существует также ряд педагогических классификаций упражнений, которые здесь не приводятся.

Классификация по энергетическим критериям рассматривает подразделение спортивных упражнений по преобладающему источнику энергии: анаэробные алактатные (осуществляемые за счет энергии фосфагенной системы – АТФ и КрФ), анаэробные лактатные (за счет энергии гликолиза – распада углеводов с образованием молочной кислоты) и аэробные (за счет энергии окисления углеводов и жиров). Соотношение аэробных и анаэробных источников энергии зависит от длительности работы (табл. 11).

Таблица 11

Соотношение анаэробных и аэробных источников энергии (%) при различной длительности физических упражнений
(по: P. Astrand et al., 1970; И.В. Аулик, 1979)

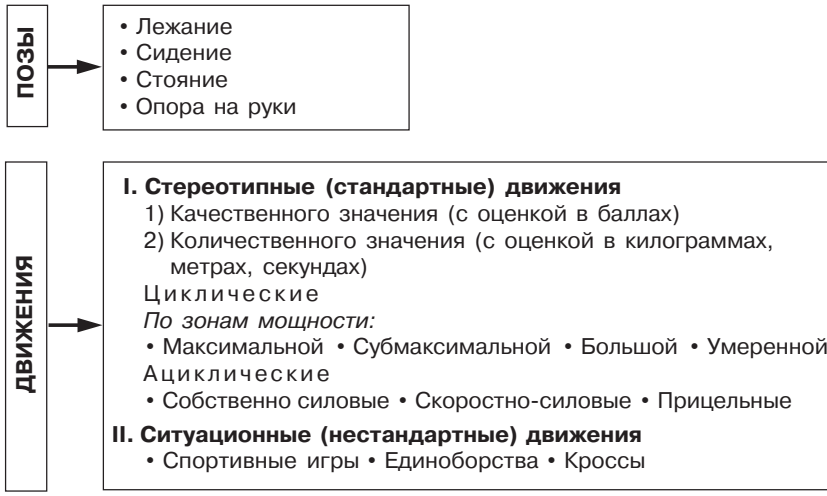
Путь энергопродукции	Продолжительность работы							
	10 с	1 мин	2 мин	4 мин	10 мин	30 мин	1 ч	2 ч
Анаэробный	85	70	50	30	10	5	2	1
Аэробный	15	30	50	70	90	95	98	99

При классификации по уровню энерготрат выделяют упражнения по величине суммарных и единичных затрат энергии. С увеличением длины дистанции суммарные энерготраты растут, а единичные снижаются.

9.2. СОВРЕМЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ

Общепринятой в настоящее время считается классификация физических упражнений, предложенная В.С. Фарфелем (1970). В этой системе в силу многообразия и разнохарактерности физических упражнений применены различные критерии классификации (см. схему классификации).

Схема физиологической классификации упражнений в спорте (по В.С. Фарфелю, 1970)



Все спортивные упражнения разделены первоначально на позы и движения. Затем все движения подразделены по критерию стандартности на стандартные или стереотипные (с повторяющимся порядком действий) и нестандартные или ситуационные (спортивные игры и единоборства). Стандартные движения разбиты на две группы по характеру оценки спортивного результата – на упражнения качественного значения (с оценкой в баллах – гимнастика, фигурное катание, прыжки в воду и др.) и количественного значения (с оценкой в килограммах, метрах, секундах). Из последних выделены упражнения с разной структурой – ациклические и циклические. Среди ациклических упражнений выделены собственно силовые (тяжелая атлетика), скоростно-силовые (прыжки, метания) и прицельные (стрельба).

Циклические упражнения по предельному времени работы разделены по зонам относительной мощности – максимальной мощности (продолжающиеся до 10–30 с), субмаксимальной (от 30–40 с до 3–5 мин), большой (от 5–6 мин до 20–30 мин) и умеренной мощности (от 30–40 мин до нескольких часов). При этом учитывалось, что физическая нагрузка не равна физиологической нагрузке на организм человека, а основной величиной, характеризующей физиологическую нагрузку, является предельное время выполнения работы. Анализ спортивных рекордов на различных дистанциях у бегунов, конькобежцев, пловцов и др. позволил построить логарифмическую зависимость между логарифмом интенсивности энерготрат (и соответственно скорости прохождения дистанций) и логарифмом предельного времени работы. На графике этой зависимости выделились четыре различных участка: 1) с наивысшей скоростью (около 10 м/с) – зона максимальной мощности; 2) со скоростью близкой к максимальной (с резким падением скорости в диапазоне от 10 до 7 м/с) – зона субмаксимальной мощности; 3) с более медленным падением скорости (7–6 м/с); 4) зона с новым резким падением скорости (до 5 м/с и менее) – зона умеренной мощности.

9.3. ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПОРТИВНЫХ ПОЗ И СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Двигательная деятельность человека проявляется в поддержании позы и выполнении моторных актов.

Поза – ***закрепление частей скелета в определенном положении.*** При этом обеспечивается ***поддержание заданного угла*** или необходимого ***напряжения мышц.***

При сохранении позы скелетные мышцы осуществляют две формы механической реакции – тонического напряжения (пока возможно достаточно стабильное сохранение позы) и фазных (тетанических) сокращений (для коррекции позы при ее заметных отклонениях от заданного положения и при больших усилиях).

Основные позы, которые сопровождают спортивную деятельность, – это лежание (плавание, стрельба), сидение (гребля, авто-, вело- и мотоспорт, конный спорт и др.), стояние (тяжелая атлетика, борьба, бокс, фехтование и др.), с опорой на руки (висы, стойки, упоры). При лежании усилия мышц минимальны, сидение требует напряжения мышц туловища и шеи, стояние – из-за высокого положения общего центра масс и малой опоры – значительных усилий антигравитационных мышц-разгибателей задней поверхности тела. Наиболее сложными являются позы с опорой на руки. В ***позах «вис» и «упор»*** координация менее сложна, но требуются большие усилия мышц (например, упор руки в сторону на кольцах). Наибольшую сложность представляют ***стойки*** (например, стойка на кистях). В этом случае требуется не только большая сила мышц рук, но и хорошая координация при малой опоре и необычном положении вниз головой, которое вызывает у нетренированных лиц значительный приток крови к голове и массивную афферентную импульсацию от смещенных внутренних органов и от вестибулярного аппарата.

Правильная организация позы имеет большое значение для двигательной деятельности. Она является ***основой любого движения,*** обеспечивая ***опору работающим мышцам,*** выполняя ***фиксацию суставов*** в нужные моменты (например, при отталкивании ног от опоры при ходьбе). Закрепляя тело человека в вертикальном положении, она осуществляет ***антигравитационную функцию,*** помогая преодолеть силу земного притяжения и противодействуя падению. Поддержание сложных поз (например, при выполнении на одной ноге высокого равновесия на полупальцах в художественной гимнастике) в неподвижном положении или при движении обеспечивает ***сохранение равновесия*** тела.

Позы, как и движения, могут быть ***произвольными и непроизвольными.*** Произвольное управление позой осуществляется корой больших полушарий. После автоматизации многие позные реакции могут осуществляться непроизвольно, без участия сознания. В организации непроизвольных поз участвуют условные

и безусловные рефлексы. Специальные статические и статокинетические рефлексы поддержания позы (установочные рефлексы) происходят с участием продолговатого и среднего мозга.

Различают рабочую позу, обеспечивающую текущую деятельность, и предрабочую позу, которая необходима для подготовки к предстоящему действию. Поза может быть ***удобной*** (и тогда работоспособность человека повышается) и ***неудобной,*** при которой эффективность работы снижается. Например, при стендовой стрельбе в положении стоя опытные спортсмены так распределяют нагрузку на части скелета, что на ЭМГ наблюдается минимальная активность мышц туловища. Это позволяет спортсменам длительное время стоять без утомления. В то же время у менее подготовленных стрелков при плохой организации позы имеется значительное напряжение мышц, что быстро приводит к утомлению и снижению точности стрельбы.

Работая в условиях неподвижной позы человек, выполняет статическую работу. При этом его мышцы работают в ***изометрическом режиме*** и их ***механическая работа равна нулю,*** так как отсутствует перемещение тела или его частей (поскольку $A = P \times H$, а $H = 0$, то и $A = 0$). Однако ***с физиологической точки зрения человек испытывает определенную нагрузку,*** тратит на нее энергию, устает, и его ***работа может оцениваться по длительности ее выполнения.*** В спорте, как правило, статическая работа связана с большим напряжением мышц.

В ***центральной нервной системе*** (в первую очередь – в моторной области коры) при такой работе создается ***мощный очаг возбуждения – рабочая доминанта,*** которая оказывает тормозящее влияние на другие нервные центры, в частности на центры дыхания и сердечной деятельности. Так как при этом, в отличие от динамической работы, активность нервных центров должна поддерживаться непрерывно, без интервалов отдыха, то статические напряжения весьма утомительны и не могут поддерживаться длительное время. Специфические системы взаимосвязанной активности нервных центров проявляются в коре больших полушарий у спортсменов (по данным ЭЭГ) лишь при достаточных статических усилиях (например, у штангистов при подъеме штанги весом не менее 70–80% от максимальной произвольной силы), одновременно в мышцах в реакцию вовлекаются наименее возбудимые и мощные быстрые двигательные единицы. Этим объясняется необходимость включения в тренировочные занятия максимальных и околомаксимальных нагрузок.

В *двигательном аппарате* при статической работе наблюдается ***непрерывная активность мышц,*** что делает ее более утомительной, чем динамическая работа с той же нагрузкой.

Лишь при статических напряжениях, не превышающих 7–8% от максимальных, ***кровоснабжение мышц*** обеспечивает необходимый кислородный запрос. При 20% статических усилиях кровоток через мышцу уменьшается в 5–6 раз, а при усилиях более 30% от максимальной произвольной силы прекращается вовсе (рис. 29).

В настоящее время обнаружено, что ***артериальное давление*** в мышцах при статической работе может достигать 400–500 мм рт. ст., так как это необходимо для преодоления периферического сопротивления кровотоку. Однако даже прекращение кровотока заметно не снижает работу мышц, так как в них имеются запасы кислорода и анаэробных источников энергии, а сама работа кратковременна.

Изменения вегетативных функций демонстрируют так называемый ***феномен статических усилий*** (или феномен Линдгарта–Верещагина): в момент выполнения работы уменьшаются ЖЕЛ, глубина и минутный объем дыхания, падает ЧСС и потребление кислорода, а после окончания работы наблюдается резкое повышение этих показателей. Этот эффект больше выражен у новичков, но по мере адаптации спортсменов к статической работе он проявляется гораздо меньше.

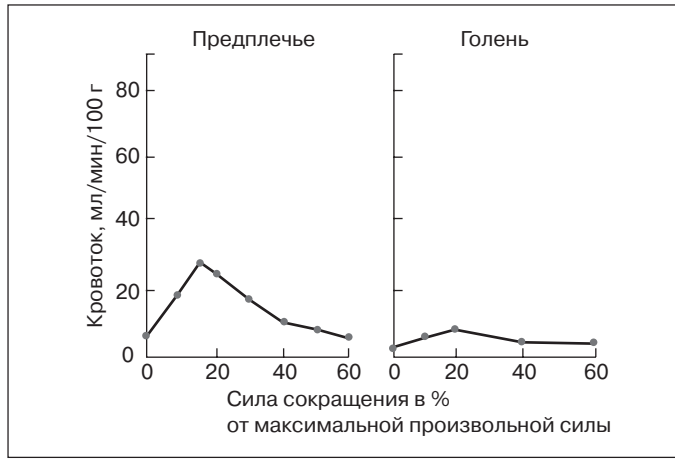


Рис. 29. Кровоснабжение мышц предплечья и голени при статической работе
(по: В.И. Тхоревский, 1978)

При статической работе содержание кислорода в альвеолах легких зависит от принятой позы: из-за ухудшения легочного кровотока и неравномерности вентиляции различных долей легких оно составляет в позе стояния – 14,9%, сидения – 14,4%, лежания – 14,1%.

При значительных усилиях наблюдается явление натуживания, которое представляет собой ***выдох при закрытой голосовой щели,*** в результате чего туловище получает хорошую механическую опору, а сила скелетных мышц увеличивается.

Напряжение скелетных мышц при познотонических реакциях и статических усилиях оказывает в результате повышенной проприоцептивной импульсации регулирующее влияние на вегетативные процессы – моторно-висцеральные рефлексы (Могендович М.Р., 1972). Это, в частности, нарастание ЧСС ***(моторно-кардиальные рефлексы)*** и угнетение работы почек – уменьшение диуреза ***(моторно-ренальные рефлексы).*** Так, при положении вниз головой ЧСС составляет – 50, при лежании – 60, сидении – 70, стоянии – 75 уд./мин; количество мочи, образовавшейся за 1,5 часа в позе лежания, – 177 мл, в позе стояния – 136 мл.

9.4. ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНДАРТНЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ И АЦИКЛИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ

Стандартные, или стереотипные, движения характеризуются сравнительным постоянством движений и их последовательностью, закрепляемой в виде ***двигательного динамического стереотипа.*** По структуре движений различают циклические и ациклические стандартные движения.

9.4.1. Стандартные циклические движения

Стандартные циклические упражнения отличаются повторением одних и тех же двигательных актов (1–2–1–2–1–2 и т.д.). По предельной длительности работы они подразделяются на ***четыре зоны относительной мощности*** – максимальную, субмаксимальную, большую и умеренную.

Работа максимальной мощности продолжается до 20–30 с (например, спринтерский бег на 60, 100 и 200 м; плавание на 25 и 50 м; велогонки на треке – гиты на 200 и 500 м и т.п.).

Такая работа относится к ***анаэробным алактатным нагрузкам,*** т.е. выполняется на 90–95% за счет энергии фосфагенной

системы – АТФ и КрФ. ***Единичные энерготраты предельные*** и достигают 4 ккал/с, зато суммарные – минимальны (около 80 ккал). Огромный кислородный запрос (порядка 8 л или в пересчете на 1 мин ~ 40 л) во время работы удовлетворяется крайне незначительно (менее 0,1 л), но кислородный долг не успевает достичь большой величины из-за кратковременности нагрузки. Короткий рабочий период недостаточен для заметных сдвигов в системах дыхания и кровообращения. Однако в силу высокого уровня предстартового возбуждения ЧСС достигает высокого значения – до 200 уд./мин. В результате активного выхода из печени углеводов в крови обнаруживается повышенное содержание глюкозы – гипергликемия.

Ведущими системами организма при работе в зоне максимальной мощности являются центральная нервная система и двигательный аппарат, так как требуется высокий уровень возбудимости и лабильности нервных центров и скелетных мышц, хорошая подвижность нервных процессов, способность к быстрому расслаблению мышечных волокон и достаточные запасы в них креатинфосфата.

Работа субмаксимальной мощности продолжается от 20–30 с до 3–5 мин (например, бег на средние дистанции 400, 800, 1000 и 1500 м; плавание на дистанции 100, 200 и 400 м; скоростной бег на коньках на 500, 1000, 1500 и 3000 м; велогонки – гиты на 1000 м; гребля – 500, 1000 м и др.).

Сюда относятся нагрузки ***анаэробно-аэробного характера.*** С увеличением дистанции скорость локомоций в этой зоне резко падает, и соответственно быстро снижаются единичные энерготраты (от 1,5 до 0,6 ккал/с), зато суммарные энерготраты возрастают (от 150 до 450 ккал). Покрытие энерготрат преимущественно за счет анаэробных реакций гликолиза приводит к ***предельному нарастанию концентрации лактата в крови*** (до 20–25 мМоль/л), которая увеличивается по сравнению с уровнем покоя в 25 раз. В этих условиях ***pH крови снижается до 7,0 и менее. Длительность работы достаточна для максимального усиления функций дыхания и кровообращения,*** в результате ***достигается МПК. ЧСС находится на уровне 180 уд./мин.*** Несмотря на это, потребление кислорода удовлетворяет на дистанции лишь 1/3 очень высокого кислородного запроса (на разных дистанциях от 2,5 до 8,5 л/мин), а ***кислородный долг,*** составляющий 50–80% от запроса, возрастает у высококвалифицированных спортсменов ***до предельной величины*** – порядка

20–22 л. В связи с этим стабилизация потребления кислорода и показателей кардиореспираторной системы, достигаемая к концу дистанции, получила название кажущегося, или ложного, устойчивого состояния (рис. 30).

Ведущими физиологическими системами обеспечения работы в зоне субмаксимальной мощности являются ***кислородтранспортные системы – кровь, кровообращение и дыхание, а также центральная нервная система,*** роль которой очень велика, так как она должна управлять движениями, осуществляемыми с очень высокой скоростью, в условиях недостаточного кислородного снабжения самих нервных центров.

Работа большой мощности продолжается от 5–6 мин до 20–30 мин. Сюда относятся циклические упражнения с преодолением длинных дистанций – бег на 3000, 5000, 10 000 м; плавание на 800, 1500 м; бег на коньках – 5000, 10 000 м; лыжные гонки – 5, 10 км; гребля – 1,5, 2 км и др. Работа в этой зоне мощности характеризуется как ***аэробно-анаэробная.*** Особенное значение здесь, наряду с гликолитическим энергообразованием, имеют ***реакции окисления углеводов (глюкозы). Максимальное усиление функций кардиореспираторной системы обеспечивает достижение организмом спортсмена МПК.*** Однако ***кислородный долг,*** составляя 10–30% от запроса, при большой длительности работы достигает к концу дистанции ***большой величины*** (12–15 л). Этим объясняется ***высокая концентрация лактата в крови*** (около 10 мМоль/л) и ***заметное снижение pH крови.***

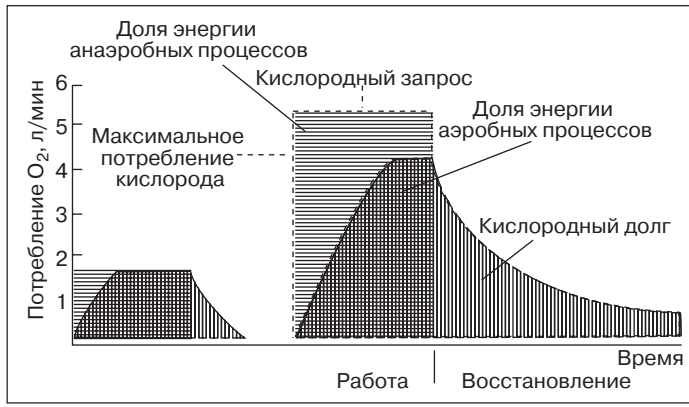


Рис. 30. Кислородный запрос, потребление кислорода и кислородный долг при легкой аэробной (справа) и тяжелой анаэробной (слева) работе

На протяжении дистанции наблюдается стабилизация показателей потребления кислорода, дыхания и кровообращения, хотя полного удовлетворения потребления кислорода во время работы не происходит, т.е. устанавливается кажущееся устойчивое состояние. ЧСС сохраняется достаточно постоянно на оптимальном рабочем уровне – 180 уд./мин. Единичные энерготраты невысоки (0,5–0,4 ккал/с), но суммарные энерготраты достигают 750–900 ккал.

Ведущее значение в зоне большой мощности имеют ***функции кардиореспираторной системы,*** а также системы терморегуляции и желез внутренней секреции.

Работа умеренной мощности продолжается от 30–40 мин до нескольких часов. Сюда входят сверхдлинные беговые дистанции – 20, 30 км, марафон 42 195 м, шоссейные велогонки – 100 км и более, лыжные гонки – 15, 30, 50 км и более, спортивная ходьба на дистанциях от 10 до 50 км, гребля на байдарках и каноэ – 10 000 м, сверхдлинные заплывы и пр.

Энергообеспечение осуществляется почти исключительно ***аэробным путем,*** причем по мере расходования глюкозы происходит переход на окисление жиров. Единичные энерготраты – незначительны (до 0,3 ккал/с), зато ***суммарные энерготраты огромны*** – до 2–3 тыс. ккал и более. ***Потребление кислорода*** в этой зоне мощности составляет около 70–80% МПК и практически ***покрывает кислородный запрос во время работы,*** так что кислородный долг к концу дистанции составляет менее 4 л, а концентрация лактата почти не превышает нормы (около 1–2 мМоль/л). Сдвиги показателей дыхания и кровообращения ниже максимальных. ЧСС держится на уровне 160–180 уд./мин. Несмотря на переключение окислительных процессов на утилизацию жиров (происходящую, например, у марафонцев после пробегания начальных 30 км пути), на дистанции продолжается расход углеводов, что приводит к уменьшению почти в 2 раза содержания в крови глюкозы – явлению ***гипогликемии.*** Это резко нарушает функции ЦНС, координацию движений, ориентацию в пространстве, а в тяжелых случаях вызывает потерю сознания. К тому же ***длительная монотонная работа*** приводит также ***к запредельному торможению*** в ЦНС, называемому еще ***охранительным торможением,*** так как оно, снижая темп движения или прекращая работу, предохраняет организм спортсмена, в первую очередь нервные клетки, от разрушения и гибели.

Ведущее значение в зоне умеренной мощности имеют ***большие запасы углеводов,*** предотвращающие гипогликемию, и ***функциональная устойчивость ЦНС*** к монотонии, противостоящая развитию запредельного торможения.

9.4.2. Стандартные ациклические движения

Данная группа движений характеризуется ***стереотипной программой*** двигательных актов, но, в отличие от циклических упражнений, ***эти акты разнообразны*** (1–2–3–4 и т.д.) Их подразделяют на движения качественного значения, оцениваемые в баллах, – гимнастика, акробатика, фигурное катание, прыжки в воду, на батуте и др., и на движения, имеющие количественную оценку.

Среди движений с количественной оценкой выделяют:

• собственно-силовые, характерные, например, для тяжелой атлетики, где сила спортсмена направлена на преодоление массы поднимаемой штанги, а ускорение штанги изменяется мало (согласно второму закону Ньютона, сила равна произведению массы на сообщаемое ей ускорение, в данном случае $F_{max} = m_{max} \times a$);

• скоростно-силовые (прыжки, метания), где вес ядра, молота, диска, копья или вес собственного тела спортсмена – величина неизменная, а спортивный результат определяется заданным снаряду или телу ускорением, т.е. $F_{max} = m \times a_{max}$;

• прицельные движения (стрельба пулевая, из лука, городки, дартс и пр.), требующие устойчивости позы, тонкой мышечной координации, точности анализа сенсорной информации.

Во всех этих упражнениях сочетается динамическая и статическая работа анаэробного (прыжки, метания) или анаэробно-аэробного характера (например, вольные упражнения в гимнастике, произвольная программа в фигурном катании и др.), которые по длительности выполнения соответствуют зонам максимальной и субмаксимальной мощности. Суммарные энерготраты здесь невысоки из-за краткости выполнения, кислородный запрос на работу и кислородный долг (~2 л) малы. Значительных требований к вегетативным системам организма не предъявляется. Выполнение упражнений требует хорошей координации, пространственной и временной точности движений, развитого чувства времени, концентрации внимания, значительной абсолютной и относительной силы.

Ведущими системами являются ЦНС, сенсорные системы, двигательный аппарат.

9.5. ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕСТАНДАРТНЫХ ДВИЖЕНИЙ

К нестандартным, или ситуационным, движениям относят спортивные игры (баскетбол, волейбол, теннис, футбол, хоккей и др.) и единоборства (бокс, борьба, фехтование). К этой же группе причисляют кроссы из-за большой сложности профиля современных трасс.

Для этих движений характерны:

• ***переменная мощность работы*** (от максимальной до умеренной или полной остановки спортсмена), сопряженная с постоянными изменениями структуры двигательных действий и направления движений;

• ***изменчивость ситуации,*** сочетаемая с ***дефицитом времени.***

Нестандартные упражнения характеризуются ациклической или смешанной (циклической и ациклической) структурой движений, преобладанием динамической скоростно-силовой работы (в борьбе существенны и статические напряжения), высокой эмоциональностью.

В отношении ***ЦНС*** предъявляются высокие требования к ***«творческой» функции мозга*** из-за отсутствия стандартных программ двигательной деятельности. Особое значение имеют процессы ***восприятия и переработки информации*** в крайне ограниченные интервалы времени, что требует повышенного уровня пропускной способности мозга. Спортсмену необходима не только оценка текущей ситуации, но и предвосхищение возможных ее будущих изменений, т.е. развитая способность к экстраполяции.

При выполнении ударных действий и бросков (мяча, шайбы) основная рабочая фаза движений занимает десятые и сотые доли секунды. Это исключает внесение сенсорных коррекций в текущий двигательный акт, следовательно, все движение должно быть ***заранее и очень точно запрограммировано. При этом сама программа действия и имеющиеся двигательные навыки спортсмена должны постоянно варьировать в зависимости от изменений условий их выполнения*** (исключение могут составлять только штрафные броски и удары). Все эти условия ситуационной деятельности требуют ***высокой возбудимости и лабильности нервных центров, силы и подвижности нервных процессов,*** преимущественного представительства среди спортсменов таких типов ВНД, как холерик и сангвиник, ***поме-***

хоустойчивости к значительной нервно-эмоциональной напряженности, а также ***специфических черт умственной работоспособности*** – развитого оперативного мышления, большого объема и концентрации внимания, а в командных играх – и распределения внимания, способности к правильному принятию решений и быстрой мобилизации из памяти тактических комбинаций, двигательных навыков и умений для эффективного решения тактических задач.

Роль ***сенсорных систем*** исключительно велика, особенно дистантных – зрительной и слуховой. В ситуационной деятельности имеют значение как ***центральное зрение*** (при бросках мяча в кольцо, нанесении ударов в боксе, фехтовании и т.п.), так ***и периферическое*** (для ориентировки на поле, ринге). Для четкого восприятия действий игроков, соперников и летящего мяча, шайбы, особенно при больших скоростях (мяча в теннисе, шайбы в хоккее – до 200 км/ч и более) и малых размерах (настольный теннис), спортсмену необходимы хорошая ***острота и глубина зрения, идеальный мышечный баланс глаз, а в командных играх – большие размеры поля зрения.*** Для ориентации в пространстве и во времени имеет важное значение ***слуховая сенсорная система.*** Резкие изменения направления и формы движений, повороты, падения, броски вызывают сильное раздражение отолитового и ампулярного аппаратов вестибулярной сенсорной системы. Требуется ***высокая вестибулярная устойчивость,*** чтобы не происходили при этом нарушения координации движений и негативные вегетативные реакции. В ***двигательной сенсорной системе*** занятия ситуационными видами спорта вызывают ***повышение проприоцептивной чувствительности*** в тех суставах, которые имеют основное значение в данном виде спорта (например, у баскетболистов – в лучезапястном суставе, у футболистов – в голеностопном).

Занятия ситуационными упражнениями развивают в ***двигательном аппарате*** высокую возбудимость и лабильность скелетных мышц, хорошую синхронизацию скоростных возможностей разных мышечных групп. Развитие силы и скоростно-силовых способностей помогает осуществлению точных и резких бросков и ударов. Требуется также хорошая гибкость (например, в борьбе) и выносливость.

Энерготраты в ситуационных упражнениях ***сравнительно ниже,*** чем в циклических. В связи с большими различиями в размерах площадок, числе участников, темпе движений ***соот-***

ношение аэробных и анаэробных процессов энергообразования заметно различается: в волейболе, например, преобладают аэробные нагрузки, в футболе – аэробно-анаэробные, в хоккее с шайбой – анаэробные. Переменная мощность физических нагрузок позволяет во многом ***удовлетворять кислородный запрос уже во время работы*** и снижает величину кислородного долга.

Основной характеристикой вегетативных функций в ситуационных движениях является ***не достигнутый во время нагрузки рабочий уровень, а степень его соответствия мощности*** работы в данный момент. ЧСС, постоянно изменяясь, колеблется, в основном, в диапазоне от 130 до 180–190 уд./мин; частота дыхания – от 40 до 60 вдохов в 1 мин. Величины ударного и минутного объема крови, глубины и минутного объема дыхания, МПК при работе скромнее, чем у спортсменов в циклических видах спорта. В связи с большими потерями воды, а также рабочими энерготратами, ***масса тела спортсмена, особенно после соревновательных нагрузок, снижается на 1–3 кг.***

Ведущими системами являются ЦНС, сенсорные системы, двигательный аппарат.

10. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ФИЗИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ

Двигательная деятельность человека, в том числе спортивная, характеризуется определенными качественными параметрами. ***В числе основных физических качеств различают мышечную силу, быстроту, выносливость, ловкость и гибкость.*** Ряд авторов выделяет в виде основного качества скоростно-силовые возможности человека.

Развитие физических качеств в разной мере зависит от врожденных особенностей. Вместе с тем в индивидуальном развитии ***ведущим механизмом является условно-рефлекторный.*** Этот механизм обеспечивает качественные особенности двигательной деятельности конкретного человека, специфику их проявления и взаимоотношений. При тренировке скелетных мышц (и соответствующих отделов центральной нервной системы) одной стороны тела условно-рефлекторным путем достигаются идентичные реакции отделов нервной системы и мышц другой половины тела, обеспечивающие развитие данного качества на неупражнявшихся симметричных мышцах.

Для проявления физических качеств характерна их меньшая осознаваемость по сравнению с двигательными навыками, большая значимость для них биохимических, морфологических и вегетативных изменений в организме.

10.1. ФОРМЫ ПРОЯВЛЕНИЯ, МЕХАНИЗМЫ И РЕЗЕРВЫ РАЗВИТИЯ СИЛЫ

Сила является одним из ведущих физических качеств спортсмена. Она необходима при выполнении многих спортивных упражнений, особенно в стандартных ациклических видах спорта (тяжелой атлетике, спортивной гимнастике, акробатике и др.).

10.1.1. Формы проявления мышечной силы

Сила мышцы – это способность за счет мышечных сокращений преодолевать внешнее сопротивление. При ее оценке ***различают абсолютную и относительную мышечную силу.***

Абсолютная сила – ***это отношение мышечной силы к физиологическому поперечнику мышцы*** (площади поперечного разреза всех мышечных волокон). Она измеряется в Ньютонах или килограммах силы на 1 $см^2$ ($Н/см^2$ или $кг/см^2$). В спортивной практике измеряют динамометром силу мышцы без учета ее поперечника.

Относительная сила – ***это отношение мышечной силы к ее анатомическому поперечнику*** (толщине мышцы в целом, которая зависит от числа и толщины отдельных мышечных волокон). Она измеряется в тех же единицах. В спортивной практике для ее оценки используют более простой показатель: отношение мышечной силы к массе тела спортсмена, т.е. в расчете на 1 кг.

Абсолютная мышечная сила необходима в собственно-силовых упражнениях, где максимальное изометрическое напряжение обеспечивает преодоление большого внешнего сопротивления – при подъемах штанги максимального или околомаксимального веса, при выполнении в гимнастике стойки на кистях, переднего и заднего равновесия на кольцах и упора руки в сторону («крест») и др. Относительная мышечная сила определяет успешность перемещения собственного тела (например, в прыжках).

В зависимости от режима мышечного сокращения различают: 1) статическую (изометрическую) силу, ***проявляемую при статических усилиях;*** 2) динамическую

силу – ***при динамической работе, в том числе так называемую*** взрывную силу.

Взрывная сила определяется скоростно-силовыми возможностями человека, которые необходимы для придания возможно большего ускорения собственному телу или спортивному снаряду (например, при стартовом разгоне). Она лежит в основе таких важных для спортсмена качеств, как прыгучесть (при прыжках) или резкость (в метаниях, ударах). При проявлении взрывной силы важна не столько величина силы, сколько ее нарастание во времени, т.е. градиент силы. Чем меньше длительность нарастания силы до ее максимального значения, тем выше результативность выполнения прыжков, метаний, бросков, ударов.

Скоростно-силовые возможности человека в большей мере зависят от наследственных свойств организма, чем абсолютная изометрическая сила.

10.1.2. Физиологические механизмы развития силы

В развитии мышечной силы имеют значение: 1) внутримышечные факторы; 2) особенности нервной регуляции; 3) психофизиологические механизмы.

Внутримышечные факторы развития силы включают в себя биохимические, морфологические и функциональные особенности мышечных волокон:

- ***физиологический поперечник,*** зависящий от числа мышечных волокон (он наибольший для мышц с перистым строением);
- ***состав (композиция) мышечных волокон:*** соотношение слабых и более возбудимых медленных мышечных волокон (окислительных, малоутомляемых) и более мощных высокопороговых быстрых мышечных волокон (гликолитических, утомляемых);
- ***миофибриллярная гипертрофия мышцы,*** т.е. увеличение мышечной массы, которая развивается при силовой тренировке в результате адаптационно-трофических влияний и характеризуется ростом толщины и более плотной упаковкой сократительных элементов мышечного волокна – миофибрилл (при этом окружность плеча может достигать 80 см, а бедра – 95 см и более).

Нервная регуляция обеспечивает развитие силы за счет совершенствования деятельности отдельных мышечных волокон, двигательных единиц (ДЕ) целой мышцы и межмышечной координации.

Она включает следующие факторы:

• ***увеличение частоты нервных импульсов,*** поступающих в скелетные мышцы от мотонейронов спинного мозга и обеспечивающих переход от слабых одиночных сокращений их волокон к мощным тетаническим.

• ***активацию многих ДЕ*** – при увеличении числа вовлеченных в двигательный акт ДЕ повышается сила сокращения мышцы;

• ***синхронизацию активности ДЕ*** – одновременное сокращение возможно большего числа активных ДЕ резко увеличивает силу тяги мышцы;

• ***межмышечную координацию*** – сила мышцы зависит от деятельности других мышечных групп: сила мышцы растет при одновременном расслаблении ее антагониста, она уменьшается при одновременном сокращении других мышц и увеличивается при фиксации туловища или отдельных суставов мышцами-антагонистами; например, при подъеме штанги возникает явление натуживания (выдох при закрытой голосовой щели), приводящее к фиксации мышцами туловища спортсмена и создающее прочную основу для преодоления поднимаемого веса.

Психофизиологические механизмы увеличения мышечной силы связаны с изменениями функционального состояния (бодрости, сонливости, утомления), влияниями мотиваций и эмоций, усиливающих симпатические и гормональные воздействия со стороны гипофиза, надпочечников и половых желез; биоритмов.

Важную роль в развитии силы играют мужские половые гормоны (андрогены), которые обеспечивают увеличение синтеза сократительных белков в скелетных мышцах. Их у мужчин в 10 раз больше, чем у женщин. Этим объясняется больший тренировочный эффект развития силы у спортсменов по сравнению со спортсменками, даже при абсолютно одинаковых тренировочных нагрузках.

Открытие эффекта андрогенов привело к попыткам ряда тренеров и спортсменов использовать для развития силы аналоги половых гормонов – анаболические стероиды. Однако вскоре обнаружились пагубные последствия их приема. В результате действия анаболиков у спортсменов-мужчин подавляется функция собственных половых желез (вплоть до полной импотенции и бесплодия), а у женщин-спортсменок происходит изменение вторичных половых признаков по мужскому типу (огрубение

голоса, изменение характера оволосения) и нарушается специфический биологический цикл женского организма (возникают отклонения в длительности и регулярности месячного цикла, вплоть до полного его прекращения и подавления детородной функции). Особенно тяжелые последствия наблюдаются у спортсменов-подростков. В результате подобные препараты были отнесены к числу запрещенных допингов.

Попытки заставить мышцу развивать мощные тетанические сокращения с помощью электростимуляции также не привели к успеху. Эффект воздействия прекращался через 1–2 недели, а искусственно вызванная способность развивать сильные сокращения не могла полноценно использоваться, так как не включалась в необходимые двигательные навыки.

10.1.3. Функциональные резервы силы

У каждого человека имеются определенные резервы мышечной силы, которые могут быть включены лишь при экстремальных ситуациях (чрезвычайная опасность для жизни, чрезмерное психоэмоциональное напряжение и т.п.).

В условиях электрического раздражения мышцы или под гипнозом можно выявить максимальную мышечную силу, которая окажется больше той силы, которую человек проявляет при предельном произвольном усилии – так называемой максимальной произвольной силы. ***Разница между максимальной мышечной силой и максимальной произвольной силой называется*** дефицитом мышечной силы. Эта величина уменьшается в ходе силовой тренировки, так как происходит перестройка морфофункциональных возможностей мышечных волокон и механизмов их произвольной регуляции.

У систематически тренирующихся спортсменов наряду с экономизацией функций происходит относительное увеличение общих и специальных физиологических резервов. При этом первые реализуются через общие для различных упражнений проявления физических качеств, а вторые – в виде специальных для каждого вида спорта навыков и особенностей силы, быстроты и выносливости.

К числу ***общих функциональных резервов мышечной силы*** отнесены следующие факторы:

- включение дополнительных ДЕ в мышце;
- синхронизация возбуждения ДЕ в мышце;

• своевременное торможение мышц-антагонистов;
• координация (синхронизация) сокращений мышц-агонистов;
• повышение энергетических ресурсов мышечных волокон;
• переход от одиночных сокращений мышечных волокон к тетаническим;
• усиление сокращения после оптимального растяжения мышцы;
• адаптивная перестройка структуры и биохимии мышечных волокон (рабочая гипертрофия, изменение соотношения объемов медленных и быстрых волокон и др.).

10.2. ФОРМЫ ПРОЯВЛЕНИЯ, МЕХАНИЗМЫ И РЕЗЕРВЫ РАЗВИТИЯ БЫСТРОТЫ

Значительная часть спортивных упражнений не только требует максимально возможного развития скорости движений, но и происходит в условиях дефицита времени. Достижение успеха в подобных упражнениях возможно лишь при хорошем развитии физического качества быстроты.

10.2.1. Формы проявления быстроты

Быстрота – ***это способность совершать движения в минимальный для данных условий отрезок времени. Различают комплексные и элементарные формы проявления быстроты.***

В естественных условиях спортивной деятельности быстрота проявляется обычно в комплексных формах, включающих скорость двигательных действий и кратковременность умственных операций, и в сочетании с другими качествами.

К элементарным формам проявления быстроты относятся:

• ***общая скорость однократных движений*** (или время одиночных действий) – например, прыжков, метаний;

• ***время двигательной реакции*** – латентный (скрытый) период простой (без выбора) и сложной (с выбором) сенсомоторной реакции, реакции на движущийся объект (имеющее особенное значение в ситуационных упражнениях и спринте);

• ***максимальный темп движений,*** характерный, например, для спринтерского бега.

Оценка ***времени двигательной реакции (ВДР)*** производится от момента подачи сигнала до ответного действия. Она является

одним из наиболее распространенных показателей при тестировании быстроты. Это время чрезвычайно мало для передачи возбуждения от рецепторов в нервные центры и от них к мышцам. В основном оно затрачивается на проведение и обработку информации в высших отделах мозга и поэтому служит показателем функционального состояния ЦНС.

У нетренированных лиц величина ВДР при движении пальцем в ответ на световой сигнал укорачивается с возрастом от 500–800 мс у детей 2–3-х лет до 190 мс у взрослых людей. Для спортсменов характерны более короткие величины этой реакции: в среднем 120 мс у спортсменов и 140 мс – у спортсменок. У высококвалифицированных представителей ситуационных видов спорта и бегунов на короткие дистанции эти величины еще меньше – порядка 110 мс, в отличие от бегунов-стайеров, показывающих 200–300 мс и более.

При выполнении специализированных упражнений ВДР у высококвалифицированных спортсменов также очень невелико. Так, стартовое время (от выстрела стартового пистолета до ухода со старта) у бегунов-спринтеров, участников Олимпийских игр и чемпионатов мира, составляет при беге на 50–60 м в среднем 139 мс у мужчин и 159 мс у женщин, при беге на 100 м соответственно 150–160 мс и 190 мс. Знаменитый спринтер Бен Джонсон мог уходить со старта через 99,7 мс. По теоретическим расчетам ВДР, равное 80–90 мс, вообще составляет для человека предел его функциональных возможностей.

Факторами, влияющими на ВДР, являются врожденные особенности человека, его текущее функциональное состояние, мотивации и эмоции, спортивная специализация, уровень спортивного мастерства, количество воспринимаемой спортсменом информации.

Другой простой показатель быстроты – ***максимальный темп постукиваний пальцем за короткий интервал времени – 10 с,*** так называемый теппинг-тест. Взрослые лица производят 50–60 движений за 10 с, спортсмены ситуационных видов спорта и спринтеры – порядка 60–80 движений и более.

Особое проявление быстроты – ***скорость специализированных умственных операций: при решении тактических задач*** высококвалифицированные спортсмены затрачивают всего 0,5–1,0 с, а время принятия решения составляет у них половину этого периода.

10.2.2. Физиологические механизмы развития быстроты

В основе проявления качества быстроты лежат индивидуальные особенности протекания физиологических процессов в нервной и мышечной системах.

Быстрота зависит от следующих факторов.

• ***лабильности*** – скорости протекания возбуждения в нервных и мышечных клетках;

• ***подвижности нервных процессов*** – скорости смены в коре больших полушарий возбуждения торможением и наоборот;

• ***соотношения быстрых и медленных мышечных волокон*** в скелетных мышцах.

Уровень лабильности и подвижности нервных процессов определяет скорость восприятия и переработки поступающей информации, а лабильность мышц и преобладание быстрых двигательных единиц – скорость мышечного компонента быстроты (сокращения и расслабления мышцы, максимальный темп движений).

В сложных ситуациях, требующих реакции с выбором, и при увеличении поступающей информации большое значение имеет пропускная способность мозга спортсмена – количество перерабатываемой информации за единицу времени. Величина ВДР прямо пропорционально нарастает с увеличением числа возможных альтернативных решений – до 8-ми альтернатив, а при большем их числе оно резко и непропорционально повышается.

При осуществлении реакции ***на движущийся объект (РДО)*** большое значение приобретают ***явления экстраполяции,*** позволяющие предвидеть возможные траектории перемещения соперников или спортивных снарядов, что ускоряет подготовку ответных действий спортсмена. Это особенно необходимо, например, в хоккее, теннисе, стрельбе по летящим тарелкам и т.п. Способствуют этому и ***поисковые движения глаз:*** быстрота действий спортсмена здесь связана со скоростными возможностями мышц глазодвигательного аппарата, без которых невозможно эффективно осуществлять следящие движения.

10.2.3. Физиологические резервы развития быстроты

В особых ситуациях (электрическое раздражение, гипноз, сильное эмоциональное потрясение) у человека может неимоверно возрасти быстрота его реакций. Так, например, максимальный темп постукиваний достигает 15 в 1 с, хотя при произвольных движени-

ях он не превышает 6–12 в 1 с. Это доказывает наличие физиологических резервов быстроты даже у нетренированного человека.

В процессе спортивной тренировки рост быстроты обусловлен следующими механизмами:

• ***увеличением лабильности*** нервных и мышечных клеток, ускоряющих проведение возбуждения по нервам и мышцам;

• ***ростом лабильности и подвижности*** нервных процессов, увеличивающих скорость переработки информации в мозгу;

• ***сокращением времени проведения возбуждения*** через межнейронные и нервно-мышечные синапсы;

• ***синхронизацией активности*** в отдельных мышцах и разных мышечных группах;

• ***своевременным торможением*** мышц-антагонистов;

• ***повышением скорости*** расслабления мышц.

Для каждого человека имеются свои пределы роста быстроты, контролируемые генетически. Скорость ее нарастания также является врожденным свойством. Кроме того, в спорте существует явление ***стабилизации скорости движений*** на некотором достигнутом уровне. Повысить этот предел произвольно обычно не удается, и в тренировке применяются специальные средства: бег под горку, бег на тредбане с повышенной скоростью с использованием виса на ремнях, бег за мотоциклом, за лошадью, плавание с тянущей резиной и т.п. Этим путем достигается дополнительное повышение лабильности нервных центров и работающих мышц.

10.3. ФОРМЫ ПРОЯВЛЕНИЯ, МЕХАНИЗМЫ И РЕЗЕРВЫ РАЗВИТИЯ ВЫНОСЛИВОСТИ

Выносливостью называют способность наиболее длительно или в заданных границах времени выполнять специализированную работу без снижения ее эффективности. Ее определяют так же, как способность преодолевать развивающееся утомление или снижение работоспособности человека.

10.3.1. Формы проявления выносливости

Различают две формы проявления выносливости – общую и специальную.

Общая выносливость характеризует способность длительно выполнять любую циклическую работу умеренной мощности с участием больших мышечных групп, а специальная

выносливость проявляется в различных конкретных видах двигательной деятельности.

Физиологической основой общей выносливости является высокий уровень аэробных возможностей человека – способность выполнять работу за счет энергии окислительных реакций.

Аэробные возможности зависят от:

• ***аэробной мощности,*** которая определяется абсолютной и относительной величиной максимального потребления кислорода (МПК);

• ***аэробной емкости*** – суммарной величины потребления кислорода на всю работу.

Специальная выносливость определяется теми требованиями, которые предъявляются конкретными физическими нагрузками организму спортсмена.

10.3.2. Физиологические механизмы развития выносливости

Общая выносливость зависит от доставки кислорода работающим мышцам и главным образом определяется функционированием кислородтранспортной системы: сердечно-сосудистой, дыхательной и системой крови.

Развитие общей выносливости прежде всего обеспечивается разносторонними перестройками в ***дыхательной системе.***

Повышение эффективности дыхания достигается:

• увеличением (на 10–20%) легочных объемов и емкостей (ЖЕЛ достигает 6–8 л и более);

• нарастанием глубины дыхания (до 50–55% ЖЕЛ);

• увеличением диффузионной способности легких, что обусловлено увеличением альвеолярной поверхности и объема крови в легких, протекающей через расширяющуюся сеть капилляров;

• увеличением мощности и выносливости дыхательных мышц, что приводит к росту объема вдыхаемого воздуха по отношению к функциональной остаточной емкости легких (остаточному объему и резервному объему выдоха).

Все эти изменения способствуют также экономизации дыхания: большему поступлению кислорода в кровь при меньших величинах легочной вентиляции. Повышение возможности более выгодной работы за счет аэробных источников энергии позволяет спортсмену дольше не переходить к энергетически менее выгодному использованию анаэробных источников, т.е. повышает вентиляционный порог анаэробного обмена (ПАНО).

Решающую роль в развитии общей выносливости играют также морфофункциональные перестройки в ***сердечно-сосудистой системе,*** отражающие адаптацию к длительной работе:

• увеличение объема сердца («большое сердце» особенно характерно для спортсменов-стайеров – рис. 31) и утолщение сердечной мышцы – спортивная гипертрофия;

• рост сердечного выброса (увеличение ударного объема крови);

• замедление частоты сердечных сокращений в покое (до 40–50 уд./мин) в результате усиления парасимпатических влияний – спортивная брадикардия, что облегчает восстановление сердечной мышцы и последующую ее работоспособность;

• снижение систолического артериального давления в покое (ниже 105 мм рт. ст.) – спортивная гипотония.

В ***системе крови*** повышению общей выносливости способствуют:

• увеличение объема циркулирующей крови (в среднем на 20%) главным образом за счет увеличения объема плазмы, при этом адаптивный эффект обеспечивается: 1) снижением вязкости крови и соответствующим облегчением кровотока и 2) большим венозным возвратом крови, стимулирующим более сильные сокращения сердца;

• увеличение общего количества эритроцитов и гемоглобина (следует заметить, что при росте объема плазмы показатели их относительной концентрации в крови снижаются);

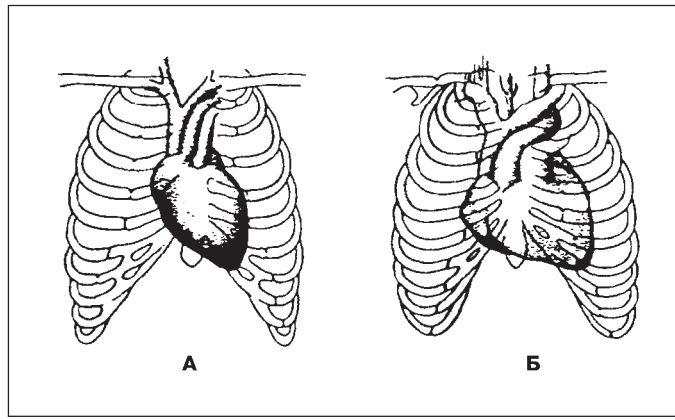


Рис. 31. Сердце нетренированного (А) и тренированного (Б) человека

• уменьшение содержания лактата (молочной кислоты) в крови при работе, связанное, во-первых, с преобладанием в мышцах выносливых людей медленных волокон, использующих лактат как источник энергии, и, во-вторых, обусловленное увеличением емкости буферных систем крови, в частности ее щелочных резервов; при этом лактатный порог анаэробного обмена (ПАНО) так же нарастает, как и вентиляционный ПАНО.

Несмотря на указанные адаптивные перестройки функций, в организме стайера происходят значительные нарушения постоянства внутренней среды (перегревание и переохлаждение, падение содержания глюкозы в крови и т.п.).

Способность спортсмена переносить весьма длительные нагрузки обеспечивается его способностью «терпеть» такие изменения.

В ***скелетных мышцах*** у спортсменов, специализирующихся в работе на выносливость, преобладают медленные мышечные волокна (до 80–90%). Рабочая гипертрофия протекает по саркоплазматическому типу, т.е. за счет роста объема саркоплазмы. В ней накапливаются запасы гликогена, липидов, миоглобина, становится богаче капиллярная сеть, увеличивается число и размеры митохондрий. Мышечные волокна при длительной работе включаются посменно, восстанавливая свои ресурсы в моменты отдыха.

В ***центральной нервной системе*** работа на выносливость сопровождается формированием стабильных рабочих доминант, которые обладают высокой помехоустойчивостью, отдаляя развитие запредельного торможения в условиях монотонной работы. Особая способность к длительным циклическим нагрузкам присуща спортсменам с сильной уравновешенной нервной системой и невысоким уровнем подвижности – флегматикам.

Специальные формы выносливости характеризуются разными адаптивным перестройками организма в зависимости от специфики физической нагрузки.

Специальная выносливость в циклических видах спорта зависит от длины дистанции, которая определяет соотношение аэробного и анаэробного энергообеспечения.

В лыжных гонках на длинные дистанции соотношение аэробной и анаэробной работы порядка 95% и 5%; в академической гребле на 2 км соответственно 70% и 30%; в спринте – 5% и 95%. Это определяет разные требования к двигательному аппарату и вегетативным системам в организме спортсмена.

Специальная выносливость к статической работе базируется на высокой способности нервных центров и работающих мышц поддерживать непрерывную активность (без интервалов отдыха) в анаэробных условиях. Торможение вегетативных функций со стороны мощной моторной доминанты по мере адаптации спортсмена к нагрузке постепенно снижается, что облегчает дыхание и кровообращение. Статическая выносливость мышц шеи и туловища, содержащих больше медленных волокон, выше по сравнению **с** мышцами конечностей, более богатых быстрыми волокнами.

Силовая выносливость зависит от переносимости нервной системой и двигательным аппаратом многократных повторений натуживания, вызывающего прекращение кровотока в нагруженных мышцах и кислородное голодание мозга. Повышение резервов мышечного гликогена и кислородных запасов в миоглобине облегчает работу мышц. Однако почти полное и одновременное вовлечение в работу всех ДЕ лишает мышцы резервных ДЕ, что лимитирует длительность поддержания усилий.

Скоростная выносливость определяется устойчивостью нервных центров к высокому темпу активности. Она зависит от быстрого восстановления АТФ в анаэробных условиях за счет креатинфосфата и реакций гликолиза.

Выносливость в ситуационных видах спорта обусловлена устойчивостью центральной нервной системы и сенсорных систем к работе переменной мощности и характера – «рваному» режиму, вероятностным перестройкам ситуации, многоальтернативному выбору, сохранению координации при постоянном раздражении вестибулярного аппарата.

Выносливость к вращениям и ускорениям требует хорошей устойчивости вестибулярной сенсорной системы. Квалифицированные фигуристы, например, без отрицательных соматических и вегетативных реакций могут переносить до 300 вращений на кресле Барани. После многократных вращений вокруг вертикальной оси в висе (тест Вертикаль) у этих спортсменов практически отсутствует так называемое время поиска стабильной позы после опускания на опору. Активные вращения при выполнении специальных упражнений в большей мере способствуют повышению вестибулярной устойчивости, чем пассивные вращения на тренажерах.

Выносливость к гипоксии, характерная, например, для альпинистов, связана с понижением тканевой чувствительности не-

рвных центров, сердечной и скелетных мышц к недостатку кислорода. Это свойство в значительной мере является врожденным. Лишь несколько спортсменов-альпинистов во всем мире смогли подняться на высоту более 8 тыс. м (Эверест) без кислородного прибора.

10.3.3. Физиологические резервы выносливости

Физиологические резервы выносливости включают в себя:

• ***мощность механизмов обеспечения гомеостаза*** – адекватная деятельность сердечно-сосудистой системы, повышение кислородной емкости крови и емкости ее буферных систем, совершенство регуляции водно-солевого обмена выделительной системой и регуляции теплообмена системой терморегуляции, снижение чувствительности тканей к сдвигам гомеостаза;

• ***тонкую и стабильную нервно-гуморальную регуляцию*** механизмов поддержания гомеостаза и адаптацию организма к работе в измененной среде (так называемому гомеокинезу).

Развитие выносливости связано с увеличением диапазона физиологических резервов и большими возможностями их мобилизации.

Особенно важно развивать в процессе тренировки способность к мобилизации функциональных резервов мозга спортсмена в результате произвольного преодоления скрытого утомления. Более длительное и эффективное выполнение работы связано не столько с удлинением периода устойчивого состояния, сколько с ростом продолжительности периода скрытого утомления. Волевая мобилизация функциональных резервов организма позволяет за счет повышения физиологической стоимости работы сохранять ее рабочие параметры – скорость локомоции, поддержание заданных углов в суставах при статическом напряжении, силу сокращения мышц, сохранение техники движения.

10.4. ПОНЯТИЕ О ЛОВКОСТИ И ГИБКОСТИ. МЕХАНИЗМЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ РАЗВИТИЯ

Ловкость и гибкость относят к числу основных физических качеств. Ловкость достаточно хорошо развивается в процессе индивидуальной жизни человека, в том числе при спортивной тренировке. Качество ловкости представляет собой сложный комплекс способностей. В противоположность этому гибкость на-

ходится под значительным генетическим контролем, требуется тщательный отбор и раннее ее развитие в онтогенезе.

Ловкостью считают:

- способность создавать новые двигательные акты и двигательные навыки;
- быстро переключаться с одного движения на другое при изменении ситуации;
- выполнять сложнокоординационные движения.

Таким образом, ***под ловкостью*** понимают, с одной стороны, определенные творческие способности человека незамедлительно формировать двигательное поведение в новых, необычных условиях, а с другой стороны, координационные его возможности.

Критериями ловкости являются координационная сложность, точность движений и быстрое их выполнение. В основе этих способностей лежат явления экстраполяции, хорошая ориентация в вероятностной среде, предвидение возможной будущей ситуации, быстрая реакция на движущийся объект, высокий уровень лабильности и подвижности нервных процессов, умение легко управлять различными мышцами. В процессе тренировки для развития ловкости требуется варьирование различных условий выполнения одного и того же двигательного действия, использование дополнительной срочной информации о результате движений, формирование навыка быстрого принятия решений в условиях дефицита времени.

Гибкость ***определяется как способность совершать движения в суставах с большой амплитудой, т.е. суставная подвижность.*** Она зависит от способности к управлению двигательным аппаратом и его морфофункциональных особенностей (вязкости мышц, эластичности связочного аппарата, состояния межпозвоночных дисков). Гибкость улучшается при разогревании мышц и ухудшается на холоде. Она снижается в сонном состоянии и при утомлении. Величина гибкости минимальна утром и достигает максимума к середине дня (12–17 часов). Улучшение гибкости происходит, когда во время предстартового возбуждения повышается частота сердечных сокращений, нарастает кровоток через мышцы, – в результате разминка приводит к их разогреванию.

Различают ***активную гибкость*** (при произвольных движениях в суставах) и ***пассивную гибкость*** (при растяжении мышц внешней силой). Пассивная гибкость обычно превышает актив-

ную. У женщин связочно-мышечный аппарат обладает большей гибкостью по сравнению с мужчинами, им легче осваивать многие сложные упражнения на гибкость (например, поперечный шпагат). У лиц зрелого и пожилого возраста раньше всего снижается гибкость позвоночника, но гибкость пальцев и кисти сохраняется дольше всего.

11. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ НАВЫКОВ

В процессе жизнедеятельности человека формируются различные двигательные умения и навыки, составляющие основу его поведения.

11.1. ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УМЕНИЯ, НАВЫКИ И МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основу технического мастерства спортсменов составляют двигательные умения и навыки, формирующиеся в процессе тренировки и существенно влияющие на спортивный результат. Считают, что эффективность спортивной техники за счет навыка повышается в циклических видах спорта на 10–25%, а в ациклических – еще более.

11.1.1. Двигательные умения и навыки

Двигательные умения – ***способность на моторном уровне справляться с новыми задачами поведения.*** Спортсмену необходимо умение мгновенно оценивать возникшую ситуацию, быстро и эффективно перерабатывать поступающую информацию, выбирать в условиях дефицита времени адекватную реакцию и формировать наиболее результативные действия. Эти способности в наибольшей мере проявляются в спортивных играх и единоборствах, которые относят к ситуационным видам спорта.

В тех же случаях, когда отрабатываются одни и те же движения, которые в неизменном порядке повторяются на тренировках и во время соревнований (особенно в стандартных или стереотипных видах спорта), умения спортсменов закрепляются в виде специальных навыков.

Двигательные навыки – ***это освоенные и упроченные действия, которые могут осуществляться без участия сознания (автоматически) и обеспечивают оптимальное решение двигательной задачи.***

11.1.2. Основные методы исследования

Основные методы исследования двигательных навыков можно разделить на две группы: ***1) описывающие внешнюю структуру движений и 2) внутреннюю их структуру.***

К первым относятся методы кино-, фото-, видео-, телесъемки движений, тензометрия, динамометрия, гониометрия, циклография и пр. Ко вторым – электрофизиологические методы: электроэнцефалография, электромиография, запись Н-рефлексов и активности двигательных единиц. Комплексная оценка целостной структуры навыков осуществляется при одновременной регистрации биомеханических и физиологических показателей.

11.2. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ НАВЫКОВ

В понимание физиологических механизмов двигательных навыков особый вклад внесли отечественные физиологи – И.П. Павлов, В.М. Бехтерев, А.А. Ухтомский, П.К. Анохин, Н.А. Бернштейн, А.Н. Крестовников, Н.В. Зимкин, В.С. Фарфель и др.

11.2.1. Функциональная система, доминанта, двигательный динамический стереотип

Любые навыки – бытовые, профессиональные, спортивные – не являются врожденными движениями. Они приобретены в ходе индивидуального развития. Возникая в результате подражания, условных рефлексов или по речевой инструкции, двигательные акты осуществляются специальной ***функциональной системой*** нервных центров (Анохин П.К., 1975). Деятельность этой системы включает следующие процессы: синтез афферентных раздражений (информации из внешней и внутренней среды); учет доминирующей мотивации (предпочтение действий); использование памятных следов (арсенала движений и изученных тактических комбинаций); формирование моторной программы и образа результата действий; внесение сенсорных коррекций в программу, если результат не достигнут.

Комплекс нейронов, обеспечивающих эти процессы, располагается на различных этажах нервной системы, становясь ***доминантой,*** т.е. господствующим очагом в центральной нервной системе. Он подавляет деятельность посторонних нервных центров и соответственно лишних скелетных мышц (Ухтомский А.А., 1923). В результате движения выполняются все более экономно, при включении лишь самых необходимых мышечных групп и лишь в те моменты, которые нужны для его осуществления. Происходит экономизация энерготрат.

Порядок возбуждения в доминирующих нервных центрах закрепляется в виде определенной системы условных и безусловных рефлексов и сопровождающих их вегетативных реакций, образуя ***двигательный динамический стереотип*** (Павлов И.П.; Крестовников А.Н., 1954). Каждый предшествующий двигательный акт в этой системе запускает следующий. Это облегчает выполнение целостного упражнения и освобождает сознание человека от мелочного контроля за каждым его элементом. Роль условно-рефлекторного механизма образования двигательных навыков доказывается, в частности, тем, что выработанные навыки во многом угасают при перерывах в тренировке (при отсутствии подкрепления). Однако двигательные навыки отличаются от классических слюнных условных рефлексов, описанных И.П. Павловым (сенсорных или рефлексов 1-го рода). Навыки в основном представляют условные рефлексы 2-го рода – оперантные или инструментальные условные рефлексы (Конорский Ю.М., 1970). В них новым отделом рефлекторной дуги является ее эффекторная часть, т.е. создается новая форма движения или новая комбинация из ранее освоенных действий. Построение новой формы движений на основе имеющихся элементов Н.В. Зимкин (1975) отнес к явлениям ***экстраполяции*** (использования предшествующего опыта).

11.2.2. Стабильность и вариативность компонентов двигательного навыка

Возникшие в первой половине XX века представления о доминанте, функциональной системе и двигательном динамическом стереотипе легли в основу понимания механизмов формирования двигательных навыков в процессе обучения человека. Дальнейшие исследования позволили уточнить эти классические представления.

Уже Н.А. Бернштейн отмечал, что даже достаточно простые навыковые действия не являются полностью стереотипными. При

многократных повторениях они могут различаться по амплитуде, скорости выполнения отдельных элементов и т.д. Как оказалось, еще больше они различаются по внутренней структуре. Многоканальная регистрация ЭМГ различных мышц при выполнении спортивных упражнений показала, что в одних и тех же освоенных движениях значительно варьирует состав активных мышечных групп. Одни мышцы включаются в движения постоянно, а другие – лишь периодически (табл. 12). Варьируют длительность фаз, мышечные усилия, последовательность включения мышц. Это позволило говорить о закономерной ***вариативности внешних и внутренних компонентов двигательного навыка*** (Зимкин Н.В.,1975). Наличие вариаций позволяет отбирать оптимальные и отбрасывать неадекватные моторные программы, учитывать не только внешние изменения ситуации, но и сократительные возможности мышц. Вариативность особенно выражена в периоды врабатывания, перед отказом от работы и в восстановительном периоде. Регистрация активности отдельных нейронов головного мозга (в экспериментах на животных и в клинике при лечебных мероприятиях) показала значительную вариативность их включения в одни и те же освоенные действия. При этом между ними образуются как ***«жесткие» (стабильные), так и «гибкие» (вариативные) связи*** (Бехтерева Н.П., 1980).

Таблица 12

Стабильность и вариативность включения различных мышц у квалифицированного тяжелоатлета при многократных рывках штанги (по: Н.В. Зимкин, 1973)

Мышцы	Наличие активности (+) при десяти повторных рывках									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Четырехглавая мышца бедра, наружная	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
То же, средний пучок	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
То же, внутренний пучок	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Длинная спины	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Дельтовидная, средний пучок	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Трехглавая плеча	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Трапециевидная	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Двуглавая плеча	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Икроножная	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Двуглавая бедра	–	–	–	+	+	–	+	–	+	+
Ягодичная	+	+	–	–	+	–	–	–	–	+
Широчайшая спины	+	–	–	–	–	–	–	–	–	+
Дельтовидная, передний пучок	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Большая грудная	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+

Сохранение основных черт двигательного навыка в условиях изменяющейся внешней среды и перестроек внутренней среды организма возможно лишь при варьировании «гибких» связей в системе управления движениями. Так, хорошо освоенный навык ходьбы осуществляется при разном наклоне туловища, переменных усилиях ног, неодинаковом составе скелетных мышц и нервных центров, различных вегетативных реакциях в зависимости от рельефа дороги, качества грунта, силы встречного ветра, степени отягощения, утомления человека и прочих причин. «Гибкие» элементы функциональной системы составляют основную ее часть, так как в любых условиях они обеспечивают выполнение навыка, достижение требуемого результата.

Навыки циклических движений более стабильны по сравнению с ациклическими, так как в их основе лежат повторения одинаковых циклов:

элементы циклических движений 1–2–1–2–1–2...

элементы ациклических движений 1–2–3–4–5–6...

Циклические движения превращаются в навык при переходе от отдельных двигательных актов к последовательной их цепи – от отдельных шагов к ходьбе и бегу, от начертания отдельных букв к письму и т.п. При этом к процессам коркового управления движениями подключаются древние автоматизмы, так называемые циклоидные движения, осуществляемые подкорковыми ядрами головного мозга.

Навыки в ситуационных видах спорта (спортивных играх, единоборствах) отличаются наибольшей вариативностью. Стереотипы в этих видах спорта формируются лишь при овладении отдельным и элементами техники (например, в штрафных бросках). Автоматизация этих навыков позволяет быстрее включать их в новые движения. В стандартных видах спорта навыки более стереотипны. Их стабильность повышается по мере роста спортивного мастерства. Но и здесь необходимо сохранение определенного уровня вариативности навыков для их адаптации к разным условиям выполнения.

11.3. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И СТАДИИ ФОРМИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ НАВЫКОВ

Процесс обучения двигательному навыку начинается с определенного побуждения к действию, которое задается подкорковыми и корковыми мотивационными зонами. У человека это главным образом стремление к удовлетворению определенной

социальной потребности (любовь к данному виду спорта, желание им заниматься, преуспеть в упражнении и пр.). Оптимальный уровень мотиваций и эмоций способствует успешному усвоению двигательной задачи и ее решению.

11.3.1. Замысел и общий план действия

На первом этапе формирования двигательного навыка возникает замысел действия, осуществляемый ассоциативными зонами коры больших полушарий (переднелобными и нижнетеменными). Они формируют общий план осуществления движения. Вначале это лишь общее представление о двигательной задаче, которое возникает либо при показе движения другим лицом (педагогом, тренером или опытным спортсменом), либо после словесной инструкции, самоинструкции, речевого описания. В сознании человека создается определенный эталон требуемого действия, «модель потребного будущего» (Бернштейн Н.А., 1966). Эту функцию П.К. Анохин назвал «опережающее отражение действительности». Формирование такой наглядно-образной модели складывается из образа ситуации в целом (задаваемые пространственные и временные характеристики двигательной задачи) и образа тех мышечных действий, которые необходимы для достижения цели. Имея представление о требуемой модели движения, человек может осуществить ее разными мышечными группами. Так, например, подпись человека имеет характерные черты, независимо от мышечных групп, выполняющих ее (пальцы, кисть, предплечье, нога).

Особое значение имеют в этом процессе восприятие и переработка зрительной информации (при показе) и слуховой (при рассказе). Опытные спортсмены быстрее формируют зрительный образ движения, так как у них лучше выражена поисковая функция глаза, и они способны эффективно выделять наиболее важные элементы. У них богаче кладовая «моторной памяти» – хранящиеся в ней образы освоенных движений, быстрее происходит извлечение нужных моторных следов.

11.3.2. Стадии формирования двигательных навыков

На втором этапе обучения начинается непосредственное выполнение разучиваемого упражнения; отмечаются три стадии формирования двигательного навыка:

1) стадия генерализации (иррадиации возбуждения),
2) стадия концентрациии,

3) стадия стабилизации и автоматизации.

На первой стадии созданная модель становится основой для перевода внешнего образа во внутренние процессы формирования программы собственных действий. Физиологические механизмы этого во многом неясны. На ранних этапах онтогенеза, когда речевая регуляция движений (внешней речью постороннего лица или внутренней собственной речью) еще не развита, особенное значение имеют процессы подражания, общие у человека и животных. Следя за действиями другого лица и имея некоторый опыт управления своими мышцами, ребенок превращает свои наблюдения в программы собственных движений. Эти процессы аналогичны процессам освоения речи, которую ребенок сначала слышит от окружающих людей, а затем преобразует в собственную моторную речь (по терминологии психолога Л.С. Выготского, это – явление интериоризации, т.е. превращение внешней речи во внутреннюю).

Некоторые особенности программирования отражаются в межцентральных взаимосвязях электрической активности мозга. Можно видеть, например, что при наблюдении за выполнением бега посторонним лицом в коре больших полушарий у человека появляются потенциалы в темпе этого бега (своеобразная модель наблюдаемого движения). Подобные изменения ритмов мозга и специфические перестройки пространственной синхронизации корковых потенциалов отмечаются также при представлении и при мысленном выполнении движений. При этом пространственные взаимосвязи мозговой активности начинают отличаться от состояния покоя и приближаться к таковым при реальном выполнении работы (табл. 13).

Таблица 13

Появление сходства корковых функциональных систем при мысленном и реальном выполнении бега у спринтера I разряда
(по данным корреляционного анализа ЭЭГ)

	Исходное состояние	Мысленный бег	Реальный бег
A	6–7–4	4–3–5–2–7 | 6	4–3–5–2–7
B	1, 2, 3, 5, 8	1, 8	1, 6, 8

Примечание:

1–8 – номера корковых зон;

A – плеяды взаимосвязанной (синхронной и синфазной) активности различных корковых зон с коэффициентами корреляции 0,7–1,0;

B – независимые корковые зоны.

В процессах программирования используются имеющиеся у человека представления о «схеме тела», без которых невозможна правильная адресация моторных команд к скелетным мышцам в разных частях тела, и о «схеме пространства», обеспечивающие пространственную организацию движений. Нейроны, связанные с этими функциями, находятся в нижнетеменной ассоциативной области задних отделов коры больших полушарий. Организация движений во времени, оценка ситуации, построение последовательности двигательных актов, их сознательная целенаправленность осуществляются переднелобной ассоциативной корой. Только в ней имеются специальные нейроны кратковременной памяти, которые удерживают созданную программу от мо-мента прихода в кору внешнего пускового сигнала (или от момента самоприказа) до момента осуществления моторной команды.

Соответственно этому во время реальной работы можно видеть особую специфику мозговой активности, отражающую характерные черты двигательных программ (рис. 32). Так, у бегунов и конькобежцев как при воображаемом, так и при реальном выполнении бега по дорожке или на коньках, устанавливается сходство (пространственная синхронизация) потенциалов передне-

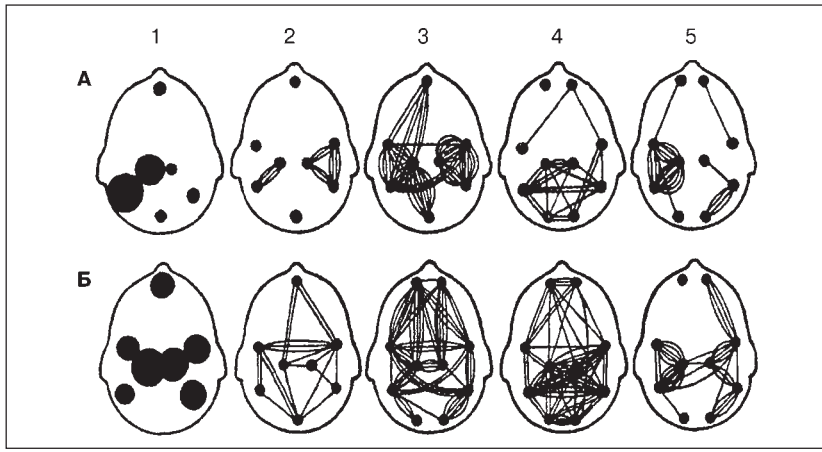


Рис. 32. Перестройка и специфика корковых функциональных систем на различных этапах выработки двигательных навыков:

***А** – мастера спорта, **Б** – спортсмены-разрядники.*
На схемах – вид головы сверху.
1 – иррадиация (Б) и концентрация (А) медленных потенциалов в темпе движения («меченых ритмов») у бегунов во время бега; 2–5 – высокие межцентральные взаимосвязи потенциалов: 2 – бегуны, бег; 3 – фехтовальщики, уколы с выпадом; 4 – биатлонисты, стрельба; 5 – тяжелоатлеты, толчок штанги

лобной (программирующей) области с моторными центрами ног, а у гимнастов при представлении и выполнении стойки на кистях – с моторными центрами рук. При стрельбе, бросках мяча в баскетбольное кольцо возникает сходство активности зрительных, нижнетеменных зон (ответственных за пространственную ориентацию движений) и моторных зон коры, что обеспечивает точность глазодвигательных реакций. В процессе фехтования к этим зонам подключаются переднелобные области, связанные с вероятностной оценкой текущей и будущей ситуации.

В создании моторных программ принимают участие многие нейроны коры, мозжечка, таламуса, подкорковых ядер и ствола мозга. Обширное вовлечение множества мозговых элементов необходимо для поиска наиболее нужных из них. ***Этот процесс обеспечивается широкой иррадиацией возбуждения по различным зонам мозга и сопровождается обобщенным характером периферических реакций – их генерализацией.*** В силу этого первая стадия начинающихся попыток выполнить задуманное движение называется ***стадией генерализации.*** Она характеризуется напряжением большого числа активированных скелетных мышц, их продолжительным сокращением, одновременным вовлечением в движения мышц-антагонистов, отсутствием интервалов в ЭМГ во время расслабления мышц (рис. 33). Все это нарушает координацию движений, делает их закрепощенными, приводит к значительным энерготратам и соответственно излишне выраженным вегетативным реакциям. На этой стадии наблюдаются особенное учащение дыхания и сердцебиения, подъем артериального давления, резкие изменение состава крови, заметное повышение температуры тела и потоотделения. Однако нет достаточной согласованности этих сдвигов между собой и их соответствия мощности и характеру работы.

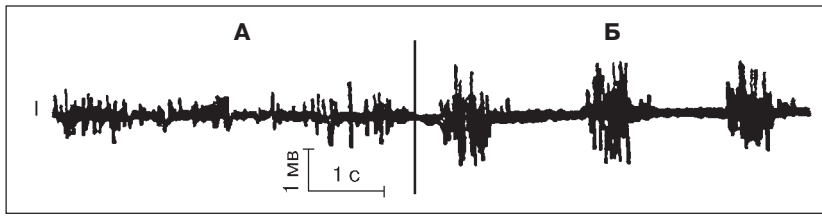


Рис. 33. Характеристика деятельности мышц при формировании двигательного навыка. Электромиограмма трехглавой мышцы плеча при неосвоенных (А) и освоенных (Б) циклических движениях

Массированный поток афферентных импульсов от проприорецепторов многих мышц затрудняет отделение основных рабочих мышечных групп от посторонних. Анализ «темного» мышечного чувства еще более осложняется обильным притоком интероцептивных сигналов – в первую очередь, от рецепторов дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Требуются многократные повторения разучиваемого упражнения для постепенного совершенствования моторной программы и приближения ее к заданному эталону.

На второй стадии формирования двигательного навыка происходит концентрация возбуждения в необходимых для его осуществления корковых зонах. В посторонних же зонах коры активность подавляется одним из видов условного внутреннего торможения – дифференцировочным торможением. В коре и подкорковых структурах создается мозаика из возбужденных и заторможенных нейронных объединений, что обеспечивает координированное выполнение двигательного акта. Включаются лишь необходимые мышечные группы и только в нужные моменты движения, что можно видеть на записях ЭМГ. В результате рабочие энерготраты снижаются.

Навык на этой стадии уже сформирован, но он еще очень непрочен и нарушается при любых новых раздражениях (выступление на незнакомом поле, появление сильного соперника и т.д.). Эти воздействия разрушают неокрепшую еще рабочую доминанту, едва установившиеся межцентральные взаимосвязи в мозгу вновь приводят к иррадиации возбуждения и потере координации.

На третьей стадии в результате многократного повторения навыка в разнообразных условиях помехоустойчивость рабочей доминанты повышается. Появляется ***стабильность и надежность навыка,*** снижается сознательный контроль за его элементами, т.е. возникает автоматизация навыка. Прочность рабочей доминанты поддерживается четкой сонастройкой ее нейронов на общий ритм корковой активности. Такое явление было названо А.А. Ухтомским ***усвоением ритма.*** При циклической работе ритм корковой активности соответствует темпу выполняемого движения: в ЭЭГ появляются потенциалы, соответствующие этому темпу, – ***«меченые ритмы»*** ЭЭГ – рис. 34 (Сологуб Е.Б., 1965). Внешние раздражения на этой стадии лишь подкрепляют рабочую доминанту, не разрушая ее. Большая же часть посторонних афферентных потоков не пропускается в спинной и головной мозг: специальные команды из вышележащих центров вызывают пресинаптическое торможение импульсов от пери-

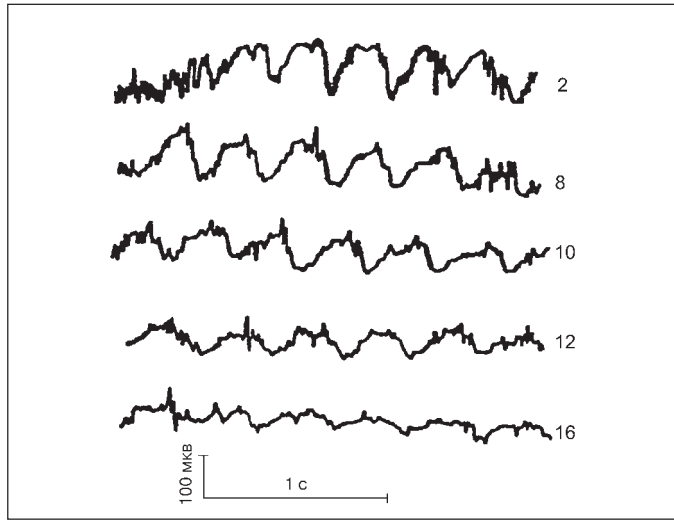


Рис. 34. Медленные потенциалы в темпе движения – «меченые ритмы» ЭЭГ.
Радиотелеметрическая регистрация активности моторной области ноги левого полушария у спортсмена-спринтера при пробегании 50-метровых отрезков (цифры справа – порядковые номера пробегов)

ферических рецепторов, препятствуя их доступу в спинной мозг и вышележащие центры. Этим обеспечивается защита сформированных программ от случайных влияний и повышается надежность навыков.

Процесс автоматизации не означает выключения коркового контроля за выполнением движения. В коре работающего человека отмечается появление связанных с движением потенциалов, специфические формы межцентральных взаимосвязей активности. Однако в этой системе центров по мере автоматизации снижается участие лобных ассоциативных отделов коры, что, по-видимому, и отражает снижение его осознаваемости.

11.4. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ НАВЫКОВ

В процессе тренировки происходит постоянное ***сличение созданной модели навыка и реальных результатов его выполнения*** (Бернштейн Н.А., 1966; Анохин П.К., 1975). По мере роста спортивного мастерства совершенствуется сама модель требуемого действия, уточняются моторные команды, а также улучшается анализ сенсорной информации о движении.

11.4.1. Обратные связи

Особое значение в отработке моторных программ имеют обратные связи. Информация, поступающая в нервные центры по ходу движения, служит для сравнения полученного результата с имеющимся эталоном. При их несовпадении в мозговых аппаратах сравнения (лобных долях, подкорковом хвостатом ядре) возникают импульсы рассогласования и в программу вносятся поправки – сенсорные коррекции. При кратковременных движениях (прыжках, бросках, метаниях, ударах) рабочие фазы настолько малы (сотые и тысячные доли секунды), что сенсорные коррекции по ходу движения вносить невозможно. В этих случаях вся программа действия должна быть готова до начала двигательного акта, а поправки могут вноситься лишь при его повторениях.

В системе обратных связей различают ***«внутренний контур»*** регуляции движений, передающий информацию от двигательного аппарата и внутренних органов (в первую очередь – от рецепторов мышц, сухожилий и суставных сумок), и ***«внешний контур»,*** несущий сигналы от экстерорецепторов (главным образом зрительных и слуховых). При первых попытках выполнения движений, благодаря множественному и неопределенному характеру мышечной афферентации, основную роль в системе обратных связей играют сигналы «внешнего контура» – зрительный и слуховой контроль. Поэтому на начальных этапах освоения двигательных навыков так важно использовать зрительные ориентиры и звуковые сигналы для облегчения процесса обучения. По мере освоения навыка «внутренний контур» регуляции движений приобретает все большее значение, обеспечивая автоматизацию навыка, а роль «внешнего контура» снижается.

11.4.2. Дополнительная информация

Процесс обучения навыку ускоряется при разного рода дополнительной информации ***об успешности выполнения упражнения*** – указания тренера, компьютерный анализ движения в трехмерном пространстве, просмотр кинокадров, видеофильмов, записей ЭМГ и др.

Особенно ценной для обучаемого является срочная информация, поступающая непосредственно в периоде выполнения упражнения или при повторных попытках (Фарфель В.С., 1960). С помощью дополнительной срочной информации можно сообщать спортсмену такие параметры движений, которые им не осоз-

наются и, следовательно, не могут произвольно контролироваться. Например, можно снижать колебания общего центра масс при выполнении сложных равновесий, визуально наблюдая их на экране монитора; контролировать по звуколидеру точность поддержания темпа и степень повышения скорости движения; по изменению мелодии песни замечать ошибки в порядке сокращения мышц и т.п. Тем самым повышается возможность совершенствования спортивной техники.

Для усиления мышечных ощущений при освоении сложных упражнений используют различные тренажеры. Особенное влияние на сознательное построение моторных программ имеют ***тренажеры, управляющие суставными углами,*** так как импульсы от рецепторов суставных сумок поступают непосредственно в кору больших полушарий и хорошо осознаются.

Особое значение в процессе моторного научения имеет речевая регуляция движений (словесные указания педагога, внутренняя речь обучаемого). С помощью речи формируются в коре избирательные взаимосвязи, лежащие в основе моторных программ. В высших отделах мозга человека обнаружены специальные «командные» нейроны, которые реагируют на словесные приказы и запускают нужные действия. Самоприказы и вызываемые ими процессы самоорганизации и самомобилизации обеспечивают усиление рабочей доминанты и налаживание моторных и вегетативных компонентов навыка. Этому способствуют и проприоцептивные импульсы от собственных органов речи при произнесении вслух словесных команд (например, подсчет «Раз, два!» облегчает регуляцию темпа движений).

Наряду с совершенствованием навыков моторных действий у спортсменов происходит формирование навыков тактического мышления – специализированной формы умственной деятельности. Повторяя определенные тактические комбинации спортсмены автоматизируют мыслительные операции. Это позволяет многие решения принимать почти мгновенно, как бы интуитивно, а осознавать их уже после выполнения (например, в боксе, фехтовании).

11.4.3. Надежность и нарушения двигательных навыков

В экстремальных условиях мышечной работы, при развитии утомления надежность навыка поддерживается путем мобилизации функциональных резервов мозга – дополнительным вовлечением нервных центров, включением в систему уп-

равления движениями другого полушария. Особенно важно усиление в этой системе роли лобных ассоциативных областей, что указывает на произвольное преодоление утомления. Такая мобилизация резервов мозга в начальной стадии утомления полезна, так как способствует адаптации нервной системы к нагрузке и сохранению навыка. При глубоком утомлении и переутомлении система управления движениями разрушается и навык теряется.

При действии различных сбивающих факторов, сопровождающих соревновательную деятельность спортсмена (внешних помех, эмоционального стресса, резких изменениях гомеостаза и др.), ***происходят нарушения двигательных навыков и потеря их автоматизации, т.е.*** дезавтоматизация. Эти явления больше выражены у менее подготовленных спортсменов, недостаточно упрочивших демонстрируемые навыки, у юных спортсменов, у лиц, обладающих нестабильностью нервных процессов и повышенной возбудимостью, при низком уровне общей и специальной работоспособности. Так, недостаточная адаптация к «рваному» режиму и высокому темпу двигательной деятельности в ситуационных видах спорта нарушает навыки точностных движений (бросков и передач мяча, шайбы, ударов в боксе и пр.). Недостаточное освоение переключений от интенсивной лыжной гонки к стабильной позе и тонкой регуляции нажима спускового крючка, требующих смены одной доминирующей группы нервных центров на другую, снижает меткость стрельбы у биатлонистов.

Снижение функционального состояния организма спортсмена при заболеваниях, кислородном голодании, алкогольном опьянении и прочим понижает устойчивость рабочей доминанты и обнаруживается нарушением навыковых действий.

При перерывах в тренировке могут сохраняться основные черты навыка, последовательность его фаз, но теряется способность эффективного выполнения тонких его элементов. В наибольшей степени утрачиваются самые сложные элементы навыка, а также вегетативные его компоненты.

12. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ ТРЕНИРОВАННОСТИ

Спортивная тренировка представляет собой ***специализированный педагогический процесс,*** направленный на повышение общей физической подготовленности и специальной работоспособности.

12.1. ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТРЕНИРОВКИ И СОСТОЯНИЯ ТРЕНИРОВАННОСТИ

Спортивная тренировка, с физиологической точки зрения, представляет собой многолетний ***процесс адаптации*** организма человека к требованиям, которые ему предъявляет избранный вид спорта.

Как во всяком педагогическом процессе, в ходе тренировки соблюдаются ***общие педагогические принципы*** – активности, сознательности, наглядности, систематичности, последовательности, доступности и прочности. Вместе с тем имеются ***специфические принципы тренировки*** – единство общей и специальной физической подготовки, непрерывность и цикличность тренировочного процесса, постепенное и максимальное повышение тренировочных нагрузок. Эти принципы обусловлены закономерностями развития физических качеств и формирования двигательных навыков у человека, особенностями функциональных перестроек в организме, изменением диапазона функциональных резервов спортсмена.

12.1.1. Физиологические основы процесса тренировки

Лишь ***на базе общей (неспециализированной) подготовки,*** в результате развития физических качеств и роста функциональных возможностей организма, ***осуществляется переход к специализированным формам подготовки*** спортсмена в избранном виде спорта. Этот процесс должен быть по возможности ***непрерывным,*** так как перерывы в систематических занятиях приводят к резкому падению достигнутого уровня проявления качественных сторон двигательной деятельности и освоения двигательных навыков. Так, например, достигнутый у подростков на протяжении первого года занятий рост мышечной силы за время летнего перерыва практически полностью теряется.

Цикличность тренировочного процесса связана с тем, что выход на наиболее высокий уровень специальной работоспособности осуществляется постепенно на протяжении подготовительного периода (3–4 мес). К соревновательному периоду спортсмен достигает высокого уровня работоспособности, но поддерживать этот достигнутый на данном этапе наивысший уровень функциональных и психических возможностей человек может лишь ограниченное время (не более 4–5 мес). После чего необходим определенный отдых, переключение на другую деятельность, снижение нагрузки, т.е. переходный период. ***Годичный тренировочный цикл*** (или 2 цикла в году) подразделяется на промежуточ-

ные ***мезоциклы***, а те – на недельные ***микроциклы***. Такая цикличность соответствует естественным биоритмам человеческого организма и, кроме того, позволяет варьировать применяемые физические нагрузки.

Правильное чередование тяжести физических нагрузок с оптимальными интервалами отдыха обеспечивает возможность ***использования явлений суперкомпенсации – сверхвосстановления организма,*** когда следующее тренировочное занятие начинается с более высокого уровня работоспособности по сравнению с исходным. При этом режиме неуклонно растут результаты спортсмена и сохраняется его здоровье. Слишком большие интервалы не дают никакого прироста, а недостаточные интервалы приводят к падению работоспособности и ухудшению функционального состояния организма.

Тренировочные нагрузки должны ***постепенно повышаться*** в зависимости от достигнутого уровня функциональных возможностей, иначе даже при систематических занятиях будет обеспечиваться лишь их поддерживающий эффект. Например, при физических нагрузках у молодых людей ЧСС должна быть выше 150 уд./мин, а у пожилых – выше 130 уд./мин, иначе адаптивных сдвигов в организме, в частности в состоянии сердечной мышцы, не будет наблюдаться.

Для достижения высоких спортивных результатов должны использоваться ***максимальные нагрузки,*** которые вызывают мобилизацию функциональных резервов центральной нервной системы, двигательного аппарата и вегетативных систем, оставляя ***функциональный и структурный след*** тренировки.

12.1.2. Физиологические основы состояния тренированности

Правильная организация тренировочного процесса обусловливает состояние адаптированности спортсмена к специализированным нагрузкам, или состояние тренированности. Его характеризуют: ***1) повышение функциональных возможностей организма и 2) увеличение экономичности его работы.***

Овладение рациональной техникой выполнения упражнений, совершенство координации движений, повышение экономичности дыхания и кровообращения приводят к снижению энерготрат на стандартную работу, т.е. повышает ее КПД.

Наиболее высокий уровень тренированности достигается в состоянии спортивной формы. Это состояние требует предельно возможной мобилизации всех функциональных систем орга-

низма, значительного напряжения регуляторных процессов. Оно может сохраняться непродолжительное время в зависимости от индивидуальных особенностей спортсмена, его квалификации и других факторов. ***Цена такого уровня адаптации*** оказывается высокой –повышается реактивность организма на действие неблагоприятных условий среды, снижается его устойчивость к простудным и инфекционным заболеваниям, т.е. резко снижается иммунитет.

Характер физиологических сдвигов определяется направленностью тренировочного процесса – на быстроту, силу или выносливость, особенностями двигательных навыков, величиной нагрузки на отдельные мышечные группы и т.п., т.е. ***тренировочные эффекты специфичны.***

Тренировочный эффект зависит от объема физической нагрузки – ее длительности, интенсивности и частоты. У каждого человека имеется генетически определяемый предел функциональных перестроек в процессе тренировки – его ***генетическая норма реакции.*** При одинаковых физических нагрузках различные люди отличаются по величине и скорости изменений функциональной подготовленности, т.е. по тренируемости.

Влияние наследственных факторов определяет степень развития физических качеств. Наименее тренируемыми качествами являются быстрота, гибкость, скоростно-силовые возможности. Генетически обусловлены изменения многих физиологических показателей (МПК, анаэробных возможностей, максимальной величины ЧСС, роста жизненной емкости легких и др.).

12.2. ТЕСТИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ СПОРТСМЕНОВ В ПОКОЕ

Особенности морфологических, функциональных и психофизиологических показателей организма человека в состоянии покоя характеризуют степень его функциональной подготовленности к определенной физической нагрузке.

12.2.1. Особенности функционального тестирования в спорте

Для тестирования функциональной подготовленности спортсменов исходят из ***модели чемпиона,*** в которой представлены характеристики сильнейших спортсменов в ответственных соревнованиях. Из этой модели выводятся спортивно-важные качества или ***модель мастерства,*** включающая характеристики специ-

альной физической, технической и тактической подготовки спортсменов, находящихся в спортивной форме. Отсюда определяют наиболее информативные показатели функциональной подготовленности или шире – ***модель спортивных возможностей,*** в которую входят функциональная и психологическая подготовленность, морфологические особенности, возраст и спортивный стаж. Подобный подход позволяет определить целевые задачи подготовки спортсмена и его собственные спортивные перспективы.

Для оценки ***индивидуальных особенностей адаптации*** организма к работе необходимо ***комплексное тестирование,*** позволяющее получить сведения о морфофункциональных и психофизиологических показателях конкретного человека.

В тренировочном процессе используют различные ***виды контроля***, в ходе которых исследуют состояние различных органов и систем спортсмена:

• ***оперативный, или текущий, контроль,*** отражающий ежедневные реакции организма спортсмена на выполняемые физические нагрузки по наиболее вариативным показателям (ЧСС, тест Самочувствие–Активность–Настроение (САН), способность решения тактических задач, состояние внимания и пр.);

• ***этапный контроль,*** проводимый 5–6 раз в году с использованием менее динамичных показателей (МПК, максимальная анаэробная мощность, индекс Гарвардского степ-теста, оценка временных интервалов и пр.);

• ***углубленное медицинское обследование*** (1 раз в год) с анализом достаточно консервативных показателей (тестирование личностных характеристик, психофизиологических показателей, индивидуально-типологических особенностей высшей нервной деятельности) и ряда сложных медицинских параметров.

12.2.2. Показатели функциональной подготовленности в покое

В центральной нервной системе спортсмена отмечается высокий уровень лабильности нервных центров, оптимальная возбудимость и хорошая подвижность нервных процессов (возбуждения и торможения).

У спортсменов, обладающих выраженным качеством быстроты, время двигательной реакции укорочено, в ЭЭГ покоя отмечается повышенная частота альфа-ритма – 11–12 колеб./с (например, у 80% баскетболистов I разряда и мастеров спорта, в отличие от лыжников-гонщиков и борцов, имеющих частоту 8–9 колеб./с).

Двигательный аппарат квалифицированных спортсменов отличается большей толщиной и прочностью костей, выраженной рабочей гипертрофией мышц, их повышенной лабильностью и возбудимостью, большей скоростью проведения возбуждения по двигательным нервам, запасами мышечного гликогена и миоглобина, высокой активностью ферментов. Об улучшении иннервации мышц свидетельствуют факты утолщения нервно-мышечных синапсов и увеличение их числа. Спортсмены имеют высокие показатели произвольного напряжения мышц и в то же время отличного их расслабления, т.е. большую величину амплитуды твердости мышц.

Обмен веществ спортсменов характеризуется увеличением запасов белков и углеводов, снижением уровня основного обмена (лишь в соревновательном периоде основной обмен может быть повышен из-за недостаточного восстановления).

Дыхание спортсменов более эффективно, так как увеличена ЖЕЛ (до 6–8 л), т.е. расширена дыхательная поверхность; больше глубина вдоха, что улучшает вентиляцию легких и снижает частоту дыхания (до 6–12 вдохов в 1 мин). Лучше развиты и более выносливы дыхательные мышцы (это можно наблюдать, например, по способности сохранять высокие значения ЖЕЛ при повторных ее определениях). Величина минутного объема дыхания в покое не изменена (из-за противоположных сдвигов частоты и глубины дыхания), но максимальная легочная вентиляция значительно выше у тренированных лиц (порядка 150–200 л/мин) по сравнению с нетренированными (60–120 л/мин). Увеличена длительность задержки дыхания (особенно в синхронном плавании, нырянии), что свидетельствует о хороших анаэробных возможностях и пониженной возбудимости дыхательного центра.

В сердечно-сосудистой системе спортсменов также выявлены адаптивные изменения. Тренированное сердце имеет большой объем и толщину сердечной мышцы. При тренировке на выносливость (у бегунов-стайеров, лыжников-гонщиков и др.) наблюдается особенное увеличение объема сердца – до 1000–1200 $см^3$ (у нетренированных лиц – порядка 700 $см^3$). Большой объем сердца – до 1200 $см^3$ – характерен также для высокорослых баскетболистов, однако более этой величины нарастание объема неблагоприятно, так как ухудшаются возможности кровоснабжения самой сердечной мышцы. При адаптации к скоростно-силовым упражнениям происходит преимущественно утолщение сердечной мышцы – ее рабочая гипертрофия, а объем

в меньшей степени превышает норму (800–1000 см^3). Рабочая гипертрофия сердечной мышцы повышает мощность работы сердца и обеспечивает кровоток в скелетных мышцах при их напряжении в условиях силовых и скоростно-силовых нагрузок.

Повышение общего объема сердца сопровождается увеличением резервного объема крови и, хотя ударный объем крови в покое практически не нарастает, при работе его значительный рост обеспечивается за счет резервного объема. Частота сердечных сокращений спортсменов (особенно у стайеров) в покое понижена до 40–50 уд./мин (в отдельных случаях до 28–32 уд./мин), т.е. отмечается спортивная брадикардия. Минутный объем крови соответствует норме или немного ниже нее.

У спортсменов в состоянии спортивной формы (в среднем 30% случаев) наблюдается спортивная гипотония – снижение величины систолического артериального давления до 100–105 мм рт. ст. и ниже. Чаще всего это встречается у гимнастов и спортсменов-стайеров. Выраженность артериальной гипотонии растет по мере увеличения спортивного стажа и уровня квалификации спортсменов. У спортсменов, специализирующихся в спортивных играх, наоборот, в состоянии покоя артериальное давление часто может быть повышенным.

В системе крови у спортсменов больше концентрация эритроцитов – 6×10^{12}/л и гемоглобина – 160 г/л и более. Это обеспечивает большую кислородную емкость крови (до 20–22 об. %). Общее количество гемоглобина в организме у тренированного спортсмена (800–1000 г) превышает его запасы у нетренированных лиц (700 г). Повышены щелочные резервы, т.е. легче противостоять окислению крови. Больше объем циркулирующей крови.

Все перечисленные перестройки функциональных показателей свидетельствуют об общей адаптации организма спортсменов к физическим нагрузкам и, в частности, к особенной функциональной подготовленности к упражнениям в избранном виде спорта.

12.3. ТЕСТИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ СПОРТСМЕНОВ ПРИ СТАНДАРТНЫХ И ПРЕДЕЛЬНЫХ НАГРУЗКАХ

О функциональной подготовленности спортсменов судят как по показателям в состоянии покоя, так и по изменениям различных функций организма при работе. Для тестирования используют стандартные и предельные нагрузки, причем стандартные

нагрузки подбирают такие, которые доступны всем обследуемым лицам независимо от возраста и уровня тренированности. Предельные же нагрузки должны соответствовать индивидуальным возможностям человека.

12.3.1. Принципиальные особенности реакций организма спортсменов на стандартные и предельные нагрузки

Изменения физиологических показателей у тренированных и нетренированных лиц при стандартных и предельных нагрузках имеют принципиальные различия.

В случае стандартных нагрузок регламентируется мощность и длительность работы. Задается частота педалирования на велоэргометре и величина преодолеваемого сопротивления, высота ступенек и темп восхождения при степ-тестах, длительность работы и интервалы между пробами и т.п., – всем обследуемым предлагается ***одинаковая работа.***

В этой ситуации лучше подготовленный человек, работая более экономно за счет совершенной координации движений, имеет небольшие энерготраты и показывает меньшие сдвиги в состоянии двигательного аппарата и вегетативных функций.

В случае выполнения предельных нагрузок тренированный спортсмен работает с большей мощностью, выполняет заведомо больший объем работы, чем неподготовленный человек. Несмотря на экономичность отдельных физиологических процессов и высокую эффективность дыхания и кровообращения, для выполнения предельной работы ***тренированный организм спортсмена затрачивает огромную энергию и развивает значительные сдвиги в моторных и вегетативных функциях, совершенно недоступные для неподготовленного человека.***

12.3.2. Тестирование функциональной подготовленности при стандартной работе

Стандартные нагрузки, используемые для тестирования функциональной подготовленности спортсменов, могут быть ***общие, неспециализированные*** (различные функциональные пробы, велоэргометрические тесты, степ-тесты) и ***специализированные,*** адекватные упражнениям в избранном виде спорта (проплывание или пробегание определенных отрезков с заданной скоростью или заданным временем, поддержание заданного статического усилия в течение необходимого времени и т.п.).

При стандартной работе ***тренированный организм отличают от нетренированного*** следующие особенности:

- более быстрое врабатывание,
- меньший уровень рабочих сдвигов различных функций,
- лучше выраженное устойчивое состояние,
- более быстрое восстановление после нагрузки (рис. 35).

У тренированного спортсмена при динамической работе повышение минутного объема дыхания достигается преимущественно за счет увеличения глубины дыхания, рост минутного объема крови – за счет нарастания ударного объема, а у нетренированного человека – за счет частотных показателей (повышения частоты дыхания и сердцебиений).

У адаптированного к выполнению статической работы спортсмена меньше выражен феномен статических усилий – меньше подавление функций дыхания и кровообращения во время нагрузки и меньше послерабочее их нарастание, чем у других лиц.

Наиболее распространенными стандартными тестами являются ***тест определения физической работоспособности по показателю*** PWC_{I70} – мощности работы при ЧСС = 170 уд./мин и ***определение индекса Гарвардского степ-теста (ИГСТ),*** который оценивается по скорости восстановления ЧСС после нагрузки. Величина показателя PWC_{170} у лиц, не занимающихся спортом, в среднем составляет 1060 кгм/мин, у спортсменов скоростно-силовых видов спорта – 1255, у спортсменов, работающих на выносливость, – 1500 кгм/мин и более.

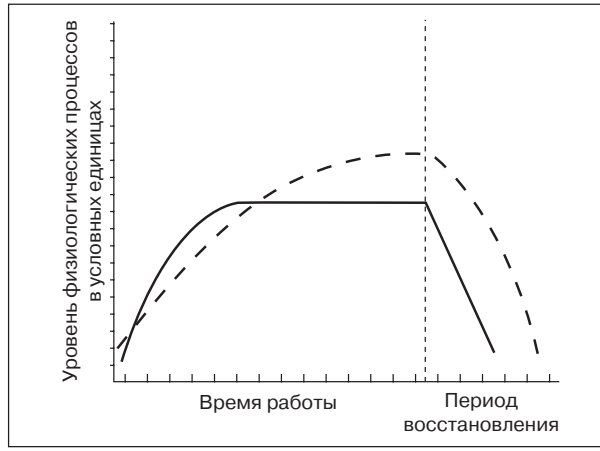


Рис. 35. Схема физиологических реакций на стандартную нагрузку у тренированных (сплошная линия) и нетренированных (прерывистая линия)

При выполнении стандартных нагрузок работоспособность спортсменов оценивается ***прямыми показателями*** по величине и мощности выполненной работы и ***косвенными показателями*** по величине функциональных сдвигов в организме. У тренированных спортсменов, обладающих более широким диапазоном функциональных резервов, отмечается значительное увеличение функциональных показателей, которое не может быть достигнуто нетренированными лицами.

Деятельность центральной нервной системы тренированных спортсменов характеризуется высокой скоростью восприятия и переработки информации, хорошей помехоустойчивостью, большей способностью к мобилизации функциональных резервов организма. У них велика возможность произвольного преодоления утомления, противостояния эмоциональным стрессам. Этому способствуют, с одной стороны, сформированные в мозгу мощные рабочие доминанты, а с другой – большое количество нейропептидов и гормонов (например, суточный выброс адреналина в соревновательном периоде у тренированных спортсменов может в 150 раз превышать показатели людей, не занимающихся спортом).

Энерготраты очень высоки: единичные – при работе максимальной мощности до 4 ккал/с и суммарные при работе умеренной мощности – до 2–3 тыс. ккал и более.

Величины МПК, характеризующие ***аэробные возможности,*** достигают у выдающихся спортсменов (лыжников, пловцов, гребцов и др.) 6 и даже 7 л/мин для абсолютного МПК и 85–90 мл/кг/мин для относительного МПК. Такие величины МПК позволяют спортсмену развивать значительную мощность передвижений и показывать высокие спортивные результаты. Огромны и величины суммарного потребления кислорода на всю дистанцию. Важным показателем тренированности является способность спортсменов-стайеров продолжать работу при резком снижении содержания глюкозы в крови. Высококвалифицированные спортсмены, работающие в зоне субмаксимальной мощности, отличаются очень высокими показателями ***анаэробных возможностей.*** Величины их кислородного долга достигают 20–22 л, что отражает переносимость высоких концентраций лактата в крови и глубоких сдвигов pH крови – до 7,0 и даже 6,9. Такие изменения характерны для работы с высоким кислородным запросом, который не удовлетворяется во время работы, несмотря на предельные изменения

функций вегетативных систем. Величины минутного объема дыхания при этом порядка 180 л/мин, а минутного объема крови – 40 л/мин. Систолический объем крови достигает 200 мл.

12.4. ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРЕТРЕНИРОВАННОСТИ И ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

Отклонения от рационального режима тренировочных занятий, несоблюдение величин нагрузки и длительности отдыха ведут к развитию состояний перетренированности и перенапряжения.

12.4.1. Перетренированность

Систематическое выполнение интенсивных нагрузок на фоне значительного недовосстановления организма приводит к развитию у спортсменов состояния перетренированности. Напряженная двигательная деятельность в этом случае превышает функциональные возможности организма.

Перетренированность – ***патологическое состояние организма спортсмена, вызванное прогрессирующим развитием переутомления вследствие недостаточного отдыха между тренировочными нагрузками*** (Солодков А.С., 1995). Это состояние тождественно по генезу невротическим расстройствам, развивающимся в результате нарушений высшей нервной деятельности. ***Главная причина перетренированности – недостаточный отдых между нагрузками.***

Это состояние характеризуется ***стойкими нарушениями двигательных и вегетативных функций, плохим самочувствием, падением работоспособности.*** Комплексные обследования спортсменов выявили преобладание тонуса симпатической нервной системы, неустойчивость психоэмоционального состояния, которое отражается в большом числе жалоб (до 80% случаев), повышенной мнительности, слезливости, симптомах раздражительной слабости, нарушениях сердечно-сосудистой деятельности. У некоторых лиц возникают явления депрессии, вялости, отсутствие интереса к тренировкам, спортсмен «спит на дистанции».

По данным корректурного теста, отмечено ***снижение умственной работоспособности:*** преобладает оценка низкая и ниже средней (60% случаев) и совершенно не наблюдается оценок высоких и выше средних.

В характере электрической активности мозга выявлено два типа изменений, соответственно клинике неврозов (типа неврастении или психостении): либо (в случае преобладания процессов возбуждения в коре больших полушарий и тонуса симпатической нервной системы) очень малая выраженность или полное отсутствие основного ритма покоя – альфа-ритма ЭЭГ и учащение фоновой активности до 14–17 Гц; либо (в случае депрессивного состояния) низкая амплитуда и частота альфа-ритма 8–9 Гц. Отмечены ***нарушения предрабочей настройки корковой активности*** у перетренированных спортсменов, свидетельствующие о поражении механизмов «опережающего отражения действительности (по П.К. Анохину), а также ***особая нерегулярность и нестабильность ЭЭГ во время работы,*** снижение в 2 раза выраженности рабочих ритмов мозга (медленных потенциалов в темпе движения), регулирующих темп циклических локомоций. Степень нарушения мозговых процессов соответствовала выраженности патологических симптомов и падению физической работоспособности спортсменов.

В развитии перетренированности выделяют три стадии:

• ***первая стадия*** характеризуется прекращением роста спортивных результатов или их незначительным снижением, плохим самочувствием, снижением адаптивных реакций организма на нагрузку;

• ***вторая стадия*** связана с прогрессирующим снижением спортивных результатов, затруднением процессов восстановления и дальнейшим ухудшением самочувствия;

• ***третья стадия*** выявляется стойким нарушением функций сердечно-сосудистой, дыхательной и двигательной систем, резким снижением спортивной работоспособности, особенно выносливости, тяжелым самочувствием, постоянными нарушениями сна, отсутствием аппетита, потерей массы тела спортсмена.

Профилактика состояния перетренированности заключается в соблюдении режима тренировок и отдыха, адекватного функциональным возможностям организма спортсмена.

Восстановление нарушенной работоспособности требует (в зависимости от тяжести состояния перетренированности) либо снижения физических нагрузок, либо полного их прекращения. Спортсмену необходим активный отдых или полный отдых от 1–2 недель до 1 месяца. Рекомендуется применение различных реабилитационных средств – витаминов, биологически активных веществ, массажа, физиотерапии и др.

12.4.2. Перенапряжение

Перенапряжение – ***резкое снижение функционального состояния организма, вызванное нарушением процессов нервной и гуморальной регуляции различных функций, обменных процессов и гомеостаза.*** Оно вызывается несоответствием между потребностями организма в энергоресурсах при физической нагрузке и функциональными возможностями их удовлетворения. В развитии этого состояния велика роль гормональной недостаточности – в особенности истощение при работе резервов адренокортикотропного гормона гипофиза.

При развитии перенапряжения нарушается баланс ионов натрия и калия, что вызывает отклонения в нормальном течении процессов возбуждения в нервной и мышечной системах. Эти изменения приводят, в частности, к очаговым и диффузным поражениям сердечной мышцы. При изменении ее состояния возможны даже разрывы мышечных волокон миокарда непосредственно в процессе прохождения дистанции спортсменом. ***Главной причиной перенапряжения являются чрезмерные и форсированные физические нагрузки*** (Солодков А.С., 1995).

Выделяют ***острое и хроническое перенапряжение.***

Острое перенапряжение сопровождается резкой слабостью, головокружением, тошнотой, одышкой, сердцебиениями, падением артериального давления. Может в наиболее тяжелых случаях вызывать печеночные боли в правом подреберье, острую сердечную недостаточность, обморочное состояние, даже летальный исход.

Хроническое перенапряжение отмечается при многократных применениях тренировочных нагрузок, несоответствующих функциональным возможностям организма спортсмена. Проявляется в повышенной усталости, нарушениях сна и аппетита, колющих болях в области сердца, стойких повышениях или понижениях артериального давления. Работоспособность спортсмена резко падает.

Сокращение или полное прекращение физических нагрузок способствует ***восстановлению организма.*** Используют также лекарственные средства для лечения сердечно-сосудистых расстройств. При этом необходимо уделять повышенное внимание сбалансированному питанию и дополнительному приему витаминов.

13. СПОРТИВНАЯ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Спортивная деятельность может осуществляться в самых различных условиях внешней среды. При этом спортсмены нередко подвергаются воздействию ряда экстремальных факторов, что приводит к ухудшению их функционального состояния, снижению общей и специальной работоспособности.

13.1. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА СПОРТИВНУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

Интенсивные и продолжительные физические нагрузки даже в комфортных условиях внешней среды существенно (в 15–20 раз) увеличивают теплопродукцию в работающих мышцах по сравнению с показателями основного обмена. Образовавшееся тепло передается в кровь, переносится по организму, повышая его температуру до 39–40°С и выше (рабочая гипертермия).

13.1.1. Влияние повышенной температуры и влажности

Повышенное теплообразование при мышечной работе приводит к изменению существующих механизмов теплоотдачи.

В комфортных условиях теплопотери осуществляются следующим образом:

- 15% – за счет теплопроведения и конвекции;
- 55% – путем лучеиспускания;
- около 30% – за счет испарения жидкости с кожных покровов и дыхательных путей; при этом на испарение 1 л жидкости расходуется 580 ккал.

При повышении температуры окружающего воздуха теплоотдача путем проведения и конвекции резко снижается и возрастает испарение пота. В свою очередь, усиленное потообразование приводит к нарушению водного баланса организма – ***дегидратации (обезвоживанию),*** которая вызывает прежде всего напряжение функций сердечно-сосудистой системы. Повышенная влажность воздуха серьезно затрудняет теплоотдачу путем испарения пота. Все это ведет к накоплению тепла в организме, создавая риск перегревания и даже тепловых ударов. Естественно, в таких условиях спортивная работоспособность существенно ухудшается.

Таким образом, снижение работоспособности спортсменов в условиях повышенной температуры и влажности воздуха может быть обусловлено снижением кислородтранспортных возможностей сердечно-сосудистой системы, дегидратацией организма и развитием его перегревания.

На основе механизмов саморегуляции ***предупреждение перегревания организма осуществляется тремя физиологическими процессами.***

• Первый из них состоит в ***усилении кожного кровотока,*** что увеличивает перенос тепла от ядра к поверхности тела и обеспечивает снабжение потовых желез водой. Кожный кровоток при физической работе в условиях высокой температуры может увеличиваться в 10–15 раз, составляя около 20% минутного объема крови. В комфортных условиях при такой же работе эта величина не превышает 5%.

• Второй физиологический процесс обусловлен ***усиленным потообразованием и его испарением.*** Потоотделение у спортсменов на марафонской дистанции может достигать 12–15 л/ч; в обычных условиях в состоянии относительного покоя оно составляет 0,5–0,6 л/сут.

• Наконец, в условиях повышенной температуры окружающей среды ***уменьшаются скорость потребления кислорода и энергетические расходы,*** что приводит к снижению теплопродукции.

Потеря воды организмом при тренировках и соревнованиях в условиях жаркого климата может достигать до 8–10 л в сутки. Кроме того, потери воды происходят путем мочеотделения (около 1 л) и испарения с дыхательных путей (0,75 л).

Естественно, такие потери жидкости должны обязательно восполняться. По современным представлениям, дополнительный прием жидкости нужно осуществлять в достаточном количестве (с учетом величины влагопотерь), дробными дозами, с добавлением солей и витаминов.

Регулярное пребывание человека в условиях повышенной температуры и влажности воздуха, а также физические тренировки, связанные с повышением температуры тела, приводят к ***адаптации (акклиматизации)*** организма, что характеризуется повышением работоспособности в этих условиях. Лица, хорошо подготовленные физически, легче переносят повышение температуры и влажности воздуха. При подготовке к соревнованиям в жарком климате нужно проводить тренировки в аналогичных условиях за 10–14 суток.

13.1.2. Влияние пониженной температуры

При пребывании человека в условиях пониженной температуры воздуха (Крайний Север, Заполярье) ***энергия АТФ расходуется главным образом на теплопродукцию и меньше ее остается на обеспечение мышечной работы.*** Для сохранения тепла в ядре тела теплоизолирующая оболочка увеличивается в 6 раз путем уменьшения кожного кровотока. В организме происходит перестройка обменных процессов. Повышается потребность в жирах. Калорийность питания должна увеличиваться на 5% при каждом снижении среднемесячной температуры воздуха на 10°С. При этом почками усиленно выводятся витамины С, B_1 и B_2 зато лучше усваиваются жирорастворимые витамины А, D и Е.

В организме уменьшаются запасы углеводов и увеличиваются запасы липидов. ***Содержание глюкозы в крови без всяких признаков патологии уменьшается вдвое*** (до 45–50 мг%). С уменьшением температуры тела основной обмен увеличивается, возрастает активность щитовидной железы. Описанные перестройки в организме снижают его физическую работоспособность, особенно в период полярной ночи.

13.2. СПОРТИВНАЯ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕННОГО БАРОМЕТРИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

Спортсменам нередко приходится работать в условиях измененного барометрического давления. Тренировки и соревнования в горах сопряжены с влиянием на организм факторов гипобарии. Они характеризуются снижением общего давления, парциального давления газов, прежде всего кислорода, понижением температуры и влажности воздуха, высокой его ионизацией, повышенной солнечной радиацией и уменьшением силы гравитации. С другой стороны, аквалангисты, пловцы-подводники, акванавты испытывают воздействие гипербарических условий. И в том и в другом случае основным биологическим фактором, вызывающим ухудшение функций организма и снижение работоспособности, является кислород. При этом процентное содержание кислорода и на высоте, и на глубине остается постоянным (около 21%), но уменьшается или возрастает парциальное (частичное) его давление, поэтому на высоте более 3000 м при вдыхании воздуха развивается

кислородная недостаточность (гипоксия), а на глубинах свыше 60 м (опять же при дыхании воздухом) возникает отравление избыточным содержанием кислорода (гипероксия).

13.2.1. Влияние пониженного барометрического давления

Высоты до 1000 м над уровнем моря принято считать нижнегорьем, от 1000 до 3000 м – среднегорьем и выше 3000 м – высокогорьем.

Основные тренировки, а иногда и соревнования проводятся на высотах 2500–3000 м, т.е. в среднегорье.

Первые дни нахождения человека в среднегорье сопровождаются снижением аэробных возможностей, увеличением энерготрат на одну и ту же нагрузку, ухудшением функционального состояния организма, вялостью, нарушением сна. По прошествии 10–15 суток наступает адаптация, которая характеризуется тем, что в покое и при умеренной мышечной деятельности люди чувствуют себя хорошо; тяжелые физические нагрузки затруднены главным образом вследствие ***снижения напряжения кислорода в крови*** (гипоксемия).

При снижении парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе, альвеолярном воздухе и в крови может развиться патологическое состояние – гипоксия. Первые ее признаки появляются при снижении парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе ниже 140 мм рт. ст. (нормальная величина на уровне моря около 160 мм рт. ст.), что возможно на высоте 1500 м и более. Гипоксию нередко называют «коварным» патологическим состоянием.

В основе «коварства» гипоксии лежит характерная триада признаков:

- ***эйфория*** (повышенное настроение);
- ***потеря сознания*** без предвестников, на хорошем психоэмоциональном фоне;
- ***ретроградная амнезия*** (утрата памяти о предшествующем событии).

Изменения функций организма при гипоксии носят адаптационный и компенсаторный характер и направлены на борьбу с кислородной недостаточностью. Это проявляется прежде всего усилением функций органов дыхания и кровообращения, увеличением количества эритроцитов, гемоглобина, объема циркулирующей крови и возрастанием ее кислородной емкости.

При значительной степени кислородной недостаточности или ухудшении компенсаторных реакций в организме человека развивается ряд физиологических и патологических изменений, получивших название ***горной, или высотной, болезни.*** Она проявляется снижением подвижности основных нервных процессов, нарушением функций вегетативных и сенсорных систем, координации движений, уменьшением показателей физических качеств. Субъективные признаки выражаются головной болью, головокружением, они сопровождаются носовыми кровотечениями, одышкой, тошнотой, рвотой, возможна потеря сознания.

По мере пребывания на высоте устойчивость организма к недостатку кислорода повышается, улучшается самочувствие людей, стабилизируются функции организма и физическая работоспособность. Другими словами, развивается ***адаптация*** или частный ее случай – ***акклиматизация,*** которая осуществляется по двум физиологическим механизмам: а) путем повышения доставки кислорода тканям вследствие нормализации функций кислородтранспортной системы; б) приспособлением органов и тканей к пониженному содержанию кислорода в крови и уменьшением вследствие этого уровня метаболизма.

В первые дни пребывания в условиях среднегорья физическая работоспособность снижается как по прямым, так и по косвенным ее показателям. Особенно существенно снижение работоспособности в тех видах спорта, для которых характерен значительный кислородный запрос (бег на средние и длинные дистанции, плавание, велосипедные и лыжные гонки). ***Главной причиной снижения работоспособности в этих условиях является увеличение кислородного долга.*** В видах спорта, где работа протекает преимущественно в анаэробных условиях (гимнастика, акробатика, тяжелая атлетика, спринтерский бег), результаты практически не изменяются.

После пребывания спортсменов в среднегорье и по возвращении их на равнину в течение 3–4 недель сохраняется повышенная физическая работоспособность, а спортивные результаты нередко улучшаются. ***Физиологический смысл этого явления заключается в адаптированности организма к условиям гипоксии.*** Поэтому перед ответственными соревнованиями, особенно в видах спорта на выносливость, рекомендуются тренировки спортсменов в горных условиях или в специальных рекомпрессионных камерах. Разработана также

тренировка с дыханием в замкнутом пространстве (например, в резиновый мешок), в котором по мере дыхания снижается содержание кислорода.

13.2.2. Влияние повышенного барометрического давления

Представители некоторых спортивных специализаций (акванавты, ныряльщики, подводные пловцы, аквалангисты) в период пребывания под водой подвергаются воздействию повышенного барометрического давления. В комплексном действии факторов, определяющих специфику такого труда, ***ведущая роль принадлежит влиянию повышенного давления среды*** и его перепадов, ***повышенных парциальных давлений газов,*** а также изменениям, происходящим в организме вследствие нарушения газового равновесия со средой, вызывающего насыщение и рассыщение организма индифферентными газами.

Исследования влияния повышенного барометрического давления на организм человека сопряжены с методическими трудностями, которые определяются тем, что экспериментатор не всегда может находиться вместе с обследуемым; во многих случаях оказывается невозможным использование необходимой аппаратуры. Поэтому большинство фактических материалов о влиянии гипербарии на организм получено в период последействия.

При анализе реакций организма на действие комплекса перечисленных факторов следует иметь в виду, что в процессе эволюции у человека и наземных животных не выработались специальные адаптационные механизмы, реагирующие на значительное возрастание парциальных давлений кислорода и других газов, на процесс проникновения их в кровь и ткани. ***Свои защитные функции организм осуществляет опосредованно, преимущественно за счет компенсаторных реакций.***

Все изменения в организме проявляются двумя типами:

• физиологические сдвиги, обусловленные влиянием факторов гипербарии при соблюдении необходимых требований к пребыванию под водой;

• патологические изменения, связанные с нарушением режимов безопасности или неисправности дыхательной аппаратуры.

При действии повышенного барометрического давления на организм возникают функциональные изменения со стороны разных органов и систем. Изменения функций ЦНС указывают на нарушение уравновешенности основных нервных процессов,

характеризующееся ***снижением силы внутреннего торможения и преобладанием процессов возбуждения.*** Со стороны дыхательной системы отмечается ***увеличение сопротивления дыханию,*** уменьшение скорости выдоха и снижение максимальной вентиляции легких.

Наиболее типичной и закономерной реакцией органов кровообращения является ***урежение сердечных сокращений,*** понижение максимального и повышение минимального артериального давления, т.е. уменьшение пульсового давления. Наблюдается также замедление скорости кровотока, ***снижение количества циркулирующей крови, ударного и особенно минутного ее объемов.*** Эти изменения следует рассматривать как приспособительную реакцию организма, направленную на ***ограничение избыточного поступления кислорода*** в органы и ткани. Изменения в периферической крови характеризуются ***уменьшением количества эритроцитов и гемоглобина,*** умеренно выраженным лейкоцитозом; при этом снижаются осмотическая стойкость и фагоцитарная активность лейкоцитов.

У лиц названных специализаций угнетается секреторная деятельность пищеварительных желез; моторная функция желудочно-кишечного тракта усиливается, возрастает диурез. Все виды обмена веществ нарушаются, что приводит к снижению энергообмена и падению уровня физической работоспособности. ***Возникающие в организме изменения в большинстве случаев носят функционально-приспособительный характер*** и через несколько часов, как правило, все показатели возвращаются к норме.

Во время работы под водой при нарушении режимов безопасности могут возникать различные патологические состояния и ***профессиональные заболевания.*** К их числу относятся: отравление кислородом, кислородное голодание, отравление углекислым газом, переохлаждение или перегревание организма, утопление, особый синдром повышенного давления (барогипертензионный синдром), баротравма легких и декомпрессионная болезнь. Лечением и профилактикой этой патологии занимаются специально подготовленные врачи-физиологи и водолазные специалисты.

Спортсмены, тренеры и медицинские работники, обеспечивающие тренировки и соревнования в условиях гипербарии, должны хорошо знать о возможности возникновения и характере функциональных сдвигов и патологических нарушений в орга-

низме людей в период пребывания под водой. В случае появления профессиональных заболеваний пострадавшие должны доставляться в бароцентры (а не в больницы!) для проведения лечебных мероприятий, где имеются необходимое оборудование и соответствующие специалисты.

13.3. СПОРТИВНАЯ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ПРИ СМЕНЕ ПОЯСНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Характерной особенностью отечественной физиологии и медицины является признание тесной взаимосвязи организма с внешней средой.

Природные явления подвержены периодическим колебаниям. ***В соответствии с ритмическими изменениями явлений природы в организме человека и животных сформировались определенные ритмы физиологических функций, получившие название*** «биологические ритмы». Изменения внешней среды неизбежно отражаются на физиологических реакциях организма, обусловливая состояние уравновешенности его с внешней средой, что вытекает из учения И.М. Сеченова и И.П. Павлова о тесном взаимодействии организма и внешней среды, их единстве.

Различают суточные (точнее – околосуточные), околомесячные, сезонные (или годичные), многолетние и другие биоритмы.

Среди биологических ритмов человека центральное место занимают ***околосуточные, или циркадные (циркадианные), ритмы,*** период которых около 24 часов. Стереотипные, тысячелетиями повторяющиеся суточные колебания среды в виде смены дня и ночи создали в организме прочную систему последовательных изменений функций организма. Суточные колебания обнаруживаются в деятельности высших отделов ЦНС, в гемодинамике и дыхании, в системе крови и терморегуляции, в деятельности пищеварительного аппарата и обмена веществ, в мышечной силе, быстроте и выносливости, физической и умственной работоспособности и в других проявлениях жизнедеятельности организма.

В настоящее время известно около 60 разных физиологических функций организма, имеющих четкую суточную периодику, причем фаза максимальной деятельности в большинстве случаев приходится на период бодрствования, а минимум – примерно на 4 часа ночи. ***Строгое чередование физиологических процессов***

во времени является одним из выражений биологической целесообразности и физиологической целостности организма.

Возможность нарушения суточных биологических ритмов обусловлена двумя факторами:

1) сменной работой (ночные смены, вахты);

2) быстрым перемещением людей в широтном направлении при пересечении нескольких часовых поясов.

Перестройка биоритмов проявляется как субъективными, так и объективными нарушениями (быстрая утомляемость, слабость, бессонница в ночное время и сонливость в дневные часы, изменения функций организма и пониженная работоспособность). В отечественной литературе подобное состояние человека получило наименование ***«десинхроноз».*** Выраженность десинхроноза, характер и скорость адаптационных перестроек в новых условиях зависят от величины поясно-временных сдвигов, направления перелета, контрастности поясно-климатического режима в пунктах постоянного и временного проживания, характера двигательной деятельности спортсменов. При возвращении в место постоянного жительства реадаптация людей протекает в более короткий период, чем адаптация к новым условиям.

В основе ***формирования суточной периодики*** лежит условно-рефлекторный динамический стереотип, образование которого в новых условиях проходит несколько фаз:

• 2–5-е сутки после перелета характеризуются снижением функций организма и прямых показателей работоспособности;

• 6–10-е сутки сопровождаются колебаниями названных показателей;

• 11–14-е сутки – характеризуются полным их восстановлением и после 15 суток иногда отмечается превышение исходного уровня (сверхвосстановление).

Существенное влияние на процессы адаптации к новым поясно-климатическим условиям оказывает специфика двигательной деятельности. В частности, ***десинхроноз больше сказывается на выполнении скоростных, скоростно-силовых и сложнокоординационных упражнений;*** в упражнениях на выносливость его влияние значительно меньше.

Работоспособность спортсменов изменяется также от месяца к месяцу, от сезона к сезону, т.е. зависит от биоритмов с длительными периодами. Однако изучены они недостаточно, поэтому в настоящее время нет убедительных, научно обоснованных предпосылок для использования их в тренерской практике.

13.4. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ОРГАНИЗМЕ ПРИ ПЛАВАНИИ

Спортивная деятельность при плавании имеет ряд физиологических особенностей, отличающих ее от физической работы в обычных условиях воздушной среды. Эти ***особенности обусловлены механическими факторами, связанными с движением в плотной водной среде, горизонтальным положением тела и большой теплоемкостью воды.***

Плотность воды примерно в 775 раз больше плотности воздуха, а отсюда затруднение движений, ограничение скорости и большие энерготраты. При плавании основная мышечная работа затрачивается не на удержание пловца на воде, а на преодоление силы лобового сопротивления. Ее величина зависит от вязкости воды, размеров и формы тела и скорости плавания. Средняя скорость при плавании разными стилями колеблется от 1,5 м/с (брасс) до 1,8 м/с (кроль). Расход энергии при плавании на различных дистанциях зависит от их длины и мощности работы. На дистанциях 100–1500 м он составляет в среднем от 100 до 500 ккал.

Гипогравитация в соответствии с законом Архимеда приводит к тому, что масса тела человека в воде не превышает 1–1,5 кг. В таких условиях в спокойном состоянии деятельность различных органов и систем аналогична их функционированию в состоянии невесомости. Этому способствует и горизонтальное положение тела при плавании, что облегчает работу сердца, улучшает расслабление мышц и функции суставов.

Теплоемкость воды в 25 раз, а ее теплопроводность в 5 раз больше, чем воздуха. Длительное пребывание пловцов даже в относительно теплой воде может приводить к ***значительным потерям тепла и переохлаждению тела.*** Однако у тренированных пловцов механизмы, обеспечивающие сохранение температурного гомеостаза, более совершенны, чем у людей, не адаптированных к охлаждению. Поэтому ***плавание в любом возрасте является одним из эффективных средств закаливания.***

Названные особенности водной среды оказывают специальное влияние на деятельность различных органов и систем. В частности, в процессе тренировки у пловцов формируется особое ***комплексное восприятие различных раздражителей, называемое «чувством воды».*** Оно обусловлено ощущениями, возникающи-

ми при раздражении тактильного, температурного, проприоцептивного и вестибулярного рецепторов. При наличии «чувства воды» пловцы хорошо анализируют малейшие изменения в величине сопротивления воды, ее давление и температуру. Эти ощущения способствуют улучшению движений пловца.

Функции зрительной и слуховой сенсорных систем при нахождении пловца под водой существенно ухудшаются. Предметы в воде видятся смутно, расплывшимися, на расстоянии, не соответствующем действительному. Звук в воде распространяется со скоростью 1500 м/с (на суше – 330 м/с), поэтому практически одновременно приходит в оба уха, что затрудняет определение его направления.

Двигательная деятельность пловца также имеет свои особенности, которые определяются горизонтальным положением тела, большим сопротивлением воды движению, выработкой специфических двигательных автоматизмов и новых координации движений, строгой последовательностью работы отдельных мышечных групп, включением в работу преимущественно мышц рук и плечевого пояса (до 70%) и ног – при плавании брассом. Под влиянием тренировки у пловцов хорошо развивается сила мышц. При плавании основные мышечные группы выполняют динамическую работу. Мышцы должны быть адаптированы к работе как в аэробных, так и в анаэробных условиях. При этом, чем длиннее дистанция, тем большее значение приобретают аэробные процессы.

Деятельность вегетативных органов и систем у пловцов также имеет свои особенности. Тренированным пловцам свойственны брадикардия, умеренное повышение артериального давления, усиленный венозный приток к сердцу, увеличение ударного и минутного объемов крови, расширение полостей сердца и умеренная гипертрофия миокарда. При дыхании пловцам приходится преодолевать сопротивление воды, в связи с этим у них хорошо развита дыхательная мускулатура. ***При плавании вырабатывается новый автоматизм дыхания,*** который характеризуется уменьшением длительности дыхательного цикла, увеличением частоты и минутного объема дыхания. Легочная вентиляция при плавании может возрастать до 120–150 л/мин, ЖЕЛ у хорошо тренированных пловцов достигает 5,8–6 л.

Изменения в картине крови при плавании характеризуются увеличением содержания эритроцитов, гемоглобина и лейкоци-

тов. При плавании ***почти отсутствует потоотделение,*** поэтому продукты обмена веществ у пловцов могут выводиться ***только через почки,*** что предъявляет дополнительные требования к их функциям. Нарушения проницаемости почечных капилляров нередко приводит к появлению в моче белка и эритроцитов. Изменение деятельности почек является одной из ***специфических реакций*** организма на плавание.

Потребление кислорода при плавании у квалифицированных спортсменов составляет около 5–6 л/мин, что близко к величинам МПК. Кислородный запрос у пловцов доходит до 30 л/мин, который не полностью удовлетворяясь, приводит к развитию ***кислородного долга*** (10–15 л).

При плавании ***хорошо развиваются аэробные и анаэробные возможности*** организма, позволяющие обеспечивать высокие энерготраты (до 10–15 ккал/мин). Однако КПД при плавании очень низкий и у высококвалифицированных спортсменов не превышает 4–5%.

Плавание как вид спорта – удел молодых; для людей зрелого и пожилого возраста – хорошее средство физического развития, тренировки на выносливость и закаливания.

14. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СПОРТИВНОЙ ТРЕНИРОВКИ ЖЕНЩИН

Роль женщин в производственной сфере, спорте и общественной жизни непрерывно возрастает, от укрепления их здоровья зависит развитие будущего поколения. Это делает необходимым всестороннее научное обоснование физического воспитания и спортивной тренировки женщин.

14.1. МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЖЕНСКОГО ОРГАНИЗМА

Особенности строения и функционирования женского организма определяют его отличия в умственной и физической работоспособности. В общебиологическом аспекте женщины по сравнению с мужчинами характеризуются лучшей приспособляемостью к изменениям внешней среды (температурные сдвиги, голод, кровопотери, некоторые болезни), меньшей детской смертностью и большей продолжительностью жизни.

14.1.1. Деятельность центральной нервной системы и сенсорных систем

Для организма женщин характерны специфические особенности деятельности мозга. Доминирующая роль левого полушария у них проявляется в меньшей степени, чем у мужчин. Это связано с достаточно выраженным представительством речевой функции не только в левом, но и в правом полушарии. ***Женщин отличает высокая способность к переработке речевой информации,*** овладению родным и иностранным языком, синхронному переводу, а также словесно-аналитическая стратегия решений и высокая степень речевой регуляции движений. В процессе их обучения физическим упражнениям следует делать акцент на метод рассказа. Отмечено, что объяснение, словесный анализ движений, доведение до сознания отдельных их элементов, разъяснение ошибок существенно ускоряют овладение движением, формирование двигательных навыков. При запоминании слов женщины превосходят мужчин как по кратковременной, так и по долговременной вербальной памяти.

Но цифровая память и скорость переработки информации у женщин ниже, чем у мужчин. Они медленнее решают тактические задачи, больше времени затрачивают на арифметические вычисления. При этом женщины легче решают стереотипные, а мужчины – новые задачи, особенно в условиях дефицита времени. Вместе с тем ***более высокий уровень мотивации,*** а также лучшие показатели обучаемости женщин обусловливают достижение ими значительных успехов. Женщинам присуща ***более высокая эмоциональная возбудимость,*** эмоциональная неустойчивость и тревожность по сравнению с мужчинами. Они весьма чувствительны к поощрениям и замечаниям, что необходимо учитывать при педагогических воздействиях, особенно при работе с девочками-подростками.

Высокая чувствительность кожных рецепторов, двигательной и вестибулярной сенсорных систем, тонкие дифференцировки мышечного чувства способствуют развитию хорошей координации движений, их плавности и четкости. Устойчивость вестибулярных реакций особенно возрастает в период с 8 до 13–14 лет. В этом возрасте быстро совершенствуется двигательная сенсорная система, растет способность дифференцировать амплитуду движений. Важно использовать этот период развития организма для совершенствования координации дви-

жений, повышения устойчивости вестибулярного аппарата, овладения статическим и динамическим равновесием, формирования сложных двигательных навыков.

Женщины обладают ***острым зрением, высокой способностью различать цвета и хорошим глубинным зрением.*** Поле зрения у них шире, чем у мужчин. Зрительные сигналы быстрее достигают коры больших полушарий и вызывают более выраженную реакцию. Все это обусловливает совершенство глазодвигательных реакций, уверенную ориентацию движений в пространстве. Способность называть цвета развивается у девочек раньше, чем у мальчиков (уже с 4 лет), нарушения цветного зрения у женщин встречаются много реже (в 0,5% случаев), чем у мужчин (в 8% случаев). К 12 годам завершается основной период развития зрительной сенсорной системы. В зрительной области коры больших полушарий устанавливается четкий ритм биопотенциалов взрослого мозга – около 10 колебаний в 1 секунду.

Слуховая система отличается большей чувствительностью к высоким частотам звукового диапазона, с возрастом это отличие женщин становится более заметным. Музыкальный слух у женщин в 6 раз лучше, чем у мужчин, что облегчает их движения под музыку.

14.1.2. Двигательный аппарат и развитие физических качеств

У женщин меньше, чем у мужчин, длина тела (в среднем на 10 см) и его масса (на 10 кг). Меньшим размерам тела соответствуют и меньшие размеры внутренних органов и мышечной массы. Имеются отличия и в пропорциях различных частей тела: конечности у женщин короче, а туловище длиннее, поперечные размеры таза больше, а плечи у́же. Эти особенности строения тела обусловливают ***более низкое общее положение центра масс,*** что способствует лучшему сохранению равновесия, например, в гребле, упражнениях на бревне и т.п. Вместе с тем большая ширина таза снижает эффективность движений при локомоциях. Благодаря хорошей подвижности позвоночника и эластичности связочного аппарата возможна ***значительная амплитуда движений, большая гибкость.*** Сравнительно легче выполняется поперечный шпагат. Красоте и эффективности движений способствует и то, что у женщин чаще встречается высокий свод стопы и реже плоскостопие. Леворукость встречается в 3 раза реже, чем у мужчин. Заметно преобладает по сравнению с мужчинами правосторонняя асимметрия – сочетание преимущества правой руки, ноги и глаза.

Для женского организма характерны специфические особенности проявления и ***более раннее развитие физических качеств в процессе индивидуального развития (онтогенеза).***

Абсолютная мышечная сила у женщин меньше, чем у мужчин, так как у женщин тоньше мышечные волокна и меньше мышечная масса (примерно 30–35% массы тела, тогда как у мужчин – порядка 40–45%). Соотношение медленных и быстрых волокон в мышцах не зависит от пола. Несмотря на меньшие значения абсолютной силы мышц, ***относительная сила у женщин,*** благодаря меньшей массе тела, ***почти достигает мужских показателей,*** а для мышц бедра даже превосходит их. ***Максимальная произвольная сила*** более слабых мышц руки, плечевого пояса и туловища составляет у женщин 40–70% от показателей у мужчин, более сильных мышц ног – 70–80%.

В ходе индивидуального развития наибольший прирост абсолютной силы у девочек-подростков наблюдается в 12–14 лет. Это самый благоприятный возраст для ее развития. Максимальные показатели силы достигаются в 15–16 лет (у мужчин в 18–20 лет). ***Относительная сила*** по мере увеличения массы тела может практически не увеличиваться или даже снижаться. У юных спортсменок более быстрый рост абсолютной силы и сравнительно меньшее увеличение массы тела способствуют нарастанию относительной мышечной силы. Это особенно заметно при отставании биологического возраста от паспортного у девочек-ретардантоk, занимающихся спортивной гимнастикой.

Скоростно-силовые возможности в наибольшей мере совершенствуются в 10–14 лет. В этот период особенно заметно растет прыгучесть.

Женщины отличаются ***меньшим развитием качества быстроты*** по сравнению с мужчинами. Больше времени затрачивается у них на обработку поступающей в организм информации. В связи с этим и больше продолжительность зрительно-двигательной реакции. ***Время простой двигательной реакции*** руки на световые раздражения у нетренированных лиц составляет в среднем 190 мс, у высококвалифицированных спортсменов – 120 мс, у спортсменок – 140 мс.

Время двигательной реакции резко сокращается к 10–13 годам. Этот период наиболее благоприятен для развития быстроты у девочек. Максимального значения скорость зрительно-двигательных реакций достигает у женщин в 13 лет, у мужчин – в 15 лет. Быстрота движений растет до 14 лет. У женщин, не за-

нимающихся спортом, она затем снижается, а у спортсменок возрастает и далее. ***Максимальная скорость и частота движений*** интенсивно нарастают в период 11–16 лет. У взрослых женщин максимальная скорость движений на 10–15% ниже, чем у мужчин.

Женщины обладают ***хорошей выносливостью к длительной циклической работе аэробного характера.*** Другими словами, они имеют ***высокую общую выносливость.*** Однако при меньших размерах тела женщины имеют и меньшие размеры сердца и легких. Характерна для них также ***меньшая концентрация гемоглобина и кислорода*** в артериальной крови. Соответственно более низкими являются аэробные возможности. Это определяет у них меньшую скорость стайерского бега по сравнению с мужчинами. Вместе с тем ***большие запасы жира и способность его использования в качестве источника энергии*** определяют приспособленность женщин к циклической работе большой и умеренной мощности.

Менее благоприятна реакция женского организма на длительные и мощные статические нагрузки, которые вызывают в организме, в частности в сердечно-сосудистой системе, значительные изменения из-за несовершенства моторно-висцеральных рефлексов. Такие нагрузки рекомендуется тщательно дозировать и сочетать с динамическими, особенно у девочек-подростков. Наибольшую статическую выносливость имеют: у мужчин мышцы – сгибатели туловища, у женщин – мышцы – разгибатели туловища. При локальной аэробной работе руками (на уровне 80% МПК) мужчины и женщины с равными МПК не различаются по выносливости. Максимальных показателей ***общая выносливость*** достигает у женщин в возрасте 18–22 лет, ***скоростная выносливость*** – к 14–15 годам, ***статическая выносливость*** – к 15–20 годам.

Уже с ранних лет для девочек характерна ***хорошая гибкость в суставах, обусловленная большой подвижностью позвоночника и высокой эластичностью мышц и связочного аппарата.*** Наиболее благоприятным возрастом для ее развития считается период 11–14 лет. У девушек, не занимающихся спортом, гибкость снижается уже с 16–17 лет, а у спортсменок она сохраняется и после 17-летнего возраста.

Проявления ***ловкости*** уже достаточно выражены в 8–11 лет, с 14–15 лет это качество постепенно снижается, если его специально не тренировать.

14.1.3. Энерготраты, аэробные и анаэробные возможности

Для женщин характерен более низкий, чем у мужчин, уровень основного обмена (примерно на 7%). ***Экономичность основного обмена*** определяет более высокую выживаемость женщин в определенных условиях (например, при голодании).

Рабочие энерготраты зависят от характера нагрузки. При сходстве биомеханических условий движений (работа на велоэргометре или на тредбане) и расчете энерготрат на 1 кг массы тела потребление кислорода при повышении мощности работы у женщин нарастает в той же мере, что и у мужчин. Однако в условиях естественных локомоций энерготраты женщин в расчете на 1 кг массы превышают показатели мужчин: при ходьбе – на 6–7%, при беге – на 10%. При этом и ***общие энерготраты у женщин значительно больше.*** Это связано с различиями в строении тела и, соответственно, с ***менее экономичной техникой выполнения спортивных упражнений*** (при локомоциях у женщин короче и чаще шаги, больше колебания тела).

Ежедневное потребление энергии у высококвалифицированных спортсменов составляет в среднем 3500 ккал, у спортсменок – 2800 ккал.

Для женщин характерна более совершенная терморегуляция. У них наиболее равномерно расположены на поверхности тела потовые железы, кожа богаче капиллярами и эффективнее отдает тепло при работе. В связи с этим потоотделение у женщин более экономно. Свойство поддерживать постоянную температуру тела при изменениях температуры внешней среды нарастает вплоть до пожилого возраста.

Способность женщин выполнять работу за счет анаэробных источников энергии (анаэробные возможности) ниже мужской, так как в их организме меньше общее количество аденозинтрифосфорной кислоты, креатинфосфата и углеводов. Причем у женщин ***меньше как мощность анаэробных процессов*** (измеряемая с помощью эргометрического теста Маргария), ***так и их емкость*** (по показателям максимальной концентрации молочной кислоты и максимальному кислородному долгу). При максимально быстром беге вверх по лестнице мощность анаэробной работы у женщин оказалась примерно на 20% ниже мужской (соответственно 130 кгм/с и 160 кгм/с). ***Максимальная величина кислородного долга также сравнительно ниже.*** У фигури-

стов-одиночников, например, величины кислородного долга у мужчин не превышают 10 л, а у женщин – 5 л.

В процессе индивидуального развития ***анаэробные возможности развиваются у девочек позже, чем аэробные,*** и снижаются в зрелом возрасте раньше (уже с 35–40-летнего возраста).

Аэробные возможности женщин, оцениваемые по показателю максимального потребления кислорода, в среднем меньше на 25–30%, чем у мужчин. У высококвалифицированных спортсменок МПК в среднем достигает 3,5–4,5 л/мин (60–70 мл/кг/мин). Ограниченные аэробные возможности приводят при повышении мощности работы к более быстрому переходу женского организма на анаэробную энергопродукцию, что свидетельствует о ***более низком пороге анаэробного обмена.*** До 10–12 лет величины МПК у мальчиков и девочек почти не различаются. Особенно быстрый рост абсолютной величины МПК у девочек наблюдается в 9–14 лет, дальнейшее нарастание может происходить лишь при систематической тренировке. Относительная величина МПК растет в меньшей степени, а после 14–16 лет может снижаться. Особенностью работы женщин в аэробных условиях является их ***более высокая по сравнению с мужчинами способность утилизировать жиры.*** Запасы жира в женском организме значительнее. Общее количество жировой ткани у них в среднем около 30% (а у мужчин – около 20%) массы тела, больше и абсолютное количество жира. По мере расходования запасов углеводов во время работы спортсменки легче переходят на утилизацию жировых источников энергии, чем спортсмены. Однако это означает менее экономное расходование кислорода и лимитирует выполнение работы, связанной с дефицитом кислорода.

14.1.4. Вегетативные функции

Особенности размеров и состава тела определяют и специфические черты вегетативных функций женского организма.

Дыхание женщин характеризуется меньшими величинами объемов и емкостей легких, более высокими частотными показателями. Жизненная емкость легких у женщин меньше, чем у мужчин, примерно на 1000 мл. Глубина дыхания как в покое, так и во время работы меньше, а частота – выше. Это определяет более низкую эффективность дыхательной функции у женщин. ***Минутный объем дыхания*** у женщин в покое около 3–5 л/мин, а при работе он достигает 100 л/мин и более, составляя примерно 80% от МОД у мужчин. При этом повышение МОД достига-

ется менее выгодным соотношением частоты и глубины дыхания и сопровождается более выраженным утомлением дыхательных мышц. Мужчины превосходят женщин также по абсолютной и по относительной (в расчете на 1 кг массы тела) величине ***максимальной легочной вентиляции.***

В процессе индивидуального развития уже с 7–8 лет у девочек начинается ***переход от брюшного типа дыхания к грудному,*** который вполне формируется к 18 годам. В периоде с 10 до 14 лет мальчики начинают превосходить девочек по росту показателей ЖЕЛ, МОД и МЛВ, абсолютным и относительным величинам МПК. У девочек наиболее заметный прирост этих показателей отмечается в возрасте 11 лет. Максимальные значения достигаются в 15 лет, а после 35 лет происходит их снижение.

В системе крови у женщин отмечена более ***высокая кроветворная функция,*** что обеспечивает хорошую переносимость больших потерь крови и является одной из защитных функций женского организма. При одинаковом у лиц обоего пола числе лейкоцитов и тромбоцитов женский организм характеризуется ***сниженным количеством эритроцитов, гемоглобина и миоглобина.*** В крови у женщин содержится $4–5 \times 10^{12}$/л эритроцитов и 120–140 г/л гемоглобина. Меньше у женщин и объем циркулирующей крови на 1 кг массы тела.

Более низкая (на 10–15%) концентрация в крови гемоглобина обусловливает ***меньшую кислородную емкость крови.*** Каждые 100 мл артериальной крови связывают у женщин в среднем 16,8 мл кислорода, а у мужчин – 19,5 мл. В связи с этим во время предельных аэробных нагрузок у спортсменок из артериальной крови в мышцы поступает меньше кислорода, чем у спортсменов. Недостаточное кислородное снабжение мышц может приводить при работе, особенно в зоне субмаксимальной мощности, к резко выраженному окислению крови, при этом pH крови снижается от 7,34 до 7,11. Такие нагрузки тяжело переносятся женским организмом, особенно в период полового созревания.

Женское сердце по объему и массе уступает мужскому. Абсолютный объем сердца у не занимающихся спортом женщин составляет в среднем 580 см^3, у спортсменок – 640–790 см^3. Меньшим объемам сердца и его желудочков соответствует ***меньшая величина сердечного выброса.*** Это компенсируется ***более высокой частотой сердечных сокращений и большей скоростью кровотока.*** Систолический (ударный) объем крови в покое составляет у женщин примерно 57 мл, а при работе повыша-

ется до 120 мл и более. У спортсменок, тренирующихся на выносливость, систолический объем увеличен, что обеспечивает рост максимальной величины сердечного выброса при работе до 140–160 мл. ***Минутный объем крови*** у женщин порядка 4 л/мин в покое. Максимальное его увеличение до 25 л/мин наблюдается при работе в зоне субмаксимальной и большой мощности. Рабочее увеличение МОК достигается менее эффективным путем – за счет повышения ***частоты сердечных сокращений.*** Наиболее значительное нарастание ЧСС происходит у юных спортсменок. В состоянии покоя ЧСС у женщин порядка 72–78 уд./мин. При тренировке на выносливость у спортсменок развивается ***брадикардия,*** но выраженная более умеренно, чем у спортсменов. При выполнении одинаковой работы в аэробных условиях ЧСС у спортсменок выше на 20–40 уд./мин, чем у спортсменов, но ниже, чем у нетренированных женщин.

Отмеченные у женщин менее совершенные механизмы адаптации кардиореспираторной системы к нагрузкам снижают их аэробные возможности и общую работоспособность.

На функциональное состояние и работоспособность женщин сильное влияние оказывают курение, употребление алкоголя и наркотиков. Привыкание к алкоголю у женщин идет значительно быстрее, чем у сильного пола. Последствия вредных привычек катастрофичны не только для состояния самой женщины, но и для сохранения здоровья ее детей.

14.2. ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИЙ ОРГАНИЗМА В ПРОЦЕССЕ ТРЕНИРОВОК

Регулярные занятия физическими упражнениями вызывают значительные перестройки всех функций организма. При выборе средств и методов повышения общей и специальной работоспособности в различных видах спорта и массовых формах физической культуры необходим учет особенностей организма женщин. При этом основное внимание должно уделяться сохранению их здоровья и детородной функции.

14.2.1. Изменение функциональных возможностей женского организма в процессе спортивной тренировки

Правильное построение тренировочного процесса обеспечивает гармоничное развитие основных физических, нравственных и морально-волевых качеств; создает прочный фундамент общей и специальной подготовленности спортсменок, позволяет дово-

дить до высокого уровня возможности организма на базе постепенного их нарастания, в щадящем режиме, с использованием вариативности нагрузок по направленности и напряженности; обеспечивает индивидуализацию тренировочных нагрузок с учетом фаз специфического биологического цикла и на основе регулярного комплексного контроля за самочувствием женщин.

Особое внимание должно уделяться подростковому периоду, когда физические упражнения должны сочетаться со сложной перестройкой всех функций организма в период полового созревания, и перегрузки могут приводить к функциональным расстройствам и задержке развития. У девочек-подростков 14–15 лет по сравнению со взрослыми женщинами кислородный запрос на работу умеренной мощности в 1,5 раза больше, а на работу, проходящую на уровне МПК, – в 1,2 раза выше; меньше дыхательный объем и систолический объем крови, но выше частота дыхания и сердцебиений при нагрузке; артериовенозная разность и коэффициент использования кислорода ниже; при работе на уровне МПК pH крови снижается лишь до 7,3; отказ наступает при небольших сдвигах pH и гомеостаза.

Грамотное использование физических нагрузок приводит к повышению функциональных возможностей организма девочек и девушек, которые по многим важнейшим показателям функционального состояния, аэробных и анаэробных возможностей, физических качеств начинают существенно превосходить своих сверстниц, не занимающихся спортом. Для спортсменок, занимающихся циклическими видами спорта, особенно при тренировке на выносливость, характерны более высокие показатели аэробных возможностей организма (МПК порядка 70–80 мл/кг/мин), чем для спортсменок, в тренировке которых преобладает скоростно-силовая и скоростная направленность (МПК 35–45 мл/кг/мин). Наибольшие значения отмечены у представительниц лыжных гонок – до 86 мл/кг/мин.

При силовой тренировке у спортсменок слабее, чем у спортсменов, выражена рабочая гипертрофия мышц, что связано с меньшим количеством мужских половых гормонов (андрогенов) в женском организме. Использование тестостерона, других андрогенов или их производных (анаболических стероидов) для развития силы чрезвычайно вредно. Это приводит к патологическим нарушениям в женском организме – развитию мужских вторичных половых признаков, нарушению и полному прекращению овуляции и менструации, невозможности деторож-

дения. С 1968 г. по решению МОК на крупных международных соревнованиях обязательно проводится секс-контроль спортсменок для устранения лиц с признаками гермафродитизма.

Наибольшую статическую выносливость (региональную и глобальную) показывают конькобежки, а локальную – лыжницы и баскетболистки, особенно для мышц предплечья и сгибателей кисти.

В учебно-тренировочных занятиях ***особую осторожность следует проявлять при развитии у женщин силовой выносливости,*** обращая специальное внимание на повышение силы и силовой выносливости мышц брюшного пресса и тазового дна, имеющих большое значение для детородной функции. Изометрические упражнения необходимо сочетать с динамическими.

При скоростной направленности тренировочных занятий женщины достигают существенных изменений качества быстроты, хотя по абсолютным показателям они отстают от мужчин. Реакция на движущийся объект у спортсменок менее точна, чем у спортсменов. Различий в ритме движений у мужчин и женщин не выявлено.

Восприятие времени у спортсменок имеет свои особенности. ***Их индивидуальная минута короче,*** т.е. они отмеривают меньший интервал при задании отмеривать минуту. У женщин более выражено изменение индивидуальной минуты на протяжении суток и в условиях стресса.

Сравнительно легче, чем у мужчин, развивается гибкость. Она особенно повышается во время стрессовых ситуаций, в предстартовом состоянии и снижается при утомлении. Женщин отличает высокая ловкость и точность, их движениям присуща большая плавность и эстетичность.

Осуществлению высококоординированных действий способствует формирование в процессе тренировки корковых систем взаимосвязанной активности, участвующих в управлении движениями спортсменок. Чем выше уровень подготовленности спортсменок, тем лучше сформированы эти корковые системы. Их улучшению способствует выполнение упражнений под музыкальное сопровождение.

В ходе многолетней подготовки женщины способны, в отличие от мужчин, очень резко улучшать спортивные результаты, но сохраняют их на уровне спорта высоких достижений гораздо меньшее время.

14.2.2. Влияние больших нагрузок на организм спортсменок

Регулярное применение больших объемов тренировочных нагрузок, недостаточное соблюдение принципа постепенности в повышении их объема и интенсивности могут приводить, особенно у юных спортсменок, к неблагоприятным изменениям, прежде всего к нарушениям овариально-менструальных циклов (ОМЦ), их регулярности, интенсивности и полному прекращению. Большие нагрузки вызывают увеличение выброса гипофизом адренокортикотропного гормона и соответственно выброса надпочечниками андрогенов. Это тормозит гонадотропную функцию гипофиза и в результате нарушается функция яичников.

Интенсивные тренировки с большим объемом нагрузок, начатые до начала периода полового созревания, могут ***задерживать срок наступления первых менструаций*** (рис. 36), а после их наступления приводить ко вторичному их исчезновению. Повышенные нервные и психические нагрузки во время сорев-

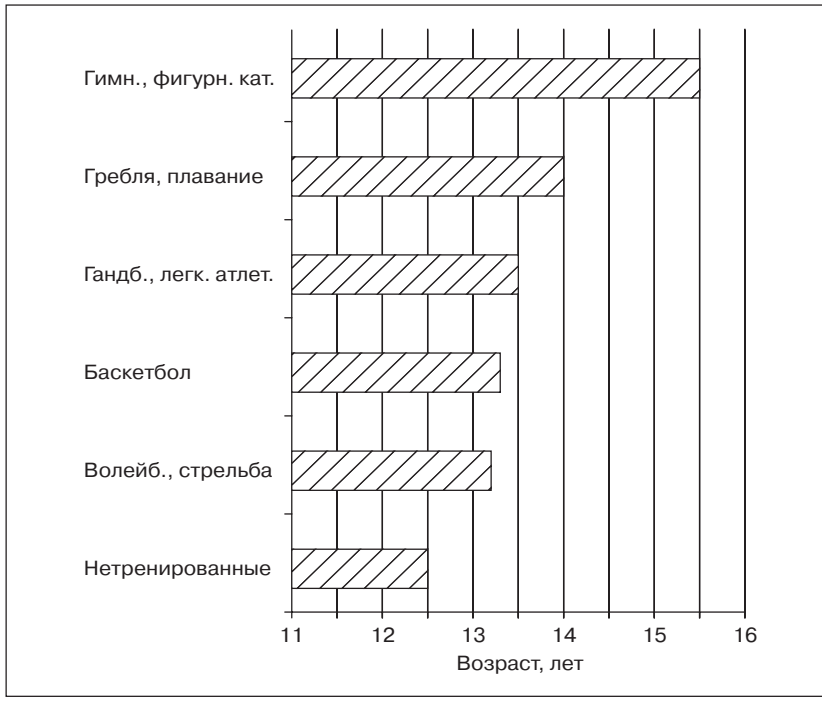


Рис. 36. Возрастные периоды первых менструаций у спортсменок

нований у недостаточно подготовленных спортсменок могут приводить к нарушениям ОМЦ (олигоменоррее, аменоррее, дисменоррее), обморокам, быстрой утомляемости, снижению спортивных результатов.

Подобные изменения в основном встречаются у спортсменок, тренирующихся на выносливость. Нарушения менструального цикла зависят от чрезмерности нагрузок и не зависят от избранного вида спорта.

У женщин-стайеров наблюдаются значительные перестройки в организме: они отличаются меньшей массой тела, уменьшением процента жировой ткани, подавлением активности гипоталамо-гипофизарно-половой системы. В результате этого в крови снижается содержание гонадотропных и половых гормонов (фоллитропина, эстрогена и прогестерона). В 50% случаев у бегуний на длинные дистанции наблюдалось уменьшение максимального диаметра фолликулов (определенного ультразвуковым методом), чего не отмечалось у бегуний трусцой.

У женщин, занимающихся марафонским бегом, отмечали ***дефицит железа,*** возникающий в результате его больших потерь с потом и недостаточным возмещением с пищей. Это приводило к развитию ***железодефицитной анемии,*** недостаточному снабжению организма кислородом и падению спортивной работоспособности. Примерно у 1/3 женщин, тренирующихся на выносливость, фиксировали задержку наступления первых менструаций, а после их наступления развитие их недостаточности (олигоменорреи) или прекращения (аменорреи). У спортсменок с аменореей зарегистрировано ***понижение плотности костной ткани, степени минерализации отростков поясничных позвонков, а как следствие остеопороза – частые переломы костей.***

Причиной развития спортивной аменореи считают снижение содержания в организме жира. При его показателях ниже определенного уровня (16% массы тела) нарушается продукция женских половых гормонов эстрогенов, связанная с жировой тканью, отчего тормозится выделение нейрогормонов гипоталамуса. Их отсутствие нарушает контроль гипофизом функций яичников и приводит к отсутствию овуляции.

Явления эти обратимы. После снижения физических нагрузок протекание ОМЦ через 2–3 месяца нормализуется. Для профилактики описанных явлений рекомендуется, помимо снижения нагрузки, увеличение в рационе кальция и железа, введение эстрогенов, устранение физиологических и эмоциональных стрессов.

14.3. ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЖЕНЩИН

На протяжении всего детородного периода женщины (от полового созревания в 12–13 лет до прекращения репродуктивной функции в 45–55 лет) функции ее организма подчиняются периодическим околомесячным колебаниям, специфичным только для женского организма.

14.3.1. Специфический биологический цикл

Изменения функционального состояния организма, спортивной работоспособности и физических качеств зависят от специфического биологического цикла женского организма, так называемого овариально-менструального цикла. При половом созревании организма тонический отдел полового центра, расположенного в гипоталамусе (подбугровой части промежуточного мозга), стимулирует рост выделения гипофизом гонадотропного гормона. Под влиянием этого гормона в яичниках начинается обильное выделение женских половых гормонов – эстрогенов. В порядке обратной связи эстрогены действуют на половой центр гипоталамуса, но уже не на его тонический отдел, а на циклический отдел, который ежемесячно вызывает развитие одной яйцеклетки и ее овуляцию. С возрастом механизм этот существенно изменяется. Уже с 25 лет начинает снижаться чувствительность циклического отдела полового центра к действию эстрогенов. К возрасту 45–55 лет эстрогены уже не могут запустить механизм овуляции, репродуктивная функция прекращается.

Сам половой центр гипоталамуса находится под контролем вышележащих отделов головного мозга и вместе с ними реагирует на все внешние воздействия. ***Значительные физические и психические напряжения при спортивной деятельности через эту цепь (кора больших полушарий – гипоталамус – гипофиз – половые железы) могут существенно изменять протекание ОМЦ женского организма.***

Продолжительность ОМЦ колеблется от 21 до 36 дней, в среднем 28 дней (у 60% женщин). ***Весь цикл можно подразделить на 5 фаз: I фаза – менструальная (1–3 день, иногда до 7 дней); II фаза – постменструальная (4–12 день); III фаза – овуляторная (13–14 день); IV фаза – постовуляторная (15–25 день); V фаза – предменструальная (26–28 день).***

I фаза связана с отторжением слизистой оболочки матки и менструальным кровотечением. В этот период происходит рез-

кое падение уровня обмена веществ, в том числе обмена белков. В коре больших полушарий в результате доминирующих интероцептивных влияний со стороны женской половой сферы нарушаются процессы внимания. Снижается чувствительность зрительной, тактильной и других сенсорных систем. Повышается раздражительность, эмоциональная неустойчивость. Усиливается влияние блуждающего нерва, что приводит к урежению частоты дыхания и сердцебиения, расширению сосудов. В связи с потерей крови (обычно 150–200 мл) и задержкой воды в организме уменьшается количество эритроцитов, гемоглобина, лейкоцитов и тромбоцитов.

Во II фазе происходит развитие фолликула в яичнике вплоть до его созревания и разрыва (эту фазу также называют ***фолликулярной, или предовуляторной)***. В этот период нарастает содержание в крови женского полового гормона эстрогена, и происходит развитие слизистой матки. Колебания массы тела на протяжении ОМЦ достигают 2 кг, минимальный вес тела оказывается в этой фазе.

В III фазе происходит выход из фолликула яйцеклетки ***(овуляция)*** и попадание ее в маточные трубы и далее в матку.

В IV фазе остатки фолликула образуют ***желтое тело,*** которое становится новой железой внутренней секреции и начинает выделять гормон прогестерон (в связи с этим данную фазу называют также ***прогестероновой)***. Активируются секреторные процессы слизистой матки.

В V фазе (если не произошло оплодотворения яйцеклетки) желтое тело дегенерирует за 2–3 дня до наступления менструации. Концентрация в крови прогестерона и эстрогена уменьшается, снижая функциональные возможности организма.

14.3.2. Изменение спортивной работоспособности в различные фазы биологического цикла

В обычных условиях ***в различные фазы ОМЦ происходит не только перестройка гормональной активности, но и изменения функционального состояния всех систем организма.*** В предменструальную и менструальную фазы, а также в овуляторные дни умственная и физическая работоспособность снижается, повышается функциональная стоимость выполняемой работы, возникает состояние физиологического стресса.

Уменьшение концентрации эритроцитов и гемоглобина в ***I фазе ОМЦ*** понижает кислородную емкость крови и соответственно

аэробные возможности организма. При нагрузке больше обычного повышается частота сердцебиений и дыхания. Снижаются мышечная сила, быстрота и выносливость, но улучшается гибкость.

Накопление в крови эстрогена во ***II фазе*** нормализует функции организма, оказывает положительное влияние на функционирование центральной нервной системы, дыхания и сердечно-сосудистой системы; задерживаются в организме натрий, азот и жидкость, в костях – фосфор и кальций. Облегчается автоматизация движений. Работоспособность организма повышается.

В ***III фазе*** концентрация эстрогена в крови начинает снижаться, а уровень прогестерона еще невелик. Падает величина основного обмена. На 50% снижается количество эозинофилов. Резко снижается работоспособность и повышается функциональная стоимость выполняемой работы, наблюдаются максимальные величины рабочего расхода кислорода.

В ***IV фазе*** на фоне повышенной концентрации прогестерона вновь происходит повышение уровня обменных процессов и работоспособности.

В ***V фазе*** концентрация в крови всех половых гормонов снижается и увеличивается количество тирозина (гормона щитовидной железы). Повышается возбудимость центральной нервной системы. В результате преобладания тонуса симпатической нервной системы увеличивается частота сердцебиения и дыхания, сужаются сосуды и повышается артериальное давление. Содержание гликогена в печени уменьшается, а в крови повышается концентрация глюкозы и кальция. В результате активизации щитовидной железы и роста концентрации тирозина повышается уровень обменных процессов в организме. В крови растет содержание эритроцитов и гемоглобина. Отмечается ухудшение остроты слуха и зрения. Изменяется самочувствие женщины – появляются раздражительность, утомляемость, тошнота, потеря аппетита, возможны жалобы на недомогание, боли внизу живота, в пояснице, крестце, головную боль. Работоспособность падает.

Таким образом, ***работоспособность*** зависит от перестроек функций организма женщины в различных фазах ОМЦ: ***в I, III и V фазах ухудшается функциональное состояние и снижается умственная и физическая работоспособность, повышается функциональная стоимость выполняемой работы и возникает физиологический стресс, а во II и IV фазах ОМЦ работоспособность повышается*** (рис. 37).

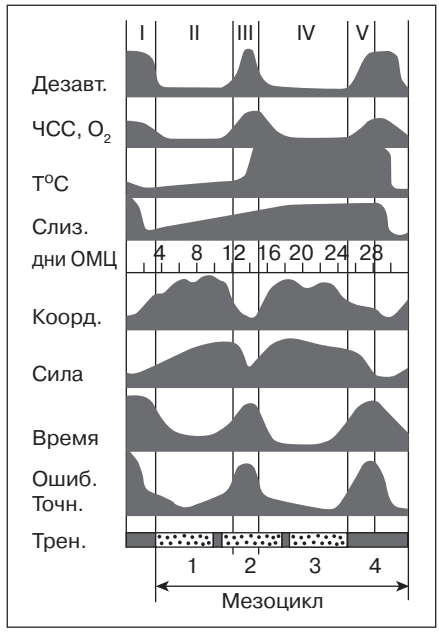


Рис. 37. Изменения различных показателей работоспособности женского организма в разные фазы овариально-менструального цикла и тренировочные циклы (по данным разных авторов):

Дезавт. – дезавтоматизация двигательных навыков; ЧСС, O_2 – рабочие изменения частоты сердцебиения и потребления кислорода; T°C – динамика ректальной температуры тела; Слиз. – набухание слизистой матки; Коорд., Сила, Время, Ошиб., Точн. – показатели координации, мышечной силы, времени реакции и ошибки точности движений; Трен. – тренировочные микроциклы; 1, 2, 3 – обычные микроциклы, 4 – специальный микроцикл; I–V – фазы ОМЦ

Для повышения спортивного мастерства имеет значение общая продолжительность ОМЦ, характерная для конкретного организма. ***Оптимальной длительностью ОМЦ считают 28 дней,*** а неблагоприятной – 36–42 дня и менее 21 дня.

14.4. ИНДИВИДУАЛИЗАЦИЯ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА С УЧЕТОМ ФАЗ БИОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА

При построении тренировочных занятий необходимо учитывать особенности протекания специфического биологического цикла женского организма – овариально-менструального цикла.

14.4.1. Индивидуальные особенности протекания биологического цикла у спортсменок

Особую осторожность необходимо соблюдать при проведении тренировочных занятий в I, III и V фазах ОМЦ (менструальную, овуляторную и предменструальную), когда снижаются функциональные возможности женского организма и падают результаты. По данным итальянского Института спортивной медицины, снижение работоспособности во время менструаций среди высококвалифицированных спортсменок в возрасте 12–22

лет отмечали у 7,4% волейболисток, 9,5% дзюдоисток, 12,5% баскетболисток и 9,1% фехтовальщиц.

В эти фазы у бегуний на короткие дистанции снижается быстрота и сила; у гимнасток отмечаются наименьшие координационные возможности, у гандболисток ухудшается общая и специальная работоспособность; у лыжниц снижается выносливость; у представительниц гребли уменьшаются общая работоспособность, объем выполненной работы и интенсивность нагрузок; у баскетболисток снижаются скоростные качества, быстрота и точность передач, ухудшается тактическое мышление, особенно в последние минуты игрового времени; у велосипедисток ухудшается вестибулярная устойчивость и падают результаты шоссейных гонок; у пловчих снижается средняя дистанционная скорость и специальная выносливость.

Исследование электрической активности мозга высококвалифицированных баскетболисток в различные фазы ОМЦ (Сологуб Е.Б., 1987, и др.) выявило следующие изменения: в I фазе (менструальной) на 1–2-й день по сравнению со II фазой (постменструальной) на 10-й день ОМЦ наблюдается снижение межцентральных корреляций активности, выраженности рабочих ритмов ЭЭГ в темпе движений («меченых ритмов»), уменьшение взаимосвязи потенциалов зрительной коры с моторными и нижнетеменными (лежащее в основе нарушения пространственной ориентации движений), увеличение взаимосвязи программирующих лобных зон с моторными (отражающее усиление произвольного контроля за движениями). Все это в целом свидетельствовало о дезавтоматизации движений баскетболисток и соответствовало ухудшению их игровой деятельности.

Лишь некоторые спортсменки высокой квалификации могут в указанные периоды успешно выступать на соревнованиях и тренироваться. Среди спортсменок высшего уровня мастерства постоянно тренируются в стрессовые фазы ОМЦ 34%, тренируются периодически – 54%, не тренируются никогда – 12%.

14.4.2. Учет фаз биологического цикла при построении тренировочного процесса

При построении тренировочных микро- и мезоциклов необходим учет специфического биологического цикла спортсменок – как его общей длительности, так и сроков наступления отдельных фаз. При этом рекомендуется выделять ***специальный микроцикл,*** охватывающий 1–2 дня до менструаций и менструальный период. В тренировочный мезоцикл, следовательно,

будут включены 2–4 нормальных микроцикла и 1 специальный (см. рис. 37). Всего в мезоцикле при длительности ОМЦ 30–32 дня будет содержаться (включая специальный микроцикл) 5 микроциклов, при длительности ОМЦ 28 дней – 4 микроцикла, при длительности 24 дня – 3,5 микроцикла и при длительности ОМЦ 21 день – 3 микроцикла.

В период специального микроцикла рекомендуется снижать общий объем нагрузок, применять упражнения на гибкость, на расслабление мышц, на развитие скоростных возможностей, на совершенствование спортивной техники. Следует использовать нагрузки преимущественно на мышцы рук. Противопоказаны глобальные статические нагрузки, силовые упражнения с натуживанием, прыжки, статические и динамические нагрузки на мышцы диафрагмы, таза и живота. С пловчихами рекомендуется проводить занятия на суше, избегать переохлаждений в воде. Общий объем нагрузок рекомендуют распределять по фазам ОМЦ следующим образом: в I фазу – 12%, во II фазу – 30%, в III фазу – 10%, в IV фазу – 35%, в V фазу – 13%.

Ведение ***дневника гинекологического самоконтроля*** помогает тренеру и спортсменке ориентироваться в вопросах режима занятий и отдыха, способствует индивидуализации тренировочного процесса. При отсутствии нарушений в течении ОМЦ и хорошем самочувствии спортсменки могут продолжать занятия спортом и в менструальную фазу. Отдельные выдающиеся спортсменки даже показывали в этот период рекордные результаты на международных соревнованиях.

Следует также отметить ***особенности тренировочных занятий в связи с беременностью и родами.*** Считают, что в первые 3 месяца беременности спортсменки могут продолжать тренироваться, в последующие 3 месяца необходимо снизить нагрузку, ввести ограничения в выполняемые упражнения, а в последние 3 месяца – прекратить тренировки. Возобновление интенсивных тренировок после родов рекомендуется по прекращении кормления ребенка грудью.

15. ФИЗИОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СПОРТИВНОГО ОТБОРА

Эффективность тренировочных воздействий существенно определяется адекватностью физических упражнений для данного человека, его врожденными и приобретенными особенностями, что необходимо учитывать в процессе спортивного отбора.

15.1. ФИЗИОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВОПРОСАМ СПОРТИВНОГО ОТБОРА

Среди мероприятий по физическому воспитанию населения весьма важная роль принадлежит процессам спортивного отбора и спортивной ориентации. Эти процессы имеют принципиальное различие. В процессе ***спортивной ориентации*** изучаются врожденные особенности человека и подбираются адекватные для него физические упражнения или вид спорта. В ходе ***спортивного отбора*** определяются модельные характеристики соревновательной деятельности ведущих спортсменов и специфические для данного вида спорта спортивно-важные качества, а затем производится поиск и подбор людей с соответствующими врожденными и развившимися в процессе жизнедеятельности морфофункциональными особенностями.

Наряду с педагогическими, психологическими и социологическими методами изучения индивидуальных особенностей человека при этом используются генетические и морфофункциональные методы, которые позволяют описать не только врожденные особенности, т.е. ***задатки*** человека, но и развитые в течение жизни комплексы его индивидуальных особенностей, определяющих его ***способности.***

Получаемые характеристики должны быть различными на разных этапах подготовки спортсмена, так как ***спортивный отбор представляет собой многоступенчатый процесс с изменяющимися требованиями к организму человека в ходе многолетней тренировки.***

При этом необходимо учитывать не только исходные показатели, но и многие другие параметры:

- динамику индивидуальных реакций организма спортсмена на предъявляемые нагрузки;
- возрастные периоды наибольшей эффективности тренирующих воздействий для развития разных физических качеств;
- индивидуальный тип адаптации к физическим упражнениям определенной направленности;
- скорость и мощность мобилизации функциональных резервов данного организма;
- выраженность и темпы проявления срочной и долговременной адаптации ко всему комплексу спортивной деятельности.

Неадекватный выбор спортивной специализации или стиля соревновательной деятельности, как показывают современные

исследования, резко замедляет рост спортивного мастерства и ограничивает уровень спортивных достижений, а также является фактором риска для здоровья спортсмена.

За последние годы все больше выявляется значение наследственных влияний на многие показатели строения и функций организма человека, а также на степень развития разных его физических качеств. Их учет в организации тренировочного процесса и спортивном отборе становится все более насущным.

Наследственность заключается в способности живых организмов передавать свои признаки следующим поколениям. В противоположность этому, ***изменчивость*** связана со способностью изменения наследственных задатков и их проявлений в процессе развития организмов.

Совокупность всех наследственных задатков называется ***генотипом,*** а совокупность всех признаков организма – ***фенотипом.*** *Фенотип* зависит от возможности врожденных задатков проявиться в определенных условиях жизни. Таким образом, основные черты организма определяются как унаследованными свойствами, так и влияниями различных факторов среды (питания, климатогеографических и экологических условий, социальной среды, особенностей воспитания и пр.). Иными словами, ***фенотип есть генотип плюс средовые влияния.***

Изучение наследственности у человека характеризуется определенными ограничениями генетического анализа. У человека невозможно проведение направленного скрещивания, экспериментального получения мутаций, обеспечение строгого контроля за окружающими условиями среды на протяжении роста и развития организма. Использование статистического подхода затрудняют малочисленность потомства, длительный период полового созревания, отсутствие сведений об отдаленных предках и их морфофункциональных особенностях. Огромное разнообразие наследственных признаков у человека и большое количество групп сцепления генов также являются препятствием для точного анализа генетических влияний.

К ***основным методам исследования генетики человека*** относят:

• генеалогический (метод родословных) – составляются и анализируются родословные для изучаемого человека, которого называют в данном случае ***пробандом;***

• цитологический – изучение особенностей хромосом, ДНК;

• популяционный – анализ наследственности в изолированных группах населения;

• близнецовый – основан на сравнении различных признаков у близнецов.

Одним из простых количественных показателей наследственности является коэффициент Хольцингера (Н), который определяет генетическую долю в общем развитии организма. При Н = 1,0 изучаемый показатель полностью зависит от генотипа, при Н > 0,7 доля генетических влияний очень высока (70% и более) и лишь небольшая часть приходится на средовые воздействия. Чем меньше этот коэффициент, тем больше средовые влияния на признаки.

15.2. НАСЛЕДСТВЕННЫЕ ВЛИЯНИЯ НА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ФИЗИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА ЧЕЛОВЕКА

Изучение степени наследуемости различных морфофункциональных показателей организма человека выявило, что генетические влияния на них чрезвычайно многообразны. Они отличаются по срокам обнаружения, степени воздействия, стабильности проявления. Чем больше выражены наследственные влияния на признаки организма, тем больший их учет должен быть при отборе.

15.2.1. Наследуемость морфофункциональных особенностей

Наибольшая наследственная обусловленность выявлена для морфологических показателей организма человека, меньшая – для физиологических параметров и наименьшая – для психологических признаков.

Среди ***морфологических признаков*** наиболее значительны влияния наследственности на продольные размеры тела, меньшие – на объемные размеры, еще меньшие – на состав тела. Величина коэффициента наследуемости наиболее высока для костной ткани, меньше для мышечной и наименьшая – для жировой ткани. Для подкожной клетчатки женского организма она особенно мала.

Для ***функциональных показателей*** выявлена значительная генетическая обусловленность многих физиологических параметров, среди которых большая часть метаболических характеристик организма, аэробные и анаэробные возможности, процент быстрых и медленных волокон в мышцах, объем и размеры сердца, характеристики ЭКГ, систолический и минутный объем крови в покое, частота сердцебиений при физических нагрузках, артериальное давление, жизненная емкость легких и жизненный

показатель (ЖЕЛ/кг), частота и глубина дыхания, минутный объем дыхания, длительность задержки дыхания на вдохе и выдохе, парциальное давление O_2 и CO_2 в альвеолярном воздухе и крови, содержание холестерина в крови, скорость оседания эритроцитов, группы крови, иммунный статус, гормональный профиль и некоторые другие.

Многие ***психологические, психофизиологические, нейродинамические, сенсомоторные показатели, характеристики сенсорных систем*** также находятся под выраженным генетическим контролем: большая часть показателей электрической активности коры больших полушарий, скорость переработки информации, пропускная способность мозга, коэффициент интеллектуальности, пороги чувствительности сенсорных систем, цветоразличение и его дефекты (дальтонизм), нормальная и дальнозоркая рефракция, критическая частота слияния световых мельканий, типологические свойства нервной системы, черты темперамента, доминантность полушарий, моторная и сенсорная функциональная асимметрия и др.

Большая часть поведенческих актов контролируется целым комплексом генов. ***Чем сложнее поведенческая деятельность человека, тем менее выражено влияние генотипа*** и больше роль окружающей среды. Для более простых двигательных навыков наследуемость выше, чем для более сложных.

По мере обогащения человека жизненным опытом и знаниями относительная роль генотипа в его жизнедеятельности снижается.

Обнаружены некоторые различия в наследовании признаков по полу. У мужчин в большей мере наследуются проявления леворукости, дальтонизма, показатели объема и размеров сердца, артериального давления и ЭКГ, содержание липидов и холестерина в крови, характер отпечатков пальцев, особенности полового развития, способность решения цифровых и пространственных задач, ориентация в новых ситуациях. У женщин в большей степени запрограммированы генетически рост и вес тела, развитие и сроки начала моторной речи, проявления симметрии в функциях больших полушарий.

15.2.2. Наследуемость проявления физических качеств

Наследственные влияния на различные физические качества неоднотипны. Они проявляются в различной степени генетической зависимости и обнаруживаются на различных этапах онтогенеза. ***В наибольшей степени генетическому контролю под-***

вержены быстрые движения, требующие, в первую очередь, особых скоростных свойств нервной системы – высокой лабильности (скорости протекания возбуждения) и подвижности нервных процессов (смены возбуждения на торможение и наоборот), а также развития анаэробных возможностей организма и наличия быстрых волокон в скелетных мышцах.

Для различных элементарных проявлений качества быстроты – времени простых и сложных двигательных реакций, максимального темпа движений, скорости одиночных двигательных актов (ударов, прыжков, метаний) – получены высокие показатели наследуемости. С помощью близнецового и генеалогического методов подтверждена высокая зависимость от врожденных свойств (Н = 0,70–0,90) показателей скоростного бега на короткие дистанции, теппинг-теста, кратковременного педалирования на велоэргометре в максимальном темпе, прыжков в длину с места и других скоростных и скоростно-силовых упражнений. ***Высокая генетическая обусловленность получена также для качества гибкости.***

В меньшей степени генетические влияния выражены для показателей абсолютной мышечной силы. Так, например, коэффициенты наследуемости для динамометрических показателей силы правой руки Н ≅ 0,61, левой руки Н ≅ 0,59, становой силы Н ≅ 0,64, в то время как для показателей времени простой двигательной реакции Н ≅ 0,84, сложной двигательной реакции Н ≅ 0,80.

В наименьшей степени наследуемость обнаруживается для показателей выносливости к длительной циклической работе и качеству ловкости (координационных возможностей и способности формировать новые двигательные акты в необычных условиях).

Другими словами, ***наиболее тренируемыми физическими качествами являются ловкость и общая выносливость, а наименее тренируемыми – быстрота и гибкость. Среднее положение занимает качество силы*** (табл. 14). Это подтверждается данными Н.В. Зимкина (1970) и других авторов о степени прироста различных физических качеств в процессе многолетней спортивной тренировки: показатели качества быстроты (в спринтерском беге, плавании) увеличиваются в 1,5–2 раза, качества силы при работе локальных мышечных групп – в 3,5–3,7 раза, при глобальной работе – на 75–150%, качества выносливости – в десятки раз.

Таблица 14

Показатели влияния наследственности (Н) на физические качества человека (по: А.К. Москатова, 1983)

№ п/п	Показатели	Коэффициент наследуемости (Н)
1.	Скорость двигательной реакции	0,80
2.	Теппинг-тест	0,85
3.	Скорость элементарных движений	0,64
4.	Скорость спринтерского бега	0,70
5.	Максимальная статическая сила	0,55
6.	Взрывная сила	0,68
7.	Координация движений рук	0,45
8.	Суставная подвижность (гибкость)	0,75
9.	Локальная мышечная выносливость	0,50
10.	Общая выносливость	0,65

Проявления генетических влияний зависят от возраста. Они больше выражены в молодом возрасте (16–24 года) по сравнению с более пожилыми людьми. ***Влияния генотипа также зависят от мощности работы*** – они нарастают с увеличением мощности работы.

Наследственные влияния на морфофункциональные особенности и физические качества человека зависят от периодов онтогенеза. Различают критические и сенситивные периоды.

Критические периоды ***характеризуются повышенной активностью отдельных генов и их комплексов, контролирующих развитие каких-либо признаков организма.*** В эти периоды происходит значительная перестройка регуляторных процессов, качественный и количественный скачок в развитии отдельных органов и функциональных систем, результатом чего является возможность адаптации к новому уровню существования организма и его взаимодействия со средой. Такая перестройка увеличивает число степеней свободы организма, открывает новые горизонты поведения человека, т.е. по существу является «опережающим отражением действительности».

Сенситивные периоды – ***периоды снижения генетического контроля и повышенной чувствительности отдельных признаков организма к средовым влияниям, в том числе педагогическим и тренерским.***

Критические и сенситивные периоды совпадают лишь частично. Если критические периоды создают морфофункциональную основу существования организма в новых условиях жизнедеятель-

ности (например, в переходный период у подростка), то сенситивные периоды реализуют эти возможности, обеспечивая адекватное функционирование систем организма соответственно новым требованиям окружающей среды.

Для тренеров и педагогов, работающих в области физического воспитания и спорта, знание сенситивных периодов чрезвычайно важно, так как один и тот же объем физической нагрузки, количество тренировочных занятий, подходов к снарядам и т.п. лишь в сенситивный период обеспечивают наибольший тренировочный эффект, который в другие возрастные периоды не может быть достигнут. К тому же ***учет сенситивных периодов необходим при проведении спортивного отбора*** для правильной оценки состояния организма и особенностей физических качеств спортсмена.

Сенситивные периоды для различных физических качеств проявляются гетерохронно, т.е. в разное время. Хотя имеются индивидуальные варианты сроков их наступления, все же в среднем можно выделить общие закономерности. Так, ***сенситивный период проявления различных показателей качества быстроты приходится на возраст 11–14 лет,*** к 15-летнему возрасту достигается его максимальный уровень. ***Близкая к этому картина наблюдается в онтогенезе и для проявления качеств ловкости и гибкости.***

Несколько позже отмечается сенситивный период ***качества силы.*** После сравнительно небольших темпов ежегодных приростов силы в дошкольном и младшем школьном возрасте наступает некоторое их замедление в возрасте 11–13 лет. Затем наступает ***сенситивный период развития мышечной силы в 14–17 лет,*** когда особенно значителен прирост силы в процессе спортивной тренировки. К 18–20 годам у юношей (на 1–2 года раньше у девушек) достигается максимальное проявление силы основных мышечных групп. ***Сенситивный период выносливости приходится примерно на 15–20 лет,*** после чего наблюдается

Качества	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Гибкость																	
Ловкость																	
Быстрота																	
Ск.-сил.																	
Сила																	
Выносл.																	

Рис. 38. Сенситивные периоды (возраст) развития физических качеств

максимальное ее проявление и рекордные достижения на стайерских дистанциях в беге, плавании, гребле, лыжных гонках и других видах спорта, требующих выносливости (рис. 38).

15.3. УЧЕТ ФИЗИОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА В СПОРТИВНОМ ОТБОРЕ

Знание степени наследственных влияний на морфофункциональные особенности человека и его физические качества позволяет в ходе спортивного отбора опираться на те показатели, которые в наибольшей степени находятся под генетическим контролем, т.е. являются наиболее прогностичными и мало изменяемыми в ходе тренировки.

15.3.1. Учет семейной наследственности в спортивном отборе

В практике спорта известна роль семейной наследственности. По П. Астранду, в 50% случаев дети выдающихся спортсменов имеют выраженные спортивные способности, многие браться и сестры показывают высокие результаты в спорте (мать и дочь Дерюгины, братья Знаменские, сестры Пресс и др.). Если оба родителя – выдающиеся спортсмены, то высокие результаты у их детей могут быть в 70% случаев.

Еще в 1930-х годах было показано, что выраженную внутрисемейную наследуемость имеют показатели скорости выполнения теппинг-теста. Если оба родителя по теппинг-тесту попадали в группу «быстрых», то среди детей таких родителей значительно больше было «быстрых» (56%), чем «медленных» (лишь 4%). Если оба родителя оказывались «медленными», то среди детей преобладали «медленные» (71%), а остальные были «средними» (29%). Оказалось, что внутрисемейное сходство зависит от характера упражнений, особенностей популяции, порядка рождения ребенка в семье.

Более высокие внутрисемейные взаимосвязи присущи скоростным циклическим и скоростно-силовым упражнениям. Изучение архивов в английских закрытых колледжах, где по традиции обучались дети избранных семейств, показало определенное сходство двигательных возможностей детей и родителей в 12-летнем возрасте. Достоверная корреляция была установлена для некоторых морфологических признаков и скоростно-силовых упражнений: длина тела ($r = 0{,}50$), бег на 50 ярдов ($r = 0{,}48$), прыжки в длину с места ($r = 0{,}78$). Однако корреляция отсутствовала для

сложнокоординационных движений, таких как метание теннисного мяча, гимнастические упражнения.

Изучению подвергались многие семейные особенности различных функций организма. Исследования сдвигов легочной вентиляции в ответ на недостаток кислорода (гипоксию) и избыток углекислого газа (гиперкапнию) у взрослых бегунов-стайеров показали, что дыхательные реакции находящихся в хорошей спортивной форме бегунов на длинные дистанции и их не занимающихся спортом родственников были практически одинаковы. При этом они достоверно отличались от более высоких сдвигов легочной вентиляции у контрольной группы лиц, не занимающихся спортом.

Некоторые противоречивые данные внутрисемейного исследования морфологических признаков генетики объясняют влияниями популяционных особенностей. Так, например, имеются различия в характере внутрисемейных генетических влияний на длину тела в разных популяциях: в американской популяции самая высокая взаимосвязь выявлена в парах мать – дочь, затем ее снижение в парах мать – сын, отец – сын, отец – дочь; в африканской популяции снижение корреляции отмечено в другом порядке: от пары отец – сын к парам мать – сын, мать – дочь, отец – дочь.

О внутрисемейных взаимосвязях в отношении умственной работоспособности (по показателю коэффициента интеллектуальности) сообщал Г. Айзенк (1989). По скорости осуществления умственных операций и решения интеллектуальных проблем показатели усыновленных детей соответствовали умственным способностям их биологических родителей, но не приемных родителей. Эти факты свидетельствовали о наследственной природе данных способностей.

В результате анализа браков двоюродных сестер и братьев установлено снижение умственных способностей у их детей, что демонстрирует отрицательный генетический эффект в семьях близких родственников.

Генетически зависимыми являются многие морфофункциональные признаки, определяющие спортивные способности человека и передающиеся по наследству от родителей (длина тела и конечностей, размеры и объемы сердца и легких, умственная работоспособность, восприятие пространства, способность различать цвета, звуки, слова и многое другое).

Специальный анализ наследования спортивных способностей человека был проведен Л.П. Сергиенко (1993) в 163 семьях спорт-

сменов высокого класса (15 мастеров спорта, 120 мастеров спорта международного класса, 28 заслуженных мастеров спорта – победителей и призеров Олимпийских игр, чемпионатов мира, Европы и СССР).

Оказалось, что чаще всего (66,26%) высокие достижения отмечались в смежных поколениях: дети – родители. При этом не было «пропусков» поколений (как в случае рецессивного типа наследования). Отсюда было сделано предположение о доминантном типе наследования.

Было установлено, что у родителей, братьев и сестер выдающихся спортсменов двигательная активность значительно превышала уровень, характерный для людей обычной популяции. Физическим трудом или спортом занимались 48,7% родителей, в большей мере отцы (29,71%), чем матери (18,99%); более активными были братья (79,41%), чем сестры (42,05%).

У спортсменов-мужчин не было ни одного случая, когда бы мать занималась спортом, а отец не занимался. У выдающихся спортсменов было гораздо больше родственников мужского пола, чем женского, и родственники-мужчины имели более высокую спортивную квалификацию, чем родственницы-женщины.

Таким образом, у мужчин-спортсменов двигательные способности передавались несомненно по мужской линии. У женщин-спортсменок, в отличие от этого, спортивные способности передавались преимущественно по женской линии.

Выдающиеся спортсмены, специализирующиеся в упражнениях на выносливость, были преимущественно младшими детьми и рождались, как правило, в семьях с двумя или тремя детьми, а в таких видах спорта, как бокс, таэквон-до, это преимущественно первенцы.

Имеется особая закономерность семейного сходства в выборе спортивной специализации: наибольшее сходство выявлено в выборе занятий борьбой (85,71%), тяжелой атлетикой (61,11%) и фехтованием (55,0%); наименьшее сходство в предпочтении баскетбола и бокса (29,4%), акробатики (28,57%) и волейбола (22,22%).

15.3.2. Учет тренируемости спортсменов

Выбор адекватного вида спорта, отвечающего интересам и наличным возможностям человека, еще не гарантирует его высоких спортивных достижений. Значительную роль в росте спортивного мастерства играет так называемая тренируемость или спортивная обучаемость спортсмена, т.е. его способность повы-

шать функциональные и специальные спортивные возможности под влиянием систематической тренировки.

Тренируемость спортсмена обеспечивается в совокупности двумя параметрами:

• ***степенью прироста*** различных признаков организма в процессе многолетней спортивной подготовки;

• ***скоростью этих сдвигов*** в организме.

Рассмотрим, чем обусловливается ***степень прироста различных показателей*** организма спортсмена. Величина изменчивости отдельных функциональных показателей и физических качеств человека зависит от врожденной нормы реакции, т.е. способности генов, контролирующих эти признаки, реагировать на изменение условий индивидуального развития и факторов внешней среды.

Для одних показателей характерна узкая норма реакции; ***они в среднем незначительно изменяются даже при заметных колебаниях внешних условий, в том числе при длительной тренировке*** (длина тела, гомеостатические свойства крови, состав мышечных волокон в скелетных мышцах, типологические особенности нервной системы и др.). Другим показателям присуща широкая норма реакции, ***допускающая значительные изменения в фенотипе*** (масса тела, количество митохондрий в мышце, показатели внешнего дыхания, многие характеристики кровообращения и др.).

В процессе спортивного отбора необходимо обращать внимание в первую очередь на мало изменяемые показатели, которые имеют наибольшую прогностичность, так как тренировочный процесс их мало затрагивает. Именно эти показатели будут лимитировать спортивные достижения в процессе тренировки.

На протяжении многих лет систематических занятий спортом или профессиональной деятельностью практически не изменяются ***амплитудно-частотные характеристики электрической активности мозга – электроэнцефалограммы,*** отражающие генетические особенности человека. Это природные свойства индивида с узкой нормой реакции, которые и следует учитывать уже ***при начальном отборе.*** Так, например, при отборе спортсменов ситуационных видов спорта, для которых требуется высокое развитие качества быстроты, предпочтительны индивиды с высокой частотой альфа-ритма ЭЭГ. Исследования ЭЭГ высококвалифицированных баскетболистов показали наличие

у них высокой частоты этого ритма покоя 11–12 колеб./с, в то время как у лыжников-гонщиков она составляла всего 9–10 колеб./с. В противоположность этому, под влиянием спортивной тренировки существенно изменяются пространственно-временные отношения корковых потенциалов. В коре больших полушарий возникают специфические системы взаимосвязанной активности, отражающие особенности формируемых двигательных навыков в избранном виде спорта. Эти особенности отражают уровень функциональной подготовленности спортсменов и их следует учитывать ***на более высоких этапах отбора***.

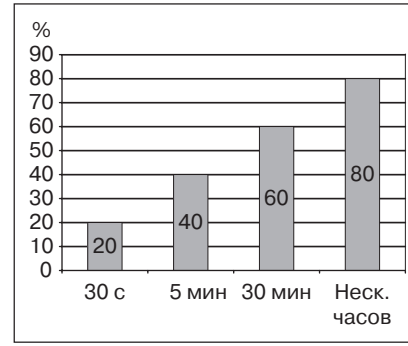


Рис. 39. Количество медленных мышечных волокон (I типа) в скелетных мышцах человека, адекватное для работы различной продолжительности

Важным прогностическим признаком является композиция (состав) волокон скелетных мышц (рис. 39). В ходе многолетних занятий спортом у человека отсутствует изменение характерного для него числа медленных и быстрых мышечных волокон, что позволяет отнести этот показатель к числу учитываемых при начальном отборе. Исследования композиции мышечных волокон четырехглавой мышцы бедра показали, что в среднем у людей наличие медленных (окислительных) волокон I типа составляет 50–60% от числа всех волокон в данной мышце. Так, например, при длительной тренировке в академической гребле присущие отдельным индивидам соотношения волокон не изменяются. У гребцов низкой квалификации (I юношеского разряда и I взрослого разряда) количество медленных волокон в четырехглавой мышце бедра составляет 44–82% и у спортсменов высокой квалификации (кандидатов в мастера спорта и мастеров спорта) оно находится в тех же пределах: 47–73%. Вместе с тем имеются субпопуляции (небольшие группы населения) со значительным преобладанием медленных или быстрых волокон. Среди первых следует искать будущих стайеров, а среди вторых – спринтеров.

Аналогично этому, в отношении ***аэробных возможностей*** имеются отдельные индивиды с широкой нормой реакции, дру-

гие – с узкой нормой реакции по одному и тому же показателю (величине МПК). Прирост этого показателя у них в процессе тренировки сильно отличается от среднепопуляционных значений – обычно у большинства людей прирост МПК в среднем составляет около 30% от исходного уровня. Близнецовые исследования канадских ученых выявили генетическую зависимость тренируемости при выполнении одинаковой аэробной работы на велоэргометре. У одних индивидов повышение величины МПК достигало за 15-недельный тренировочный цикл 60% и более, таких насчитывалось примерно 5–10%, а у других прирост за тот же период оказался менее 5%, их было всего 4% от наблюдавшихся лиц. Эти индивидуальные особенности являются врожденными.

В процессе многоступенчатого отбора можно выделять группы спортсменов с ***гипокинетическим типом реагирования на физические нагрузки*** (их примерно насчитывают около 21%) и с ***гиперкинетическим типом реагирования*** (26%), которые показывают более высокий тренировочный эффект по сравнению с гипокинетической группой.

Примерно такое же количество высокотренируемых спортсменов обнаружено среди представителей ситуационных видов спорта, обладающих наиболее мощными и высокомобилизуемыми аэробными и анаэробными возможностями: среди волейболисток – 10%, баскетболисток – 18%, футболистов – 33%.

Исследования тактического мышления у высококвалифицированных баскетболистов позволили по степени увеличения способности к переработке информации при решении тактических задач выделить три группы спортсменов (Сологуб Е.Б., Бедрина З.Ю., 1990):

• баскетболисты с высокой способностью к обучению (30% от всех наблюдавшихся спортсменов), которые показали за 12 тренировочных занятий прирост пропускной способности мозга (С) на 1,8 бит/с (при среднем исходном уровне пропускной способности во время игровой деятельности С = 2 бит/с);

• баскетболисты со средним уровнем обучаемости (44% спортсменов), прирост С = 1,5 бит/с;

• баскетболисты с низким уровнем обучаемости (26%), прирост С = 1,2 бит/с.

Определены ***информативные психофизиологические показатели*** для отбора спортсменов-баскетболистов с высокой обучаемостью к решению тактических задач. Они характеризуются

низкой тревожностью, высокой критичностью в оценке самочувствия и настроения и высокой избирательностью и концентрацией внимания.

Из всех полученных данных можно заключить, что наряду с основной массой людей, обладающих средними показателями прироста морфофункциональных показателей и спортивных достижений, имеются группы лиц (примерно 10–30%) с высоким или с низким уровнем прироста этих показателей при тренировке.

Поиск высокотренируемых лиц представляет главную задачу при спортивном отборе, для чего необходима разработка информативных физиологических, морфологических, психофизиологических и психологических параметров для каждого избранного вида спорта.

Рассмотрим вопрос о ***скорости развития адаптации к избранному виду спорта.*** В школе дифференциальной психологии Теплова-Небылицина было выдвинуто представление о свойстве динамичности или обучаемости как первичном свойстве нервной системы – одном из важнейших врожденных свойств, наряду с силой, подвижностью и лабильностью нервных процессов. Обучаемость понималась как скорость образования условных рефлексов.

Развитие учения П.К. Анохина о функциональной системе изменило и представление об обучаемости. По определению В.М. Русалова (1989), динамичность или обучаемость – это быстрота формирования новой функциональной системы в организме. В адаптологии возникло представление о формировании в процессе спортивной тренировки функциональной системы адаптации спортсмена к нагрузкам и о роли скорости адаптации (Солодков А.С., 1988).

При этом степень перестройки функций ограничивается генетически определенной нормой реакции каждого человека, т.е. пределами изменчивости различных признаков организма, а скорость – специальными (темпоральными) генами, контролирующими изменение признаков во времени (Джедда Л., 1971; Никитюк Б.А., 1988; и др.).

У каждого индивида активность этих генов имеет собственную хронологию, т.е. систему отсчета времени. Она определяет индивидуальную скорость роста и развития организма, время и продолжительность считывания генетической информации в клеточных ядрах и синтез в клетках необходимых бел-

ков, моменты включения и выключения активности отдельных генов, время наступления критических и сенситивных периодов развития отдельных признаков, длительность их протекания, темпы функциональной активности различных систем организма, скорость обучения человека и другие временные параметры жизнедеятельности. Например, переходный период у одних подростков протекает на протяжении 5–6 лет, а у других за 1,5–2 года. Исследования на близнецах показали генетическую природу обучаемости: при использовании специальных тестов (соединять пары цветных фигур за 30 с) у однояйцевых близнецов скорость освоения оказалась одинаковой, а у двуяйцевых близнецов имелись достоверно большие различия.

Следовательно, высокотренируемые и низкотренируемые спортсмены различаются не только по величине сдвига работоспособности, физических качеств и функциональных показателей, но и по скорости изменений всех этих показателей, а соответственно и по времени достижения высоких спортивных результатов. ***Величина и скорость развития тренировочных эффектов являются независимыми переменными.***

По выраженности этих факторов выделяют четыре варианта тренируемости (Коц Я.М., 1986):

- высокая быстрая тренируемость;
- высокая медленная тренируемость;
- низкая быстрая тренируемость;
- низкая медленная тренируемость.

Наличие таких индивидуальных физиолого-генетических особенностей обусловливает необходимость многоступенчатого отбора в процессе многолетней спортивной тренировки.

15.4. ЗНАЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИ АДЕКВАТНОГО И НЕАДЕКВАТНОГО ВЫБОРА СПОРТИВНОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ, СТИЛЯ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И СЕНСОМОТОРНОГО ДОМИНИРОВАНИЯ

Для успешного развития тренированности спортсменов в плане отбора и прогноза необходимы два фактора:

- ***адекватный для генетических задатков выбор*** спортивной специализации, стиля соревновательной деятельности, ведущей руки и ноги спортсмена;
- ***многоступенчатый отбор*** на каждом этапе многолетней подготовки, с учетом генетически присущей спортсмену скорости адаптации к специализированным нагрузкам.

Лишь сочетание обоих этих факторов в совокупности может обеспечить высокие результаты на уровне спорта высших достижений и сохранение здоровья спортсмена. Основой для суждения о тренируемости в различных видах спорта являются уже достаточно известные информативные морфофункциональные и психофизиологические критерии.

Между высокотренируемыми и низкотренируемыми спортсменами возможны значительные различия по времени достижения одних и тех же уровней спортивного мастерства (рис. 40). Так, нормативы мастера спорта высокотренируемые тяжелоатлеты-гиревики выполняют почти на 1,5 года быстрее, чем низкотренируемые спортсмены (соответственно 3,76 и 4,83 года), дзюдоисты-женщины – на 2 с лишним года быстрее (соответственно 5,60 и 7,83 года), а дзюдоисты-мужчины – более чем на 2,5 года быстрее (6,50 и 9,17 года), считая от исходного уровня.

Высокая тренируемость, сокращая время подготовки высококвалифицированного спортсмена, обеспечивает не только выполнение биологической задачи (сохранения его здоровья) и социальной задачи (победы на соревнованиях), но и позволяет достичь высокого экономического эффекта тренировочного процесса,

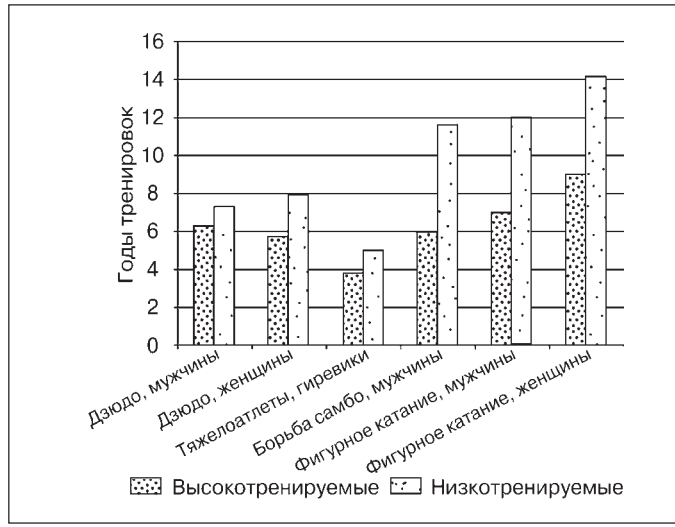


Рис. 40. Время достижения высокого уровня спортивного мастерства (квалификации мастера спорта) у высокотренируемых и низкотренируемых спортсменов *(по данным разных авторов)*

сокращая расходы на оплату труда тренеров, аренду помещения и пр. Фактор времени имеет огромное значение и для личной жизни спортсмена.

Неадекватный выбор вида спортивной деятельности сопровождается формированием нерациональной функциональной системы адаптации с большим числом лишних, неэффективных и даже нецелесообразных внутрисистемных и межсистемных взаимосвязей (например, между спортивно-важными качествами), напряжением адаптационно-компенсаторных механизмов, затруднением восстановительных процессов, медленным развитием тренированности, недостаточно успешным выступлением на соревнованиях, достижением менее высокого уровня спортивного мастерства, неутешительным прогнозом перспективности и, наконец, остановкой роста спортивного мастерства в связи с исчерпанием генетического резерва организма.

К сожалению, в практике довольно часто встречаются случаи неадекватного выбора вида спорта, стиля соревновательной деятельности (атакующий или контратакующий) и ведущей конечности спортсмена.

Например, у фехтовальщиков часты случаи, когда вооруженная рука является неведущей, т.е. хуже управляемой (рис. 41). Это явно тормозит рост спортивного мастерства, так как чем выше спортивная квалификация фехтовальщиков, тем меньше оказывается среди них спортсменов с таким неадекватным выбором.

Среди борцов-самбистов около половины спортсменов пользуются неадекватным стилем соревновательной деятельности,

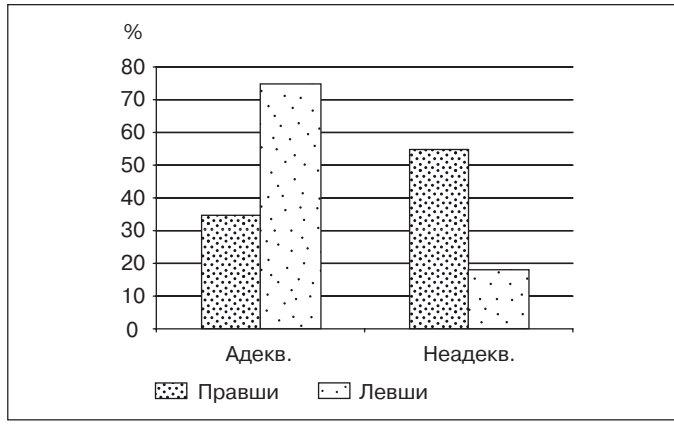


Рис. 41. Адекватность выбора вооруженной руки у фехтовальщиков

не соответствующим их врожденным типологическим особенностям, причем 20% из них борются стилем противоположным. Вследствие этого замедляются темпы овладения спортивной техникой, ухудшаются спортивные результаты, увеличивается время выполнения нормативов спортивных разрядов. Независимо от атакующего или контратакующего стиля, использование «своего» стиля увеличивает скорость роста спортивного мастерства, и различия оказываются тем больше, чем выше спортивная квалификация. Например, у борцов-самбистов время выполнения нормативов I разряда при выборе «своего» стиля по сравнению с выбором «чужого» стиля меньше почти на полтора года (соответственно 4,0 и 5,4 года), выполнения нормативов кандидатов в мастера спорта – короче более чем на 2 года (5,0 и 7,2 года), а нормативов мастера спорта – меньше на 5 с лишним (!) лет (6,0 и 11,2 года).

Среди спортсменов ситуационных видов спорта (боксеров, волейболистов, баскетболистов и др.) ***выявлены значительные различия между спортсменами атакующего и контратакующего стиля по многим психофизиологическим показателям.*** Так, у атакующих боксеров по сравнению с контратакующими достоверно короче временные параметры сенсомоторных реакций и тактического мышления, выше показатели теппинг-теста и силы мышц, в предрабочей ЭЭГ более высокий уровень преднастройки (синхронизации корковой активности), а во время парного взаимодействия с соперником в ЭЭГ формируется более асимметричная система управления движениями, включающая нижнетеменные, зрительные и моторные области левого полушария (условно «система восприятия»), при обучении с электромиографической обратной связью менее выражен прирост способности к произвольному управлению мышечными усилиями.

У контратакующих боксеров – более симметричная система взаимосвязанной активности в коре больших полушарий с ведущей ролью переднелобных областей («система принятия решений»), более высокий коэффициент интеллектуальности в словесном тесте Г. Айзенка, при обучении с ЭМГ-обратной связью более успешно происходит совершенствование мышечного чувства и точности воспроизведения заданных усилий.

Аналогичные данные, полученные на спортсменах волейболистах, баскетболистах, футболистах и фехтовальщиках, позволяют отнести атакующих (нападающих) спортсменов к лицам с невербальным мышлением («художественному» типу, по И.П. Павло-

ву), а контратакующих (защитников) – к лицам с вербальным мышлением («мыслительному» типу).

Как оказалось, в группах спортсменов атакующего или контратакующего стиля насчитывается примерно 2/3 спортсменов, адекватно выбравших стиль соревновательной деятельности, соответствующий их врожденным индивидуально-типологическим особенностям, и около 1/3 спортсменов с неадекватным выбором, которые, по-видимому, компенсируют этот выбор другими функциональными возможностями организма (табл. 15).

Таблица 15

Количество (%) высококвалифицированных боксеров атакующей и контратакующей манеры ведения боя, выбравших адекватный и неадекватный для врожденных индивидуально-типологических особенностей стиль соревновательной деятельности
(по: Е.Б. Сологуб, 1986; В.А. Таймазов, 1986)

Используемый стиль	Адекватность выбора	I разряд и кандидаты в мастера спорта	Мастера спорта и мастера спорта международного класса
Контратакующий	Адекватный	65	62
	Неадекватный	35	38
Атакующий	Адекватный	64	75
	Неадекватный	36	25

Неадекватный выбор стиля особенно значительно затрудняет рост мастерства у атакующих спортсменов, имеющих именно те качества, которые находятся под наибольшим генетическим контролем – скоростные свойства нервной системы и двигательного аппарата. Например, доля атакующих боксеров в спорте высших достижений, выбравших неадекватную манеру ведения боя, сокращается с 36% (в группе спортсменов I разряда) до 25% (в группе мастеров спорта и мастеров спорта международного класса).

Дифференциация спортсменов по физиолого-генетическим особенностям создает основу для различного педагогического подхода к их обучению (использование преимущественно методов показа, прочувствования движений для атакующих спортсменов и методов рассказа, объяснений, самоотчетов – для контратакующих), правильного подбора упражнений, выбора адекватного стиля, создания алгоритмов прогнозирования и моделирования успешности соревновательной деятельности.

15.5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ ДЛЯ ПОИСКА ВЫСОКО- И БЫСТРОТРЕНИРУЕМЫХ СПОРТСМЕНОВ

В практике спорта эффективность отбора обычно превышает 50–60%. Хотя отмечалось, что предсказание перспективности спортсменов более эффективно, чем предсказание неперспективности. Даже у опытных тренеров с использованием комплекса современных методов прогнозных решений она не более 70–80%.

Современные методы спортивной генетики позволяют избежать многих ошибок в этом плане. В настоящее время достигнуты определенные успехи в поиске генов предрасположенности к мышечной деятельности аэробного характера. Учитываются влияния генов, переключающих жировой обмен с образования белого жира, откладывающегося про запас, не преимущественное образование бурого жира, обеспечивающего двигательную активность человека. Однако выделение отдельных генов или их комплексов – чрезвычайно трудоемкий и пока мало разработанный процесс. Для практики спорта особую важность все более приобретает использование в отборе так называемых маркеров, отражающих наследственные задатки отдельных индивидуумов.

Генетическим маркером ***называют легко определяемый, устойчивый признак организма, жестко связанный с его генотипом, по которому можно судить о вероятности проявления другой, трудно определяемой характеристики.***

К основным их свойствам относят следующие:

– жесткая генетическая обусловленность (их коэффициент наследуемости порядка H=1,0);

– полное проявление в последующих поколениях;

– хорошая выраженность (высокая экспрессия);

– малая зависимость от факторов внешней среды;

– практическая неизменность на протяжении различных периодов жизни.

С помощью генетических маркеров возможно выявление генетических задатков даже у малолетних детей, для которых нельзя использовать тесты, разработанные для взрослых людей. Выявленные маркерами задатки человека, характеризуя возможные его способности, сохраняют свое влияние на всю последующую жизнь. Для практического удобства было предложено различать маркеры абсолютные и условные.

Абсолютные маркеры характеризуются наиболее высокой наследуемостью (их коэффициент H приближается к 1,0).

К ним относят: группы крови (системы ABO, MN и др.), скорость возникновения некоторых вкусовых ощущений, показатели кожных узоров пальцев (дерматоглифы), формы зубов (одонтоглифы), особенности хромосомных наборов и др.

Условные маркеры менее обусловлены наследственно (их $H \approx 0{,}80–0{,}95$). К ним относятся: соматотип человека, его темперамент (тип высшей нервной деятельности), доминирование правого или левого полушария, особенности сенсорной и моторной функциональной асимметрии и тип индивидуального профиля асимметрии, соотношение быстрых и медленных мышечных волокон в скелетных мышцах, гормональный статус и др.

Использование генетических маркеров позволяет значительно расширить возможности и точность прогнозирования и отбора в спорте, особенно на начальных его этапах. Раннее начало занятий многими видами спорта (гимнастика, фигурное катание, плавание, прыжки в воду и др.) не позволяет у детей 5–6-летнего возраста различить спортивно-важные качества, характерные для взрослых спортсменов в избранном виде спорта, так как они еще не сформированы на данном этапе онтогенеза.

С целью спортивной ориентации и отбора генетические маркеры можно использовать в двух основных направлениях: 1) поиск спортсменов с адекватными для данного вида спорта признаками организма; 2) отбор среди них не только спортсменов с высокой, но и с быстрой тренируемостью в избранном виде спорта.

Для каждого тренера важно не только подготовить спортсмена высокого класса, но и сделать это без вреда для его здоровья и с наименьшими затратами времени. В связи с этим особую ценность в настоящее время приобретает выявление наиболее информативных генетических маркеров, позволяющих дифференцировать спортсменов по их тренируемости в каждом отдельном виде спорта, т.е. отличить высоко- и быстротренируемых от высоко- и медленнотренируемых, низко- и быстротренируемых и, тем более, низко- и медленнотренируемых спортсменов.

Так, например среди юных спортсменов, специализировавшихся в таэквон-до и занимавшихся у одного тренера по одной и той же методике на протяжении 10 лет, лишь часть достигла уровня черного пояса, а некоторые выполнили лишь нормативы низкого разряда, т.е. отстали на 6 лет подготовки.

При этом установлено, что наиболее информативными показателями – абсолютными и условными генетическими маркерами, позволяющими определить спортсменов-таэквондистов

в группу высоко- и быстротренируемых (в отличие от группы низко- и медленнотренируемых) являются следующие:

- *спортивно-педагогические:* достижение более высокого уровня квалификации при затрате в среднем на 3–4 года меньше на выполнение нормативов одного и того же уровня по сравнению с низко- и медленнотренируемыми;
- *генеалогические* (анализ родословных): высоко- и быстротренируемые таэквондисты имеют достоверно больше родственников-спортсменов, в том числе единоборцев, и являются практически исключительно первенцами по порядку рождения в семье;
- *морфологические:* отличительным признаком является достоверно меньшая доля жирового компонента в составе тела, большая обезжиренная масса, а также принадлежность к морфотипу долихоморфов;
- *принадлежность к определенной группе крови системы АВ0:* преобладание III(B) группы крови, достоверно меньшая встречаемость I(0) группы крови и отсутствие со II(A) и IV(AB) группой (принадлежность ко II(A) группе крови достоверно характеризует лишь спортсменов с низкой и медленной тренируемостью);
- *показатели физических качеств:* достоверно большая быстрота в теппинг-тесте и большая мышечная сила рук, особенно правой руки;
- *физиологические показатели:* более высокие анаэробные возможности (достоверно большая длительность задержки дыхания на вдохе и на выдохе) и специфика функциональной асимметрии – доминирование правой руки, правой ноги, правого глаза и, соответственно, достоверное преобладание одностороннего (правого) индивидуального профиля асимметрии;
- *психофизиологические и психические характеристики темперамента и личностных особенностей:* достоверное преобладание экстравертов, более высокий уровень нейротизма, большая выраженность холерического темперамента и отсутствие флегматиков, а также более высокая субъективная оценка самочувствия.

Выявление подобных информативных комплексов генетических маркеров для отдельных видов спорта позволит разработать более эффективные технологии спортивного отбора высоко- и быстротренируемых спортсменов. При этом важно выявлять

в каждой специализации быстро тренируемых спортсменов. Обнаружено, что такой информативный маркер, как групповая принадлежность крови, позволяет дифференцировать спортсменов по скорости обучения в различных видах единоборств. В требующем особой быстроты боксе среди быстротренируемых высококвалифицированных спортсменов достоверно преобладают лица с I(0) группой крови (и отсутствуют лица со II(A) и IV(AB) группой); в таэквон-до, отличающемся высокой координацией и ловкостью, быстротренируемые спортсмены – это главным образом лица с III(B) группой (лица со II(A) и IV(AB) группой также отсутствуют); в кикбоксинге, для которого важна хорошая специальная выносливость, среди быстротренируемых спортсменов преимущество имеют лица со II(A) группой, а среди медленнотренируемых – лица с I(0) группой крови.

16. ВЛИЯНИЕ ГЕНОМА НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ, РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И ЗДОРОВЬЕ СПОРТСМЕНОВ

В 1953 г. нобелевские лауреаты Ф. Крик и Д. Ватсон (США) расшифровали генетический код наследственной информации. В конце XX века во многих странах основным направлением генетических исследований стало изучение структуры и функций ДНК у человека. В результате проведенной работы был открыт ***геном человека, который представляет собой всю совокупность генетической информации, содержащейся в хромосомах.*** Нобелевские премии в области естественных наук в последние годы чаще присуждаются по генетике.

16.1. ХРАНЕНИЕ, ПЕРЕДАЧА НАСЛЕДСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ И РАСШИФРОВКА ГЕНОМА

Наследственные признаки передаются с помощью двух основных молекул – дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) и рибонуклеиновой кислоты (РНК). ДНК содержится в клеточных ядрах и является носителем генетической информации, а РНК служит для передачи информации. Это огромные молекулы с молекулярной массой от 10 тыс. до нескольких миллионов атомных единиц.

ДНК представляет собой спираль из двух цепочек, каждая из которых состоит из последовательности более простых соедине-

ний – так называемых ***оснований***, или ***нуклеотидов***. Имеется 4 вида этих базовых элементов ДНК – ***аденин, гуанин, цитозин и тимин*** (см. рис. 42). В различных сочетаниях они сгруппированы по три основания в так называемые ***триплеты***. Такие триплеты являются основным кодом генетической информации. Каждый триплет несет информацию об одной аминокислоте, а их различные сочетания обеспечивают включение всех 20 аминокислот в синтезируемые белки или ферменты.

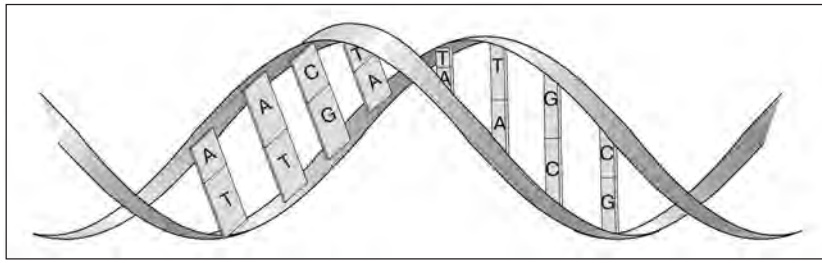


Рис. 42. Схема структуры ДНК.
Парные структуры ДНК с основаниями: А – аденин, С – цитозин, G – гуанин, Т – тимин

Созданные образования под контролем триплетов лежат в основе функциональных единиц наследственной информации – генов. ***Ген – участок ДНК с определенной последовательностью оснований, который содержит информацию об элементарном признаке***. В каждой клетке организма имеется весь набор генов. Гены расположены линейно в специальных образованиях – ***хромосомах***. Непрерывная двойная спираль ДНК, содержащая гены, проходит по всей длине хромосом.

Хромосомы сгруппированы попарно, поэтому их число всегда четное. В каждой паре хромосомы имеют сходную форму и размеры. Число хромосом постоянно для каждого вида живых существ. ***У человека в ядрах клеток содержится 23 пары, или 46 хромосом.***

Хромосомы подразделяют на две группы:

1) ***аутосомы*** – попарно идентичные и одинаковые у мужчин и женщин, их 22 пары;

2) ***половые хромосомы*** – 23-я пара, содержащая в женском организме две одинаковые хромосомы (XX), а в мужском – две различные хромосомы (XY).

Выполненные в последние годы исследования генетиками многих стран (в том числе и российскими) привели к расшифровке ***генома человека. В хромосомах генома содержится весь***

наследственный фонд организма. Заложенная в нем информация огромна. Если допустить различия в каждой хромосоме всего по одному гену, а в паре соответственно по двум вариантам этого гена, то возможное количество закодированных в геноме комбинаций признаков превысит 8 миллионов.

Данные последних исследований свидетельствуют о том, что ***в геноме человека содержится более трех миллиардов последовательностей оснований, а число структурных генов в геноме превышает 20 тысяч.*** Наряду со структурными генами, в ДНК расположены и другие их виды (регуляторные, модуляторные). Структурные гены определяют морфофункциональные особенности организма, синдромы различных генетических заболеваний, пороки развития и пр.

В настоящее время активно изучается и ***другая форма наследственности,*** о которой ранее не было известно. Установлено, что в организме человека, помимо наследственной информации, передаваемой ДНК, которая находится в ядрах клеток, существует наследственная информация, заключенная в ДНК специальных органелл клетки – митохондриях.

Митохондральная ДНК имеет ряд особенностей:

• митохондральная наследственность передается только по материнской линии через митохондрии яйцеклетки;

• происходящие в результате мутаций изменения в митохондральной наследственности закрепляются в ней для передачи по наследству крайне редко (лишь 1 раз в 10 тыс. лет);

• при генетическом анализе митохондральной ДНК следует учитывать взаимный обмен между генами и их признаками, а также участками различных хромосом.

Генетиками установлен ряд достоверных закономерностей, связанных с детерминацией наследуемых признаков организма, а полученные при анализе генома человека данные оказались весьма важными в прикладном отношении. Российский генетик академик С.Г. Инге-Вечтомов считает, что расшифровка генома человека по своей значимости для человечества превосходит полет на Луну. Исследования генома позволили создать новые научные направления в развитии генетики: эволюционная, молекулярная, медицинская, популяционная, спортивная генетика и другие ее виды.

Одним из весьма существенных для практического использования направлений генетических исследований является изучение стволовых клеток.

Стволовые клетки – ***это зародышевые недифференцированные клетки организма, в которых еще высока активность генов и из которых могут развиваться различные специализированные клетки*** (даже клетки центральной нервной системы). Стволовые клетки имеются в организме эмбрионов, а также в некоторых органах и тканях взрослого человека.

Подобные клетки обнаружены в головном мозгу – в области мозговых желудочков. Здесь они зарождаются, размножаются, а затем перемещаются в кору больших полушарий, где превращаются в зрелые нейроны. Этот процесс может осуществляться во взрослом состоянии. От него зависят замедление старения мозга, потери памяти и возможность предотвращения старческого слабоумия (болезни Альцгеймера).

Стволовые клетки находятся также в зародышевом слое, окружающем волокна скелетных мышц. Они продуцируют клеточные ядра, которые используются для последующего формирования новых миофибрилл и развития гипертрофии мышц. Аналогичные клетки костной ткани обеспечивают рост костей и процесс кроветворения.

Использование стволовых клеток, таким образом, открывает новые перспективы в восстановлении утраченных функций некоторых органов, в замедлении старения организма, при лечении сахарного диабета, паркинсонизма и других болезней.

Из-за криминального получения эмбриональной ткани (похищения детей, необоснованные аборты и др.) работы со стволовыми клетками в ряде стран запрещались. Недавно стволовые клетки были обнаружены в околоплодных водах, что исключает возможность использования зародышей. Кроме того, в настоящее время разработаны биотехнологии специального клонирования и выращивания стволовых клеток, которые позволят преодолеть названные ограничения.

Открытие специфических закономерностей ДНК дает возможность понять механизмы старения клеток и тканей, преодоления срока их жизнеспособности, а также безостановочного роста злокачественных образований. Можно полагать, что генетика находится на пути продления жизни человека.

Новыми направлениями в прикладной генетике являются:

– использование генетических данных для идентификации личности;

– выявлена наследственная природа около 10 тыс. различных заболеваний, что открывает новые подходы в лечении людей;

– разработаны новые, генетически адекватные лекарственные средства (фармакогенетика);

– на практике осуществлена возможность рождения младенцев заданного пола;

– обнаружены гены нетрадиционной половой ориентации (гомосексуализм);

– найдены гены, способствующие развитию алкоголизма у людей, и др.

Многочисленны достижения генетики в животноводстве и сельском хозяйстве: клонирование высокопородных лошадей и коров; выведение ценных сортов фруктов, ягод, злаковых культур, устойчивых к резким колебаниям температуры, заболеваниям и сорнякам.

16.2. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ДНК В СПОРТЕ

После расшифровки генома человека и разработки сложнейших биотехнологий анализа ДНК появилась возможность изучать и использовать в прикладных целях свойства отдельных генов, производимых ими ферментов и белков, а также комплексов генов, определяющих формирование необходимых признаков организма. Эти особенности генома в последние годы находят достаточно широкое применение в спорте.

16.2.1. Использование маркеров ДНК для отбора в спорте

Для спортивной практики весьма важной оказалась разработка генетических маркеров, связанных с генами, детерминирующими спортивно-важные качества организма. С использованием генетических маркеров значительно облегчается поиск спортивных талантов, задачи отбора и прогнозирования в спорте.

Было выяснено, что даже для группы родственных видов спорта характерны существенные различия в наборе таких качеств и соответственно комплексов генетических маркеров. Например, в родственных видах единоборств различные требования предъявляются к организму спортсмена в специализациях бокс, кикбоксинг, таэквон-до. Установлено, что быструю и высокую тренируемость в этих видах можно предположить по наличию различных комплексов генетических маркеров. Так, для бокса, в котором особенно высокие требования предъявляются к качеству быстроты, наиболее одаренных спортсменов следует искать среди детей, имеющих I(0) группу крови и первенцев по рождению в семье.

Но в специализацию кикбоксинг, где наряду с высокими скоростными качествами требуется большая скоростно-силовая выносливость, важно находить юные дарования среди младших детей со II(A) группой крови.

Аналогично этому показано, что в силовых видах спорта также имеются существенные различия в отдельных специализациях. Так, предрасположенность к тяжелой атлетике, где наряду с большой абсолютной силой требуется проявление взрывной силы, связана с одними генетическими маркерами, а к гиревому спорту, где наряду с абсолютной силой мышц нужна хорошая силовая выносливость, – другие маркеры (Рогозкин В.А. и др., 2000).

Значительное влияние наследственных особенностей на предрасположенность к определенным физическим нагрузкам проявляется даже для целых популяций населения. Известно, что все ведущие спринтеры мира происходят из Западной Африки – ими завоевано 494 медали из 500 медалей на дистанции 100 м. Они доминируют также в международном боксе.

Черные афроамериканцы, выходцы из этих мест, составляют в США около 13% всех суперэлитных атлетов, в баскетболе – 90%, в футболе – 70% и около 30% – в бейсболе. В Великобритании эти спортсмены составляют около 20% лучших атлетов и столько же всех футболистов. Однако они совершенно не приспособлены к работе на длинных и сверхдлинных дистанциях, так как у них на 15% меньше объем легких по сравнению с белыми спортсменами и недостаточное количество медленных волокон в скелетных мышцах.

В противоположность им чернокожие выходцы из Восточной Африки – прирожденные стайеры. Так, например, кенийцы доминируют на длинных дистанциях. При этом самый быстрый из них пробегает 100 м за 10,28 с и имеет всего 500-й ранг в списке спринтеров. Белые европейцы и восточные американцы лучше приспособлены к работе на длинных дистанциях, но 100 м никогда не пробегали меньше, чем за 10 с.

Белые афроазиаты имеют в среднем большую силу мышц верхнего плечевого пояса. Они преуспевают в борьбе, метаниях спортивных снарядов, подъеме штанги. В метаниях диска и молота ими завоевано 46 из 50 медалей.

Приведенные материалы свидетельствуют о преобладающем вкладе генетических особенностей в процесс адаптации к различным видам спорта. Знание таких особенностей – основа успешности тренировочного процесса. Условия внешней среды также ока-

зывают заметное влияние в этом направлении, но их вклад оценивают в 20–25%, отдавая предпочтение наследственным задаткам.

Исследования генетических основ спортивных успехов ведутся весьма интенсивно. Большое внимание уделяется также выявлению генетических маркеров, которые более доступны для массового практического использования. Такие исследования ведутся в России и других странах. В современных условиях появилась возможность от более простых и легко доступных маркеров спортивной успешности перейти к использованию непосредственных особенностей ДНК, указывающих на предрасположенность к определенным физическим нагрузкам.

Одним из важнейших достижений явилось обнаружение связи определенных генов с ростом спортивных достижений. Среди них специальное внимание привлек ген, контролирующий деятельность сердечно-сосудистой системы человека и определяющий предрасположенность спортсмена к физическим нагрузкам различного характера.

Впервые Х. Монтгомери с соавторами (1999) описал связь разновидностей гена особого фермента (ген ангиотензинконвертирующего фермента – АКФ), который детерминирует просвет сосудов и связан со спортивными результатами. Этот ген имеет у человека две разные формы. Возможность проявления разных форм с различными свойствами у одного и того же гена называется ***полиморфизмом.***

Уменьшение активности АКФ сопровождается расширением просвета сосудов. Спортсмены, имеющие в своем геноме данный вариант гена, могут в процессе выполнения работы субмаксимальной и большой мощности иметь максимальное для них потребление кислорода, чему способствует значительный рост кровотока через работающие мышцы. Следовательно, можно прогнозировать возможность достижения ими высоких спортивных результатов при беге на средние и длинные дистанции.

Изложенные материалы предоставляют в распоряжение тренеров, педагогов, спортивных врачей и других специалистов, работающих в области физической культуры и спорта, новые возможности для отбора и ориентации начинающих спортсменов, а также для отбора на всех этапах спортивного совершенствования.

Поиски новых генов, определяющих предрасположенность к физической активности различного характера и вида, постоянно продолжаются. За последние годы обнаружено 9 новых генов,

детерминирующих успешную спортивную деятельность. Однако достижения ученых нередко используются для ***применения различных допингов в спорте,*** что приводит к печальным последствиям прежде всего для спортсменов.

16.3. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ДОПИНГИ В СПОРТЕ

В 1990 г. впервые появилась возможность осуществлять генную терапию. Начались попытки заменять с помощью этой терапии отсутствующие или патологически измененные органы и ткани, например, при лечении мышечной дистрофии или остеопороза. Затем появилась идея использовать подобные приемы для компенсации возрастных изменений у здорового человека с целью улучшения характеристик мышечной и костной ткани.

Успехи в этом направлении породили искушение перенести приемы генной терапии в спортивную деятельность. Появился генетический допинг, т.е. использование копии гена с целью изменения морфофункциональных признаков организма ради достижения высших спортивных результатов. Различные допинги, известные в настоящее время, направлены на улучшение характеристик крови, наращивание мышечной массы, изменения состава мышечных волокон и т.п. Их введение в организм используется для повышения мышечной силы, быстроты и выносливости спортсменов.

16.3.1. Допинги в прошлом и настоящем

Победители древних Олимпийских игр не только прославлялись, но и щедро вознаграждались. В пересчете на современный курс валют чемпион-олимпионик в Древней Греции получал за победу примерно 0,5 млн долларов. Не удивительно, что постоянно делались попытки тем или иным способом улучшить достижения спортсменов, в том числе с помощью допинга.

Термин допинг происходит от нидерландского слова «доп». Этим словом обозначался несложный алкогольный напиток, который изготовлялся в Южной Африке индейцами зулу из кожуры винограда и предназначался для повышения способности к танцам и боевым сражениям.

В Древней Греции использовались в качестве допингов различные стимулирующие экстракты из грибов и семян растений. В Древнем Риме гладиаторы для успешных сражений употребляли различные лекарственные средства (типа амфетамина).

С прекращением древних Олимпийских игр и до последующего их возобновления в XIX в. потребность в допингах практически отсутствовала. Впервые следы допинга были обнаружены у британского велосипедиста в 1886 г. – многие велосипедисты принимали стрихнин, алкоголь, героин, кокаин и другие вещества.

Особенный расцвет использования нелегальных средств пришелся на XX в. Уже в начале этого века на Олимпийских играх 1904 г. американские марафонцы принимали особую смесь из сырых яиц, стрихнина и брынзы.

В 1920-х годах начали высказываться мнения о необходимости исключения допингов из спортивной деятельности. Однако в 1950-х годах началось широкое использование ***анаболических стероидов*** (аналогов мужских половых гормонов). Стероидные гормоны действуют на мышечные рецепторы, находящиеся внутри клеток. Гормоны прикрепляются к рецепторам и переносятся ими к ядрам клетки. В ядерных ДНК гормоны стимулируют активность специальных генов, ответственных за образование мышечных белков. Такой эффект наблюдается только при силовой тренировке, так как при отягощениях в мышечных волокнах происходит увеличение количества мышечных стероидных рецепторов и соответственно растет доставка анаболиков в ДНК клеточного ядра. В результате происходит особенное наращивание мышечной массы и заметное повышение силы спортсменов.

Вскоре, однако, выяснились отрицательные последствия применения анаболических стероидов, особенно для подростков. В мужском организме снижалась выработка собственных половых гормонов (тестостерона), развивалась импотенция, доходило до полного бесплодия. В женском организме происходила перестройка по мужскому типу, нарушалась регулярность менструаций, вплоть до полного их прекращения и нарушения детородной функции. Если прием анаболиков прекращался, эти изменения проходили. Несмотря на данные о пагубном для здоровья действии анаболиков, участники Олимпийских игр в 1964 г. поголовно использовали анаболические стероиды. В 1960-х годах многие НОК и спортивные федерации начали запрещать допинги, была разработана первая программа по контролю за их приемом и наконец в 1967 г. МОК ввел запрет на использование допингов. В 1974 г. был разработан тест на обнаружение анаболических стероидов. За 1970-е годы большая часть высококвали-

фицированных спортсменов, выступавших в силовых видах спорта, была дисквалифицирована.

Значительное распространение получило также использование в качестве допинга ***амфетаминов,*** прием которых также был запрещен. За 34 года, прошедшие с момента запрета допингов, введенного МОК в 1967 г., и до 2001 г., более 50 спортсменов потеряли свои медали в результате тестов на наличие в организме амфетаминов (в том числе за использование допинга на Олимпиаде 1988 г. в Сеуле знаменитый канадский спринтер Бен Джонсон был лишен золотой медали, полученной за победу на дистанции 100 м).

В ходе поисков иных путей нелегального повышения работоспособности спортсменов специалисты пришли к мысли изменять состав крови, обеспечив тем самым повышение уровня потребления кислорода в процессе спортивной деятельности. С 1970 г. начал применяться новый тип допинга – ***переливание собственной крови (аутогемотрансфузия).*** У спортсмена забирали 400 мл крови, которую ему вливали обратно через две недели. За эти две недели организм спортсмена восстанавливал исходное количество гемоглобина, а после обратного вливания уровень гемоглобина оказывался заметно повышенным. Это приводило к существенному увеличению доставки кислорода к скелетным мышцам и повышению выносливости спортсмена. Метод аутогемотрансфузии был запрещен лишь в 1986 г.

Но к этому времени была разработана еще одна разновидность кровяного допинга, связанного со ***стимуляцией кроветворения*** (гемопоэза). Регуляция синтеза красных кровяных телец крови – эритроцитов (переносящих кислород от легких к тканям) – обеспечивается ферментом эритропоэтином. Это вещество постоянно имеется в крови в определенных количествах. Дополнительное его введение спортсмену увеличивает содержание в крови эритроцитов и соответственно величину потребляемого кислорода. Таким способом повышается выносливость спортсменов в преодолении стайерских дистанций. Данный способ был запрещен в 1990 г. Однако использование его продолжалось, так как обнаружить подобный допинг было весьма трудно. Тем не менее к Олимпийским играм в Сиднее 2000 г. уже удалось разработать для этого надежный тест.

Параллельно с кровяным допингом в 1990-х годах разрабатывался другой стимулирующий способ – ***прием инсулина в качестве допинга.*** В 2001 г. в его использовании публично при-

знались 10% ведущих спортсменов, специализирующихся в бодибилдинге. В отличие от приема тестостерона, который приводил к быстрому наращиванию мышечной массы, инсулиновый допинг способствовал росту работоспособности путем повышения энергоресурсов мышц, увеличивая включение гликогена в мышечную ткань.

Техника гиперинсулинового допинга заключалась в одновременном приеме на протяжении двух часов глюкозы с инсулином. Поступающая в кровь глюкоза усиленно переводилась в мышцы и откладывалась в виде гликогена. Такие углеводные запасы повышали возможности спортсменов в беге на средние и длинные дистанции.

Превышение дозы инсулина грозит тяжелыми последствиями. В этой ситуации мозг лишается необходимого притока глюкозы из-за усиленного ее вымывания из крови. Так как в мозгу нет специальных углеводных депо, то при нарушении необходимого для центральных нейронов притока глюкозы у спортсмена развивается кома, т.е. потеря сознания, нарушение дыхания, кровообращения, обмена веществ и отсутствие рефлексов.

В числе гормонов, используемых в качестве допинга, в последнее десятилетие применяется гормон роста – ***соматотропный гормон*** гипофиза. В 1998 г. за его использование на первенстве мира по плаванию была снята с соревнований целиком вся команда китайских пловцов. За употребление запрещенных средств на Олимпийских играх 2000–2002 годов было дисквалифицировано несколько медалистов по тяжелой атлетике и лыжным гонкам.

Одним из последних новшеств стало использование американскими атлетами не только отдельных гормонов, но и ***коктейлей*** из их смеси, адаптированных к индивидуальным особенностям спортсменов. Это еще больше затруднило обнаружение неожиданных дизайнерских допингов. Вместе с тем подобные попытки вплотную приблизили специалистов к ***генетическим допингам.***

16.3.2. Технология вставки гена

Для введения в организм спортсмена ***копии гена,*** обладающей определенными свойствами, используются практически безвредные вирусы. Наиболее часто вводят вирус гриппа, в котором дезактивированы гены, вызывающие патологические реакции в организме человека.

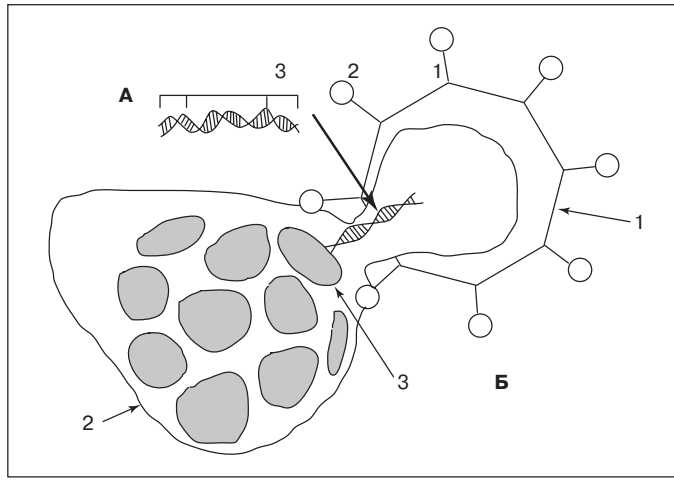


Рис. 43. Схема введения гена в мышечное волокно с помощью вируса:
А – измененная ДНК безвредного вируса: 1 и 3 – вирусная ДНК, 2 – вставленный ген;
Б – введение измененной ДНК в мышечное волокно: 1 – вирус,
2 – поперечный разрез мышцы, 3 – мышечное волокно

В вирусе производят изменение его генетического материала (рис. 43), ДНК вируса расщепляют с помощью специальных ферментов на отдельные фрагменты. Затем с использованием другого фермента соединяют участки вирусной ДНК с модифицированным геном человека. В результате в вирусе получается видоизменение (рекомбинация) его ДНК. Эта новая ДНК вируса состоит из генетического материала двух разных организмов. Раствор с измененным вирусом вводится уколом в скелетную мышцу спортсмена с целью изменения ее характеристик. В мышечном волокне модифицированный ген образует новые белки, перестраивая свойства мышцы.

16.3.3. Группы генетических допингов

К 2005 г. было обнаружено ***9 групп генов,*** которые можно использовать в качестве спортивного допинга. Действие каждой из них детерминирует какой-либо признак организма. Отметим из группы каждого типа наиболее известные отдельные гены.

Эпоген-допинг

В 1964 г. на Олимпийских зимних играх в Инсбруке финский лыжник Эро Мянтюранта выиграл 2 золотые медали. Его скорость и выносливость на дистанции поражали всех, хотя физическое раз-

витие спортсмена не отличалось от развития других лыжников-гонщиков. Однако в составе его крови было почти наполовину больше, чем в норме, красных кровяных телец – эритроцитов. Вследствие генетической мутации процесс формирования эритроцитов в данном случае был значительно усилен. Это ***повышало кислородную емкость крови*** и позволяло доставлять работающим мышцам и сердцу особенно большое количество кислорода, что и увеличивало спортивную работоспособность.

Важность высокого уровня кислородного насыщения крови и значительного индивидуального уровня максимального потребления кислорода для спорта высших достижений давно была показана физиологами спорта. Отдельных спортсменов или целые команды заблаговременно до старта вывозили в горы, где тренировка в разреженном воздухе способствовала увеличению количества эритроцитов в крови и повышению уровня МПК. Ведь, как известно, у жителей высокогорных районов в результате адаптации к низкому содержанию кислорода в воздухе в течение тысячелетий эти показатели существенно превышают данные жителей низких плоскогорий.

Затем были предложены и осуществлены более дешевые способы повышения количества эритроцитов и МПК у спортсменов: тренировка в помещениях с низким содержанием кислорода или дыхание в замкнутом пространстве (вдох производится из резинового мешка, куда производится и выдох и где содержание кислорода постепенно снижается.

С развитием генетики появились иные способы увеличения количества эритроцитов в крови человека. Выявление нужного для этих целей гена открыло новые методы воздействия на организм спортсменов.

Эпоген – это ген, который детерминирует выработку почками гормона ***эритропоэтина,*** стимулирующего процесс ***формирования эритроцитов*** (эритропоэз) в костном мозге и других структурах. В 1997 г. в экспериментах эпоген ввели в клетки мышей и обезьян. Процентное содержание эритроцитов в их крови увеличилось на 81%. Несмотря на такой потрясающий эффект, результаты эксперимента были неоднозначны. Животных в ряде случаев приходилось спасать от гибели, разжижая их кровь, которая стала настолько густой, что сердце не могло ее перекачивать. Такие же последствия сопровождают и человека в случае генетической мутации, приводящей к избытку эритроцитов. Следует отметить, что Эро Мянтюранта умер в 42 (!) года.

Генетический допинг миофибриллярной гипертрофии

Недавно был выделен особый ген, который увеличивает количество и размеры мышечных клеток. Активность этого гена обеспечивает в молодом организме восстановление мышечных волокон после больших физических нагрузок и микротравм. С возрастом механизм воспроизводства мышечных белков нарушается. Мышечные волокна заменяются жиром и фиброзными волокнами. К 80-летнему возрасту человек теряет около половины мышечной массы по сравнению с 20-летним возрастом.

Мышечный ген – это ген гормона инсулиноподобного фактора роста. Данный гормон усиливает деление недифференцированных сателлитных (стволовых) клеток, окружающих мышечные волокна. Часть этих клеток встраивается в мышечные клетки и дает ядра для последующего ***формирования новых мышечных белков (актина и миозина) и дополнительных миофибрилл.*** Таким образом увеличивается количество миофибрилл и объем мышечного волокна – происходит так называемая ***миофибриллярная гипертрофия.***

Первоначально ген фактора роста мышечных волокон использовали для лечения мышечной дистрофии. Вскоре выяснилось, что этот механизм действует у спортсменов при тренировке силовой направленности. Сигналом для запуска всего процесса – от активации указанного гена, повышенного действия гормона инсулиноподобного фактора роста и до мышечной гипертрофии – является растяжение сухожилий и других структур при больших отягощениях, а также появление микротравм мышечных волокон. Стволовые клетки, встраиваются в микротравмы и способствуют их заживлению, одновременно повышенный синтез мышечных белков приводит к гипертрофии скелетных мышц.

При силовой тренировке происходит двукратное утолщение волокон типа IIа по сравнению с волокнами типа I, что повышает не только силу, но и скоростно-силовые характеристики мышц.

Исследования на животных показали эффективность мышечного допинга. При его использовании сила мышц возрастала на 15–20%. Пожилые мыши при введении этого допинга имели силу и быстроту молодых.

Естественно, что результаты этих работ привлекли внимание тренеров и спортсменов. Особенно важной оказалась возможность локальных воздействий на отдельные мышцы. Можно увеличить силу наиболее значимых для избранного вида спорта мышечных групп или отдельных мышц – бицепсов у боксеров, икроножных

мышц у спринтера, мышц верхнего плечевого пояса у гимнастов и пловцов и т.п. Учитывалось также и то, что использование допинга не отражается на характеристиках крови и мочи, т.е. его чрезвычайно трудно обнаружить. Он не выявляется даже при биопсии скелетных мышц.

Генетический допинг роста сосудов (сосудисто-эндотелиальный)

Среди недавно обнаруженных типов генетических групп был выделен ген сосудисто-эндотелиального роста, детерминирующий ***формирование новых сосудов и увеличение их просвета.*** Его предназначали для лечения пожилых людей, страдающих заболеваниями периферических сосудов. С возрастом часто наблюдается сужение просвета сосудов в результате отложений на их внутренних стенках солей кальция, бляшек жира и холестерола (атеросклероз), а также сахаристых соединений. Возникающие при этом нарушения кровотока приводят к тяжелым заболеваниям конечностей. С обнаружением гена сосудисто-эндотелиального роста появилась надежда эффективной терапии этих поражений.

Одновременно начались попытки ***вставки такого гена в клетки спортсменов.*** Подобный допинг, увеличивая просвет сосудов, обеспечивает значительно лучшие возможности доставки всем тканям организма питательных веществ и кислорода, снижает утомление спортсмена и повышает его работоспособность.

Генетический допинг считывания наследственной информации о белке-ускорителе для активации гена сверхбыстрых мышечных волокон (транскрипционный фактор)

По современным представлениям, функциональные характеристики мышечного волокна у взрослого человека определяются тремя типами сократительного белка миозина – медленным, промежуточным и быстрым. Мышечные волокна, которые содержат в миофибриллах миозин медленного типа, имеют в 10 раз меньшую скорость сокращения, чем волокна с миозином быстрого типа.

В отличие от этого у крыс и ряда мелких млекопитающих в составе мышечных волокон обнаружены еще более быстрые волокна (super fast muscle fibers). Они обеспечивают особенно высокую скорость сокращения их скелетных мышц, необходимую для быстрого бегства от хищников. ***У человека в геноме, как***

оказалось, имеются гены, ответственные за формирование таких сверхбыстрых волокон, но эти гены находятся в неактивной форме. Это обстоятельство и привело к поиску возможностей активации данных генов.

В результате работ в этом направлении учеными был открыт особый протеин – так называемый ***велосифин,*** или ускоритель, который включает активность указанного гена. Этот ***белок был назван транскрипционным (считывающим) фактором*** и был применен в качестве допинга. Таким образом был разработан допинг, ***использующий продукт одного гена (транскрипционный фактор, или велосифин) для активации другого гена (гена сверхбыстрого миозина).***

Несколько уколов с велосифином в любую мышцу спортсмена активирует заторможенный ген особо быстрого миозина. Уже через несколько недель наблюдается огромный прирост объема мышцы и ее энергии, обеспечивая значительное увеличение силы и скорости сокращения мышцы спортсмена. Данный допинг проверялся на четырехглавой мышце бедра, ягодичной и других мышцах. Эти мышцы увеличивались в объеме и приобретали более выраженные скоростные свойства.

Тестировать наличие такого допинга чрезвычайно трудно, так как нет видимых побочных эффектов в организме. Необходимо провести биопсию стимулированной мышцы, т.е. довольно болезненный укол в мышцу, и последующий анализ полученной из иглы мышечной частицы.

Генетический допинг сжигания жира (жиросжигающего белка)

Разработка этого допинга началась с иными целями – как борьба с ожирением. Ученые занялись выведением мышей, не страдающих ожирением. Для этого мышам был введен ген жиросжигающего протеина. После такого укола мыши оставались худыми, обезжиренными, даже при большом количестве жира в пище.

Побочным эффектом этого воздействия явилось ***увеличение в скелетных мышцах подопытных животных количества медленных волокон.*** Мыши приобрели способность к бегу на длинные дистанции («марафонская мышка»). Они пробегали в два раза большее расстояние, чем обычные контрольные мыши. Полученные результаты позволили надеяться, что и этот допинг получит широкое распространение в спортивной практике среди спортсменов-стайеров.

Генетический допинг митохондриального гена

Еще одним перспективным направлением поиска новых допингов является разработка изменения активности митохондрий – энергетических станций клеток, имеющих собственный набор ДНК. В этом плане проведены исследования по выделению гена, ***увеличивающего количество и повышающего активность митохондрий.*** Следствием такого изменения функций митохондрий является увеличение выработки энергии и повышение скорости и выносливости без нарастания мышечной массы.

Этот допинг имеет большие перспективы, так как обнаружить его практически невозможно. Для этого необходимо проводить сложный анализ на клеточном уровне.

Генетический допинг ограничения роста мышечной массы (противоростовой фактор)

В качестве допинга определенное значение имеет ***гормон миостатин.*** Его функция противоположна действию инсулиноподобного гормона роста. Гормон миостатин ***ограничивает рост мышечной массы.***

Исследования проводились на бельгийской голубой породе быков. Их мышцы при введении миостатина не росли больше необходимых размеров и были почти лишены жира. Эти результаты были подтверждены в работе на мышах. У них, как и у быков, после введения в печень миостатина происходило развитие всех мышц тела, но в мышцах не было жировых прослоек.

В настоящее время ведется разработка лекарства, основанного на обратном эффекте – введение гена, уменьшающего активность миостатина. Это важно для лечения больных мышечной дистрофией. Имеются перспективы использования гормона миостатина или его гена в качестве допинга, способствующего росту обезжиренной мышечной массы и не требующего при этом дополнительного питания спортсмена.

Генетический допинг механического фактора роста

В числе перспективных допингов следует отметить ***белок механического фактора роста.*** Этот продукт особого гена подобно гормону роста ***увеличивает мышечную массу, но также он повышает способность мышц к реставрации поврежденных участков.***

Клонирование этого гена и введение его в организм в качестве допинга дает особенно выраженный эффект. Гормон механиче-

ского фактора приводит к увеличению мышечной массы на 25% за три недели. Можно привести для сравнения действие стероидных гормонов, которые в тех же дозах приводят к увеличению мышечной массы всего на 10% и за более длительный срок – за 10 недель.

Ген тестостерона – допинг

Еще одна перспективная разработка генетиков связана с применением в качестве допинга ***гена, детерминирующего выработку тестостерона. Такой допинг является аналогом анаболических стероидов.*** Однако в отличие от последних (искусственных факторов) он является естественным продуктом. Это обстоятельство обеспечивает его преимущество для нелегального использования, так как его трудно обнаружить в организме.

16.4. ОБНАРУЖЕНИЕ ДОПИНГОВ

Искусственное происхождение изменений в организме, вызванное вставкой генетического допинга, намного труднее обнаружить, чем прием стероидов или инсулина. Проблема генетических допингов встала перед МОК в 2000 г. Однако их использование уже получило широчайший размах. Предрекают, что к Олимпиаде 2012 года все спортсмены будут генетически модифицированы. Об этом позаботятся фармакологические компании.

Возможность выявления допинга, зависит от его особенностей и способа введения в организм. При введении подобных веществ в печень (например, для подавления миостатина) их легче выявить, так как до мышцы они доходят через кровь, где и могут быть обнаружены. Более трудно выявить наличие допингов, вводимых непосредственно в мышцу. В этом случае требуется биопсия именно той мышцы, в которую был сделан укол. Да и само определение – это болезненная процедура, и ее осуществление в период соревнований, изменяя состояние мышцы, может повлиять на спортивный результат.

Легче выявить использование такого допинга, как эпоген, хотя и это поначалу казалось безнадежным делом. Пытались решить эту проблему, сравнивая исходные данные анализа крови, взятой у спортсмена задолго до соревнований и в период соревнований. В 2000 г. на Олимпиаде в Сиднее появилась возможность обнаружения эпоген-допинга в результате совместного анализа крови

и мочи спортсмена. При этом возникли новые проблемы – подмены пробирок для анализа, надежности хранения банка исходной крови для каждого элитного спортсмена и др.

Преодоление этих проблем и усовершенствование способов определения генетического допинга типа натурального протеина было достигнуто в результате опытов французских ученых на обезьянах в 2004 г. Было предложено сравнивать данные анализа эпогена, взятого из крови и из определенной мышцы. Результативность такого контроля базируется на некоторых различиях полученных форм эпогена. Введенный в качестве допинга эпоген мышцы имеет тот же аминокислотный состав, что и имеющийся в организме, и взятый из крови. Иммунная система не отвергает его как чужеродное тело. Но выяснилось, что искусственный эпоген отличается по пространственной структуре белка от естественного, что и позволило тестировать допинг. Особенностей же пространственной организации белковой молекулы иммунная система человека не распознает, поэтому чужеродный эпоген и не отвергает.

Казалось, что проблема выявления эпоген-допинга таким способом решена. Однако последующие наблюдения показали, что эта проблема более сложная. Не у всех спортсменов обнаруживаются пространственные различия структуры эпогена, а у некоторых эти различия могут вызывать патологические реакции иммунной системы вплоть до гибели организма.

Дополнительную возможность обнаружения допинга дает то обстоятельство, что некоторые клетки организма тоже могут вырабатывать эритропоэтин. В условиях введения допинга они начинают усиленно его продуцировать. Однако их эритропоэтин несколько отличается от обычной формы и может использоваться как сигнал о наличии допинга.

Другим способом обнаружения допинга является выявление особых частиц ДНК – ***опознающего участка (или промотора) данного гена,*** а также выявление остатков белка вируса, которые использовались для введения гена в клетку. Эти способы связаны с процедурой биопсии скелетных мышц, т.е. болезненным и небезопасным вмешательством в мышцу. К тому же успех данной операции минимальный, так как один и тот же промотор может быть связан с различными генами.

Наконец, свидетельством нелегальных подходов к стартам может быть неожиданный рост спортивных результатов и резкие отличия ряда параметров организма спортсмена от норм для людей данной популяции.

16.5. РИСК ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ

Организм человека представляет собой чрезвычайно сложное объединение различных органов и тканей, с многоуровневыми восходящими и нисходящими регулирующими влияниями. Отлаженные внутрисистемные и межсистемные взаимосвязи обеспечивают поддержание постоянства параметров внутренней среды (гомеостаза) и тонкое взаимодействие организма с окружающей средой. Существующая в организме система обратных связей является основой саморегуляции необходимых параметров жизнедеятельности.

Всякое постороннее вмешательство, особенно в генетический аппарат организма, чревато тяжелыми последствиями. Вставка нового гена, повышение активности работающего гена, изменение количества его продукта или активация заторможенного гена в геноме человека приводят к разбалансированию ряда связанных с этим вмешательством функций, поломке механизмов саморегуляции. При этом возникают тяжелые патологические изменения в отдельных органах и системах, приводящие в своем развитии к гибели организма.

Понятно стремление спортсменов к выдающимся результатам, достижению победы и получению наград. Однако использование ради этого нелегальных путей с приемом допингов приводит зачастую к пагубным последствиям для организма самого спортсмена (не говоря уже о других последствиях – дисквалификации спортсмена, снятии целых команд с престижных соревнований, затратах на восстановление здоровья и т.п.).

Значительную опасность для здоровья представляет использование в качестве допинга эпогена. В обычных условиях эритропоэтины содержатся в крови в небольшом количестве, поддерживая нормальный уровень эритроцитов. Если процентное содержание эритроцитов в крови падает, то выработка гормона эритропоэтина увеличивается и восстанавливает необходимое их количество. После достижения нормального содержания эритроцитов в крови, выработка эритропоэтинов снижается. Но в результате усиленного использования эпогена спортсменами механизмы саморегуляции в организме нарушаются. Это может приводить к тяжелым последствиям. В результате неадекватного увеличения количества эритропоэтина и содержания эритроцитов не только повышается кислородная емкость крови, но одно-

временно увеличивается и ее вязкость, что тягостно отражается на сердце. Кровь становится желатинообразной массой, в крови появляются сгустки, кровоток нарушается. Возникает шанс инфаркта и инсульта. Для уменьшения вязкости крови используют некоторые лекарственные средства, разжижающие кровь. Факторы риска сохраняются и в этом случае, так как эти лекарства необходимо применять в больших количествах.

В экспериментах на обезьянах исследователи пытались уменьшить негативный эффект регулярными заборами крови, чтобы вызвать ее разжижение. Тем не менее многие обезьяны погибали. В этих экспериментах у ряда обезьян неожиданно обнаруживался обратный эффект. Концентрация эритропоэтина непонятным образом вдруг уменьшалась, и возникало падение количества эритроцитов и гемоглобина – так называемая анемия. В этом случае обезьяны также погибали, но по другой причине – от недостатка кислорода в крови. Такие изменения были результатом нарушения иммунной системы, вызванного у этих животных введением допинга, что приводило к уничтожению собственного эритропоэтина и выраженному уменьшению содержания эритроцитов в крови.

Возможность возврата к нормальному содержанию эритропоэтина весьма проблематична. У велосипедистов, участников гонки Тур де Франс, через несколько недель после введения с уколом эритропоэтина состояние крови возвращалось к норме. После же введения эпогена повышенная по сравнению с нормой концентрация эритроцитов в крови сохранялась и даже увеличивалась. Кровь становилась все более вязкой, вплоть до гибели организма.

Серьезные факторы риска имеются в случае использования генетического допинга для наращивания мышечной массы и повышения силы отдельных мышц. Диспропорциональное изменение отдельных мышц или мышечных групп влияет на окружающие их ткани, связанные с ними сухожилия и кости, которые не подвергались допинговому воздействию и не адаптированы к подобным изменениям. Посторонние влияния на механизмы роста приводят к возникновению системных нарушений – межмышечных и межсистемных взаимосвязей. У элитных спортсменов при максимальных нагрузках возможны разрушения окружающих тканей, разрывы связок и переломы костей.

До сих пор неизвестны многие побочные эффекты вмешательства в генетический аппарат человека и отдаленные его послед-

ствия. Не исследованы возможности возникновения роста раковых клеток, нарушения проницаемости клеточных мембран, изменений потенциалов покоя и потенциалов действия, передачи информации в нервной системе, процессов фильтрации в почках и пр.

Особенно тяжело введение генетического допинга может отразиться на последующем поколении. Не только сам спортсмен становится мутантом, но у него имеется риск получить детей-мутантов.

Наиболее опасными являются неизвестные риски, к которым еще не выработаны противодействия. Так, например, в 1999 г. 18-летний спортсмен умер после генетического вмешательства от изменений во многих органах, механизм которых так и остался неизвестным. Спортсмены, применяющие генетический допинг, рискуют не победить, а умереть. Многие из них не имеют достаточной информации об этих последствиях, зато велик соблазн нелегального способа добыть победу и получить финансовое вознаграждение. Проведенный в 1995 г. опрос олимпийских чемпионов показал, что более половины из них готовы использовать генетический допинг, чтобы на протяжении пяти лет одерживать победы, даже при условии последующей после этого смерти.

Все указанные обстоятельства вызвали глубокую озабоченность МОК. В конце 1990-х годов МОК решил организовать систематический контроль их применения. В 1999 г. было создано Антидопинговое Агентство, куда начали поступать сообщения о негативных последствиях приема генетических допингов. Создание такой организации крайне необходимо, так как современные технологии внедрения генетических допингов в клетки организма хорошо разработаны, широко известны и доступны даже студентам, специализирующимся в молекулярной биологии. Не исключено использование этих средств уже в ближайшее время в самых широких масштабах. Доступность и заманчивость подобных допингов особенно привлекает тренеров и спортсменов в современных условиях спортивной борьбы, когда успех определяется долями секунд и сантиметрами.

МОК в последние годы приглашает к сотрудничеству генетиков для обсуждения проблемы генетических допингов. В круг проблем, курируемых Международным Антидопинговым Агентством, входит исследование всех форм допингов, включая генетические формы.

Гениальные достижения науки в области генетики привели к побочным эффектам употребления нелегальных средств повы-

шения возможностей организма. Генетический допинг в настоящее время представляет наибольшую опасность для развития спорта и для здоровья спортсменов. Широкое распространение методов вмешательства в геном человека может значительно и непредсказуемо изменить ход эволюции человека.

* * *

В настоящее время практика спорта демонстрирует весьма низкую эффективность спортивного отбора, а точность экспертного прогноза успешности спортсмена, как показали результаты исследований, не превышает 60–70%. Вместе с тем имеются существенные резервы улучшения деятельности тренеров и педагогов на основе знаний закономерностей генетики человека.

Особое значение генетических основ жизнедеятельности человека для физического воспитания и спорта заключается в следующем:

• генетический контроль роста, развития и функционирования организма в наибольшей степени выражен в молодые годы, когда контингент занимающихся физическими упражнениями особенно велик;

• генетические влияния менее заметны в обычных условиях деятельности человека, но достигают наибольшей выраженности в моменты предельных физических и психоэмоциональных напряжений, при выполнении работы наибольшей мощности и продолжительности, что характерно для спортивной борьбы;

• выбор спортивной специализации и стиля соревновательной деятельности, неадекватных генетическим особенностям индивида, замедляет темпы развития тренированности спортсмена, формирует в организме нерациональную функциональную систему управления движениями, характеризующуюся излишними внутрисистемными и межсистемными взаимосвязями, обилием компенсаторных реакций, создающих дополнительное напряжение и угрожающих здоровью спортсмена, а в итоге приводит к остановке роста спортивного мастерства.

Знание закономерностей наследственных влияний на организм необходимо спортсменам, тренерам и врачам для правильной организации тренировочного процесса, повышения эффективности спортивной ориентации, спортивного отбора, прогнозирования индивидуальной успешности соревновательной деятельности спортсмена.

Следует сформировать новое поколение спортсменов, тренеров, педагогов, медиков, работников детских учреждений, освоивших богатый арсенал достижений спортивной генетики. Это позволит повысить эффективность тренировочных занятий, сократит сроки подготовки спортсменов высшей квалификации и будет способствовать оздоровлению широких масс населения. Использование генетических закономерностей и большинства генетических маркеров спортивных задатков не требует сложной аппаратуры и особых материальных затрат, значительно снижает возрастные границы начального отбора одаренных детей, позволяет развернуть широкий мониторинг подрастающего поколения для выявления наследственных особенностей каждого индивида.

Применение же современных биотехнологий с анализом фрагментов ДНК создает невиданные ранее возможности целенаправленного поиска спортивных талантов. Открываются новые перспективы не только достижения высшего уровня спортивного мастерства, но и, в результате реализации свойства быстрой тренируемости, резкого (до 6–8 лет и более) сокращения сроков подготовки элитных атлетов, а также повышения рентабельности тренерского труда. Значительное внимание должно уделяться ознакомлению тренеров и спортсменов с действием современных допингов, применяемых в спорте, и с методами их обнаружения. Это особенно касается генетических допингов, разработанных на современном этапе расшифровки генома человека.

Актуальной задачей физиологов, спортивных врачей и генетиков является разъяснение огромного риска для здоровья как самого спортсмена, так и для его будущего потомства в случае применения генетических допингов. Все последствия этого риска, который возникает в результате вмешательства в наследственный аппарат человека, еще полностью не изучены. Зато известно, что спортсмен приобретает не только приоритетную возможность победы, но и приоритетную возможность погибнуть.

17. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЗДОРОВИТЕЛЬНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

Человек не может жить в отрыве от внешней среды. Организм человека, являясь открытой системой, тесно связан с ней – он получает из воздуха кислород для дыхания, пищу для энергообеспечения жизнедеятельности, различного рода информацию

из социального окружения для своего развития. Многие влияния оказывают неблагоприятное воздействие, и человеку необходимо принимать специальные меры для поддержания своей работоспособности и здоровья.

17.1. РОЛЬ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОЙ ЖИЗНИ

Среди факторов, позволяющих поддерживать необходимый уровень здоровья и высокую работоспособность человека, одно из важнейших мест занимает физическая культура. При этом не требуется больших материальных затрат.

17.1.1. Влияние современных условий жизни на организм человека

Внешняя среда оказывает на человека не только положительное, но и отрицательное влияние. Негативные воздействия могут вызывать различные факторы неживой природы (абиотические), живой природы (биотические) и социальной сферы.

Среди них следует учитывать ***физические факторы*** – колебания давления и температуры, проникающая радиация, шум, вибрации и др.; ***химические факторы*** – различные вещества в воде, воздухе, земле, пище; ***биологические факторы*** – инфекции, вирусы. Кроме того, успехи науки и техники, наряду с полезным эффектом, приводят в современной жизни и к неблагоприятным последствиям. Автоматизация и механизация производства (широкое использование различных видов транспорта, необходимость работы в ограниченном пространстве (батискафы, космические аппараты, подводные лодки), избыточность информации, постоянный дефицит времени и прочее ***снижают необходимый уровень двигательной деятельности и повышают нервно-психическое напряжение человека,*** вызывая стрессовые состояния и угрожая здоровью населения.

Устав Всемирной организации здравоохранения определяет понятие здоровья как «полное физическое, психическое и социальное благополучие».

Выделяется четыре степени адаптации к условиям окружающей среды или четыре уровня функциональных возможностей человека:

• удовлетворительная адаптация, достаточные функциональные возможности человека;

• состояние функционального напряжения;

• неудовлетворительная адаптация, функциональные возможности организма снижены;

• значительное снижение функциональных возможностей организма, истощение физиологических резервов, срыв адаптации.

Эти уровни адаптации отражают риск потери работоспособности и характеризуют изменения в ряде функциональных показателей организма (табл. 16).

Таблица 16

Характеристика некоторых показателей сердечно-сосудистой системы у мужчин с разной степенью адаптации к окружающей среде (средние данные)

Возраст, лет	Показатели ЧСС, уд./мин, АД, мм рт. ст.	Удовлетворительная адаптация	Напряжение	Неудовлетворительная адаптация	Срыв адаптации
До 25	ЧСС	74,7	80,5	–	–
	АД	114,5 / 73,0	127,0 / 79,0	–	–
26–40	ЧСС	74,2	76,2	81,0	92,0
	АД	115,7 / 73,8	131,0 / 83,3	142,9 / 90,3	183,3 / 107,0
Старше 40	ЧСС	74,8	75,4	76,0	80,7
	АД	122 / 80	125,5 / 81,3	142,6 / 94,4	178,0 / 96,7

17.1.2. Роль физической культуры в жизнедеятельности современного человека

В процессе эволюции животного мира, в том числе человека, многие органы и системы организма формировались в тесной взаимосвязи с разного рода движениями. Без работы мышц невозможно перемещение человека в пространстве, осуществление внешнего дыхания, перекачивание крови сердцем, продвижение пищи по пищеварительному тракту, работа мочеполовой системы, передача звуковых волн в слуховом аппарате, поисковая функция глаза и чтение текста, произнесение слов и многие другие функции.

Нарастающее в современном мире ***ограничение подвижности противоречит самой биологической природе человека,*** нарушая функционирование различных систем организма, снижая работоспособность и ухудшая состояние здоровья. Чем больше прогресс освобождает человека от физического труда и излишних движений, тем больше растет необходимость компенсации двигательной активности.

В этих условиях очевидна роль развития массовых форм физической культуры. Приобщение к физической культуре очень важно для женщин, от здоровья которых зависит качество потомства; для детей и подростков, развитие организма которых крайне нуждается в высоком уровне подвижности; для лиц пожилого возраста с целью сохранения бодрости и долголетия.

За последнее время, наряду со многими отрицательными демографическими явлениями (сокращение рождаемости, повышение смертности, снижение продолжительности жизни), обнаруживается рост проявлений физиологической незрелости (Аршавский И.А.). Ребенок рождается доношенным, с нормальным весом и длиной тела, но в функциональном отношении недостаточно зрелым. Это проявляется в его ***пониженной двигательной активности, мышечной слабости (гипотонии), быстрой утомляемости, снижении устойчивости к простудным и инфекционным заболеваниям (снижение иммунитета), неустойчивыми эмоциональными реакциями, слабым типом нервной системы.*** Результатом физиологической незрелости являются недостаточное развитие физических качеств и навыков, ожирение, развитие близорукости, искривления позвоночника, плоскостопие, детский травматизм. Эти явления накладывают свой отпечаток на всю последующую жизнь человека. Они приводят к задержке полового развития (инфантилизму) в подростковом периоде, к снижению физической и умственной работоспособности в зрелом возрасте и к раннему старению пожилых людей.

Борьба с проявлениями физиологической незрелости не может сводиться к фармаковоздействиям, психологическим или педагогическим мероприятиям. Основное необходимое средство противостояния этому явлению – ***повышение двигательной активности.*** Это путь к долголетию и здоровому образу жизни в любом возрасте.

Развитие массовой физической культуры и спорта не только обеспечивает сохранение здоровья и повышение работоспособности, но и ***способствует*** заполнению досуга ***и отвлечению населения, в особенности подростков, от*** вредных привычек – ***курения, алкоголизма и наркомании.***

Для этого необходимо мотивировать у населения высокую потребность в занятиях физической культурой. Спортивные достижения выдающихся атлетов вдохновляют большие массы людей и способствуют их приобщению к систематическим спортив-

ным занятиям. Справедливо отмечал основатель современного олимпизма Пьер де Кубертен: для того чтобы 100 человек занимались физической культурой, нужно, чтобы 50 человек занимались спортом; для того, чтобы 50 человек занимались спортом, нужно, чтобы 20 человек были высококвалифицированными спортсменами, а для этого необходимо, чтобы 5 человек могли показать удивительные достижения.

17.2. ГИПОКИНЕЗИЯ, ГИПОДИНАМИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Снижение физических нагрузок в условиях современной жизни, с одной стороны, и недостаточное развитие массовых форм физической культуры среди населения – с другой, приводят к ухудшению различных функций и появлению негативных состояний организма человека.

17.2.1. Понятия «гипокинезия» и «гиподинамия»

Для обеспечения нормальной жизнедеятельности организма человека необходима достаточная активность скелетных мышц. Работа мышечного аппарата способствует развитию мозга и установлению межцентральных и межсенсорных взаимосвязей. Двигательная деятельность повышает энергопродукцию и образование тепла, улучшает функционирование дыхательной, сердечно-сосудистой и других систем организма. Недостаточность движений нарушает нормальную работу всех систем и вызывает появление особых состояний – гипокинезии и гиподинамии.

Гипокинезия – ***пониженная двигательная активность.*** Она может быть связана с физиологической незрелостью организма, с особыми условиями работы в ограниченном пространстве, с некоторыми заболеваниями и другими причинами. В некоторых случаях (гипсовая повязка, постельный режим) может быть ***полное отсутствие движений*** или акинезия, которая переносится организмом еще тяжелее.

Существует и близкое понятие – «гиподинамия» – ***понижение мышечных усилий,*** когда движения осуществляются, но при крайне малых нагрузках на мышечный аппарат. В обоих случаях скелетные мышцы нагружены недостаточно. Возникает огромный ***дефицит биологической потребности в движениях,*** что резко снижает функциональное состояние и работоспособность организма человека.

Основным этиологическим фактором гиподинамии и гипокинезии является длительное уменьшение объема и силы мышечных сокращений. Вследствие этого прежде всего возникает заметное уменьшение энергозатрат, что в конечном итоге приводит к снижению тканевого дыхания, общего газообмена, энергообмена, увеличению кислородного запроса и кислородного долга организма, а также к уменьшению коэффициента использования кислорода. В результате такого нарушения процессов биологического окисления и энергетического обмена снижается эффективность газообмена и уровень работоспособности.

Уменьшение мышечной активности приводит как к значительному снижению ***эфферентной импульсации*** необходимых сигналов, так и к резкому уменьшению обратного потока ***афферентных импульсов,*** информирующих ЦНС и ряд других систем организма о происходящих в мышцах функциональных изменениях. ***Уменьшение интенсивности эфферентных и афферентных влияний и снижение объема частоты мышечных сокращений ведет к нарушению функций коры головного мозга, преобладанию тормозных процессов, падению силы мышц, статической и динамической выносливости.***

Некоторые животные очень тяжело переносят отсутствие движений. Например, при содержании крыс в течение 1 месяца в условиях акинезии выживает 60% животных, а в условиях гипокинезии – 80%. Цыплята, выращенные в условиях обездвижения в тесных клетках и выпущенные затем на волю, погибали при малейшей пробежке по двору.

Тяжело переносится снижение двигательной активности человеком. Обследование моряков-подводников показало, что после 1,5 месяцев пребывания в море сила мышц туловища и конечностей уменьшалась на 20–40% от исходной, а после 4 месяцев плавания – на 40–60%. Наблюдались и другие нарушения со стороны различных органов и систем.

17.2.2. Влияние недостаточной двигательной активности на организм человека

В центральной нервной системе гипокинезия и гиподинамия вызывают потерю многих межцентральных взаимосвязей, в первую очередь, из-за нарушения проведения возбуждения в межнейронных синапсах, т.е. возникает асинапсия. При этом изменяется психическая и эмоциональная сфера, ухудшается функционирование сенсорных систем. Поражение мозговых сис-

тем управления движениями ***приводит к ухудшению координации двигательных актов,*** возникают ошибки в адресации моторных команд, неумение оценивать текущее состояние мышц и вносить коррекцию в программы действий.

При длительном снижении мышечной активности наиболее рано в цепь нарушений вовлекается вегетативная нервная система. При этом отмечается преобладание ваготонических реакций и изменение ее адаптационно-трофической функции, что проявляется прежде всего сдвигами показателей транспортных систем и обмена веществ. Нарушаются белковый и водно-солевой обмен (возрастают потери калия, кальция, фосфора и натрия), увеличивается содержание липидов и холестерина, повышаются свертываемость крови, уровень кортикостероидов и катехоламинов. ***У человека формируется два важнейших синдрома: вегетососудистая дистония и нервно-психическая астенизация организма.***

Снижение функций центральной нервной системы сказывается ***на высшей нервной деятельности человека:*** ухудшаются внимание и память, возрастает число ошибок при выполнении умственных операций, уменьшается скорость переработки информации. Отмечается также ухудшение настроения, появляется раздражительность, нарушается сон.

Применение в достаточном объеме физических упражнений в названных условиях повышает функции головного мозга, совершенствует регуляторные механизмы, улучшает деятельность различных вегетативных систем и способствует формированию оптимального функционального состояния организма.

В двигательном аппарате отмечаются некоторые дегенеративные явления, отражающие ***атрофию мышечных волокон,*** – снижение массы и объема мышц, их сократительных свойств. Ухудшается кровоснабжение мышц, энергообмен. Происходит падение мышечной силы, точности, быстроты и выносливости при работе (особенно статической выносливости). При локомоциях усиливаются колебания общего центра масс, что резко снижает эффективность движений при ходьбе и беге.

Дыхание при недостаточной двигательной активности характеризуется уменьшением ЖЕЛ, глубины дыхания, минутного объема дыхания и максимальной легочной вентиляции. ***Резко увеличивается кислородный запрос и кислородный долг при работе.*** Основной обмен и энергообмен понижаются.

Нарушается деятельность сердечно-сосудистой системы. Возникает атрофия сердечной мышцы, ухудшается питание миокарда. В результате развивается ишемическая болезнь сердца. Уменьшение объема сердца приводит к меньшим величинам сердечного выброса (уменьшению систолического и минутного объемов крови). Частота сердечных сокращений при этом повышается как в покое, так и при физических нагрузках.

Ослабленные скелетные мышцы не могут в должной мере способствовать венозному возврату крови. Недостаточность или полное отсутствие их сокращений практически ликвидирует работу ***«мышечного насоса»,*** облегчающего кровоток от нижних конечностей к сердцу против силы тяжести. Выпадение помощи со стороны этих «периферических сердец» еще более затрудняет работу сердца по перекачиванию крови. Время кругооборота крови заметно возрастает. Количество циркулирующей крови уменьшается.

При низких физических нагрузках и малом увеличении глубины дыхания при работе почти не помогает кровотоку и ***«дыхательный насос»,*** так как присасывающее действие пониженного давления в грудной полости и работа диафрагмы ничтожны. Все эти следствия пониженной двигательной активности вызывают в современном мире огромный рост сердечно-сосудистых заболеваний.

В эндокринной системе отмечается снижение функций желез внутренней секреции, уменьшается продукция их гормонов.

В случаях акинезии наблюдаются наиболее глубокие поражения организма и происходит ***сглаживание суточных биоритмов*** колебания частоты сердцебиения, температуры тела и других функций.

17.3. ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ ОЗДОРОВИТЕЛЬНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНИЗМА

К основным средствам физического воспитания относят физические упражнения, естественные силы природы и гигиенические факторы. Физические упражнения – это двигательные действия человека, необходимые для решения задач физического воспитания. Главные их задачи – повышение работоспособности и оздоровление населения.

17.3.1. Основные формы оздоровительной физической культуры

Использование различных форм оздоровительной физической культуры неразрывно связано с получением основного эффекта – повышения и сохранения здоровья человека. Ими решаются в обществе и многие другие задачи – общеобразовательные, познавательные (туризм), реабилитационные (лечебная гимнастика), рекреационные, развлекательные (игры), профессиональные (производственная гимнастика, профессионально-прикладная физическая подготовка).

Физические упражнения подразделяют на гимнастику, игры, туризм и спорт. Оздоровительный эффект имеют различные виды гимнастики.

Основная гимнастика обеспечивает широкую общую физическую подготовку человека к различным видам двигательной деятельности. ***Гигиеническая гимнастика,*** в частности утренняя зарядка, активизирует функции организма в течение дня. ***Утренняя зарядка*** снимает заторможенное состояние мозга после сна, повышая тонус центральной нервной системы афферентными импульсами от работающих мышц; стимулирует активность сенсорных систем; активирует работу сердечной мышцы и усиливает венозный кровоток; увеличивает глубину дыхания; устраняет отечность тканей, усиливая лимфообращение. ***Водные процедуры, сопровождающие зарядку, обеспечивают закаливание, действуя на терморецепторы кожи.*** В недавнее время широко развивалась ***производственная гимнастика,*** которая в различных ее формах повышает производительность умственного и физического труда и снижает профзаболевания. При использовании перед работой ***вводной гимнастики*** происходит врабатывание организма, небольшие ***физкультминутки и физкультпаузы*** являются хорошими средствами активного отдыха, а ***восстановительная гимнастика*** улучшает процессы восстановления организма после работы. ***Лечебная гимнастика*** обеспечивает восстановление нарушенного здоровья человека. Она имеет узкую специфическую направленность в зависимости от характера заболевания.

Игры, повышая физическую активность человека, способствуют общему оздоровлению населения, а также развивают наблюдательность, экстраполяцию, творческие возможности мозга, способность к переработке информации в условиях дефицита времени. Для развития различных физических качеств и форми-

рования двигательных навыков у детей дошкольного и младшего школьного возраста большое значение имеют имитационные игры. Среди взрослого населения широко распространены игры как средство активного отдыха и заполнения досуга, улучшения психоэмоционального состояния.

Туризм – разнообразная естественная двигательная деятельность в природных условиях. Огромны его влияния на здоровье населения, снятие невротических состояний, вызываемых нервно-психической напряженностью бытовых и профессиональных ситуаций, воспитательно-образовательная роль. Различные виды туризма – прогулки, экскурсии, туристские походы – позволяют человеку укреплять здоровье, поддерживают бодрое настроение, развивают способность к пространственной ориентации на местности, умение адаптироваться к различным естественным ситуациям и погодным условиям. Они служат также для приобретения новых навыков, развития умственных способностей, пополняют знания об окружающем мире и его объектах.

Спорт связан с соревновательной деятельностью, что требует систематической подготовки организма к высоким спортивным достижениям. Занятия массовым спортом преследуют в значительной мере оздоровительный эффект, а это может быть достигнуто лишь при рациональной организации спортивной тренировки, правильно подобранном режиме тренировочных занятий и отдыха, индивидуализации физических нагрузок. Особое значение в последнее время приобретают в плане оздоровления занятия национальными, народными видами спорта (русская лапта, городки и пр.).

17.3.2. Влияние оздоровительной физической культуры на функциональное состояние и неспецифическую устойчивость организма человека

Выполнение физических упражнений несет два последствия для организма человека: 1) специфический эффект, **т.е.** ***адаптация к данным физическим нагрузкам***; 2) дополнительный неспецифический эффект – ***повышение устойчивости к разнообразным неблагоприятным факторам внешней среды.*** Люди, систематически занимающиеся физическими упражнениями (не менее 6–8 часов в неделю), ***реже болеют, легче переносят инфекционные болезни*** (рис. 44). У них реже частота и длительность простудных заболеваний, гораздо меньше сопутствующих осложнений. ***У спортсменов повышается устойчивость***

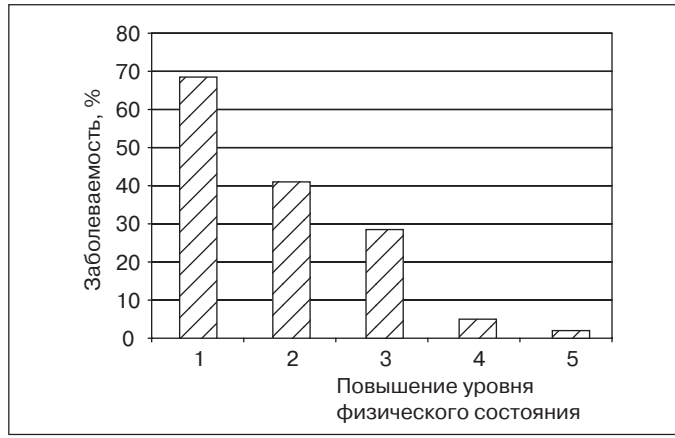


Рис. 44. Заболеваемость населения (в %) в зависимости от уровня физического состояния
(по: Г.Л. Апанасенко, 1990)

к перегреванию и переохлаждению, к действию проникающей радиации, однако снижается переносимость голодания и некоторых ядов. Выяснилось, что чем выше аэробные возможности организма, тем ниже показатели смертности. При повышении индивидуальных величин относительного МПК в 2 раза у мужчин (от 21 до 42 мл/кг/мин) смертность снижается примерно в 3 раза, а у женщин повышение МПК в 1,5 раза (от 21 до 32 мл/кг/мин) снижает смертность в 2 раза. Исследования на животных также демонстрируют усиление неспецифической устойчивости при тренировке. В группах тренированных крыс (плавание, статическая нагрузка) по сравнению с контрольной группой нетренированных крыс повышалась устойчивость в 1,5 раза к действию гипоксии (по времени возникновения судорог на высоте 13 км), в 1,5 раза – к отравлению хлороформом (по проценту выживания), в 4 раза – к облучению (по 4-кратному увеличению смертельной дозы рентгеновских лучей), на 7% – к перегреванию (по длительности жизни при 70°С), на 1/3 – к охлаждению (до начала судорог в воде при 5°С).

Для получения наибольшего оздоровительного эффекта и максимального повышения работоспособности следует соблюдать оптимальные двигательные режимы, разработанные для лиц различного возраста.

Оптимальный объем физической нагрузки по количеству часов в неделю составляет: для возраста 6–8 лет – 13–14; 9–12

лет – 12–13; 13–15 лет – 11–12; 16–20 лет – 8–9; 24–30 – лет – 7–8; 30–60 лет – 5–6; пожилых лиц – 8–10 часов.

Определена ***минимальная интенсивность нагрузки***, при которой происходит повышение функциональных возможностей организма. Ее рассчитывают, исходя из величины максимальной ЧСС, равной 220 уд./мин минус возраст (количество лет). ***Оптимальная физическая нагрузка*** выполняется при ЧСС от 65% до 85% от максимальной ЧСС (рис. 45).

Следовательно, для молодого человека 20 лет оптимальной является нагрузка, выполняемая при ЧСС в диапазоне 130–170 уд./мин (его максимальная ЧСС составляет 220 – 20 = 200 уд./мин), а для пожилого человека 60 лет оптимум нагрузки соответствует диапазону ЧСС от 104 до 136 уд./мин (его максимальная ЧСС составляет 220 – 60 = 160 уд./мин).

Отечественными и зарубежными учеными разработаны ***общие рекомендации*** по величине тренировочной нагрузки для развития и поддержания кардиореспираторных функций, состава тела, мышечной силы и выносливости у взрослых здоровых лиц:

- ***частота тренировочных занятий*** – 3–5 дней в неделю;
- ***интенсивность работы*** – 65–85% от максимальной ЧСС или 50–85% от МПК;

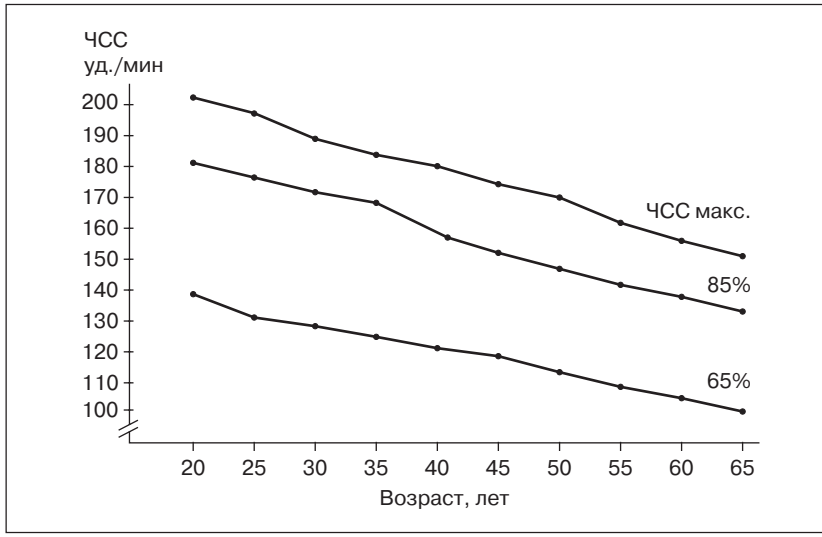


Рис. 45. Диапазон тренирующих физических нагрузок с оптимальной ЧСС – от 65% до 85% от максимальной ЧСС

• ***длительность занятий*** – 20–60 мин непрерывной аэробной работы в зависимости от интенсивности (допускается 2–3 пика нагрузки по 1–2 мин с ЧСС до 90–100% от максимальной ЧСС или от МПК);

• ***вид упражнений*** – любые упражнения с использованием больших мышечных групп при ритмичной и ***аэробной работе*** – бег, бег трусцой, катание на лыжах, коньках, велосипеде, плавание, гребля, танцы, игровая деятельность;

• ***упражнения с сопротивлением*** умеренной интенсивности, эффективные для поддержания ***анаэробных возможностей,*** развития и сохранения массы тела и прочности костей – 8–10 упражнений на большие мышечные группы не менее двух дней в неделю.

Рекомендуемый двигательный режим позволяет поддерживать оптимальный уровень физической работоспособности, состояние тела и здоровья (*англ.* fitness – «фитнес»), уменьшение ЧСС покоя, повышение аэробных и анаэробных возможностей организма, снижение утомляемости и ускорение процессов восстановления. При суточных энерготратах не менее 1200 ккал возможно ***оптимальное снижение массы тела – не более 1 кг в неделю.***

Для определения ***оптимальной двигательной активности*** взрослого здорового человека можно использовать ***суточный показатель количества шагов:*** 10 тыс. шагов в 1 день обеспечивают средний уровень энерготрат 2200–2400 ккал в сутки (1700 ккал – основной обмен и 500–700 ккал – на мышечную работу). Опыт изучения двигательной активности различных контингентов населения показывает, что ***в зрелом возрасте люди делают в среднем 10–15 тыс. шагов в сутки, а в пожилом возрасте – 6–8 тыс. шагов.*** Подвижность детей дошкольного и младшего школьного возраста очень высока. Число шагов, проходимых в день дошкольниками в зимний период, составляет: в возрасте 3–4 лет – 11,2 тыс. (девочки) и 11,9 тыс. шагов (мальчики); в 5 лет – соответственно 12 тыс. и 13,5 тыс.; в 5–7 лет – 13,6 тыс. и 15,0 тыс.; в 8 лет – 16,2 тыс. и 18,1 (до 22–24 тыс. шагов). Однако этот уровень подвижности не всегда реализуется. В детских садах и особенно в школах дети и подростки испытывают значительный ***дефицит двигательной активности,*** что приводит к росту заболеваний, ожирению, плоскостопию и другим отклонениям в состоянии здоровья.

Повышению функциональных возможностей организма, сохранению здоровья и развитию профессиональных психофизиоло-

гических особенностей, физических качеств и формированию двигательных навыков способствует профессионально-прикладная физическая подготовка. Средствами физического воспитания решаются задачи адаптации работающего населения к профессиональной деятельности, военному труду. Так, например, повышение вестибулярной устойчивости, достигаемое в плавании, акробатике, гимнастике, спортивных играх, имеет большое значение для летчиков, космонавтов; быстрота реакции, высокая надежность сенсорных систем, скорость переработки информации, развиваемые в ситуационных видах спорта, необходимы профессионалам-операторам, радиотелеграфистам, машинисткам; высокий уровень развития силы и выносливости требуется геологам, военнослужащим.

Часть III
ВОЗРАСТНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

Возрастная физиология изучает особенности жизнедеятельности организма в различные ***периоды индивидуального развития, или онтогенеза*** (*греч.* онтос – «особь», генезис – «развитие»). В понятие «онтогенез» включают все стадии развития организма от момента оплодотворения яйцеклетки до конца жизни человека, выделяя пренатальный этап (до рождения) и постнатальный (после рождения).

1. ОБЩИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

Рациональное физическое воспитание и спортивное совершенствование возможны лишь при учете возрастных особенностей развития человека. В течение жизни организм претерпевает ряд закономерных морфологических, функциональных и биохимических изменений, которые носят неравномерный и неодновременный характер. Периоды ускоренного роста и развития чередуются с этапами замедления и относительной стабилизации. В процессе развития организма одни функции формируются раньше, другие – позднее, однако это не свидетельствует о неполноценности растущего организма. Здоровый организм человека на каждом этапе своего развития является гармонически целым и совершенным.

1.1. ПЕРИОДИЗАЦИЯ И ГЕТЕРОХРОННОСТЬ РАЗВИТИЯ

Под развитием понимают три основных процесса:

1) ***рост*** – увеличение числа клеток (в костях, легких и других органах) или увеличение размеров клеток (в мышцах и нервной ткани), т.е. количественный процесс;

2) ***дифференцирование*** органов и тканей;

3) ***формообразование***, т.е. качественные изменения.

Эти процессы тесно взаимосвязаны. Например, ускоренный рост тела замедляет процессы формообразования, дифференцирования тканей, развитие вторичных половых признаков, а усиленные процессы полового развития замедляют рост тела, нарастание мышечной массы.

Весь жизненный цикл (после рождения человека) делится на отдельные ***возрастные периоды,*** т.е. отрезки времени онтогенеза, каждый из которых характеризуется своими специфическими особенностями организма – функциональными, биохимическими, морфологическими и психологическими.

Возрастная периодизация основана на комплексе признаков: размеры тела и отдельных органов, их масса, окостенение скелета ***(костный возраст),*** прорезывание зубов ***(зубной возраст),*** развитие желез внутренней секреции, степень полового созревания ***(баллы полового развития),*** развитие мышечной силы и пр.

С учетом количественных и качественных изменений в организме различают следующие возрастные периоды: 1–10 дней – новорожденный; 10 дней – 1 год – грудной возраст; 1–3 года – раннее детство; 4–7 лет – первое детство; 8–12 лет (мальчики) и 8–11 лет (девочки) – второе детство; 13–16 лет (мальчики) и 12–15 лет (девочки) – подростки; 17–21 год (юноши) и 16–20 лет (девушки) – юношеский; 22–35 лет – первый зрелый; 35–60 лет (мужчины) и 35–55 лет (женщины) – второй зрелый; 60–74 года – пожилой; 75–90 лет – старческий; 90 лет и более – долгожители.

В школьном обучении выделяют дошкольный возраст (до 6–7 лет), младший школьный (до 9–10 лет), средний (до 13–14 лет) и старший школьный возраст (до 16–17 лет, а в связи с продлением до 12-летнего срока обучения в школе – до 18–19 лет).

Особо отмечают ***период полового созревания*** (так называемый ***переходный, или пубертатный, период*** (*греч.* пубертис – «оперение»), выделяя препубертатный период (11–13 лет), 1-ю фазу пубертата – мальчики 13–15 лет и девочки 11–13 лет, 2-ю фазу пубертата – мальчики 15–17 лет и девочки 13–15 лет. В этот период происходит существенная гормональная перестройка в организме, развитие вторичных половых признаков, заметное ухудшение условно-рефлекторной деятельности, двигательных навыков, увеличиваются вегетативные изменения при нагрузках, возрастает утомление, затрудняется речь, отмечается

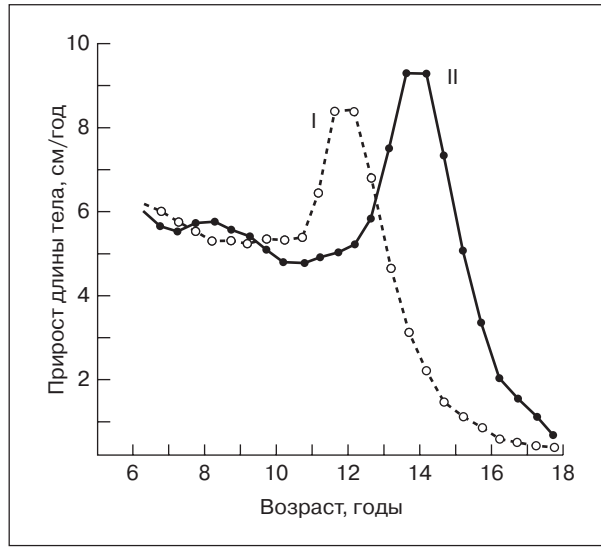


Рис. 46. Пубертатный скачок роста длины тела у девочек (I) и мальчиков (II)

неуравновешенность эмоциональных реакций и поведения. Заметным является пубертатный скачок роста – значительный годовой прирост длины тела – у девочек около 13 лет, у мальчиков – около 14 лет (рис. 46).

Основными закономерностями возрастного развития являются периодизация и гетерохронность (*греч.* гетерос – «другой», хронос – «время»), т.е. ***неравномерность и разновременность роста и развития.***

В ходе онтогенеза наблюдаются определенные периоды формирования отдельных функций и органов, ускорение и замедление их роста. Периоды ускорения развития различных функций не совпадают. Наиболее интенсивный рост длины тела происходит на протяжении первого года жизни и в период полового созревания: в среднем у девочек в 12–13 лет, у мальчиков в 14–15 лет. Речь формируется до 2–3 лет, а речевая регуляция движений с 4–5 лет. В возрасте 6–7 лет начинается смена молочных зубов на постоянные. Основные позы тела осваиваются до одного года, а основной фонд движений закладывается до трех лет. В возрасте 6–12 лет достигается максимальное развитие иммунной ткани в организме. До 8 лет увеличивается длина шага, а с 8–9 лет нарастает темп ходьбы и бега. После 14 лет заметно нарастают масса тела и сердца.

Периодизация в развитии мозга проявляется в более раннем созревании первичных (проекционных) полей коры больших полушарий (до рождения и первые годы после рождения), затем – вторичных полей (зон опознания и осмысления информации) и в наиболее позднем созревании ассоциативных третичных полей (зон афферентного синтеза, прогнозирования и формирования программ поведения). Анатомически (по толщине и занимаемой территории) третичные поля к 7–8 годам созревают лишь на 80% от размеров взрослого мозга, а функциональное их развитие продолжается вплоть до 18–20 лет и более.

В связи с основными закономерностями возрастной периодизации строится программа обучения детей в школе, нормирование физических и умственных нагрузок, определение размеров мебели, обуви, одежды и пр. Закономерности роста и развития человека учитываются в законодательстве – возможность получить работу, вступить в брак, нести ответственность за проступки, получать пенсию и пр.

1.2. СЕНСИТИВНЫЕ ПЕРИОДЫ

Переход от одного возрастного периода к другому является переломным этапом развития: организм меняет одно качественное состояние на другое. ***Скачкообразные моменты развития целого организма, отдельных его органов и тканей называются*** критическими. ***Они жестко контролируются генетически.*** С ними частично совпадают так называемые сенситивные периоды (периоды особой чувствительности), которые возникают на их базе и ***менее всего контролируются генетически, т.е. являются особенно восприимчивыми к влияниям внешней среды,*** в том числе педагогическим и тренерским.

Критические периоды переключают организм на новый уровень онтогенеза, создают морфофункциональную основу существования организма в новых условиях жизнедеятельности (например, активация определенных генов обеспечивает возникновение переходного периода у подростков), а ***сенситивные периоды*** приспосабливают функционирование организма к этим условиям (оптимизируются перестроечные процессы в различных органах и системах организма, налаживается согласование деятельности различных функциональных систем, обеспечивается адаптация к физическим и умственным нагрузкам на новом уровне существования организма и т.п.). С этим связана высокая чув-

ствительность организма к внешним влияниям в сенситивные периоды развития.

Благоприятные воздействия на организм в сенситивные периоды оптимальным образом содействуют развертыванию наследственных возможностей, превращению врожденных задатков в определенные способности, а неблагоприятные – задерживают их развитие, вызывают перенапряжение функциональных систем, в первую очередь нервной системы, нарушение психического и физического развития.

Тренировочные воздействия в сенситивные периоды наиболее эффективны. Возникает более выраженное развитие физических качеств – силы, быстроты, выносливости и др., наилучшим образом происходят реакции адаптации к физическим нагрузкам, в наибольшей степени развиваются функциональные резервы организма.

Сенситивные периоды для развития различных физических качеств проявляются гетерохронно. Так, например, сенситивный период развития абсолютной мышечной силы наблюдается в 14–17 лет (максимального значения качество силы достигает к возрасту 18–20 лет). Сенситивный период развития различных проявлений качества быстроты (рис. 47) приходится

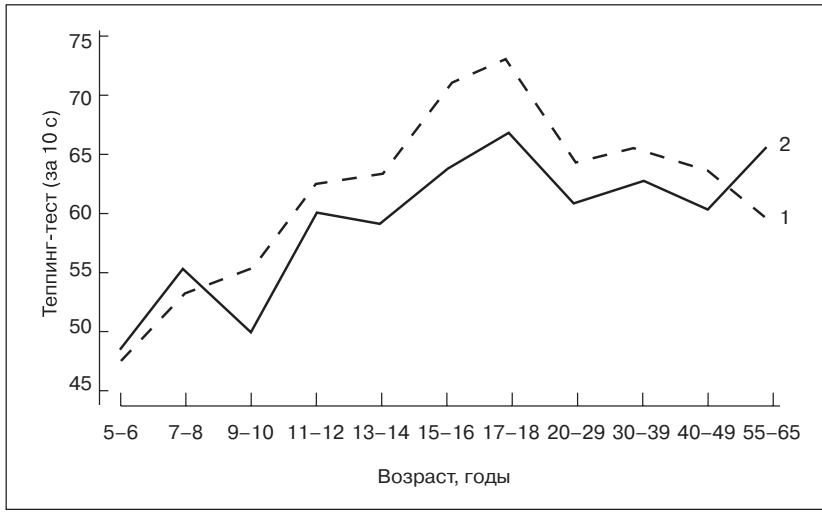


Рис. 47. Возрастная динамика показателей в теппинг-тесте (максимально частое движение кистью):
1 – лица мужского пола, 2 – лица женского пола
(по: В.К. Бальсевич, 2000)

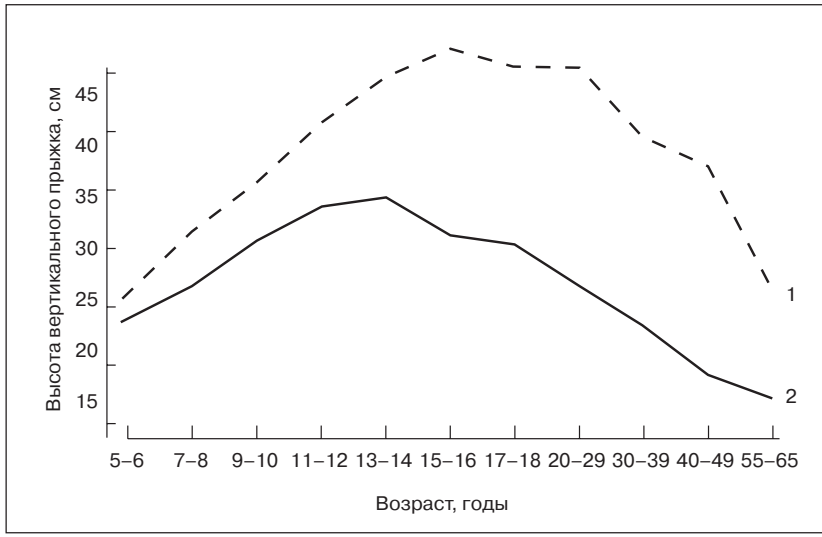


Рис. 48. Возрастная динамика показателя высоты вертикального прыжка с места:
1 – лица мужского пола, 2 – лица женского пола
(по: В.К. Бальсевич, 2000)

на 11–14 лет (максимальный уровень достигается к 15-летнему возрасту). Примерно этот же период является сенситивным для развития скоростно-силовых возможностей (рис. 48). Для общей выносливости сенситивный период проявляется гораздо позже – в 15–20 лет (максимальное значение – в 20–25 лет). Развитие гибкости особенно бурно происходит с 3–4 до 15 лет, а ловкости – с 7–10 до 13–15 лет. Именно на протяжении сенситивных периодов применяемые средства и методы в физическом воспитании достигают наилучшего тренирующего эффекта. В последующие периоды те же средства и объемы тренировочных нагрузок подобного прироста физических качеств не обеспечивают.

Для человека наиболее важен сенситивный период формирования речи (и соответствующих областей мозга) – до 2–3-х лет жизни. Дети, по воле случая воспитанные среди животных (в стае волков, среди обезьян и др.) и пропустившие этот период, не могут, вернувшись в человеческое общество, адаптироваться к жизни в новых условиях, овладеть речью, необходимыми навыками и даже погибают вследствие этого, не достигнув взрослого состояния.

1.3. ВЛИЯНИЕ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗМА

Возрастные показатели роста и развития организма – его фенотип – являются ***сплавом врожденных и приобретенных признаков.*** С одной стороны, они определяются наследственными факторами – генотипом, что необходимо учитывать при спортивном отборе, прогнозировании спортивной одаренности. С другой стороны, развитие организма определяется влияниями внешней среды. Для человека важнейшие влияния – это воздействия социальной среды: воспитание, образование, спортивная тренировка, профессиональное обучение и пр., что определяет приобретенные черты роста и развития.

Определение степени наследственных влияний производится ***генеалогическим методом*** (путем изучения родословных), ***цитогенетическим методом*** (анализом наследственного материала клеток), ***популяционным методом*** (исследование врожденных изменений организма в изолированных группах населения – на отдельных островах, в труднодоступных лесах, горах и пр.), а также ***близнецовым методом.***

Так, с помощью генеалогического метода было прослежено сохранение на портретах в течение нескольких веков типичного строения лица у владетелей родовых замков – «Габсбургский нос и губа». Изучение этим методом врожденных патологий вскрыло генетическую природу почти 4 тыс. заболеваний. Одним из таких примеров является гемофилия – несвертываемость крови, в результате чего человек может погибнуть от малейшей царапины из-за кровотечения. Патологический ген передается через организм женщин, но болеют гемофилией мужчины. В частности, известно, что сын последнего Российского императора Николая II царевич Алексей получил это заболевание в наследство от английской королевы Виктории – своей прабабушки, как и многие ее потомки мужского пола в различных странах Европы.

В ***спортивных семьях,*** по О. Астранду, довольно часто (в 50% случаев) наблюдаются двигательно одаренные дети (а если оба родителя спортсмены, то в 70% случаев). Однако, как свидетельствуют десятки тысяч наблюдений, спортивная одаренность не определяется одним геном, а является результатом действия комплекса генов.

Корреляция двигательных возможностей детей и родителей, изученная в английских колледжах для избранных семейств по архивным данным, показала, что в 12-летнем возрасте выявить значимую корреляцию между предками и потомками удается не всегда. Для показателей длины тела (r = 0,5), результатов прыжков в длину с места (r = 0,71) и бега на короткую дистанцию – 50 ярдов (r = 0,48) корреляция достоверна, но она отсутствует для результатов метания теннисного мяча и гимнастических упражнений. Можно было сделать вывод, что наследуются лишь определенные двигательные возможности.

Специальные исследования внутрисемейного сходства показали, что ***для наследования спортивно-важных задатков имеют значение количество детей в семье, преобладание среди них мальчиков или девочек и даже порядок рождения ребенка в семье.*** Выяснено, что искать будущих спортсменов следует преимущественно в семьях с двумя-тремя детьми, отдавая предпочтение не старшим, а младшим детям, а также учитывая, что у мужчин-спортсменов двигательные способности передаются несомненно по мужской линии, а у женщин-спортсменок, в отличие от этого, – преимущественно по женской линии.

При использовании близнецового метода сравниваются наследственные признаки ***однояйцевых (монозиготных) близнецов,*** имеющих практически одинаковую наследственность, и ***разнояйцевых близнецов (гетерозиготных или дизиготных),*** в фенотипе которых гораздо больше проявляются влияния внешней среды. Известно, что однояйцевые близнецы имеют один и тот же пол, одинаковые отпечатки пальцев, одну и ту же группу крови, их ткани при пересадках не отторгаются, у них не только имеется большое сходство внешности, но и характеров.

Для ***количественной оценки наследственности*** часто используют коэффициент Хольцингера (H), который определяет генетическую долю в общем развитии организма. При H > 0,7 (70% и более) доля генетических влияний очень высока (табл. 17).

В результате использования близнецового метода выявлено, что ***под выраженным генетическим контролем*** находятся размеры и состав тела, такие функциональные показатели, как время двигательной реакции, чувство ритма, максимальная частота движений, скорость спринтерского бега, абсолютная мышечная сила, гибкость, максимальное потребление кислорода, анаэробные возможности человека и др. Эти показатели меньше всего подвержены изменениям в процессе тренировки, соответственно

их учет необходим в процессе спортивного отбора и спортивной ориентации.

Особенно ***значительны наследственные влияния*** на умственную работоспособность и на различные показатели электрической активности коры больших полушарий. Отмечают ***существенный генетический вклад*** в показатели размеров сердца, формы ЭКГ, величину диастолического давления крови, некоторых параметров крови и другие физиологические величины.

Из физических качеств наиболее зависимыми от врожденных задатков являются качества быстроты и гибкости. Среднее положение занимает качество силы.

Наименее зависимыми от наследственности и соответственно наиболее тренируемыми физическими качествами являются координационные возможности (ловкость) и общая выносливость.

В большой степени поддается изменениям в результате внешних воздействий ***масса тела.*** Снижение веса происходит при его сгонке спортсменами, в случаях болезни, голода, диеты и пр. Направленное увеличение веса у спортсменов достигается при специальном усиленном питании, в случаях ожирения, при переедании и т.п.

Таблица 17

Показатели влияния наследственности (Н) на некоторые морфофункциональные признаки организма человека
(по данным разных авторов)

№ п/п	Морфофункциональные признаки	Показатели наследуемости (Н)
1.	Длина тела (рост)	0,73–0,80
2.	Масса тела (вес)	0,65
3.	Объем сердца	0,80–0,92
4.	Показатели ЭКГ	0,78–0,88
5.	Минутный и ударный объем крови (мл/мин)	0,83–0,94
6.	Частота сердцебиений при работе	0,60–0,91
7.	АД систолическое в покое и при работе	0,60–0,70
8.	Жизненная емкость легких	0,48–0,93
9.	Минутный объем дыхания при работе	0,59–0,98
10.	Максимальное потребление кислорода	0,77–0,96
11.	Максимальная анаэробная мощность	0,84–0,98
12.	Задержка дыхания на вдохе	0,80
13.	PWC_{170}	0,88–0,90
14.	Процент медленных волокон в мышцах	0,92–0,99
15.	Выработка условных рефлексов	0,73–0,80
16.	Частотно-амплитудные показатели ЭЭГ	0,90

Для спортсменов и тренеров особенно важно, что ***генетический контроль больше выражен в молодом возрасте*** (когда особенно велик контингент занимающихся физическими упражнениями) ***и нарастает по мере увеличения мощности физической нагрузки*** (что характерно для соревновательной деятельности в спорте).

1.4. АКСЕЛЕРАЦИЯ ЭПОХАЛЬНАЯ И ИНДИВИДУАЛЬНАЯ, БИОЛОГИЧЕСКИЙ И ПАСПОРТНЫЙ ВОЗРАСТ

Важной особенностью возрастного развития в настоящее время стала акселерация (*лат.* акселератио – «ускорение»). ***Различают акселерацию эпохальную и индивидуальную.*** Под эпохальной акселерацией понимают ***ускорение роста, физического развития, полового созревания и психического развития организма человека,*** которое наблюдается с конца XIX – начала XX в. по сравнению с предыдущими годами. Употребляют также термин «секулярный тренд» (вековая тенденция). Такое явление наблюдается в разных странах, в различных городах и сельской местности (рис. 49).

За последние 30–40 лет у новорожденных детей средняя длина тела увеличилась на 0,5–1 см и масса тела – на 100–150 г. В возрасте 1 года дети стали в среднем длиннее на 5 см и тяжелее на 1,5–2 кг, чем 50–75 лет назад.

Весьма объемное исследование, охватившее детей в возрасте 5–7 лет, было выполнено в различных странах (Северной Америке, Англии, Швеции, Польше) за длительный период времени –

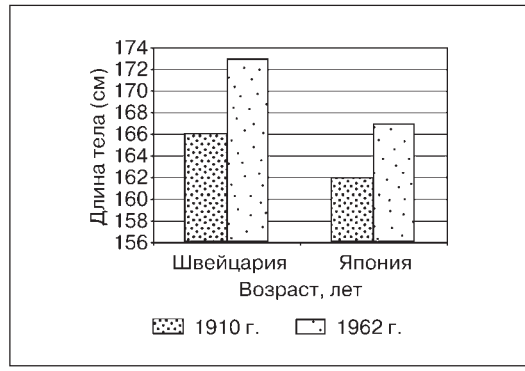


Рис. 49. Эпохальная акселерация.
Рост юношей 19 лет – швейцарцев и японцев в 1910 и 1962 гг. (по: T. Ishiko, 1973)

с 1800 до 1950 г. Оказалось, что дети этого возраста за каждое десятилетие в среднем увеличивались на 1,5 см в длину и на 0,5 кг массы тела.

Подростки и юноши 14–17 лет Москвы, Ленинграда и Киева в 1960–1970-х годах по сравнению с 1923–1925 годами оказались выше на 10–13 см, тяжелее на 9–11 кг, окружность их груди больше на 4,7 см.

Ускорилось половое созревание, раньше формируются вторичные половые признаки, на 1,5–2 года раньше появляются первые менструации у девочек, отмечаются случаи раннего деторождения (с 8–9 лет).

В настоящее время максимального роста девушки и юноши достигают в 16–19 лет, а 50 лет назад они достигали его к 20–26 годам. У 19-летних юношей в Швейцарии средние значения роста в 1888–1890 годах были 164 см, в 1962 г. – 173 см; в Японии эти показатели в 1910 г. составили 162 см, в 1962 г. – 167 см.

Соответственно ***раньше формируются и физические качества*** у подростков, особенно у юных спортсменов. Так, мальчики 14–14,5 лет, специально не занимающиеся спортом, прыгали в длину с места в 1927 г. на 178 см, в 1967 г. – на 191 см; результаты бега на 60 м в этом возрасте составили в 1938 г. 9,19 с, в 1962 г. – 8,86 с.

Американские школьники 14–17-летнего возраста в 1963–1964 годах превосходили по силе сверстников, учившихся в той же школе в 1899 г., на 4–5 кг.

По вопросу о причинах эпохальной акселерации нет единого мнения. Считают, что это явление может быть обусловлено усиленным ультрафиолетовым облучением (гелиогенная теория), влиянием на эндокринные железы магнитных волн, возросшей космической радиацией, увеличением потребления белков (алиментарная теория), повышенным поступлением в организм витаминов и минеральных солей (нутригенная теория), ростом количества получаемой информации, особенно в условиях городской жизни. Предполагают, что природные факторы могут вызывать периодические изменения в генетике человека, обусловливая эпохальные вспышки акселерации.

В результате акселерации изменяются стандарты мебели, одежды, обуви, пересматриваются сроки начала обучения в школе и начала спортивной специализации, режимы труда и отдыха детей. Обучение в школе начинается в настоящее время с 6–7 лет, а не с 8 лет, как в начальные десятилетия XX века. Значитель-

но раньше во многих случаях начинаются занятия физической культурой и спортом: плаванием с первых дней жизни; фигурным катанием, гимнастикой – с 3–4 лет; теннисом – с 5–6 лет; баскетболом – с 6–7 лет.

Однако увлекаться этим нельзя, так как на общем фоне эпохальной акселерации существуют огромные индивидуальные различия в темпах созревания организма. В связи с этим, наряду с понятием эпохальной акселерации как общебиологического явления, существует и понятие об индивидуальной или внутригрупповой акселерации, т.е. ***явлении ускорения развития отдельных детей и подростков в определенных возрастных группах.***

Реальный уровень развития организма человека не всегда соответствует его хронологическому или паспортному возрасту, т.е. ***количеству прожитых лет.*** Возникло понятие – биологический возраст, ***отражающее реальное состояние развития органов и систем организма в онтогенезе.***

Биологический возраст определяют по общим размерам тела, темпам прорезывания молочных зубов и их замены на постоянные (зубной возраст), по степени зрелости костной системы (костный возраст) и по показателям развития вторичных половых признаков, выраженность которых оценивается в баллах.

При ***определении баллов полового развития*** для мальчиков отмечают степень оволосения лобка (Pubis), оволосения подмышечных впадин (Axillaris), оволосения лица (Facies), увеличение щитовидного хряща гортани – кадыка (Larinx) и изменение тембра голоса (Vox). Для девочек отмечают степень оволосения лобка, развитие волос в подмышечной впадине (Axillaris), развитие молочной железы (Mamma) и становление менструальной функции (Menses). Косвенным показателем биологического возраста является так называемый ***филиппинский тест.*** Он становится положительным в среднем около 5–6 лет, когда пальцами правой руки, положенной на голову при вертикальном ее поддержании, дети перекрывают левую ушную раковину.

По степени соотношения биологического и паспортного возраста различают акселератов (или акселерантов) – детей и подростков с ускоренным развитием, когда биологический возраст опережает паспортный; медиантов – соответствующих паспортному возрасту, и ретардантов – отстающих в развитии от паспортного возраста. В среднем около 13–20% от общего количества детей, относящихся к данному возрасту, представля-

ют собой акселератов. Столько же примерно детей относится к ретардантам. Основную же массу составляют медианты.

Для акселератов характерны более высокий рост, большая мышечная сила и объем сердца, более высокие значения жизненной емкости легких, более длительная задержка дыхания, более раннее половое созревание и ускоренное психическое развитие. У детей и подростков, опережающих по росту и развитию своих сверстников, отмечаются ускоренные темпы формирования физических качеств. Они имеют преимущество при занятиях баскетболом, волейболом, теннисом, греблей, плаванием.

Различия биологического и паспортного возраста могут достигать у акселератов 3–5 лет. Например, юные баскетболисты и пловцы 13 лет по показателям роста и развития могут соответствовать 18-летним спортсменам. Однако чрезмерное ускорение созревания не всегда положительно отражается на состоянии ряда функций организма. У акселерированных детей рост и развитие сердца отстает от роста тела, что может привести к сердечно-сосудистым заболеваниям. Избыточное выделение гормона роста (соматотропина передней доли гипофиза), обеспечивающее сверхвысокий рост, сопровождается недостаточностью половых гормонов, что требует особого внимания к предъявлению нагрузок гигантам.

Для ретардантов характерно отставание в половом созревании и уменьшение доли жирового компонента тела. Замедленный рост длины и массы тела у детей-ретардантов создают им преимущество в развитии относительной силы и прыгучести. Благодаря меньшему весу и большей гибкости девочки-ретардантки предпочтительны в спортивной гимнастике, акробатике, фигурном катании.

В настоящее время считают, что очень часто рост и развитие у акселератов заканчиваются раньше, а у ретардантов продолжаются значительно дольше. В результате ***конечная длина тела во взрослом состоянии у ретардантов может оказаться больше, чем у акселератов.***

Более медленное созревание мозга также приводит к лучшему его развитию и более высоким умственным способностям. Показано, что у спортсменов сердце растет медленнее и достигает большего объема и большей мощности сердечной мышцы, чем у нетренированных сверстников.

Имеются отдельные сообщения, что в последние десятилетия (с 1980-х годов) явления эпохальной акселерации несколько менее выражены.

2. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗМА ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО И МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА И ИХ АДАПТАЦИЯ К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ

Детский организм – сложная саморегулирующаяся система, развитие которое определяется как заложенный в него генетической программой, так и воздействием факторов внешней среды. Сформированное в детские годы оптимальное функциональное состояние организма служит основой хорошего здоровья людей зрелого и пожилого возраста.

Одной из важнейших задач возрастной физиологии является нормирование физических нагрузок для детей с учетом различного их возраста. Достаточное и правильно организованное физическое воспитание становится действенным средством сохранения и укрепления здоровья, улучшения физического и функционального развития детей и подростков.

2.1. РАЗВИТИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ, ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

Организм детей первых лет жизни значительно отличается от организма людей более старшего возраста. Уже в первые дни адаптации к жизни вне материнского организма ребенок должен осваивать самые необходимые навыки питания, приспосабливаться к различным температурным условиям среды, реагировать на окружающие лица и т.п. Все реакции приспособления к условиям новой среды требуют быстрого развития мозга, особенно его высших отделов – коры больших полушарий.

Различные зоны коры созревают не одновременно. Раньше всего (в первые же годы жизни) созревают проекционные зоны коры (первичные поля) – зрительные, моторные, слуховые и др., затем вторичные поля (периферия анализаторов) и позднее всего, вплоть до взрослого состояния – третичные, ассоциативные поля коры (зоны высшего анализа и синтеза). Так, моторная зона коры (первичное поле) в основном сформирована уже к 4 годам, а ассоциативные поля лобной и нижнетеменной области коры по занимаемой территории, толщине и степени дифференцирования клеток к возрасту 7–8 лет созревают лишь на 80%, особенно отставая в развитии у мальчиков по сравнению с девочками.

Быстрее всего формируются функциональные системы, включающие вертикальные связи между корой и периферическими органами и обеспечивающие жизненно необходимые навыки – сосания, защитных реакций (чихания, моргания и пр.), элементарных движений. Очень рано у детей грудного возраста в районе лобной области формируется центр опознания знакомых лиц. Однако медленнее происходит развитие отростков корковых нейронов и миелинизация нервных волокон в коре, процессы налаживания горизонтальных межцентральных взаимосвязей в коре больших полушарий. В результате этого для первых лет жизни характерна ***недостаточность межсистемных взаимосвязей*** в организме (например, между зрительной и моторной системой, что лежит в основе несовершенства зрительно-двигательных реакций).

Детям первых лет жизни требуется ***значительная длительность сна,*** с небольшими перерывами для бодрствования. Общая длительность сна в возрасте 1 года составляет 16 часов, 4–5 лет – 12 часов, 7–10 лет – 10 часов, а у взрослых – 7–8 часов. Особенно велика у детей первых лет жизни длительность фазы ***«быстрого» сна*** (с активацией обменных процессов, электрической активности мозга, вегетативных и моторных функций и быстрыми движениями глаз) по сравнению *с фазой* ***«медленного» сна*** (когда все эти процессы замедляются). Выраженность фазы «быстрого» сна связывают со способностью мозга к обучению, что соответствует активному познанию внешнего мира в детском возрасте.

Электрическая активность мозга отражает разобщенность различных территорий коры и незрелость корковых нейронов – она нерегулярна, не имеет доминирующих ритмов и выраженных фокусов активности, преобладают медленные волны. У детей в возрасте до 1 года в основном встречаются волны с частотой 2–4 колебания в 1 с. Затем преобладающая частота колебаний электрических потенциалов нарастает: в 2–3 года – 4–5 колеб./с; в 4–5 лет – 6 колеб./с; в 6–7 лет – 6–7 колеб./с; в 7–8 лет – 8 колеб./с; в 9 лет – 9 колеб./с; усиливается взаимосвязанность активности различных корковых зон. К возрасту 10 лет устанавливается основной ритм покоя – 10 колеб./с (альфа-ритм), характерный для взрослого организма.

Для нервной системы у детей дошкольного и младшего школьного возраста ***характерна высокая возбудимость и сла-***

бость тормозных процессов, что приводит к широкой иррадиации возбуждения по коре и недостаточной координации движений. Однако длительное поддержание процесса возбуждения еще невозможно, и дети быстро утомляются. При организации занятий с младшими школьниками и особенно с дошкольниками нужно избегать долгих наставлений и указаний, продолжительных и монотонных заданий. Важно строго дозировать нагрузки, так как дети этого возраста отличаются ***недостаточно развитым ощущением усталости.*** Они плохо оценивают изменения внутренней среды организма при утомлении и не могут в полной мере выразить их словами даже при полном изнеможении.

При слабости корковых процессов у детей преобладают подкорковые процессы возбуждения. Дети в этом возрасте легко отвлекаются при любых внешних раздражениях. В такой чрезвычайной выраженности ориентировочной реакции (по И.П. Павлову, рефлекса «Что такое?») отражается ***непроизвольный характер их внимания.*** Произвольное же внимание очень кратковременно: дети 5–7 лет способны сосредотачивать внимание лишь на 15–20 минут.

У ребенка первых лет жизни ***плохо развито субъективное чувство времени.*** Чаще всего он не может правильно отмеривать и воспроизводить заданные интервалы, укладываться во времени при выполнении различных заданий. Сказывается недостаточная синхронизация внутренних процессов в организме и малый опыт сопоставления собственной активности с внешними синхронизаторами (оценкой длительности протекания различных ситуаций, смены дня и ночи и пр.). С возрастом чувство времени улучшается: так, например, интервал 30 секунд точно воспроизводят лишь 22% 6-летних, 39% 8-летних и 49% 10-летних детей.

Схема тела формируется у ребенка к 6 годам, а более ***сложные пространственные представления*** – к 9–10 годам, что зависит от развития полушарий мозга и совершенствования сенсомоторных функций.

Недостаточное развитие лобных программирующих зон коры обусловливает ***слабое развитие процессов экстраполяции.*** Способность к предвидению ситуации в 3–4 года у детей практически отсутствует (она появляется в 5–6 лет). Им трудно остановить бег у заданной черты, вовремя подставить руки для ловли мяча и т.п.

Высшая нервная деятельность детей дошкольного и младшего школьного возраста характеризуется медленной выработкой отдельных условных рефлексов и формирования динамических стереотипов, а также особенной трудностью их переделки. Большое значение для формирования двигательных навыков имеет использование ***подражательных рефлексов, эмоциональность занятий, игровая деятельность.***

Дети 2–3-х лет отличаются прочной стереотипной привязанностью к неизменной обстановке, к знакомым окружающим лицам и усвоенным навыкам. Переделка этих стереотипов происходит с большим трудом, приводит зачастую к срывам высшей нервной деятельности. У 5–6-летних детей увеличивается сила и подвижность нервных процессов. Они способны осознанно строить программы движений и контролировать их выполнение, легче перестраивают программы.

В младшем школьном возрасте уже возникают преобладающие влияния коры на подкорковые процессы, усиливаются процессы внутреннего торможения и произвольного внимания, появляется способность к освоению сложных программ деятельности, формируются характерные индивидуально-типологические особенности высшей нервной деятельности ребенка.

Важное значение в поведении ребенка ***имеет развитие речи.*** До 6 лет у детей преобладают реакции на непосредственные сигналы (первая сигнальная система, по И.П. Павлову), а с 6 лет начинают доминировать речевые сигналы (вторая сигнальная система).

Развитие сенсорных систем в основном происходит на протяжении дошкольного и младшего школьного возраста.

Зрительная сенсорная система особенно быстро развивается на протяжении первых трех лет жизни, затем ее совершенствование продолжается до 12–14 лет. В первые две недели жизни формируется координация движений обоих глаз (бинокулярное зрение). В два месяца отмечаются движения глаз при прослеживании предметов. С 4-х месяцев глаза точно фиксируют предмет, движения глаз сочетаются с движениями рук. Фиксация глаза на объекте повышает точность восприятия, так как при этом изображение попадает на наиболее чувствительную область сетчатки – в центральную ямку. В 6 месяцев появляются реакции антиципации – предварительного движения глаз к сигналу.

У детей первых 4–6 лет жизни глазное яблоко еще недостаточно выросло в длину. Хотя хрусталик глаза имеет высокую эластичность и хорошо фокусирует световые лучи, но изображение попадает за сетчатку, т.е. возникает ***детская дальнозоркость.*** В этом возрасте еще ***плохо различаются цвета.*** (У новорожденных, например, число колбочек в 4 раза меньше, чем у взрослых.) С учетом этих особенностей для детских игр и упражнений с предметом необходимо подбирать крупные и яркие предметы (кубики, мячи и пр.). С возрастом проявления дальнозоркости уменьшаются, растет число детей с нормальной рефракцией. Но уже в первые годы школьной жизни растет число детей с близорукостью из-за неправильной посадки при чтении, систематического рассматривании предметов на близком расстоянии от глаз (табл. 18). Близорукость появляется из-за того, что возникающее при этом напряжение глазодвигательных мышц, сводящих глаза на близком предмете, приводит к удлинению глазного яблока. В результате фокусировка лучей происходит перед сетчаткой, вызывая развитие близорукости.

Таблица 18

Возрастные изменения рефракции глаза

Возраст (лет)	Дальнозоркие (%)	С нормальным (%) зрением	Близорукие (%)
5–7	69,8	26,5	3,7
8–10	59,5	34,1	6,3
11–13	47,1	43,9	9,0
14–16	31,8	56,8	11,4

Большое значение для улучшения зрительной функции имеет эмоциональный характер занятий с детьми, использование различных игр. Острота зрения постепенно повышается: в 1 год – 0,1, в 2 года – 0,4, в 4 года – 0,7, в 5 лет – 0,9; к 7–8 годам она достигает нормальной величины взрослого человека – 1,0. В процессе игры ***острота зрения*** у детей повышается на 30%.

При переходе от дошкольного к младшему школьному возрасту по мере улучшения взаимосвязи зрительной информации и двигательного опыта улучшается ***оценка глубины пространства. Поле зрения*** резко увеличивается с 6 лет, достигая к 8 годам величин взрослого человека.

Зрительные сигналы играют ведущую роль в управлении двигательной деятельностью ребенка на протяжении первых 6 лет жизни. Обработка зрительных сигналов мозгом еще несовершенна. Она в основном ограничена анализом отдельных при-

знаков предмета, происходящим в зрительных центрах затылочной области коры, и генерализованным распространением этой информации на другие центры коры.

Качественная перестройка зрительных восприятий происходит ***в возрасте 6 лет,*** когда начинается вовлечение в анализ зрительной информации ***ассоциативных нижнетеменных зон мозга.*** При этом значительно улучшается механизм ***опознания целостных образов.***

Созревание ***лобных ассоциативных зон*** обеспечивает ***в возрасте 9–10 лет еще одну качественную перестройку*** зрительного восприятия, обеспечивая тонкий анализ сложных форм картины внешнего мира, ***избирательное восприятие*** отдельных компонентов изображения, ***активный поиск*** наиболее информативных сигналов окружающей среды.

К возрасту 10–12 лет формирование зрительной функции в основном завершается, достигая уровня взрослого организма. Этот этап отражается в ЭЭГ установлением в затылочной области коры четкого альфа-ритма (8–12 колеб./с), свойственного взрослому человеку.

Слуховая сенсорная система ***ребенка имеет важнейшее значение для развития речи,*** обеспечивая не только восприятие речи посторонних лиц, но и играя формирующую роль системы обратной связи при собственном произношении слов. Именно в диапазоне речевых частот (1000–3000 Гц) наблюдается наибольшая чувствительность слуховой системы. Ее возбудимость на словесные сигналы заметно повышается в возрасте 4 лет и продолжает увеличиваться к 6–7 годам. Однако острота слуха у детей в 7–13 лет (пороги слышимости) все же ниже, чем в 14–19 лет, когда достигается наиболее высокая чувствительность. У детей особенно широк диапазон слышимых звуков – от 16 до 22 000 Гц. К возрасту 15 лет верхняя граница этого диапазона снижается до 15 000–20 000 Гц, что соответствует уровню взрослых людей.

Слуховая сенсорная система, анализируя продолжительность звуковых сигналов, темпа и ритма движений, ***участвует в развитии чувства времени,*** а благодаря наличию двух ушей (бинауральный слух) ***включается в формирование пространственных представлений ребенка.***

Двигательная сенсорная система созревает у человека одной из первых. Формирование проприорецепторов

(мышечных веретен и сухожильных рецепторов) начинается уже со 2–4 месяца внутриутробного развития и продолжается после рождения до 4–6 лет. Подкорковые отделы двигательной сенсорной системы созревают раньше, чем корковые: к возрасту 6–7 лет объем подкорковых образований увеличивается до 98% от конечной величины у взрослых, а корковых образований – лишь до 70–80%.

В возрасте 1,5–2 месяцев осуществляется лишь грубый анализ проприоцептивной информации. В дальнейшем тонкость анализа повышается. Это резко улучшает возможность ***регуляции двигательной активности и выработки новых навыков.*** Условные рефлексы на проприоцептивные раздражители вырабатываются с 3–4-недельного возраста ребенка, постоянно совершенствуя сферу его моторных возможностей. Вместе с тем пороги различения силы мышечного напряжения у дошкольников все еще превышают уровень показателей взрослого организма в несколько раз. К 12–14-летнему возрасту развитие двигательной сенсорной системы достигает взрослого уровня. Повышение мышечной чувствительности может происходить и далее – до 16–20 лет, способствуя тонкой координации мышечных усилий.

Вестибулярная сенсорная система является одной из самых древних сенсорных систем организма и в ходе онтогенеза она развивается также довольно рано. Рецепторный аппарат начинает формироваться с 7-недельного возраста внутриутробного развития, а у 6-месячного плода достигает размеров взрослого организма.

Вестибулярные рефлексы проявляются у плода уже с 4-месячного возраста, вызывая тонические реакции и сокращения мышц туловища, головы и конечностей. Рефлексы с вестибулярных рецепторов хорошо выражены на протяжении первого года после рождения ребенка. С возрастом у ребенка анализ вестибулярных раздражений совершенствуется, а ***возбудимость вестибулярной сенсорной системы понижается, что уменьшает проявление побочных моторных и вегетативных реакций.*** При этом многие дети проявляют высокую ***вестибулярную устойчивость*** к вращениям и поворотам. Раннее возникновение контактов вестибулярной сенсорной системы с моторной системой и с другими сенсорными системами позволяет ребенку к 2–3 годам освоить основной фонд движений и начинать занятия физическими упражнениями с первых лет жизни – плаванием

с первых недель жизни, гимнастикой и фигурным катанием с 3–4 лет и т.п.

Во время внутриутробного развития и с первых дней жизни у ребенка имеется ***кожная чувствительность,*** которая обеспечивается тактильной, болевой и температурной рецепцией.

Тактильная сенсорная система развивается рано, обнаруживая уже у новорожденных общее двигательное возбуждение при прикосновениях (особенно в области лица, губ). Однако ее невысокий уровень в первые годы жизни (повышены как абсолютные, так и дифференциальные пороги) связывают с недостаточно развитым процессом обработки получаемой информации. ***Тактильная чувствительность увеличивается*** с ростом двигательной активности ребенка и достигает максимальных значений к возрасту 10 лет.

Болевая рецепция представлена уже у новорожденных, особенно в области лица, но в раннем возрасте она еще недостаточно совершенна. С возрастом она улучшается. Пороги болевой чувствительности снижаются от грудного возраста до 6 лет в 8 раз.

Температурная рецепция у новорожденных проявляется резкой реакцией (криком, задержкой дыхания, обобщенной двигательной активностью) на повышение или понижение температуры окружающей среды. Эта реакция с возрастом сменяется более ***локальными проявлениями,*** время реакции укорачивается от 2–11 секунд в первые месяцы жизни до 0,13–0,79 секунды у взрослых. У детей первых лет жизни обнаруживаются ***различия реакций на охлаждение тела.*** Так, у детей в возрасте 3–6 лет при повышенной тревожности, развитии невротических состояний, вегетодистонии отмечены случаи плохой адаптируемости к охлаждению (по изменениям экстероцептивных рефлексов, двигательной активности, времени реакции, умственной работоспособности и другим показателям). При проведении закаливания у таких детей ухудшается терморегуляция, что требует особой осторожности.

Вкусовые и обонятельные ощущения имеются уже с первых дней жизни, но они еще непостоянны и неточны, часто бывают неадекватны раздражителям, носят обобщенный характер. ***Чувствительность этих сенсорных систем заметно повышается*** к возрасту 5–6 лет у дошкольников и в младшем школьном возрасте практически достигает взрослых значений. Время реакции на вкусовые раздражения сокращается почти в 10 раз (от 2–3 секунд у новорожденных до 0,3–0,6 секунды в 9–10 лет).

2.2. ФИЗИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ И ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Пропорции тела ребенка в первые годы жизни существенно отличаются от взрослых сравнительно большей длиной головы и более короткими конечностями.

На протяжении первого года жизни и в возрасте 6 лет происходит заметный прирост длины тела. В первые два года жизни усиленно растут мышцы, обеспечивающие стояние и ходьбу. В возрасте 2–4 лет преобладает рост длиннейшей и большой ягодичной мышц, в 7–12 лет – двуглавой мышцы голени. Заметно ***увеличивается длина сухожилий*** по сравнению с длиной основной массы мышцы в «брюшке». Интенсивный рост стоп наблюдается у девочек после 7 лет, а у мальчиков после 9 лет. От 5–7 лет до 10–11 лет быстро увеличивается длина конечностей, превышая скорость роста тела. Прирост массы тела отстает от скорости увеличения длины тела.

В костях и скелетных мышцах у детей много органических веществ и воды, но мало минеральных веществ. Гибкие кости могут легко изгибаться при неправильных позах и неравномерных нагрузках. Легкая растяжимость мышечно-связочного аппарата обеспечивает ребенку хорошо выраженную гибкость, но не может создать прочного «мышечного корсета» для сохранения нормального расположения костей. В результате возможны деформации скелета, развитие асимметричности тела и конечностей, возникновение плоскостопия. Требуется особое внимание к организации нормальной позы детей и использованию физических нагрузок.

Мышечные волокна ребенка тонкие и слабые, они гораздо менее возбудимы, чем у взрослых. Их рост в толщину продолжается до 30–35 лет, в длину – до 20–25 лет. С интенсивным ростом мышечных волокон происходит относительное уменьшение ядерной массы на единицу площади скелетных мышц – по сравнению с новорожденными их масса снижается к возрасту 6 лет в 4–5 раз, к возрасту 10–14 лет – в 6 раз.

Происходит ***перестройка иннервационного аппарата мышц.*** В дошкольном и младшем школьном возрасте увеличиваются размеры и дифференциация элементов мышечных, суставных и сухожильных рецепторов, достигая достаточного совершенства к 6-ти годам. На протяжении данного возрастного периода происходит перераспределение положения мышечных веретен в скелетных мышцах – от равномерного их расположения в мышце

у новорожденных к сосредотачиванию веретен в концевых областях мышц, где они подвергаются большему растяжению и соответственно точнее информируют мозг о движении мышц. До 11–12 лет происходит также созревание нервно-мышечных синапсов, улучшая проведение моторных команд.

Мышечная масса детей невелика. Она составляет у новорожденных всего 20% от веса тела, у детей 2–3 лет – 23%, в 7–8 лет – 27%, у 15-летних подростков – 32%, в то время как у взрослых нетренированных людей – около 44%, у спортсменов – порядка 50%.

До 9–10 лет у ребенка ***тонус мышц-сгибателей превышает тонус разгибателей.*** Детям трудно длительное время сохранять вертикальную позу при стоянии, поддерживать выпрямленное положение спины при сидении.

Мышцы конечностей (особенно мелкие мышцы кисти) относительно слабее, чем мышцы туловища. Недостаточное развитие мышечно-связочного аппарата брюшного пресса может вызывать образование отвисшего живота и появление грыж при поднятии тяжестей. ***Сила мышц мальчиков в дошкольном и младшем школьном возрасте равна силе мышц девочек.***

Несмотря на повышение абсолютной мышечной силы в возрасте 4–5 лет, относительная сила практически не изменяется, так как растет и масса тела ребенка. ***Лишь с возраста 6–7 лет*** прирост силы оказывается больше прироста массы тела, и ***начинает нарастать относительная сила мышц.*** При этом увеличиваются прыгучесть и скоростно-силовые возможности детей.

К моменту рождения ребенка все волокна его мышц являются медленными. По ходу онтогенеза ***происходит развитие быстрых волокон,*** которое завершается лишь в 14–15 лет.

2.3. ОСОБЕННОСТИ КРОВИ, КРОВООБРАЩЕНИЯ И ДЫХАНИЯ

В дошкольном и младшем школьном возрасте ***кровь*** по количеству и составу отличается от крови взрослого организма.

Количество крови у дошкольников относительно массы тела заметно больше (в 4 года – 11% от массы тела, в 6–7 лет – 10%), приближаясь к взрослому уровню в период младшего школьного возраста (в 11 лет – 8%, у взрослых – 5–8%).

По мере взросления детей в их крови ***повышается количество эритроцитов и гемоглобина, а количество лейкоцитов снижается*** (табл. 19). У дошкольников в составе лейкоцитов

сравнительно больше лимфоцитов, но меньше нейтрофилов. Соответственно у них снижена фагоцитарная функция и наблюдается высокая восприимчивость к инфекционным заболеваниям. Затем количество нейтрофилов повышается, а лимфоцитов снижается до взрослого уровня к моменту полового созревания. Количество тромбоцитов с возрастом практически не изменяется.

Сердце детей первых лет жизни отличается ***малыми размерами*** и шаровидной формой. Рост его объема следует за ростом массы тела. Это нарастание в дошкольном и младшем школьном возрасте имеет постепенный характер.

Минутный объем крови у 4–11-летних детей ***примерно в 2 раза меньше, чем у взрослых.*** Небольшие размеры сердца и слабость сердечной мышцы определяют малый систолический (ударный) объем крови (20–30 мл), а в сочетании с высокой эластичностью и широким просветом сосудов – ***низкий уровень артериального давления*** (см. табл. 19).

Таблица 19

Возрастная динамика функциональных показателей и развития физических качеств у детей дошкольного и младшего школьного возраста (по: Е.К. Аганянц и др., 1991)

Показатели	4 года	7 лет	11 лет
Количество крови (% от массы тела)	11	10	8
Количество эритроцитов (10^{12}/л)	4,7	4,8	4,9
Содержание гемоглобина (г/л)	126	128	132
Количество лейкоцитов (10^9/л)	11,0	10,0	8,2
Частота сердцебиений (уд./мин)	100	85	80
Минутный объем крови (л/мин)	2,8	3,0	3,1
Артериальное давл., макс. (мм рт. ст.)	95	98	103
Артериальное давл., мин. (мм рт. ст.)	47	53	62
Частота дыхания (вд./мин)	27	22	21
Жизненная емкость легких (л)	1,1	1,9	2,1
Дыхательный объем (мл)	100	156	175
Минутный объем дыхания (л/мин)	3,4	3,8	6,8
Макс. вентиляция легких (л/мин)	–	50	60
Макс. потребление кислорода (л/мин)	–	1,8	2,1
Задержка дыхания на вдохе (с)	–	26	39
Задержка дыхания на выдохе (с)	–	17	20
Суточный расход энергии (ккал)	2000	2400	2800
Становая сила (кг)	18	29	46
Время реакции на звук (мс)	396	301	203
Теппинг-тест (дв./10 с)	48	54	62
PWC_{170} (кгм/мин)	232	285	533
Гибкость, наклон вперед (см)	+4	+5	+ 11

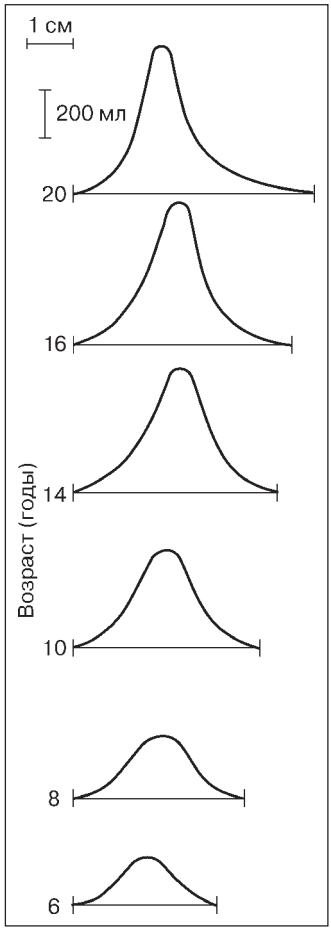


Рис. 50. Длительность дыхательного цикла и дыхательный объем у мальчиков и мужчин
(по: А.З. Колчинской, 1973)

Выраженное в этом возрастном периоде ***преобладание симпатических влияний на сердце*** обусловливает ***высокую частоту сердечных сокращений*** в состоянии покоя. Величина ЧСС очень лабильна, легко изменяется при любых внешних раздражениях (при испуге, различных эмоциях, физических и умственных нагрузках и пр.). Величина ЧСС у новорожденных достигает 120–150 уд./мин, у дошкольников – порядка 100 уд./мин, в младшем школьном возрасте – около 90 уд./мин. Противоположные влияния парасимпатического (блуждающего) нерва на сердце постепенно нарастают в первые годы жизни и заметно усиливаются к младшему школьному возрасту, вызывая дальнейшее снижение ЧСС в состоянии покоя.

При небольшой длине кровеносного русла ***время кругооборота крови очень невелико*** – у новорожденных всего 12 секунд, у 3-летних – 15 секунд (у взрослых 20–22 секунды).

По мере роста и развития ребенка совершенствуется его дыхательный аппарат. ***Дыхание у детей частое и поверхностное.*** Легочная ткань мало растяжима. Бронхиальное древо недостаточно сформировано. Грудная клетка сохраняет еще конусовидную форму и имеет малую экскурсию, а дыхательные мышцы слабы. Все это затрудняет внешнее дыхание, повышает энерготраты на выполнение вдоха и уменьшает глубину дыхания. ***Дыхательный объем дошкольника в 3–5 раз меньше,*** чем у взрослого человека (рис. 50). Он постепенно увеличивается в младшем школьном возрасте (см. табл. 19), но еще заметно отстает от взрослого уровня.

Из-за неглубокого дыхания и сравнительно большого объема «мертвого пространства» ***эффективность дыхания у детей***

невысока. Из альвеолярного воздуха в кровь переходит меньше кислорода, много его оказывается в выдыхаемом воздухе. Кислородная емкость крови в результате мала – 13–15 об.% (у взрослых – 19–20 об.%).

Частота дыхания у детей повышена. Она постепенно снижается с возрастом. В силу высокой возбудимости детей частота дыхания чрезвычайно легко нарастает при умственных и физических нагрузках, эмоциональных вспышках, повышении температуры и других воздействиях. Дыхание часто оказывается неритмичным, появляются задержки дыхания. Вплоть до 11-летнего возраста отмечается ***недостаточность произвольной регуляции дыхания.*** Особенно это отражается на речевой функции дошкольников.

Наиболее интенсивно размеры альвеол, объем и масса легких растут на протяжении первого года жизни. От 1 года до 8 лет объем легких увеличивается в 2 раза, но он еще наполовину меньше, чем у взрослого.

Такие показатели, как длительность задержки дыхания, максимальная вентиляция легких, ЖЕЛ, определяются у детей с 5-летнего возраста, когда они могут сознательно регулировать дыхание.

Жизненная емкость легких дошкольников в 3–5 раз меньше, чем у взрослых, в младшем школьном возрасте – в 2 раза меньше (см. табл. 19). В возрасте 7–11 лет отношение ЖЕЛ к массе тела (жизненный показатель) составляет 70 мл/кг (у взрослого – 80 мл/кг).

Минутный объем дыхания на протяжении дошкольного и младшего школьного возраста постепенно растет. Этот показатель за счет высокой частоты дыхания у детей меньше отстает от взрослых величин: в 4 года – 3,4 л/мин, в 7 лет – 3,8 л/мин, в 11 лет – 4–6 л/мин.

Продолжительность задержки дыхания у детей невелика, так как у них очень высокая скорость обмена веществ, большая потребность в кислороде и низкая адаптация к анаэробным условиям. У них очень быстро снижается содержание оксигемоглобина в крови и уже при его содержании 90–92% в крови задержка дыхания прекращается (у взрослых задержка дыхания прекращается при значительно более низком содержании оксигемоглобина – 80–85%, а у адаптированных спортсменов – даже при 50–60%). Длительность задержки дыхания на вдохе (проба Штанге) в возрасте 7–11 лет порядка 20–40 с (у взрослых – 30–90 с), а на выдохе (проба Генча) – 15–20 с (у взрослых – 35–40 с).

Величина МВЛ у детей младшего школьного возраста достигает всего 50–60 л/мин (у нетренированных взрослых людей она порядка 100–140 л/мин, а у спортсменов – 200 л/мин и более).

На протяжении первого года жизни у детей преобладает грудной тип дыхания, а в возрасте 3–7 лет начинает формироваться брюшной тип. Уже с возраста 7–8 лет начинают проявляться половые различия в показателях внешнего дыхания: у мальчиков ниже частота дыхания, больше глубина дыхания, ЖЕЛ, МОД, дыхание более экономично.

2.4. ОСОБЕННОСТИ ПИЩЕВАРЕНИЯ, ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ

В дошкольном возрасте у ребенка сформированы молочные зубы, которые позволяют ему перейти от молочного питания к более грубой пище. С 5–6 лет начинается ***смена молочных зубов на постоянные,*** которая в основном заканчивается к периоду полового созревания, и только третьи большие коренные зубы (зубы «мудрости») формируются вплоть до возраста взрослого человека.

С появлением молочных зубов у ребенка начинается выраженное слюноотделение. Оно усиливается на протяжении первого года жизни и продолжает совершенствоваться по количеству и составу слюны с увеличением разнообразия пищи.

Размеры желудка постепенно увеличиваются, к 6–7 годам он приобретает форму, характерную для взрослого организма. К этому возрасту заметно развиваются мышцы, обеспечивающие движения желудка и перистальтику кишечника. У детей дошкольного и младшего школьного возраста еще ***малочисленны и недоразвиты пищеварительные железы.*** Желудочный сок беднее ферментами, активность их еще мала. Это затрудняет процесс переваривания пищи. ***Низкое содержание соляной кислоты*** снижает бактерицидные свойства желудочного сока, что приводит к частым желудочно-кишечным расстройствам у детей.

В дошкольном возрасте интенсивно развиваются функции поджелудочной железы и печени ребенка. В возрасте 6–9 лет активность желез пищеварительного тракта значительно усиливается, пищеварительные функции совершенствуются. ***Принципиальное отличие пищеварения в детском организме*** от взрослого заключается в том, что у детей ***представлено только пристеночное пищеварение и отсутствует внутриполостное*** переваривание пищи.

Недостаточность процессов всасывания в тонком кишечнике в некоторой степени компенсируется ***возможностью всасывания в желудке,*** которая сохраняется у детей до 10-летнего возраста.

Особенностью ***обменных процессов*** в детском организме является ***преобладание анаболических процессов (ассимиляции) над катаболическими (диссимиляции).*** Растущему организму требуются повышенные нормы поступления питательных веществ, особенно белков. Для детей характерен ***положительный азотистый баланс,*** т.е. поступление азота в организм превышает его выведение.

Использование питательных продуктов идет в двух направлениях:

• для обеспечения роста и развития организма (пластическая функция);

• для обеспечения двигательной активности (энергетическая функция).

В связи с большой интенсивностью обменных процессов для детей характерна более высокая, чем у взрослых, ***потребность в воде и витаминах.*** Относительная потребность в воде (на 1 кг массы тела) с возрастом снижается, а абсолютная суточная величина потребления воды нарастает: в возрасте 1 года необходимо 0,8 л, в 4 года – 1 л, в 7–10 лет – 1,4 л, в 11–14 лет – 1,5 л.

В детском возрасте также необходимо постоянное поступление в организм ***минеральных веществ:*** для роста костей (кальций, фосфор), для обеспечения процессов возбуждения в нервной и мышечной ткани (натрий и калий), для образования гемоглобина (железо) и др.

Энергетический обмен у детей дошкольного и младшего школьного возраста значительно ***(почти в 2 раза) превышает уровень обмена у взрослых,*** снижаясь наиболее резко в первые 5 лет и менее заметно – на протяжении всей последующей жизни. Суточный расход энергии растет с возрастом: в 4 года – 2000 ккал, в 7 лет – 2400 ккал, в 11 лет – 2800 ккал.

2.5. ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ, ПРОЦЕССОВ ВЫДЕЛЕНИЯ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЖЕЛЕЗ ВНУТРЕННЕЙ СЕКРЕЦИИ

Дети отличаются недостаточно налаженными механизмами теплообмена. Они ***легко перегреваются и легко теряют тепло.*** Грудные дети реагируют на охлаждение бурными хаотическими движениями, которые их согревают. В теплоотдаче

у них велика роль процессов испарения водяных паров при дыхании.

В первые годы жизни в организме ребенка преобладают процессы химической терморегуляции. Благодаря высокому уровню обменных процессов организм ребенка быстро нагревается. Температура кожи и внутренняя температура тела у дошкольника (37,4–37,6°С) выше, чем у взрослых.

Обилие кровеносных сосудов в коже обусловливает быстрый перенос тепла от температурного ядра тела к его оболочке, а недостаточная рефлекторная регуляция просвета кожных сосудов не обеспечивает защиту от больших тепловых потерь. При небольшой мышечной массе дети имеют низкую теплоизоляцию покровных тканей. Высокие теплопотери обусловлены также и относительно большой поверхностью маленького тела. Все это вызывает быстрое охлаждение тела ребенка и требует особого внимания к его закаливанию.

С переходом к младшему школьному возрасту границы терморегуляции расширяются, а механизмы теплообмена совершенствуются. Нарастание мышечной массы улучшает теплоизолирующие свойства покровов тела, совершенствование сосудистых реакций облегчает регуляцию теплообмена на поверхности кожи. Улучшается регуляция потоотделения, уточняется информация от терморецепторов тела и деятельность центров терморегуляции. Все это позволяет лучше поддерживать постоянство температуры тела в различных условиях среды и при разных формах деятельности. ***Дети младшего школьного возраста по сравнению с дошкольниками меньше подвержены перегреванию и переохлаждению,*** хотя их устойчивость к изменениям температурных режимов все еще недостаточно совершенна.

Важнейшая роль в процессах выделения принадлежит ***почкам.*** Формирование размеров, веса и функций почек интенсивно продолжается до 13–15 лет. У дошкольников вес почек к 7-летнему возрасту удваивается по сравнению с годовалым возрастом, в возрасте 11 лет вес увеличивается в 1,5 раза по сравнению с 5-летним возрастом.

Функции почек у дошкольников все еще несовершенны. В возрасте 4–5 лет в деятельности почек ***преобладают процессы фильтрации,*** и лишь к 10–11 годам достигают взрослого уровня процессы обратного всасывания (реабсорбции). В составе мочи с возрастом увеличивается количество натрия и мочевины и уменьшается количество мочевой кислоты.

Мочеиспускание у детей первых лет жизни гораздо чаще, чем у взрослых, что объясняется высоким уровнем обмена веществ (особенно воды и углеводов). У годовалых детей мочеиспускание происходит 16–20 раз в сутки, в младшем школьном возрасте – 7–8 раз. При этом количество образующейся за сутки мочи у детей меньше: в 1–2 года – 0,6 л, в 3–4 года – 0,9 л, в 5–6 лет – 1 л, в 7–8 лет – 1,2 л, в 9–10 лет – 1,5 л.

С первого года жизни начинается формирование условно-рефлекторного механизма ***произвольного мочеиспускания,*** который к 2–3 годам выражен отчетливо. Однако многие дети (5–10%) с возбудимой и неуравновешенной нервной системой часто страдают от ночного недержания мочи (энуреза). С устранением невротических состояний эти явления исчезают.

В нормальной жизнедеятельности растущего организма велика роль ***желез внутренней секреции.*** Секретируемые ими ***гормоны*** (соматотропин, инсулин, глюкокортикоиды, половые гормоны) уменьшают проницаемость клеточных мембран, обеспечивая доступ в клетки питательных и регуляторных веществ. Они непосредственно действуют на генетический аппарат в клеточных ядрах, регулируя считывание наследственной информации, усиливая синтез РНК и соответственно процессы синтеза белка и ферментов в организме. С участием гормонов формируются в развивающемся организме процессы адаптации к различным условиям внешней среды, в том числе к стрессовым ситуациям.

Выявлены ритмические колебания гормональной активности (суточные биоритмы, циклические изменения секреции ряда гормонов на протяжении 3–5 дней и др.), имеющие характерные индивидуально-типологические особенности и критический период в 7-летнем возрасте.

Еще до рождения ребенка начинают функционировать некоторые железы внутренней секреции, которые имеют большое значение и в первые годы после рождения (эпифиз, вилочковая железа, гормоны поджелудочной железы и коры надпочечников).

Гормоны коркового слоя надпочечников (кортикоиды) регулируют обменные процессы в организме, способствуя налаживанию белкового, углеводного и жирового обмена. Их среднесуточная секреция временно снижается в 7-летнем возрасте, но затем снова нарастает вплоть до взрослого состояния.

Эпифиз в дошкольном возрасте осуществляет важнейшие процессы регуляции водного и солевого обмена в детском орга-

низме. Активная деятельность эпифиза подавляет в этот период нижележащие структуры гипоталамуса.

С ослаблением тормозных влияний эпифиза после 7-летнего возраста нарастает активность гипоталамуса и формируется тесная взаимосвязь его функций с гипофизом, т.е. ***оформляется гипоталамо-гипофизарная система,*** передающая влияния ЦНС через различные железы внутренней секреции на все органы и системы организма.

Усиление роли ***гормонов мозгового слоя надпочечников*** (адреналина, норадреналина) и повышение значимости симпатических влияний в организме (т.е. оформление симпатоадреналовой системы) происходит несколько позже – к началу переходного периода.

Секреция ***гормона гипофиза соматотропина*** нарастает постепенно, а в возрасте 6 лет усиливается более значительно, обусловливая заметную прибавку роста ребенка. Самый значительный подъем секреции этого гормона приходится на переходный период, вызывая резкое увеличение длины тела. В развитии процессов роста наряду с соматотропином участвует ***гормон поджелудочной железы – инсулин,*** который обеспечивает анаболические процессы в организме, накопление углеводных ресурсов. Нарушение гормональной функции поджелудочной железы встречается уже в детском возрасте, чаще всего в возрасте 6–12 лет, приводя к заболеванию сахарным диабетом. Этому способствуют нарушения режима и питания детей – недостаточность двигательной активности, переедание, ожирение.

Огромное значение для правильного роста и развития ребенка имеет гормональная активность ***щитовидной железы,*** масса которой к младшему школьному возрасту увеличивается в 10 раз: от 1 г у новорожденного до 10 г в 10 лет. Щитовидная железа регулирует обмен веществ и энергии, окислительные процессы в митохондриях. От секреции ее гормонов зависит рост и дифференцировка тканей и органов, скорость заживления ран, формирование правильных пропорций тела и нормальное развитие психики ребенка. Гипофункция щитовидной железы в детском возрасте (в том числе связанная с недостатком поступления в организм йода) приводит к развитию кретинизма – задержке роста и развития, непропорциональному строению тела, инфантилизму и умственной отсталости.

Резкую реакцию растущего организма вызывает недостаточная функция ***паращитовидных желез,*** регулирующих кальцие-

вый обмен в организме. При их гипофункции содержание кальция в крови падает, повышается возбудимость нервной и мышечной тканей, развиваются судороги. Гиперфункция паращитовидных желез приводит к вымыванию кальция из костей и повышению его концентрации в крови. Это способствует излишней гибкости костей, деформации скелета и отложению кальция в кровеносных сосудах и других органах.

Раннее развитие ***вилочковой железы (тимуса)*** обеспечивает высокий уровень иммунитета в организме. Она влияет на созревание лимфоцитов, рост селезенки и лимфатических узлов. При нарушении ее гормональной активности у детей грудного возраста резко снижаются защитные свойства организма, исчезает в крови гамма-глобулин, имеющий большое значение в образовании антител, и ребенок погибает в возрасте 2–5 месяцев.

Вилочковая железа оказывает тормозное влияние на ***половые железы.*** Однако к началу переходного периода (после 10–11 лет) она претерпевает обратное развитие, и заметно усиливается секреция гормонов половых желез. У девочек уже с 8–9 лет появляются признаки полового созревания – возникают жировые отложения по женскому типу (на бедрах и животе), с 10–11 лет начинается увеличение грудных желез, а у мальчиков с 10–11 лет усиливается рост половых органов. Обратное развитие (инволюция) вилочковой железы приводит к глубоким изменениям клеточного и гуморального иммунитета. Повышается восприимчивость детей младшего школьного возраста к различным инфекциям, развитию опухолей.

В целом, ***в период младшего школьного возраста (7–11 лет) организм ребенка отличается гармоничным развитием и стабильным гормональным статусом.*** Оптимальное соотношение секреции различных гормонов обеспечивает нормальный уровень физического и умственного развития, устойчивость реакций организма на внешние воздействия.

2.6. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО И МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ

Особенности адаптации детей дошкольного и младшего школьного возраста к физическим нагрузкам связаны с уровнем морфофункционального созревания организма.

2.6.1. Возрастные особенности управления движениями

У детей дошкольного и младшего школьного возраста нервные центры характеризуются ***высокой возбудимостью, относительно слабым развитием процессов торможения*** (особенно условно-рефлекторного внутреннего торможения). Дети отличаются ***быстрой утомляемостью, недостаточным развитием произвольного внимания и сильно выраженными ориентировочными реакциями.***

Малый двигательный опыт, слабое отражение в сознании функциональных изменений в организме при физических нагрузках обусловливают ***недостаточное развитие субъективных ощущений усталости.*** К тому же дети не умеют в нужной мере отражать изменения своего внутреннего состояния в речевых отчетах. Даже в возрасте 8–9 лет в 41% случаев у них вообще отсутствует ощущение усталости, а при его наличии в 77% случаев дети сообщают о наступлении усталости лишь после окончания работы. Это требует особого внимания к тщательной дозировке мышечных нагрузок, особенно при работе с дошкольниками.

Возрастные особенности управления движениями связаны с постепенным созреванием различных отделов ЦНС (спинного мозга, подкорковых отделов и затем коры больших полушарий). Если подкорковые механизмы в большей степени готовы в первые дни и недели развития ребенка, то корковые отделы созревают позже и поэтапно: сначала первичные проекционные поля, затем вторичные (например, первичное моторное поле созревает к 4 году жизни, вторичное моторное поле – лишь к 6–7 годам), а развитие третичных полей затягивается до зрелого возраста. Дети дошкольного и младшего школьного возраста отличаются недостаточно развитыми взаимосвязями между нейронами в коре больших полушарий. Это отражается в малом числе выраженных взаимосвязей (синхронности и синфазности) электрической активности различных точек коры (рис. 51).

С основными этапами созревания мозга связаны и ***этапы изменений процессов управления движениями.***

В возрасте 1–4 месяцев ребенок не способен к организации произвольных движений из-за высокого мышечного тонуса и отсутствия зрительно-двигательных взаимосвязей. Лишь с 4-х месяцев движения глаз сочетаются с движениями рук и эти связи закрепляются в ЦНС.

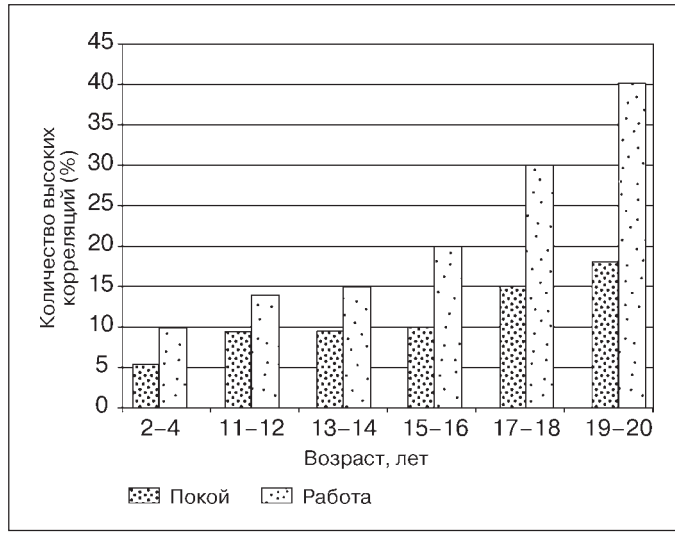


Рис. 51. Возрастная динамика межцентральных взаимосвязей в ЭЭГ
(по данным разных авторов)

В возрасте 5 месяцев – 1 года осуществляется формирование зрительно-двигательной системы и ***становление вертикальной позы,*** но еще слишком мала координация произвольных движений.

В возрасте 1–2 лет точность произвольных движений еще низка из-за отсутствия налаженной координации мышц-антагонистов. Начинают формироваться ***примитивные акты ходьбы и бега.*** Локомоции включают элементарные спинальные рефлексы (миотатические, рефлексы опоры, ритмические, перекрестные на уровне симметричных сегментов спинного мозга, перекрестные сочетательные рефлексы верхних и нижних конечностей). Они управляются спинальными механизмами и запускаются локомоторным центром среднего мозга, который находится под контролем коры больших полушарий. Переломный момент перехода от отдельных шагов к сложному локомоторному акту ходьбы определяется включением в систему управления древних автоматизмов – циклоидных форм движений, регулируемых подкорковыми ядрами. Лишь после этого ходьба становится циклической цепью двигательных актов, «мелодией» движения. Однако ходьба ребенка еще далека от совершенства, а бег малыша – семенящий, характеризуется отсутствием полетной фазы.

В возрасте 3–6 лет главным регулятором произвольных движений при их программировании и текущем контроле стано-

вятся зрительные ***обратные связи,*** формирующие единую зрительно-двигательную функциональную систему. ***Ведущим механизмом является*** механизм рефлекторного кольцевого регулирования. В процессе движения от нервных центров поступают по прямым связям моторные команды к работающим мышцам, а от зрительных, мышечных и других рецепторов тела по обратным связям передается информация о результатах движения и вносятся сенсорные поправки в моторные программы. При занятиях физическими упражнениями с детьми этого возраста важно использовать различные зрительные ориентиры, помогающие в освоении двигательных навыков.

Начиная с 5–6-летнего возраста (по мере созревания двигательной сенсорной системы) осуществляется переход к доминирующей роли проприоцептивных обратных связей. За период от 5 до 8 лет устанавливаются выраженные координационные взаимоотношения между мышцами-антагонистами, что резко улучшает качество двигательных актов.

В возрасте 6 лет формируется представление о схеме тела, связанное с важным этапом развития задних третичных полей (нижнетеменных зон коры). Приобретается адресная точность передачи моторных команд к различным звеньям тела, а сами команды становятся более тонкими и сложными.

Постепенно ***совершенствуется координация движений в ходьбе и беге.*** При ходьбе увеличивается амплитуда движений, угол разворота стоп, что повышает устойчивость тела, стабилизируются пространственные и временные параметры шагов. Правильная координация движений рук и ног при ходьбе у ребенка в 3 года наблюдается в 10%, в 4 года – в 50%, в 6–7 лет – в 80% случаев. С 5–6 лет появляется способность совершать прыжки двумя ногами вместе, нарастает дальность и точность прыжков.

В возрасте 7–9 лет деятельность зрительно-двигательной системы начинает полностью контролироваться хорошо выраженными проприоцептивными ***обратными связями, которые приобретают значение ведущего механизма управления движениями.*** Механизм кольцевого рефлекторного регулирования достигает своего совершенства.

В 7–8 лет при беге хорошо выражена безопорная фаза. Это заметно повышает скорость бега. В возрасте 5–6 лет средняя скорость бега у мальчиков составляет 4,07 м/с, в 7–8 лет – 4,83, в 9–10 лет – 5,09, в 11–12 лет – 6,85, в 17–19 лет – 8,46 м/с

(Бальсевич В.К., 2000). Однако опорные реакции еще отличаются от взрослого типа – они «вялого» типа, характеризуются медленным развитием усилий. Координация движений при ходьбе и беге, как оказалось, имеет генетически закрепленный индивидуальный характер. Биомеханические исследования показали, что только у однояйцевых (монозиготных) близнецов имеется сходство динамических кривых опорных реакций.

У детей младшего школьного возраста с ростом скоростно-силовых возможностей повышается высота вертикального прыжка. У мальчиков она на 2–4 см больше, чем у девочек.

К 9-летнему возрасту у детей завершается формирование представления о схеме пространства, что отражает очередной этап созревания заднего третичного поля коры. Ребенок хорошо ориентируется в пространстве, обладает достаточным глазомером. Однако в 7–9 лет еще недостаточно развиты процессы экстраполяции, планирования действий в предстоящие моменты. Это происходит из-за более медленного созревания передних третичных полей – ассоциативных лобных зон коры.

С 9-летнего возраста начинается развитие механизмов центральных команд, ***когда ребенок программирует предстоящие кратковременные движения, не имея обратной информации от периферических афферентов о результатах действия.*** При таком программном управлении все движение должно быть точно запрограммировано еще до его начала, так как поправки в эти команды могут вноситься лишь при повторных выполнениях двигательных актов. Включение этих механизмов отражает созревание передних третичных полей коры больших полушарий, функцией которых является предвидение будущих событий, процессы предпрограммирования.

В возрасте 10–11 лет механизм центральных команд (программного управления) уже полностью включен в моторную деятельность ребенка. Это означает, что дети этого возраста используют все механизмы управления произвольными движениями, присущие взрослому человеку.

И все же регуляция движений еще и в этом возрасте недостаточно совершенна. При высокой скорости ходьбы и бега, работы на пальцевом эргографе электрическая активность в ЭМГ работающих мышц может сохраняться и в нерабочие моменты, когда у взрослых наблюдается пауза в их активности. Это приводит к лишним энерготратам, большему утомлению мышц, ухудшает координацию и эффективность движений.

Итак, основные этапы развития ***моторных функций и совершенствования управления движениями у детей следующие. Первый год жизни – формирование основных поз; до 3 лет – создание основного фонда движений; в возрасте 3–6 лет – созревание механизма кольцевого рефлекторного регулирования с ведущей ролью зрительных обратных связей; в возрасте 7–9 лет – усовершенствование кольцевого рефлекторного механизма с ведущей ролью проприоцептивных обратных связей; в 10–11 лет – созревание механизма центральных команд (программного управления).***

Большое значение в регуляции двигательной активности детей дошкольного и младшего школьного возраста имеет ***развитие межполушарных отношений.*** В первые годы жизни у детей ***доминирующим является правое полушарие.*** Еще не сформированы индивидуальные особенности функциональной асимметрии. Они формируются постепенно на протяжении дошкольного и младшего школьного возраста. Зачастую у детей многие функции перекладываются на неведущую конечность (например, левшей часто обучают основные действия выполнять правой рукой – есть, писать и т.п.). Такое переучивание приводит к иннервационному конфликту, когда управление движениями осуществляется неадекватными для данного организма механизмами. В результате не только ухудшаются моторные реакции, но и могут развиваться стрессовые состояния, неврозы, заикания.

Недостаточная функциональная зрелость левого полушария головного мозга у детей и преобладание у них функций правого полушария требует использования в физическом воспитании преимущественно наглядных методов обучения, прочувствования движений, использования подражательных реакций, а высокая эмоциональность детей, обусловленная большой ролью подкорковых влияний (ретикулярной формации, лимбических структур), – широкого применения различных игровых средств.

Особенно важно учитывать, что у маленьких детей в связи с поздним развитием лобных долей еще не налажена речевая регуляция движений. В 2–3 года ребенок не может выполнять двигательные действия не только под внешнюю команду, но даже под свою собственную команду «раз-два!». Эта способность постепенно формируется к 4–5 годам с развитием речевой функции и речедвигательных межцентральных взаимосвязей. Тогда не только внешняя речь посторонних лиц, но и собственная ше-

потная, а затем и внутренняя речь становится регулятором двигательного поведения. Налаживание речевой регуляции движений облегчает формирование двигательных навыков. Известно, что мы запоминаем из того, что читали 10%, из того, что слышали – 20%, что видели – 30%, что слышали и видели – 50%, что говорили – 70%, что говорили и делали – 90%.

2.6.2. Особенности возрастного развития физических качеств

Физические качества у детей формируются гетерохронно, в разные возрастные периоды. Для развития каждого качества имеются определенные сенситивные периоды онтогенеза, когда может быть получен наибольший его прирост. Они имеют специфические особенности проявления и индивидуальную программу развития, определяемую генетически.

Быстрота проявляется в элементарных и комплексных формах. На протяжении дошкольного и младшего школьного возраста происходит постепенное нарастание ***физиологической лабильности нервных центров и подвижности нервных процессов.*** Соответственно умеренно развиваются различные показатели быстроты – время двигательной реакции, скорость одиночного движения и максимальный темп движений. Основное ускорение развития быстроты начинается с 10-летнего возраста.

Время простой двигательной реакции на свет в 2–3 года составляет 0,6–0,8 с, к возрасту 5–7 лет это время сокращается до 0,3–0,4 с, но оно еще вдвое превышает величины у взрослых. Показатели быстроты у девочек и мальчиков не различаются в дошкольном возрасте, но в младшем школьном возрасте становятся лучше у мальчиков. С 5- до 10-летнего возраста время реакции сокращается у мальчиков с 286 до 203 мс, у девочек – с 287 до 231 мс (табл. 20).

Таблица 20

Возрастная динамика развития физических качеств у мальчиков
(по: В.К. Бальсевич, 2000)

Возраст, лет	Время реакции, мс	Теппинг-тест, дв./10 с	Скорость бега, м/с	Высота прыжка, см
5–6	286,0	47,8	4,07	25,6
7–8	219,7	53,9	4,83	30,6
9–10	207,0	55,8	5,09	35,1
11–12	203,3	62,4	6,85	38,9
13–14	179,3	62,9	7,76	44,2
15–16	171,0	71,4	7,73	46,2
17–19	177,4	72,8	8,46	45,0

Сокращение времени реакции неодинаково для различных групп мышц, а величины этого показателя зависят от врожденных свойств нервной системы детей – их индивидуально-типологических особенностей.

Около 20–25% 6–7-летних здоровых детей характеризуются ***низкой подвижностью нервных процессов.*** Это так называемые «медлительные» дети. Они имеют ***общее развитие, соответствующее возрастным нормам, но их реакции замедленны, а работоспособность ниже почти в 2–3 раза по сравнению с «быстрыми» детьми.*** Такие дети могут усваивать лишь ту информацию, которая подается в медленном темпе (с интервалами в 2 с) и теряют в среднем около 60% информации, подаваемой быстрее (с интервалами в 0,5 с). У них плохо развита координация движений. На нагрузки в условиях дефицита времени они реагируют учащением сердцебиений и дыхания, эмоциональной напряженностью. В их ЭЭГ отмечается неустойчивая активность, мало выражены волны альфа-ритма, в 70% доминируют тета-ритмы (4–7 колеб./с). Эти дети составляют основной контингент отстающих в школе. У них замедлена обучаемость двигательным навыкам, более низкий (на 20–30%) темп движений, затруднены переключения движений по скорости, направлению, форме. Эти дети требуют особого внимания со стороны родителей, педагогов, тренеров. При их обучении следует избегать сложных двигательных программ, трудного выбора в условиях дефицита времени, переделок двигательных навыков, высокого темпа движений.

Скорость одиночных движений ***различна для разных мышечных групп и в разном возрасте.*** В 4–5 лет она больше для проксимальных частей конечностей, чем для дистальных. С 6–7 лет начинает преобладать скорость движений мышц, управляющих дистальными сегментами: у детей 4–5 лет больше скорость одиночных движений мышц плеча и бедра, а с 6–7 лет нарастает скорость движений пальцев.

Максимальный темп движений ***постепенно растет в дошкольном и младшем школьном возрасте,*** увеличиваясь за этот период в 1,5–2 раза. Особенно интенсивно он прогрессирует у мальчиков.

Повышение темпа движений связано с ростом подвижности нервных процессов, лабильности нервных центров, скорости развития возбуждения и скорости проведения в нервных и мышечных волокнах, а также с увеличением скорости расслабления

мышц. В препубертатном периоде (около 10–11 лет) его прирост временно замедляется.

Широко распространен в практике ***теппинг-тест*** – количество постукиваний кистью в максимальном темпе за 10 с. За период с 5 до 11 лет этот показатель нарастает в среднем у мальчиков от 47,8 до 62,4 движения (см. табл. 20). ***Скорость бега*** увеличивается и за этот период нарастает у мальчиков примерно в 1,5 раза. Различия в скорости бега у мальчиков и девочек до 10–11 лет оказываются несущественными, а затем скорость больше нарастает у мальчиков. Время выполнения скоростных упражнений для детей дошкольного возраста – не более 2 с, а для младшего школьного возраста не должно превышать 5–6 с (для взрослых – 10–15 с).

Абсолютная мышечная сила ***в дошкольном и младшем школьном возрасте нарастает умеренно.*** Ее прирост связан ***с увеличением толщины и силы отдельных мышечных волокон, развитием мощных быстрых мышечных волокон в составе мышц и общим увеличением мышечной массы.*** В различных мышечных группах прирост мышечной массы, изменение состава волокон и мышечной силы происходит неравномерно. Основной прирост мышечной силы происходит после переходного периода онтогенеза (с 14 лет).

Относительная сила у дошкольников почти не изменяется, так как прирост мышечной силы не превышает прироста массы тела. Лишь с 6–7 лет, когда скорость прироста силы начинает опережать прирост веса, относительная сила ребенка начинает увеличиваться.

В возрасте 4–5 лет ***вес мышечной массы*** в 7–8 раз меньше, чем у взрослых, а сила мышц меньше в 9–14 раз. Вес мышечной массы новорожденных составляет 23% массы тела, в 7–8 лет – 27% (у нетренированных взрослых – 44%, у спортсменов – 50% и более).

Сила мышц рук и ног у детей старшего дошкольного возраста (5–6 лет) заметно меньше, чем у детей младшего школьного возраста (7–8 лет). ***У дошкольников сила мышц туловища больше, чем мышц конечностей.*** За период от 4 лет до 7 лет сила различных мышц увеличивается примерно в 1,5–2 раза. Например, становая сила – от 18 до 29 кг, сила правой руки – от 7 до 12 кг, сила левой руки – от 5 до 10 кг. За период от 7 до 11 лет сила увеличивается еще в 1,5–2 раза (становая сила – до 65,4 кг, сила правой руки – до 21,4 кг, левой руки – до 19,5 кг). Сила

мышц мальчиков и девочек в 7–8 лет одинакова, а в 10–11 лет в связи с более быстрым развитием женского организма сила девочек превышает силу мальчиков.

Повышенный мышечный тонус и ***превышение силы мышц-сгибателей над мышцами-разгибателями*** затрудняют у дошкольников сохранение выпрямленных поз. Им трудно долго сидеть с прямой спиной, сохранять вертикальное позу стоя дольше 2 мин. В 6–7 лет наибольшую силу имеют мышцы – сгибатели туловища, бедра и подошвенные сгибатели. В 9–11 лет увеличивается сила разгибателей этих звеньев тела. Мала сила мышц позвоночника – она составляет в 7–8 лет всего 35% величины у взрослых. Отсутствие сильного «мышечного корсета» приводит к нарушению осанки, искривлению позвоночника при систематическом положении ребенка в неправильных позах. Слабость мышц стопы при больших отягощениях приводит к развитию плоскостопия. Указанные особенности мышечной системы на ранних стадиях развития требуют специального внимания при организации занятий физическими упражнениями с детьми.

Скоростно-силовые возможности ***ребенка развиваются постепенно,*** по мере повышения лабильности мотонейронов, скорости активации и вовлечения в работу отдельных двигательных единиц, возможности их синхронизации. Эти функциональные особенности определяют так называемую взрывную силу, которая проявляется в показателях бросков, прыжков, метаний. Ее показатели у дошкольников невелики – дети 5–6 лет осваивают лишь около половины прыжковых упражнений.

Некоторое увеличение прироста скоростно-силовых показателей (прыжков в высоту, длину, дальности бросков и пр.) наблюдается в 7–9 лет, но основной прирост происходит лишь после 11 лет (см. табл. 20). Средние показатели прыжка в длину с места в 4 года составляют 47 см, в 7 лет – 116 см; прыжка в высоту в 4 года – 14 см, в 7 лет – 26 см.

Общая выносливость (длительность бега со скоростью 70% от максимальной) ***начинает увеличиваться в младшем школьном возрасте,*** когда достаточного развития достигают сердечно-сосудистая и дыхательная системы и увеличиваются значения МПК. В возрасте от 7 до 11 лет заметно увеличивается выносливость к аэробной работе (составляющей 50% от максимальной мощности), но не растет выносливость к анаэробной работе (100% максимальной мощности).

В возрасте 8–10 лет нарастает ***скоростно-силовая выносливость*** при прыжках вверх. ***Статическая выносливость*** при поддержании статических поз (см. табл. 21) и при выполнении статической работы (в упражнениях вис, упор и пр.) невелика. Статические усилия не рекомендуются дошкольникам, так как вызывают у них неблагоприятные реакции сердечно-сосудистой системы, сопровождаются сильно выраженным феноменом статических усилий (после рабочих усилений дыхания и сердцебиения) и требуют длительного восстановления. У младших школьников даже при небольших локальных напряжениях нарастание легочной вентиляции и потребления кислорода замедлено, электрическая активность работающих мышц резко увеличена, появляется напряжение на неработающих мышцах. С 8 до 11 лет статическая выносливость увеличивается на 40–50%, ее интенсивное увеличение происходит в более старшем возрасте.

Ловкость – ***комплексное понятие,*** в ее структуру включаются способность быстро осваивать новые упражнения, координированно выполнять сложные движения и эффективно действовать в необычных условиях, создавая новые двигательные акты. Ловкость менее других качеств контролируется генетически и относится к наиболее тренируемым качествам.

Развитию ловкости у детей способствуют созревание высших отделов мозга (особенно третичных полей коры больших полушарий), ***совершенствование центральной регуляции моторных функций*** (налаживание регуляции мышц-антагонистов, межмышечной координации и пр.), ***улучшение функций скелетных мышц*** (более быстрое развертывание механических реакций при возбуждении мышечных волокон и др.).

Уже в дошкольном возрасте быстро растет точность метания в цель, точность прыжка. В структуре основных двигательных способностей у детей 3–6-летнего возраста ловкость составляет 52–57%.

Таблица 21

Возрастная динамика равновесия в стойке на одной ноге
(по: В.Б. Шварц, С.В. Хрущев, 1984)

Возраст, лет	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Время (с) удержания	14	20	22	25	27	45	52	55	50	45	44

Наибольшие сдвиги координационных способностей обнаруживаются после 7 лет – в младшем и среднем школьном возрасте. Совершенствование функций лобных долей в младшем школьном возрасте обеспечивает рост обучаемости детей, ускоряет формирование двигательных навыков, улучшает процессы программирования и предпрограммирования, внесения коррекций в моторные программы, повышает способность выделять из внешних сигналов наиболее информативные признаки, усиливает речевую регуляцию движений. Все это улучшает проявление ловкости у детей.

Различают ловкость «телесную» и «предметную». Их развитие протекает гетерохронно. Особенно выражена разновременность развития для отдельных показателей «предметной» ловкости.

Показатели координации и точности движений у 7–8-летних детей в 1,5–2 раза хуже, чем у 14–15-летних. Они резко ухудшаются при малейшей недостаточности зрительной информации. На 30–50% они менее стабильны, чем у 11–12-летних детей.

Гибкость – одно из наиболее ранних по развитию качеств. ***Начиная с 4-летнего возраста она быстро совершенствуется на всем протяжении дошкольного и младшего школьного возраста*** благодаря хорошей растяжимости мышечных волокон и связочного аппарата у детей. Во всех возрастных периодах гибкость лучше выражена в женском организме по сравнению с мужским.

2.6.3. Реакции вегетативных систем и энергообеспечение при физических нагрузках

Дети дошкольного и младшего школьного возраста отличаются при физических нагрузках ***быстрым врабатыванием и быстрым восстановлением.*** В этом возрасте характерны ***малая выраженность устойчивого состояния и быстрое развитие утомления.*** Для них ***непереносима монотонная деятельность, тяжелы статические нагрузки.*** Эффективность механической работы низка: КПД их составляет всего 10–12%, тогда как у нетренированных взрослых – 20–25%, у спортсменов – порядка 30–35%.

Дети легче переносят нагрузки аэробного характера и мало адаптированы к анаэробной работе. Однако аэробные возможности их еще недостаточны. Высокий расход кислорода, обусловленный интенсивным энергообменом, требует постоянного бы-

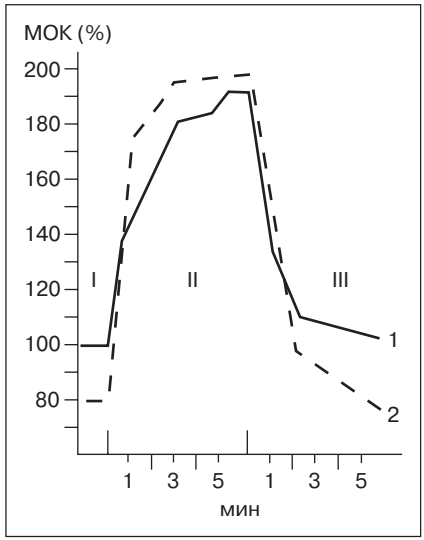


Рис. 52. Изменение МОК у нетренированных (1) и тренированных (2) мальчиков 7–8 лет при выполнении стандартной нагрузки:
I – исходный фон, II – работа, III – восстановительный период (по: С.А. Косилов и др., 1989)

строго притока кислорода. Вдобавок к этому кислородная стоимость работы у детей из-за несовершенства двигательных навыков и недостаточной координации движений выше, чем у взрослых. ***С этими высокими потребностями в кислороде не справляется кислородтранспортная система.*** Неэффективное дыхание, малая величина систолического объема крови, низкая кислородная емкость крови не обеспечивают должного удовлетворения кислородного запроса. Можно отметить, что 1 л кислорода у дошкольников и младших школьников извлекается из 5 л альвеолярного воздуха (у взрослых – всего из 3,5 л) и из 12 л крови (у взрослых – из 8 л). При малом объеме сердца и легких дети на физические нагрузки реагируют значительным повышением частоты сердцебиений и дыхания.

Величина ***систолического объема крови у детей*** младшего школьного возраста повышается при интенсивной работе до 70 мл, ***минутный объем крови*** достигает 13–15 л/мин, при этом ***частота сердечных сокращений*** может повышаться до 240 уд./мин и более. Важной особенностью регионарного кровообращения является большее увеличение ЧСС, систолического и минутного объема кровотока при работе ногами, чем при работе руками. При этом работа руками в большей степени вызывает повышение ЧСС, а работа ногами – систолического объема крови. Адекватные нагрузки для детей младшего школьного возраста при работе руками в 2–2,5 раза меньше по мощности, чем при работе ногами. У тренированных детей МОК при стандартных нагрузках быстрее достигает рабочего уровня, эти сдвиги более экономны и быстрее восстанавливаются по сравнению с изменениями МОК у нетренированных детей (рис. 52).

Рабочие изменения ***артериального давления*** из-за низкой мощности сердечной мышцы, малого систолического объема крови, относительно широкого просвета и высокой эластичности стенок сосудов сравнительно небольшие (до 150–160 мм рт. ст.). ***Минутный объем дыхания*** у детей 8–11 лет увеличивается при работе до 50–60 л/мин, но при небольшой глубине дыхания резко нарастает частота дыхания.

Дыхание неравномерное, зачастую возникают задержки дыхания. Большое значение для детей имеет носовое дыхание. От него дети зависят больше, чем взрослые, так как их носовые проходы узкие, а реакции кровеносных сосудов слизистой дыхательных путей на изменения температуры внешней среды еще несовершенны.

Игры и эстафеты за счет высокой эмоциональности детей вызывают ***резкое нарастание у них ЧСС и изменения дыхания.*** Повышение мощности нагрузки вызывает у младших детей гораздо большее увеличение ЧСС и частоты дыхания, чем у более старших. Часто (в 12–13% случаев) в состоянии покоя встречаются значительные дыхательные аритмии, которые исчезают при рабочем учащении дыхания до 30 вд./мин.

Дети младшего школьного возраста и особенно дошкольного возраста не переносят длительные интенсивные нагрузки, связанные с накоплением кислородного долга и с задержкой дыхания. В их крови при задержке дыхания очень быстро падает содержание оксигемоглобина. Непроизвольное прекращение ***задержки дыхания*** наступает при гораздо более высоких его концентрациях, чем у взрослых, обусловливая малую продолжительность подобных задержек (табл. 22).

Таблица 22

Возрастные изменения длительности задержки дыхания на вдохе
(по: Е.К. Аганянц и др., 1991)

Возраст, лет	6	7	8	9	10	11
Время задержки, с	16	26	32	34	37	39

Аэробные возможности детей нарастают с возрастом, увеличиваясь в абсолютных значениях МПК (л/мин) примерно до 15 лет. У мальчиков МПК составляет в 7–8 лет – 1,3 л/мин, в 8–9 лет – 1,5, в 9–10 лет – 1,6, в 10–11 лет – 1,7 л/мин. Эти значения гораздо ниже, чем у взрослых. Однако относительные величины МПК (мл/мин/кг) у детей очень высоки, близки к показателям

нетренированных взрослых лиц, а у некоторых детей даже превосходят их. У мальчиков младшего школьного возраста значения МПК превышают эти показатели у девочек (табл. 23).

Таблица 23

Возрастная динамика относительных величин максимального потребления кислорода (МПК)
(по: А.А. Гуминский, 1973)

Возраст, лет	МПК мальчиков, мл/мин/кг	МПК девочек, мл/мин/кг
9–10	46,8–44,2	34,8–38,0
11–12	44,6–43,2	37,8–38,3
13–14	45,4–46,5	37,5–34,8
15–18	46,3–45,3	34,2–33,1

Величина предельного кислородного долга у детей 8–11 лет не превышает 1,5–3 л. Это ограничивает возможности выполнения работы субмаксимальной мощности (например, бег на средние дистанции). При подобных нагрузках энергообразование идет за счет реакций гликолиза, но у детей эти реакции развиты недостаточно в связи с малыми запасами углеводов в организме и затруднениями в их мобилизации. Быстрое снижение концентрации глюкозы в крови является лимитирующим фактором при данных нагрузках. При этом даже не накапливается в крови большого количества ***лактата*** – максимальная его концентрация у детей в 7–9 лет составляет только 9 мМоль/л, т.е. вдвое ниже, чем у взрослых. Для развития анаэробных возможностей у детей дошкольного и младшего школьного возраста анаэробные нагрузки следует включать в занятия физическими упражнениями, но их доля не должна превышать 20% общего объема нагрузки.

Статические нагрузки вызывают негативные реакции сердечно-сосудистой и дыхательной систем у детей. У них отмечается увеличение не только максимального, но и минимального артериального давления, что резко ухудшает условия кровоснабжения. В восстановительном периоде у детей сильно выражен феномен статических усилий – после рабочего увеличения функций дыхания и кровообращения. Такие реакции обнаруживаются даже при локальных статических усилиях. Глобальные статические нагрузки маленьким детям вообще противопоказаны.

Вращательные нагрузки вызывают у детей дошкольного и младшего школьного возраста отличную от взрослых реакцию сердечно-сосудистой системы. У них по сравнению со взрослыми

наблюдается большая доля парасимпатических эффектов (замедления ЧСС) и меньшая доля симпатических эффектов (учащением ЧСС), а также более частое отсутствие изменений ЧСС (табл. 24).

Таблица 24

Возрастная динамика изменений ЧСС после вращательных нагрузок в тесте «Вертикаль» (по: А.А. Зайцев, 1999)

Возраст, лет	Без изменений, %	Парасимпатич. эффект, %	Симпатич. эффект, %
5–6	21	36	43
7–8	26	27	47
9–10	23	25	52
11–12	20	22	58
13–14	18	26	56
15–16	11	19	70
17–18	9	22	69

Наиболее адекватными для детей являются кратковременные динамические нагрузки с небольшими интервалами, более длительные циклические упражнения невысокой мощности (аэробного характера) и скоростно-силовые упражнения.

2.6.4. Влияние систематических физических нагрузок на развитие функций, здоровье и работоспособность детей

Двигательная активность детей очень высока. Она совершенно необходима для нормального развития всех органов и систем организма, повышения устойчивости к неблагоприятным условиям внешней среды и снижения заболеваемости.

Число шагов, подсчитанных за сутки, неуклонно растет по мере повышения возраста детей (табл. 25). У отдельных 7-летних мальчиков суточное количество шагов может доходить до 20–22 тыс. Понятно, что существующий школьный режим не удовлетворяет этим требованиям. Потребность в двигательной активности в детских садах и начальной школе удовлетворяется примерно на 30–50%.

Таблица 25

Нормы двигательной активности детей – число шагов за сутки (по данным Минздрава СССР, 1986)

Возраст, лет	3	4	5	6	7	11–14	15–17
Число шагов, тыс.	9–12	12–13	14–15	15–16	17–18	18–25	25–30

Все большее значение приобретает проблема физиологической незрелости детей (Аршавский И.А., 1985). Число таких детей постоянно растет. Это доношенные дети, родившиеся в срок, с нормальным весом (3–3,5 кг) и длиной тела (50–52 см), но функционально незрелые.

Основным ***признаком физиологической незрелости является мышечная гипотония*** (тонкие и слабые мышечные волокна с низким мышечным тонусом), которая сопровождается ***пониженной двигательной активностью.*** Эти дети отличаются слабым типом нервной системы, малой выраженностью положительных эмоций (подавленное настроение, слезливость и пр.), эмоциональной нестабильностью, низкой устойчивостью к инфекционным и простудным заболеваниям (сниженный иммунитет), задержкой полового развития (инфантилизм), низкой умственной и физической работоспособностью. В возрасте 6 лет такие дети не готовы к поступлению в школу. Количество детей, не достигших «школьной зрелости» в 6-летнем возрасте, составляет около 18%. У «незрелых» детей по сравнению со «зрелыми» умственная работоспособность ниже на 30–72%, величина МПК (л/мин) у мальчиков ниже на 15,8%, относительная величина МПК ниже на 7,6%.

Главным фактором в борьбе с этим состоянием является правильно организованная двигательная активность. Только постепенное наращивание мышечной деятельности может нормализовать функционирование центральной нервной системы, сенсорных систем, секрецию эндокринных желез, работу органов кровообращения и дыхания и других систем организма.

Дети первых лет жизни приобщаются к систематическим занятиям плаванием, фигурным катанием, гимнастикой и акробатикой, прыжками в воду, теннисом. Начинается их подготовка к занятиям волейболом, баскетболом, лыжному спорту, легкой атлетике. ***Начало спортивной специализации*** в различных видах спорта, несмотря на процессы эпохальной и индивидуальной акселерации, ***должно быть, по мнению ряда специалистов, не ранним, а своевременным.*** Форсирование физических нагрузок недопустимо. Они должны соответствовать возрастным особенностям и индивидуальным возможностям детского организма.

Ранняя спортивная специализация при недостаточной адекватности применяемых нагрузок может задержать рост и развитие ребенка, ограничить спортивные достижения. При больших психоэмоциональных напряжениях и низких энерготра-

тах спортивные упражнения могут задерживать развитие функций сердца. Имеются данные о том, что мальчики, начавшие заниматься плаванием в 10–13 лет, выполняли нормативы мастера спорта в 66% случаев, а начавшие заниматься в 6–9 лет – только в 12,5% случаев.

В то же время ***оптимальные систематические занятия физическими упражнениями совершенно необходимы растущему организму.*** Повышенный двигательный режим увеличивает темпы созревания всех органов и систем у дошкольников. Ускоряется развитие физических качеств.

Увеличение моторной плотности физкультурных занятий в дошкольных учреждениях на 20–25% за счет введения элементов акробатики, различных игр и эстафет уже в течение года дает заметный прирост силы (особенно у мальчиков) и скоростно-силовых возможностей, повышая дальность прыжка по сравнению с обычным режимом при низкой моторной плотности занятий.

Наряду с увеличением объема общей двигательной активности у детей дошкольного возраста ***важное значение имеет использование мануальных упражнений*** (движений рук). Развитие ручной ловкости, координации мелких движений пальцев оказывает специфические воздействие на формирование речи ребенка. Это связано с тем, что моторные центры движений пальцев рук находятся в коре больших полушарий в непосредственной близости к моторному центру речи. Чем лучше развита способность к собственному осуществлению речевой функции и пониманию речи посторонних лиц, тем выше возможность осознанной ***речевой регуляции движений.*** У детей следует преимущественно использовать наглядные методы обучения. Демонстрации упражнений необходимо сопровождать словесными указаниями, приучать детей к речевым отчетам.

Величина основного обмена генетически детерминирована. Однако систематические физические упражнения сохраняют высокий его уровень, препятствуя возрастному снижению основного обмена и способствуя ускоренному приросту массы тела. Нарастание мышечной массы повышает мышечную силу, обеспечивает укрепление «мышечного корсета», стабильное сохранение позы, улучшает осанку ребенка.

При раннем начале систематических занятий физическими упражнениями следует особенно ***тщательно регламентировать статические нагрузки,*** вызывающие негативные реакции не-

окрепшего детского организма, не допускать асимметричных перегрузок отдельных мышечных групп для избежания непропорционального развития тела и функциональной асимметрии.

Длительные систематические ***закаливающие процедуры*** у детей дошкольного возраста (воздушные и водные ванны, игры на свежем воздухе) ***уравновешивают тонус симпатического и парасимпатического отделов нервной системы, ускоряют развитие механизмов физической терморегуляции. Они снижают возможность простудных заболеваний детей.***

Младший школьный возраст является благоприятным для разучивания новых движений. Считают, что с 5 до 10 лет ребенок усваивает примерно 90% общего объема приобретаемых в жизни двигательных навыков. При этом у юных спортсменов повышаются возможности варьирования движений во времени и пространстве, в зависимости от возникающих ситуаций, возрастает функциональная лабильность нервных и мышечных звеньев, подвижность нервных процессов в коре больших полушарий.

Большое значение при занятиях физическими упражнениями имеет ***интенсивность применяемых нагрузок.*** На протяжении периода младшего школьного возраста в пробах с велоэргометрическими нагрузками до отказа ***наибольший прирост объема выполняемой работы наблюдался лишь при выполнении нагрузок умеренной мощности (50% от максимального темпа педалирования).*** Прирост длительности работы при нагрузках максимальной (100%) и субмаксимальной (80%) мощности – самый низкий. Самый большой прирост темпа педалирования и выносливости наблюдается в период от 7–8 до 9–10 лет, причем у мальчиков прирост больше, чем у девочек. Объем выполненной работы с большой мощностью (70% от максимальной) за этот период почти удваивается.

Адаптация к циклической работе различной мощности у младших школьников сопровождается снижением уровня биоэлектрической активности мышц, улучшением координации мышц-антагонистов, что отражает совершенствование и экономизацию центральных регуляторных воздействий.

У тренированных школьников по сравнению со сверстниками, не занимающимися физическими упражнениями, отмечается ускорение процессов врабатывания и восстановления, появление периода устойчивого состояния во время работы, проявление синхронизации частоты дыхания и частоты шагов. У юных фехтовальщиков, борцов, боксеров уже после одного года

систематических спортивных занятий отмечалось существенное сокращение времени двигательной реакции на свет и звук, повышение возбудимости зрительной и моторной систем, налаживание взаимосвязей моторной и вегетативных систем.

У юных спортсменов быстрее развертываются функции дыхания и сердцебиения, ускоряется повышение минутного объема дыхания и минутного объема кровотока. В возрасте 9–10 лет у девочек повышение минутного объема кровотока обеспечивается большим нарастанием ЧСС, а у мальчиков – преимущественным ростом систолического объема крови. Возрастной особенностью является то, что после окончания работы показатели систолического и минутного объема крови еще некоторое время (1–2 минуты) продолжают нарастать и лишь затем снижаются, в отличие от показателей ЧСС, которые сразу начинают снижаться.

У юных спортсменов развитие тренированности сопровождается меньшим проявлением спортивной брадикардии в состоянии покоя, чем у взрослых. При больших нагрузках у юных спортсменов часто встречаются синусовые аритмии, которые могут свидетельствовать о физическом перенапряжении и нарушении автоматии сердца.

При систематических занятиях физическими упражнениями в период от 7–8 до 10–11 лет существенно увеличиваются аэробные возможности организма, особенно при работе 70–80% мощности от максимальной. Аэробные возможности (потребление кислорода на единицу массы тела) и аэробно-анаэробные возможности у мальчиков быстрее нарастают в возрасте 9–10 лет, у девочек – на 1–2 года позже – в 11–12 лет. На начальных этапах адаптации детей к физическим нагрузкам их аэробные возможности особенно зависят от увеличения объема легких и внешнего дыхания. Удельный вес показателей вентиляционной системы на этих этапах составляет от 35 до 90%.

У юных спортсменов младшего школьного возраста относительная величина МПК заметно превышает этот показатель у детей, не занимающихся спортом. Например, у юных конькобежцев 11–12 лет II юношеского разряда этот показатель составляет 47,7 мл/мин/кг, у нетренированных детей того же возраста 43,2–50 мл/мин/кг. У юных футболистов 11–12 лет относительная величина МПК (50мл/мин/кг) также превышает возрастную норму. ***Анаэробное обеспечение кратковременных физических нагрузок (80–100% мощности) развивается поз-***

же – у девочек лишь к 10–11 годам, а у мальчиков – еще на 1–2 года позже. Концентрация лактата при работе на уровне МПК у детей 7–11 лет в 1,5–2 раза ниже, чем у взрослых.

Суточные энерготраты *у* юных спортсменов 7–10 лет достигают 2300 ккал (у взрослых спортсменов – до 5000–6000 ккал).

Анализ ***нормирования физических нагрузок*** с учетом возрастных особенностей показал, что для непрерывного выполнения циклической работы детьми 7–8 лет на протяжении 15 мин величина нагрузки не должна превышать 1/5 МПК (при мощности порядка 7 кгм/мин/кг), а в 10-летнем возрасте для 20-минутной работы – не более 1/3 МПК (8 кгм/мин/кг). Предельная продолжительность циклических упражнений большой мощности (70% максимальной) у младших школьников не должна превышать 4–5 минут; субмаксимальной нагрузки (80%) – не более 50 с; максимальной нагрузки (100%) – 10 с.

При развитии выносливости к различным циклическим упражнениям рекомендуемый темп ходьбы у 7–8-летних детей составляет 100 шагов в 1 мин, у 9–10-летних – 100–120. В лыжной подготовке наиболее эффективным для развития выносливости оказалось сочетание физических нагрузок большой и умеренной интенсивности (со скоростью 1,8–1,9 и 1,5–1,6 м/с).

Кратковременные статические нагрузки (длительностью не более 10–15 с) у детей 10–12 лет полезно использовать для совершенствования функций ЦНС, двигательного аппарата и сердечно-сосудистой системы. Однако их ***следует строго дозировать*** – величина поднимаемого веса при однократном выполнении у детей 8–10 лет не должна превышать 50% массы собственного тела, а длительность упражнений – 10–20 с.

Для оценки общей работоспособности детей рекомендовано использовать адаптированный тест PWC_{170} с выполнением одной нагрузки вместо двух. Используют нашагивание на скамейку в течение 5 мин в таком темпе, который обеспечивает подъем пульса не менее чем на 40 уд./мин, т.е. до 140–160 уд./мин.

Величину физической работоспособности при этом рассчитывают по формуле:

$$PWC_{170} = W \times \frac{170 - ЧСС_0}{ЧСС_1 - ЧСС_0},$$

где $ЧСС_0$ – частота сердцебиений в покое, $ЧСС_1$ – частота сердцебиений при работе (рекомендуемая $ЧСС_1$ – 130 уд./мин), W – мощность работы.

Мощность работы высчитывается по формуле:

$$W = p \times h \times n \times 1{,}2\,,$$

где n – 25 циклов/мин, p – масса тела (кг), h – высота ступеньки (м).

Для дошкольников рекомендуется работа в течение 2 мин; высота ступеньки в возрасте 4 года – 12–16 см, 5 лет – 18–24 см, 6 лет – 20–24 см. Для школьников: до 8 лет – подъем 2 мин на 35 см; 8–11 лет – 3 мин на 35 см; 12–18 лет – 4 мин на 40 см (девочки) и 45 см (мальчики).

Возрастные изменения показателя PWC_{170} представлены в табл. 26.

У юных спортсменов уровень общей физической работоспособности повышен по сравнению с нетренированными сверстниками. Так, например, у юных спортсменов 9–10 лет, занимающихся кикбоксингом, величина PWC_{170} составляет 540 кгм/мин и относительная величина 16,3 кгм/мин/кг, а у нетренированных мальчиков 9–10 лет соответственно 392–398 кгм/мин и 12,2–12,4 кгм/мин/кг (см. табл. 26).

Таблица 26

Возрастная динамика показателей физической работоспособности у мальчиков (по данным разных авторов)

Возраст, лет	Пульс в покое, уд./мин	Физическая работоспособность при пульсе 170, кгм/мин	Относительная работоспособность, кгм/мин/кг
3–4	100–102	127–149	8,1–8,9
4–5	96–102	195–237	10,5–11,7
6,5	107	307	12,0
7	107	296	10,9
8	102	313	10,7
9	99	392	12,2
10	89	398	12,4
11–12	85	495	12,5
13–14	87	666	13,4
15–16	81	870	13,4

Систематические занятия физическими упражнениями укрепляют здоровье, повышают неспецифическую резистентность юных спортсменов к простудным заболеваниям и вирусным инфекциям. Многолетние наблюдения за девочками, начавшими заниматься художественной гимнастикой с 7 лет,

показали, что за прошедшие 3 года тренировок острые респираторные заболевания у них встречались в 3 раза реже, чем у нетренированных сверстниц, почти в 3 раза было меньше количество дней нетрудоспособности. Число заболеваний гриппом и количество дней нетрудоспособности у них было на 1/3 меньше, чем в контрольной группе нетренированных девочек. Величины средней продолжительности болезни были ниже у юных гимнасток.

Наряду с детьми, соответствующими по развитию физических качеств и работоспособности средним статистическим показателям, имеются отдельные индивиды с ***исключительными способностями.*** Известно, что некоторые дети в возрасте 7–9 лет имели МПК=70 мл и более (что характерно лишь для взрослых высококвалифицированных спортсменов), преодолевали марафонскую дистанцию, переплывали пролив Ла-Манш, могли подтянуться на перекладине 65 раз и отжаться от пола более 3 тыс. раз и т.п. ***Такие способности детерминируются генетически,*** и тренеры находятся в непрерывном поиске подобных талантов.

3. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗМА ДЕТЕЙ СРЕДНЕГО И СТАРШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА И ИХ АДАПТАЦИЯ К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ

Школьный возраст, начинаясь с 6–7 лет, продолжается (при 10–11-летнем обучении и с переходом к 12-летнему обучению) до 17–19 лет. ***Средний школьный возраст*** (от 10 до 13–14 лет) и ***старший школьный возраст*** (до 17–19 лет) резко различаются по морфофункциональным и психофизиологическим характеристикам. Эти этапы школьного обучения охватывают частично второе детство (10–12 лет), подростковый возраст (девочки от 12 до 15 лет и мальчики от 13 до 16 лет) и частично юношеский возраст (девушки от 16 до 17–19 лет и юноши от 17 до 19 лет).

В связи с существенными на этом этапе онтогенеза перестройками организма, связанными с половым созреванием, особо выделяют так называемый переходный период, или пубертат.

В нем различают следующие этапы:

- ***препубертатный*** период (10–12 лет);
- ***собственно пубертатный*** период, протекающий в 2 фазы: 1-я фаза – девочки 11–13 лет и мальчики 13–15 лет; 2-я фаза – девочки 13–15 лет и мальчики 15–17 лет;
- ***постпубертатный*** период (юношеский возраст).

Длительность переходного периода контролируется генетически и имеет значительный индивидуальный разброс. У одних детей он может занимать около года, а у других – до нескольких (трех – пяти) лет.

3.1. РАЗВИТИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ, ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

В среднем и старшем школьном возрасте значительное развитие отмечается во всех высших структурах ЦНС. К периоду половой зрелости вес головного мозга по сравнению с новорожденным увеличивается в 3,5 раза у юношей и в 3 раза у девушек.

До 13–15 лет продолжается развитие промежуточного мозга. Происходит рост объема нервных волокон таламуса, дифференцирование ядер гипоталамуса. К 15-летнем возрасту взрослых размеров достигает мозжечок.

В коре больших полушарий общая длина борозд к 10 годам увеличивается в 2 раза, а площадь коры – в 3 раза. У подростков заканчивается процесс миелинизации нервных путей.

Период с 9 до 12 лет характеризуется резким увеличением взаимосвязей между различным корковыми центрами, главным образом за счет роста отростков нейронов в горизонтальном направлении. Это создает морфофункциональную основу развития интегративных функций мозга, установления межсистемных взаимосвязей.

В возрасте 10–12 лет усиливаются тормозные влияния коры на подкорковые структуры. Формируется близкие к взрослому типу корково-подкорковые взаимоотношения с ведущей ролью коры больших полушарий и подчиненной ролью подкорки.

В ЭЭГ к 10–12-летнему возрасту устанавливается взрослый тип электрической активности со стабилизацией амплитуды и частоты корковых потенциалов, выраженным доминированием альфа-ритма (8–12 колеб./с) и характерным распределением ритмической активности по поверхности коры.

При различных видах деятельности с повышением возраста от 10 до 13 лет в ЭЭГ регистрируется резкое возрастание пространственной синхронизации потенциалов разных корковых зон, что отражает установление между ними функциональных взаимосвязей (см. рис. 51). Создается функциональная основа для системных процессов в коре, обеспечивающих высокий уровень извле-

чения полезной информации из афферентных сообщений, построения сложных многоцелевых поведенческих программ.

У 13-летних подростков существенно улучшается способность к переработке информации, быстрому принятию решений, повышение эффективности тактического мышления. Время решения тактических задач у них достоверно сокращается по сравнению с 10-летними. Оно мало изменяется к 16-летнему возрасту, но еще не достигает взрослых величин.

Помехоустойчивость поведенческих реакций и двигательных навыков достигает взрослого уровня уже к возрасту 13 лет. Эта способность имеет большие индивидуальные различия, она контролируется генетически и мало изменяется в процессе тренировки.

Плавное улучшение мозговых процессов у подростков нарушается по мере вступления их в период полового созревания – у девочек в 11–13 лет, у мальчиков в 13–15 лет. Этот период характеризуется ***ослаблением тормозных влияний коры*** на нижележащие структуры и «буйством» подкорки, вызывающим ***сильное возбуждение*** по всей коре и усиление эмоциональных реакций у подростков. Возрастает активность симпатического отдела нервной системы и концентрация адреналина в крови. Ухудшается кровоснабжение мозга.

Такие изменения ведут к нарушению тонкой мозаики возбужденных и заторможенных участков коры, координации движений, ухудшают память и чувство времени. Поведение подростков становится нестабильным, часто немотивированным и агрессивным. В межполушарных отношениях также возникают существенные изменения – ***временно усиливается роль правого полушария в поведенческих реакциях.*** У подростка ухудшается деятельность второй сигнальной системы (речевые функции), повышается значимость зрительно-пространственной информации. Отмечаются нарушения высшей нервной деятельности – нарушаются все виды внутреннего торможения, ***затрудняется образование условных рефлексов, закрепление и переделка динамических стереотипов.*** Наблюдаются расстройства сна.

Снижение контролирующих влияний коры на поведенческие реакции приводит к внушаемости и несамостоятельности некоторых подростков, которые легко перенимают ***вредные привычки,*** стараясь подражать старшим товарищам. Именно в этом возрасте чаще всего возникает тяга к табакокурению, употреблению алкоголя, приему наркотиков. Особенно возрастает контингент

зараженных вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ) и страдающих вследствие этого СПИДом (синдромом приобретенного иммунодефицита). Систематический прием сильнодействующих наркотиков приводит к смертельному исходу уже через 4 года после начала приема. Наибольшая частота смертей регистрируется у наркоманов примерно около 21 года. Немногим больше продолжается жизнь заболевших СПИДом. Возросшее количество заболевших СПИДом за последние годы требует усиленного внимания для профилактики и контроля этого состояния. Одним из важнейших средств профилактики вредных привычек являются занятия физическими упражнениями и спортом.

Гормональные и структурные перестройки переходного периода замедляют рост тела в длину, снижают темпы развития силы и выносливости.

С окончанием этого периода перестроек в организме (после 13 лет у девочек и 15 лет у мальчиков) снова усиливается ведущая роль левого полушария головного мозга, ***налаживаются корково-подкорковые отношения с ведущей ролью коры.*** Снижается повышенный уровень корковой возбудимости и нормализуются процессы высшей нервной деятельности.

Переход от возраста подростков к юношескому возрасту знаменуется возросшей ролью переднелобных третичных полей и ***переходом доминирующей роли от правого к левому полушарию (у правшей).*** Это приводит к значительному совершенствованию абстрактно-логического мышления, развитию второй сигнальной системы и процессов экстраполяции.

Деятельность ЦНС вплотную приближается к взрослому уровню, но еще отличается меньшими функциональными резервами, более низкой устойчивостью к действию высоких умственных и физических нагрузок.

В среднем школьном возрасте (к 12–14 годам) в основном заканчивается созревание всех сенсорных систем.

Зрительная сенсорная система уже в 10–12-летнем возрасте достигает функциональной зрелости. К этому моменту совершенствуются функции ее коркового представительства, развивается система более сложных нейронов-детекторов, обеспечивающих высокий уровень зрительного восприятия, обогащаются межцентральные взаимосвязи зрительных центров с другими зонами коры, позволяя интегрировать зрительные впечатления в общую систему регуляции поведения. В затылочной области

коры, где находятся проекции первичных зрительных полей, устанавливается взрослый тип альфа-активности ЭЭГ.

Глаза становятся соразмерными, т.е. длина зрительной оси глаза теперь соответствует преломляющей силе и фокусирование лучей происходит непосредственно на сетчатке. ***Детская дальнозоркость при этом исчезает.*** Вместе с тем, благодаря чрезвычайно высокой эластичности хрусталика, дети могут четко видеть предметы на близком расстоянии. Ближайшая точка ясного видения у школьников понемногу отодвигается, но привычка рассматривать мелкие предметы с близкого расстояния может постепенно привести к ***развитию близорукости.*** Длина глазного яблока в этих условиях продолжает с возрастом увеличиваться. Этому способствуют чтение на близком расстоянии от книги, чтение лежа, а также систематическая работа с мелкими предметами. Чтение или работа на близком расстоянии составляют на уроках в среднем и старшем школьном возрасте от 65 до 90% учебного времени. Длительное напряжение глазодвигательных мышц сдавливает глазное яблоко, уплощая и удлиняя его. Фокусирование лучей происходит перед сетчаткой, а изображение на сетчатке оказывается расплывчатым. Для профилактики этих явлений необходимо соблюдать правильную рабочую позу, читать при достаточном освещении, предохранять глаза от переутомления.

У подростка заметно ***повышается острота зрения, расширяется поле зрения, улучшается бинокулярное зрение, совершенствуется различение цветовых оттенков.*** Глубинное зрение продолжает развиваться до 16–17 лет, когда оно достигает конечных величин, а светочувствительность увеличивается до 20-летнего возраста.

Пропускная способность зрительной сенсорной системы растет с возрастом (табл. 27), уже к 10–11-летнему возрасту соответствуя взрослому уровню (около 2–4 бит/с). У девочек поле

Таблица 27

Возрастная динамика пропускной способности (бит/с) зрительной сенсорной системы (по: Ю.А. Ермолаев, 1985)

Возраст, лет	Девочки	Мальчики
7–8	1,00	1,09
10–11	2,18	2,06
12–13	2,53	2,12
13–14	2,90	2,60
17–18	3,38	2,65
19–22	3,13	2,88

зрения и пропускная способность больше, чем у мальчиков, а глазомер выражен хуже.

Скорость и четкость зрительных восприятий отражается в показателях критической частоты слияния световых мельканий (КЧСМ), когда отдельные световые вспышки начинают восприниматься как сплошной свет. Показатель КЧСМ растет с возрастом: в 7–8 лет он составляет 25 Гц, в 9–11 лет – 30 Гц, в 12–14 лет – 40 Гц (что соответствует взрослому уровню). Зрачковый рефлекс на свет достигает взрослых величин в старшем школьном возрасте.

Совершенствование зрительной сенсорной системы позволяет значительно улучшить ориентацию в пространстве, выделение значимой информации из потока внешних сигналов. Это, в свою очередь, повышает точность и координацию движений, расширяет сферу деятельности растущего организма.

Созревание ***слуховой сенсорной системы*** (главным образом ее коркового отдела) завершается к 12–13-летнему возрасту. Резко ***снижаются пороги слышимости звуков,*** особенно в речевом диапазоне (1000–4000 Гц). Повышение остроты слуха позволяет хорошо дифференцировать звуковые раздражители. Улучшается скорость и точность восприятия речи, развивается музыкальный слух.

К 11-летнему возрасту повышается точность оценки протяженности звучания различных сигналов и длительности звуковых интервалов, что имеет важное значение для формирования чувства времени у подростков, а совершенствование в этом возрасте бинаурального слуха улучшает пространственную ориентацию.

Вместе с тем у подростков и юношей ***начинает снижаться восприятие высоких частот,*** этот процесс продолжается и далее в зрелом возрасте и по мере старения организма.

На нормальную деятельность слуховой сенсорной системы, особенно у подростков, негативное влияние оказывают громкие звуки. В частности, нужно помнить, что систематическое прослушивание громкой музыки через наушники плейеров нарушает воздушную и костную проводимость звуковых колебаний и часто приводит к патологическому снижению слуха.

Вестибулярная сенсорная система созревает к 14-летнему возрасту. Однако около 40% подростков характеризуется неустойчивостью к действию ускорений. В 15–16 лет еще часто проявляется недостаточная способность к сохранению равновесия на под-

вижной опоре. После 16 лет способность поддерживать равновесие значительно улучшается и стабилизируется.

С началом овариально-менструального цикла у девочек 12–13 лет вестибулярная устойчивость приобретает циклический характер, снижаясь в предменструальную и менструальную фазы и улучшаясь в постменструальную и постовуляторную фазы.

В подростковом и юношеском возрасте ***усиливаются вестибуло-вегетативные реакции симпатического типа,*** вызывающие повышение ЧСС (см. табл. 24). В результате вестибулярных нагрузок возникают различные (положительные или отрицательные) эмоциональные реакции, которые необходимо учитывать при работе с детьми, а также замедляется течение субъективного времени, что нарушает оценку временных интервалов.

Развитие ***двигательной сенсорной системы*** происходит непрерывно, значительно усиливаясь в возрасте от 7–8 до 13–15 лет, когда достигается оптимальный уровень ее развития. К этому времени в сочетании с ***кожной афферентацией*** формируется хорошо развитая комплексная ***кинестетическая чувствительность.***

В 16 лет точность различения мышечных напряжений практически не отличается от уровня взрослых людей. Благодаря четкому восприятию проприоцептивной информации увеличивается способность к управлению не только отдельными мышцами, но даже отдельными двигательными единицами.

3.2. ФИЗИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ И ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

С завершением периода второго детства, развертыванием переходного периода и наступлением юношеского возраста в растущем организме происходят значительные перемены в длине, массе, составе и пропорциях тела, в функционировании различных органов и систем.

Завершается формирование зубного аппарата. Вырастают клыки (10–12 лет) и малые коренные зубы (10–12 лет), затем вторые (12–14 лет) и третьи коренные зубы – «зубы мудрости» (17–25 лет).

В костной ткани продолжается ***процесс окостенения,*** который в основном завершается в юношеском возрасте. К 13 годам завершается окостенение пястных и запястных отделов рук, затем фаланг пальцев ног (у девушек к 13–17 годам, у юношей к 15–21 году) и фаланг пальцев рук (к 19–21 году). Незавершен-

ный процесс окостенения позвоночника может привести у подростков и юношей к различным его повреждениям при больших нагрузках. Окончательно процесс окостенения скелета завершается к 25-летнему возрасту.

Особенно заметным является ***«пубертатный скачок роста»*** – резкое увеличение длины тела, в основном за счет быстрого роста трубчатых костей (см. рис. 46). У девочек он наступает в среднем около 13 лет, когда годовой прирост у них достигает 8 см, у мальчиков – в 14 лет, составляя до 10 см в год. При этом у подростка непривычно вытягиваются конечности, но отстает рост грудной клетки. Временно нарушаются привычные пропорции тела и координация движений. Проявляются избыточность или дефицит массы тела. В юношеском возрасте увеличиваются поперечные размеры тела, устанавливаются индивидуальные его особенности, достигается гармоничные пропорции. Гармоничное развитие отмечается у 80–90% школьников.

Масса тела до 14 лет изменяется медленно. С 14–15 лет начинается ее бурное увеличение, которое сопровождается быстрым приростом массы сердца (рис. 53). Вес мышечной массы достигает к 15 годам 32% массы тела, к 17–18 годам – 44% (взрослого уровня).

В возрасте 8–18 лет значительно изменяется длина и толщина мышечных волокон. Происходит созревание быстрых утомляемых гликолитических мышечных волокон (II-б типа) и с окончанием переходного периода ***устанавливается индивидуальный тип соотношения медленных и быстрых волокон в скелетных мышцах.***

В среднем школьном возрасте завершается формирование у подростка присущего ему ***морфотипа:*** эктоморф (по другим классификациям – астеник, долихоморф) с узкими пропорциями тела, эндоморф (гиперстеник, брахиморф) с широкими пропорциями тела и промежуточный тип (мезоморф).

Постепенное и поэтапное упрочение костей, связочного аппарата и мышечной массы у подростка делает необходимым постоянно следить за формированием его правильной осанки и развитием мышечного корсета, избегать длительного использования асимметричных поз и односторонних упражнений, чрезмерных отягощений. Неправильное соотношение тонуса симметричных мышц приводит к асимметрии плеч и лопаток, сутулости и прочим ***функциональным нарушениям осанки.*** В среднем школьном возрасте нарушения осанки встречаются в 20–30% случаев, искривления позвоночника – в 1–10% случаев. У девочек и девушек осанка является более прямой, чем осанка мальчиков и юношей.

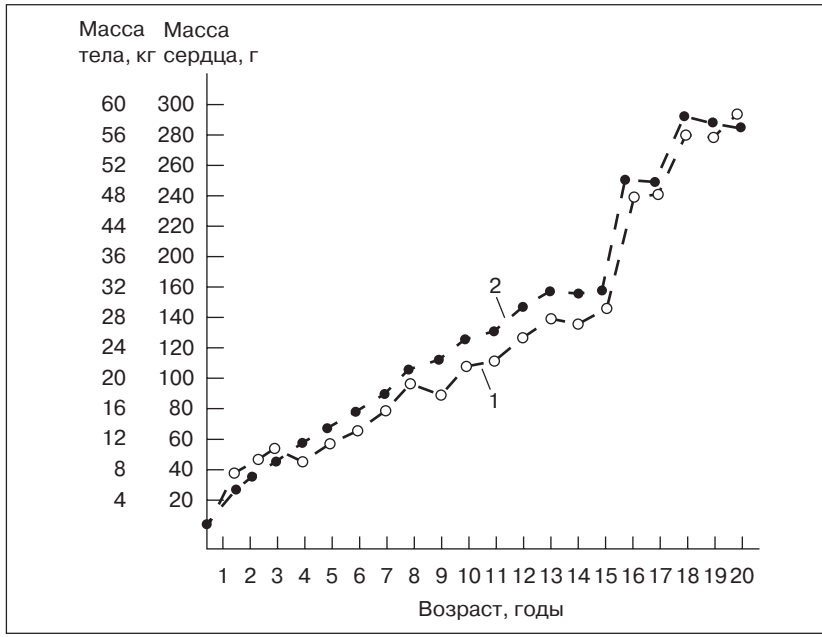


Рис. 53. Увеличение массы тела (1) и массы сердца (2) в процессе онтогенетического развития

Созревание опорно-двигательного аппарата и центральных регуляторных механизмов обеспечивает развитие важнейших качественных характеристик двигательной деятельности. На средний и старший школьный возраст приходятся ***сенситивные периоды развития силы, быстроты, ловкости и выносливости*** (см. рис. 38).

Уровень физического развития организма и качеств двигательной деятельности зависит от стадии полового созревания. Чем более высокая стадия полового созревания у подростка, тем выше его физические возможности и спортивные достижения.

Большая межиндивидуальная вариабельность длительности протекания у подростков переходного периода отражается на некоторой разноречивости результатов исследований сенситивных периодов разными авторами. Особенно это касается ***первой фазы пубертата,*** когда отмечается ***ухудшение двигательных функций и проявления физических качеств.*** Подростки в этот период неловки и угловаты. Движения их недостаточно координированы. Они не знают, куда девать такие длинные руки, как ловко управлять неожиданно выросшими ногами. Во всех их

действиях наблюдается обилие лишних движений. Повышены энерготраты на работу.

Нарушается моторика речи. Отмечается нарушение ритмичности и плавности речи, затрудняется регуляция громкости. Подростки часто сокращают слова, заменяя их междометиями. В этот период нарушается речевая регуляция движений. С окончанием переходного периода эти явления исчезают.

В юношеском возрасте в результате созревания опорно-двигательного аппарата и завершения развития физических качеств ***достигается высокое совершенство движений.*** Создается основа формирования наиболее сложных их форм, четкой ориентации во времени и пространстве, с максимальной выраженностью различных проявлений силы, ловкости и быстроты.

3.3. ОСОБЕННОСТИ КРОВИ, КРОВООБРАЩЕНИЯ И ДЫХАНИЯ

Количество крови в организме в процентах к массе тела уменьшается от периода новорожденности к возрасту 10–16 лет в 2 раза, но еще превышает конечные значения.

У дошкольников кроветворение происходит в костном мозгу всех костей, но с 12-летнего возраста – только в губчатом веществе плоских костей и эпифизах трубчатых костей, а в диафизах трубчатых костей красный костный мозг заменяется желтым жировым мозгом, не имеющим кроветворной функции.

На протяжении среднего и старшего школьного возраста ***увеличивается количество эритроцитов и гемоглобина, снижается количество лейкоцитов,*** в лейкоцитарной формуле продолжается снижение числа лимфоцитов и нарастание количества сегментированных нейтрофилов. К возрасту 14–16 лет картина крови практически уже соответствует взрослому организму. Однако еще встречается много незрелых форм лейкоцитов. Скорость оседания эритроцитов достигает взрослого значения 8–10 мм/ч.

В среднем и старшем школьном возрасте полностью формируется система кровообращения. ***Растут масса и объем сердца.*** Масса сердца по сравнению с новорожденным увеличивается к 10 годам в 6 раз, а к 16 годам – в 11 раз. За исключением периода 12–13 лет, масса сердца у мальчиков превышает аналогичные показатели у девочек. Рост массы сердца происходит с некоторым отставанием от роста массы тела. Особенно велик годовой прирост массы сердечной мышцы после 14 лет (см. рис. 53).

Объем сердца достигает 130–150 мл (у взрослых – 280 мл), а минутный объем крови – 3–4 л/мин (у взрослых – 5–6 л/мин).

Минутный объем крови увеличивается главным образом за счет возросшего систолического объема, который за период от 10 до 17 лет нарастает от 46 мл до 60–70 мл. За счет увеличенного систолического объема крови и повышения тонуса парасимпатического отдела нервной системы ***происходит дальнейшее снижение частоты сердечных сокращений (ЧСС):*** в среднем школьном возрасте ЧСС в покое около 80 уд./мин, а в старшем школьном возрасте (16–18 лет) соответствует взрослому уровню – 70 уд./мин. У подростков до 14 лет еще значительно выражена дыхательная аритмия, которая после 15–16 лет практически исчезает. С развитием у подростков проводящей системы сердца различные ***показатели ЭКГ*** в старшем школьном возрасте приближаются к показателям взрослого организма.

В связи с тем, что сердце выбрасывает за одно сокращение больший объем крови, ***нарастает величина артериального давления.*** У мальчиков в 11 лет АД = 104/61, в 12 лет – 108/65, в 13 лет – 112/65, в 14 лет – 115/66, в 15 лет – 120/68, в 16 лет – 125/73, в 17 лет – 125/73 мм рт. ст. У девочек после 13 лет эти показатели на 2–5 мм рт. ст. ниже.

Минимальное (диастолическое) артериальное давление увеличивается в меньшей степени, чем максимальное (систолическое) давление, поэтому растет их разность, т.е. пульсовое давление. Такие изменения улучшают кровоснабжение различных органов тела.

Рост ***просвета сосудов*** в переходный период (13–14 лет) отстает от увеличения сократительной силы миокарда. Это вызывает в ряде случаев явления ***юношеской гипертонии*** – повышение АД до 140 мм рт. ст. и выше.

В результате урежения ЧСС и увеличения длины сосудов, особенно у высокорослых подростков и юношей, происходит ***замедление кругооборота крови.*** Время кругооборота крови у дошкольников – 14 с, у младших школьников – 16 с, в среднем школьном возрасте –18 с, у старших школьников достигает взрослых значений – 20–22 с.

В целом происходящие в сердечно-сосудистой системе изменения (урежение ЧСС, удлинение периода общей диастолы, повышение АД, замедление кругооборота крови) свидетельствуют об экономизации функций сердца.

Система дыхания совершенствуется с возрастом. Увеличиваются длительность дыхательного цикла и скорость вдоха, продолжительнее становится выдох (особенно пауза на выдохе), снижается чувствительность дыхательного центра к недостатку кислорода и избытку углекислого газа. ***Совершен-***

ствуется регуляция дыхания, в том числе произвольная регуляция при осуществлении речевой функции. Экономизируются дыхательные реакции на нагрузки.

Возрастает дыхательный объем и соответственно снижается частота дыхания в 1 мин. У детей дошкольного и младшего школьного возраста легочная вентиляция нарастает преимущественно за счет учащения дыхания, у подростков – за счет повышения глубины дыхания, и лишь у половины из них при этом происходит и учащение дыхания. В 12-летнем возрасте частота дыхания составляет 19 вд./мин, а к 14-летнему возрасту она приближается к взрослому уровню – 16–18 вд./мин. ***Минутный объем дыхания*** в 10 лет составляет около 4 л/мин, в 14 лет – около 5 л/мин (у взрослых 5–8 л/мин). Происходящие изменения носят прогрессивный характер, позволяя улучшить газообмен в легких, так как при частом и неглубоком дыхании воздух обменивается преимущественно в воздухоносных путях, очень мало изменяя состав альвеолярного воздуха.

Однако дыхательные функции испытывают некоторые ***трудности развития в период полового созревания.*** Задержка роста грудной клетки при значительном вытягивании тела затрудняет дыхание у подростка. Масса легких в 12 лет оказывается в 10 раз больше первоначальной, но все же вдвое меньше, чем у взрослых. Повышение возбудимости дыхательного центра и временные нарушения регуляции дыхания вызывают у подростков особую непереносимость кислородного дефицита. При гипоксических состояниях у них могут возникать головокружения и обмороки.

В этот период у подростков наблюдается неритмичность дыхания, не завершен еще процесс расширения воздухоносных путей. Носовые ходы у детей узкие, их формирование заканчивается к 14–15 годам. Развитие новых ветвей бронхиального дерева, заметно усилившееся еще до начала пубертатного периода, ускоряется после его окончания. После 11–12 лет процесс расширения бронхов начинает преобладать над их удлинением. Происходит бурное развитие альвеол.

Объемы легких зависят от стадий полового созревания, которые проходят у девушек раньше, чем у мальчиков. ***Общая емкость легких и жизненная емкость легких*** у 13-летних девочек составляют около 93% от величин этих объемов у 18-летних девушек, а у 12–13-летних мальчиков – лишь 73% к этим объемам у 18-летних юношей. У мальчиков ЖЕЛ больше, чем у девочек, на всех стадиях полового развития. С небольшими колебаниями ЖЕЛ составляет

в младшем школьном возрасте около 1 л, в среднем школьном возрасте – порядка 2 л, в старшем школьном возрасте – примерно 3 л.

Относительно величин ЖЕЛ в литературе отмечается значительные различия у разных авторов. Это, по-видимому, можно объяснить тем, что ЖЕЛ зависит от многих факторов: возраста и пола, стадии полового созревания, влияний эпохальной и индивидуальной акселерации, характера морфотипа и популяционных особенностей строения тела, климатогеографических и социально-экономических условий жизни и т.п. Можно привести для примера наиболее часто встречающиеся данные о возрастной динамике ЖЕЛ (табл. 28).

Таблица 28

Возрастная динамика величин жизненной емкости легких (мл) за период от 4 до 17 лет

Возраст, лет	4	5	6	7	8	10	12	15	17
Мальчики	1200	1200	1200	1400	1440	1630	1975	2600	3520
Девочки	1000	1000	1100	1200	1360	1460	1905	2530	2760

К 16–17 годам развитие дыхательных функций в основном завершается. Однако возможности дыхательной системы даже в юношеском возрасте оказываются все еще ниже, чем у взрослого организма. В 17–18-летнем возрасте реакции дыхания на нагрузки еще менее экономичны, недостаточна выносливость дыхательных мышц.

Прекращение прироста функциональных показателей дыхания происходят в женском организме в возрасте 17–18 лет, в мужском – в возрасте 19–20 лет.

3.4. ОСОБЕННОСТИ ПИЩЕВАРЕНИЯ, ВЫДЕЛЕНИЯ И ЭНДОКРИННОЙ СИСТЕМЫ

Для растущего организма огромное значение имеет качественное и разнообразное питание, важен рациональный режим поступления пищи. Для среднего и старшего школьного возраста оптимальное количество приема пищи – 3–4 раза в сутки. Соблюдение четкой периодичности режима питания способствует выработке условных пищевых рефлексов и развитию аппетита, необходимых для улучшения процессов переваривания пищи и ее усвоения организмом. При четырехразовом питании усваивается около 80% поступающей в организм пищи, а при трехразовом – около 75%.

Прорезывание постоянных зубов (кроме зубов мудрости) заканчивается к 14-летнему возрасту. Полноценный зубной аппарат обеспечивает хорошую механическую обработку пищи у подростка.

К возрасту 13–15 лет устанавливается взрослый уровень объема и концентрации выделяемых пищеварительных соков, достигается максимальная активность пищеварительных ферментов, повышается кислотность желудочного сока, развивается полостное пищеварение.

В этот период еще продолжается морфологическое развитие желудочно-кишечного тракта. С возрастом увеличивается длина пищевода (в 5 лет – 16 см, в 15 лет – 19 см, у взрослых – 25 см). В 12–15 лет заметно нарастает длина кишечника. В 14–15 лет особенно увеличивается печень. До 19 лет растет поджелудочная железа.

Мышечный слой желудка и кишечника становится толще, увеличивается сила сокращения гладких мышц. ***Активизация моторики желудка и кишечника*** облегчает перемешивание пищи, улучшая ее переваривание и продвижение пищевого комка по желудочно-кишечному тракту. В 10-летнем возрасте процессы всасывания в желудке прекращаются и осуществляются у подростка главным образом в тонком кишечнике.

К старшему школьному возрасту все основные функции пищеварительной системы завершают свое развитие, адаптируя организм к приему различной смешанной пищи и хорошее ее усвоение.

В поддержании постоянства внутренней среды (гомеостаза) важная роль принадлежит ***мочевыделительной системе*** (почки, мочеточники и мочевой пузырь). Почки достаточно полно сформированы уже к 2–3 годам. Особенно значительный прирост массы почек отмечается в период полового созревания.

В среднем школьном возрасте (12–14 лет) заканчивается функциональное созревание процессов мочеобразования – фильтрации и реабсорбции (обратного всасывания). Происходит образование первичной и вторичной мочи, близкой по количеству и составу к конечным показателям (увеличивается во вторичной моче количество мочевины, натрия, и уменьшается количество молочной кислоты). Суточное количество выделяемой мочи в 10-летнем возрасте составляет 1,5 л, а в период полового созревания достигает взрослого уровня – до 2,0 л.

Хотя условно-рефлекторный механизм выделения мочи устанавливается в первые годы жизни ребенка, но еще и в среднем

школьном возрасте встречается ночное непроизвольное недержание мочи (энурез). ***Около 5–10% подростков до 13–14 лет страдают энурезом.*** В основном это дети, находящиеся в невротическом состоянии, излечение от которого снимает явления недержания.

В последние годы заметно возросло количество заболеваний почек, в том числе у детей и подростков. По данным ВОЗ, заболевания почек вышли на третье место в мире.

В среднем школьном возрасте происходит ***резкое изменение деятельности желез внутренней секреции,*** вызванное включением генетических влияний на ЦНС и эндокринную систему. Организм подростка вступает в переходный период.

В этом возрасте происходит возрастная ***инволюция эпифиза.*** Происходящее снижение тормозящего действия эпифиза на нижележащие структуры гипоталамуса приводят к их активации. ***Усиливается взаимодействие гипоталамуса и гипофиза*** – так называемой гипоталамо-гипофизарной системы. Гипоталамус начинает стимулировать секреторную функцию гипофиза. В результате гипофиз резко усиливает выброс в кровь соматотропного гормона (гормона роста) и гонадотропного гормона, который вызывает усиленную секрецию половых гормонов ***надпочечниками*** (андрогенов и эстрогенов) и ***половыми железами*** (тестостерона и эстрадиола). В организме под влиянием этих гормонов усиливаются процессы роста и развертываются процессы полового созревания – формирования организма по мужскому и по женскому типу.

Под влиянием тиреотропного гормона гипофиза усиливается секреция гормонов ***щитовидной железы*** (тироксина и трийодтиронина), стимулирующих обменные и энергетические процессы в организме и способствующие его росту и развитию. Избыточная активность щитовидной железы часто приводит к развитию гипертиреоза у подростков, вызывая повышенную возбудимость и расстройство сна.

Вилочковая железа, тормозящая развитие половых желез, испытывает в переходный период обратное развитие, уступая активную роль половым железам.

Большое значение в росте тела имеет гормон ***поджелудочной железы*** инсулин, который активирует секрецию соматотропина и способствует анаболическим процессам – синтезу белков, жиров и углеводов в организме. Среди детей нарушения функций поджелудочной железы и заболевания сахарным диабетом чаще всего встречаются в возрасте 12 лет.

Процесс полового созревания затрагивает все органы и системы организма. В этот период происходит формирование инди-

видуального морфотипа человека со специфическими особенностями формы и размеров тела, соотношения мышечной и жировой ткани. Завершаются процессы становления типологических особенностей поведенческих реакций, характеристик личности подростка. К специфическим особенностям переходного периода относится формирование первичных половых признаков (развитие половых желез и половых органов) и вторичных половых признаков (характерное оволосение, изменение тембра голоса, рост молочных желез).

В процессе полового созревания девочки опережают мальчиков на 1–2 года. Длительность этого периода имеет большие ***межиндивидуальные различия,*** зависящие от генетических особенностей индивидуума и ряда условий внешней среды.

Выделяют 5 стадий полового созревания, определяемых по комплексу первичных и вторичных половых признаков (рис. 54).

I стадия, которая, начинаясь еще в младшем школьном возрасте в 7–8 лет, охватывает в основном ***препубертатный период – возраст 10–12 лет.*** Она характеризуется ***отсутствием вторичных половых признаков,*** но уже обнаруживает некоторые половые различия в деятельности ряда функциональных систем.

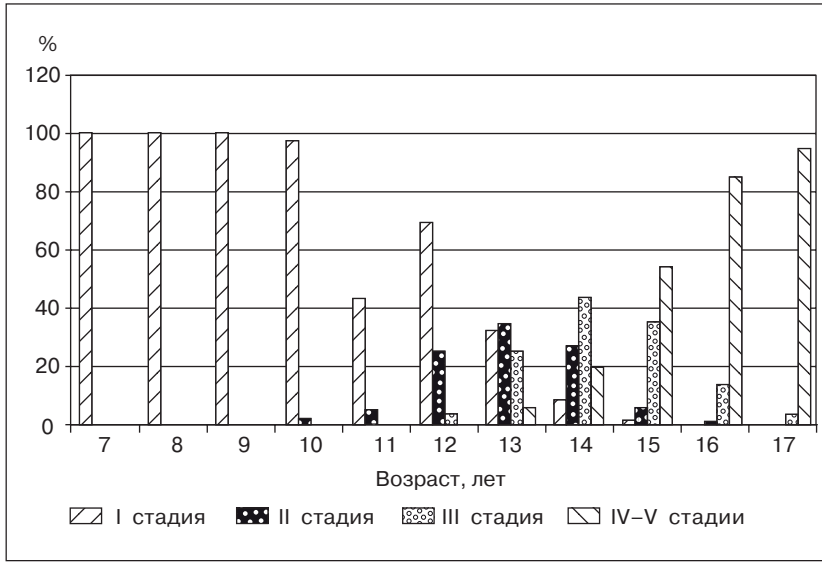


Рис. 54. Распределение стадий половой зрелости у мальчиков 7–17 лет

II стадия характеризуется ***активацией гипофиза.*** Она относится к ***1-й фазе пубертата (у девочек это возраст 11–13 лет, у мальчиков – 13–15 лет).*** Эту стадию у мальчиков отличает небольшое увеличение яичек и слабое оволосение лобка, у девочек набухание молочных желез. Активация функций гипофиза сопровождается усиленной секрецией гонадотропного и соматотропного гормонов, а также повышенной секрецией половых гормонов. У девочек в большей степени растет концентрация соматотропина и раньше начинается пубертатный скачок роста (около 13 лет).

III стадия также ***соответствует 1-й фазе пубертата (у девочек до 13 лет, у мальчиков до 15 лет).*** Она характеризуется ***активацией половых желез.*** В крови растет концентрация половых гормонов. У мальчиков увеличиваются размеры яичек и длина полового члена, усиливается оволосение лобка. У девочек усиливаются развитие молочных желез и оволосение лобка, начинается оволосение подмышечных впадин. На этой стадии особенно повышается у мальчиков содержание в крови соматотропина и наблюдается пубертатный скачок роста (около 14 лет). Усиленное выделение соматотропина происходит ночью («человек растет во сне») и замедляется в дневное время.

IV стадия отмечается ***во 2-й фазе пубертата (у девочек в 13–14 лет, у мальчиков в 15–16 лет).*** Она характеризуется ***максимальным уровнем активности половых желез***. Их секреция достигает максимальных значений в 14–15 лет. У мальчиков происходит утолщение полового члена, усиленное оволосение лобка, появление волос на лице и в подмышечной впадине. К характерным признакам этой стадии относят также появление на лице юношеских угрей и связанную с удлинением голосовых связок ломку голоса – смену высоких обертонов на более низкие. У девочек заметного развития достигают молочные железы, оволосение лобка приближается к взрослому типу. Увеличиваются запасы подкожного жира. В 12–13 лет появляются первые менструации (так называемые менархе), которые свидетельствуют о начале созревания в яичниках яйцеклеток и становлении периодических процессов женского организма – овариально-менструального цикла (ОМЦ). У мальчиков в 15 лет появляются первые поллюции – выход созревших сперматозоидов из семенных пузырьков вместе с выделениями предстательной железы. Они происходят 1–3 раза в месяц или реже, с перерывами в 10–60 дней.

Гормон роста – соматотропин сохраняется на повышенном уровне у мальчиков, которые продолжают вытягиваться в длину, у девочек его содержание снижается, и их рост замедляется. В мышцах подростка усиленно формируются быстрые и мощные гликолитические волокна, достигая 50% объема мышцы. Это обусловливает высокий прирост силы. Однако повышенные физические нагрузки в этот период угнетают выделение соматотропного гормона и замедляют процессы полового созревания. Они должны тщательно дозироваться, особенно у девочек.

V стадия ***завершает 2-ю фазу пубертата (у девочек к 15-летнему возрасту, у мальчиков – к 17-летнему).*** Эта стадия определяется ***достижением зрелого уровня первичных и вторичных половых признаков.*** Она характеризуется созреванием в мужском организме функционально зрелых сперматозоидов и готовностью женского организма к детородной функции. У девушек происходит созревание в яичниках яйцеклеток и стабилизируется ОМЦ.

Выраженность стадий созревания подростков описывается ***в баллах полового развития (БПР).*** Для этого оценивается выраженность вторичных половых признаков, определяется сумма их показателей и сравнивается с табличными нормативами (табл. 29). ***Значительная перестройка деятельности всей эндокринной системы в переходный период отражается на изменениях во всех органах и системах организма,*** особенно выраженных в 1-ю фазу пубертата (на II и III стадиях полового созревания). В этот период повышенная активность подкорковых структур и снижение регулирующих (тормозящих) влияний коры на подкорку, а также ***дисгармония в эндокринной системе*** вызывают нестабильность реакций в эмоциональной и психической сфере

Таблица 29

Величина баллов полового развития у мальчиков и девочек

Возраст, лет	БПР, баллы	Формула полового созревания мальчиков	БПР, баллы	Формула полового созревания девочек
10	–	–	1	$Ma_1P_0Ax_0Me_0$
11	–	–	2	$Ma_1P_1Ax_0Me_0$
12	0	$V_0P_0L_0Ax_0F_0$	5	$Ma_2P_2Ax_1Me_0$
13	2	$V_1P_1\ L_0Ax_0F_0$	9	$Ma_3P_3Ax_2Me_1$
14	5	$V_1P_2L_1Ax_1F_0$	11	$Ma_3P_3Ax_3Me_2$
15	9	$V_2P_3L_1Ax_2F_1$	12	$Ma_3P_3Ax_3Me_3$
16	11	$V_2P_3L_2Ax_3F_1$	12	$Ma_3P_3Ax_3Me_3$
17	15	$V_3P_3L_3Ax_3F_3$	12	$Ma_3P_3Ax_3Me_3$

подростков. Отмечается несогласованность морфологического и функционального развития отдельных органов и систем. Происходит отставание скорости роста сердца от темпов удлинения тела, отставание роста просвета сосудов от повышения мощности сокращений миокарда, отставание на 1–2 года роста туловища в длину от удлинения конечностей. Эти изменения вызывают временное нарушение координации движений, снижают умственную и физическую работоспособность. Снижение работоспособности связано также с повышением энерготрат при увеличении размеров тела, что снижает возможность энергообеспечения мышечной работы в организме подростка.

С завершением переходного периода ***оптимизируются взаимоотношения в деятельности желез внутренней секреции, достигает совершенства функционирование различных систем возмужалого организма.*** Подростки переходят в ***юношеский возраст,*** когда все показатели организма вплотную приближаются ко взрослому уровню. Однако ***функциональные резервы юношеского организма все же недостаточны,*** имеются ограничения в совершенстве регуляторных и метаболических процессов. Реакции на нагрузки в юношеском возрасте вызывают более выраженные изменения в организме по сравнению со взрослыми и сопровождаются более длительным периодом восстановления.

3.5. ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ, ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ

Процессы теплообмена у подростков и юношей отличаются от этих процессов у детей более младшего возраста. С увеличением габаритов тела ***увеличиваются градиенты температуры кожи*** от туловища к дистальным отделам конечностей.

Становятся более выраженными ***суточные колебания*** температуры тела. Средние суточные изменения температуры ядра тела у годовалого ребенка составляют 0,25°С, у дошкольников – 0,34°С, в юношеском возрасте – около 1,0°С.

После 9-летнего возраста происходят качественные изменения процессов терморегуляции. ***Снижается значение химической терморегуляции,*** обеспечивающей поддержание постоянства температуры тела за счет изменений интенсивности метаболических процессов, ***и повышается роль физической терморегуляции,*** изменяющей отдачу тепла с поверхности кожи за счет

сосудистых реакций. Хотя терморегуляционное усиление теплопродукции в целом снижается по мере взросления, у подростков 10–14 лет этот механизм снова временно возрастает в 1-ю фазу пубертатного периода.

В среднем школьном возрасте завершается созревание физиологических механизмов, регулирующих ***потоотделение.*** По количеству и характеру реакций термическое и психогенное потоотделение с окончанием переходного периода приближается к аналогичным показателям взрослых.

Совершенствование механизмов теплоотдачи улучшает адаптацию юношеского организма к большому диапазону изменений температур окружающей среды. ***Терморегуляционные реакции в юношеском возрасте становятся более эффективными и экономичными.*** В температурном ядре тела к 18-летнему возрасту устанавливается средняя величина температуры тела, соответствующая взрослым.

На протяжении среднего и старшего школьного возраста происходят перемены в обмене веществ и энергии. Уменьшается преобладание процессов ассимиляции над процессами диссимиляции.

Величина основного обмена у детей этого возраста в расчете на единицу массы тела или поверхности тела заметно снижается. У девочек она ниже, чем у мальчиков, и раньше приближается к уровню зрелого организма. Лишь в пубертатном возрасте основной обмен у девочек временно оказывается выше, чем у мальчиков. ***Суточная величина основного обмена возрастает*** у подростков по отношению к детям младшего школьного возраста почти в 1,5 раза, достигая примерно 1300–1400 ккал, а в юношеском возрасте приближается к уровню зрелого организма (1700 ккал).

Увеличение массы тела и повышение двигательной активности вызывают ***нарастание и общего объема суточных энерготрат:*** в среднем школьном возрасте они составляют около 2500–2700 ккал, а в старшем школьном возрасте – 2800–2900 ккал.

С возрастом происходит и перестройка в процессах ***обмена веществ.*** С окончанием роста массы тела падает относительная потребность организма в белках. ***Положительный азотистый баланс к юношескому возрасту постепенно сменяется азотистым равновесием,*** характерным для взрослого организма. Относительная потребность в белке (на 1 кг массы тела) с возрастом снижается: в 1–3 года – 4–4,5 г, в 6–10 лет – 2,5–3 г,

у подростков – 2–2,5 г, у взрослых – 1,5–1,8 г. Общая же суточная потребность в белках возрастает с ростом массы тела: у дошкольников – около 70 г, в младшем школьном возрасте – 75–80 г, в среднем школьном возрасте – примерно 85–90 г, в старшем школьном возрасте – 90–100 г (как у взрослых).

Аналогичны величины суточной потребности в жирах. ***У подростков еще достаточно высока потребность в поступлении жира с пищей.*** В период полового созревания жиры используются для пластических процессов формирования состава тела, а холестерин необходим для синтезирования половых стероидных гормонов. Вместе с тем избыточное поступление жира при низкой двигательной активности приводит к ожирению. У подростков, характеризующихся избыточными жировыми отложениями, величина основного обмена на единицу массы тела может быть ниже на 20–30% из-за низкой интенсивности процессов обмена в жировых клетках. Сравнительно большим содержанием жира в составе тела объясняется также более низкий уровень основного обмена у женщин по сравнению с мужчинами.

Относительная интенсивность ***углеводного обмена*** у подростков снижается, а суточная потребность в углеводах растет: у младших школьников она составляет около 300 г, в среднем школьном возрасте – 340–370 г, в старшем школьном возрасте – около 400 г, у взрослых – 500–600 г. Углеводы обеспечивают в организме подростка как пластические процессы, так и энергетические. Повышение объема двигательной активности подростков увеличивает их потребность в углеводах.

В растущем организме велика потребность в поступлении необходимого количества витаминов и минеральных веществ. Кальций и фосфор нужны для формирования скелета, железо – для образования гемоглобина. Однако ***по мере увеличения возраста относительная потребность в воде, витаминах и минеральных веществах снижается.***

3.6. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ ДЕТЕЙ СРЕДНЕГО И СТАРШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ

Период среднего и старшего школьного возраста имеет свои специфические механизмы и закономерности адаптации к физическим нагрузкам, связанные с возрастными особенностями развития организма.

3.6.1. Совершенствование центральной регуляции движений

В среднем школьном возрасте высокого уровня достигает развитие ЦНС, сформированы индивидуальные особенности высшей нервной деятельности, завершается созревание сенсорных систем.

К этому возрасту у подростков ***сформированы все основные механизмы управления движениями, свойственные взрослому организму, – рефлекторное кольцевое управление*** системой обратных связей и ***программное управление по механизму центральных команд*** (предпрограммирование). Это обеспечивает не только совершенство выполнения длительных упражнений, когда возможны коррекции моторных программ по ходу движения, но и выполнение кратковременных двигательных актов – бросков, ударов, метаний, прыжков. Становится возможным начать углубленную специализацию в широком спектре различных видов спорта.

Рассматриваемый период характеризуется ***тремя качественными перестройками механизмов*** центральной регуляции движений:

1) значительным ***усилением межцентральных взаимосвязей*** в коре больших полушарий;

2) становлением ***ведущей роли ассоциативных третичных полей*** коры в функциональной системе управления движениями;

3) ***переходом доминирующей роли правого полушария к левому.***

В возрасте 10–12 лет происходит ***важнейший этап*** в совершенствовании интегративных функций высших отделов мозга – резкое ***увеличение горизонтальных взаимосвязей*** в коре больших полушарий. Идет усиленный рост отростков корковых нейронов, обеспечивающий функциональные связи между нейронными ансамблями различных корковых областей. В результате на протяжении среднего и старшего школьного возраста формируются многочисленные внутрисистемные и межсистемные функциональные взаимосвязи в организме. Совершенствуются зрительно-двигательные, речедвигательные, вестибуломоторные и другие рефлексы. Отмечается высокий уровень интеграции деятельности сенсорных систем. Налаживается сочетание различных моторных реакций между собой. Хорошо дифференцируются и воспроизводятся мышечные усилия. В биомеханической структуре и функциональной организации локомоций (ходьбы, бега) достигается высокая координационная точность. В движениях

двумя руками вырабатывается высокая согласованность их пространственных характеристик, в том числе при симметричных движениях. Созревает механизм их временного согласования (так называемый таймерный механизм). Движения рук хорошо согласуются с движениями глаз. Возникает возможность точного произвольного управления отдельными мышцами и даже изолированными двигательными единицами. Управляемость мышечными группами рук, головы и шеи выражена лучше, чем других мышечных групп.

Достигается высокий уровень сочетания двигательных и вегетативных реакций. Налаживается стабильное соответствие темпа шагов и дыхания, тонкое сочетание моторных компонентов двигательных навыков с вегетативными функциями, согласование реакций сердечно-сосудистой и дыхательной систем.

В ЭЭГ эти изменения отражаются в виде достоверного увеличения высокой пространственной и временной согласованности колебаний потенциалов различных корковых зон, что отражает увеличение функционального взаимодействия между этими зонами. Как в состоянии покоя, так и во время работы в ЭЭГ детей, подростков и юношей 12–18 лет отмечается значительное число высоких межцентральных корреляций электрической активности (см. рис. 51).

Вторым важнейшим моментом в совершенствовании центральной регуляции движений является ***высокий уровень созревания ассоциативных третичных полей коры – передних лобных и задних нижнетеменных***. Благодаря этому создается функциональная основа для извлечения полезной информации из множества афферентных сообщений, построения сложных многоцелевых поведенческих программ. Становится более точной пространственная ориентация движений, улучшаются процессы экстраполяции, предвидения предстоящих ситуаций.

У 13-летних подростков существенно ***улучшается переработка информации*** и повышается эффективность тактического мышления, уменьшается количество ошибочных решений. В возрасте от 10 до 13 лет у подростков достоверно ***сокращается время принятия решения*** и общее время решения тактических задач. Эти временные показатели мало изменяются к 16-летнему возрасту, но еще не достигают взрослых величин. В возрасте 12 лет юные спортсмены способны решать более легкие тактические задачи, а в 14 лет – наиболее сложные. Дети в старшем школьном возрасте могут делать правильный выбор из многоальтернатив-

ных ситуаций, сохранять высокую умственную работоспособность в напряженных условиях деятельности, в ситуациях с дефицитом времени. Рабочие доминанты, формирующиеся в высших отделах мозга, становятся стабильными, обеспечивая высокую помехоустойчивость юных спортсменов.

Улучшение процессов афферентного синтеза и анализа афферентной информации позволяет подросткам и юношам ***точнее оценивать интероцептивную и проприоцептивную информацию о функциональном состоянии собственного организма в процессе работы.***

Юные спортсмены лыжники, пловцы, специалисты подводного плавания способны давать речевые отчеты о падении оксигенации собственной крови в процессе дыхания в замкнутое пространство при каждых 2% снижения оксигемоглобина, почти точно соответствуя показаниям оксигемографа.

Становится более информативным ощущение усталости. Дети младшего школьного возраста (7–10 лет) в 77% случаев могут сообщить об ощущении усталости лишь после развития регистрируемых объективно признаков утомления. Такое сообщение является мало информативным для педагога и тренера. Подростки 13–15 лет в 40% случаев ощущают наступление утомления в процессе его развития, а юноши 18–19 лет могут ощущать развитие утомления еще до начала появления ранних его признаков. Эта способность помогает правильной раскладке сил спортсмена на дистанции, рациональному управлению функциональными резервами организма.

Начиная с возраста 13–15 лет участие ассоциативных третичных полей в управлении движениями отражается в ЭЭГ юных спортсменов достоверным увеличением взаимосвязи активности моторных центров рук и ног с задними нижнетеменными областями (зонами афферентного синтеза и пространственной ориентации движений) и передними лобными областями, ответственными за программирование и контроль движений.

Третьим качественным изменением в центральной регуляции движений у детей среднего и старшего школьного возраста является ***постепенный переход ведущей функции от правого полушария к левому.*** У детей дошкольного и младшего школьного возраста основное значение в управлении движениями имеет правое полушарие, функцией которого является комплексный зрительно-пространственный анализ текущей ситуации, преимущественные реакции на непосредственные (первосигнальные)

раздражители. Это требует от педагогов и тренеров преимущественного использования методов показа, прочувствования движений.

После 14–15 лет у подростков и особенно в юношеском возрасте ведущую роль играет левое полушарие (рис. 55). Оно обеспечивает более дробный анализ афферентной информации, высокий уровень абстрактно-логических операций, формирование речевой регуляции движений, совершенствование чувства времени и процессов экстраполяции. Именно в левом полушарии (по данным ЭЭГ) отражается специфика участия разных корковых зон при освоении различных двигательных навыков. В тренировочном процессе большое значение приобретает метод рассказа, словесных инструкций, речевых отчетов.

Возрастные перестройки центральной системы управления обеспечивают более экономное и эффективное выполнение работы. Уточняются моторные команды к работающим мышцам и совершенствуются межмышечные координации. Усилившееся влияние переднелобных третичных полей на двигательную деятельность обеспечивает повышение произвольной мобилизации функциональных резервов организма, волевое преодоление утомления и соответственно увеличивает длительность работы до отказа.

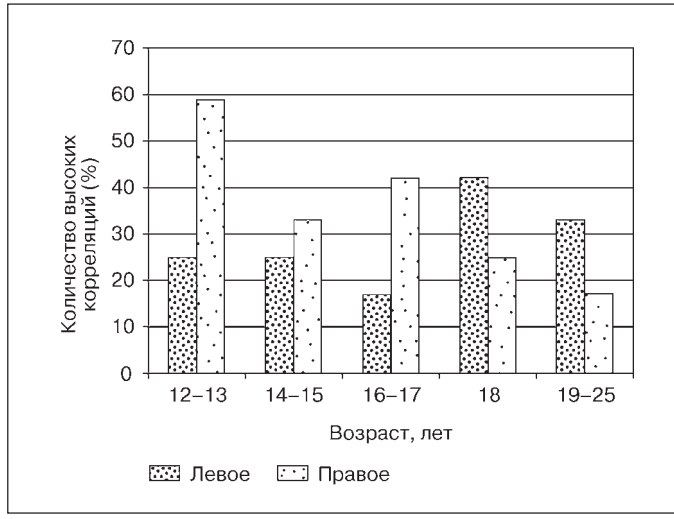
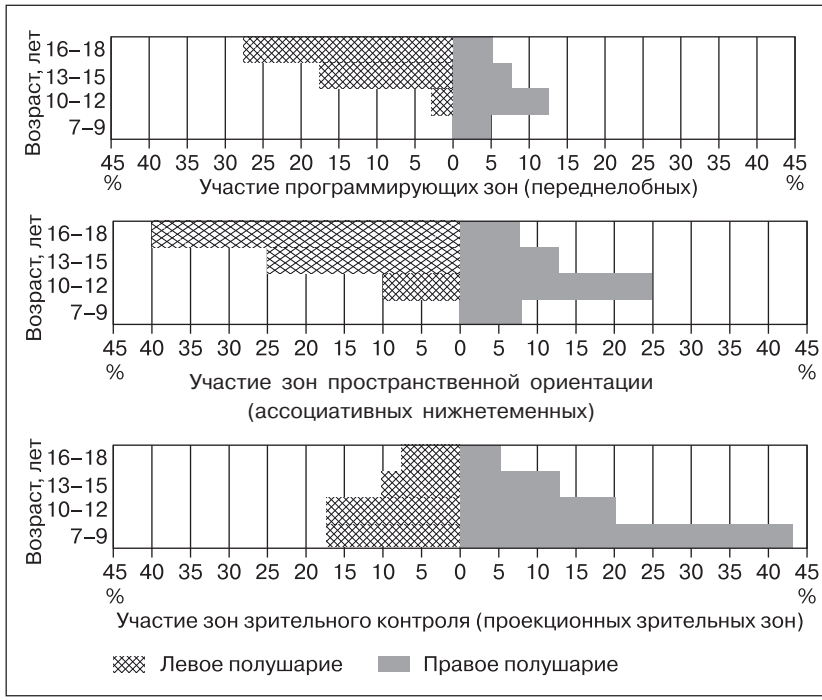


Рис. 55. Межцентральные взаимосвязи ЭЭГ левого и правого полушария у велосипедистов разного возраста (по: Е.Б. Сологуб и др., 1984)

Возможности участия третичных полей в регуляции движений еще недостаточно развиты у подростков по сравнению с юношами (рис. 56), ***особенно слабо они выражены в период полового созревания (в 1-ю фазу пубертата).*** В этот период наблюдается нарушение центральной регуляции движений. Корковые центры широко охватывают процесс возбуждения, нарушая тонкие межцентральные взаимоотношения и координацию движений. Перед стартом у подростков преобладает состояние предстартовой лихорадки. Ухудшаются процессы памяти и выработки двигательных навыков. Затрудняется переделка двигательных динамических стереотипов. Подростки быстро утомляются, особенно при длительной монотонной работе.



Суммарное количество (в процентах от всех вычисленных) высоких (0,7–1,0) межцентральных корреляций ЭЭГ моторных зон с лобными, нижнетеменными и зрительными зонами у юных фигуристов (n = 10 в каждой возрастной группе) во время трехминутного бега на месте в темпе 3 шага в 1 секунду

Рис. 56. Возрастная динамика участия разных зон левого и правого полушарий в управлении движениями
(модиф. по: Е.Б. Сологуб, В.С. Капустин, 1986)

С окончанием этого периода механизмы управления движениями постепенно приближаются ко взрослому уровню. ***В 13–14 лет завершается в основном формирование всех сенсорных систем.*** Совершенствуется поисковая функция глаза, ускоряются сенсомоторные реакции, уточняется «мышечное чувство» и улучшается точность воспроизведения мышечных усилий, повышается функциональная устойчивость вестибулярной системы.

В юношеском возрасте управление движениями достигает высокого совершенства, позволяя добиваться рекордных результатов во многих видах спорта.

3.6.2. Развитие физических качеств

Возрастной период от 10 до 17–19 лет характеризуется достижением максимального развития большинства физических качеств – гибкости, быстроты, ловкости, силы, скоростно-силовых возможностей, а также большими изменениями выносливости, которая достигает максимального развития несколько позже – к 20–25 годам.

Средний и старший школьный возраст особенно благоприятен для физического воспитания, так как соответствует проявлениям многих сенситивных периодов развития физических качеств, т.е. периодов, наиболее чувствительных к тренирующим воздействиям (см. рис. 38).

Одним из ранних является физическое ***качество гибкости – суставной подвижности.*** Совершенствование гибкости, начинающееся в дошкольном и младшем школьном возрасте, продолжается в среднем школьном возрасте. Гибкость подростков тем выше, чем больше длина частей тела. Наиболее высоких значений гибкость достигает к 15-летнему возрасту, без дальнейшей тренировки она начинает снижаться. У девочек гибкость выражена лучше, чем у мальчиков.

Весьма благоприятный период развития ***ловкости*** отмечается с 7 до 14 лет (с небольшим ухудшением этого качества в пике пубертатного периода). Созревание нижнетеменных третичных областей коры способствует улучшению межсенсорной интеграции и сенсомоторных взаимосвязей, формированию представлений о «схеме тела» и «схеме пространства». В результате улучшается пространственная ориентация движений и, как следствие, телесная и предметная ловкость.

По мере созревания лобных третичных областей коры больших полушарий появляются новые возможности для различных проявлений ловкости: развивается способность к формированию новых движений в необычных условиях, улучшается анализ текущей и будущей ситуации, внесение сенсорных коррекций в двигательные программы, временная оценка выполняемых действий. Развитию ловкости способствует совершенствование процессов экстраполяции. После 35-летнего возраста проявления ловкости ухудшаются, особенно нарушаясь в пожилом возрасте.

С 10 до 15 лет резко улучшаются различные показатели качества ***быстроты,*** достигая к 15-летнему возрасту взрослых величин (см. табл. 5) и сохраняясь на этом уровне примерно до 35 лет. В ЦНС подростка увеличивается скорость протекания нервных процессов (лабильность нервной ткани) и повышается подвижность нервных процессов, скорость смены процессов возбуждения и торможения. Это способствует повышению скорости переработки информации в коре больших полушарий. К 12-летнему возрасту заметно укорачивается время простой двигательной реакции, а к 14 годам – время сложной реакции с выбором. Совершенствование центральной регуляции движениями и повышение возбудимости и лабильности мышечного аппарата способствуют ускорению моторных актов. К 15-летнему возрасту достигают взрослого уровня показатели теппинг-теста (50–60 ударов за 10 с) и максимальной скорости бега. Особенно значительно улучшаются скоростные параметры у мальчиков.

Возраст 11–14 лет является сенситивным для развития ***скоростно-силовых возможностей.*** В этом периоде имеется наибольший прирост прыгучести, резкости ударов и бросков. К 14–15-летнему возрасту достигается наибольшая высота и дальность прыжков, особенно у мальчиков (см. рис. 48 и табл. 20).

Мышечная сила нарастает в медленном темпе до 11-летнего возраста. Затем наступает замедление темпов ее прироста, связанное с развитием препубертатного периода (11–13 лет у мальчиков) и началом перестроечных процессов в организме. После 14 лет начинается существенный прирост мышечной силы (рис. 57), особенно выраженный у мальчиков и связанный с усиленной секрецией мужских половых гормонов (андрогенов). Становая сила у мальчиков в 12 лет составляет в среднем 50–60 кг, в 15 лет – 90–100 кг, в 18 лет – 125–130 кг.

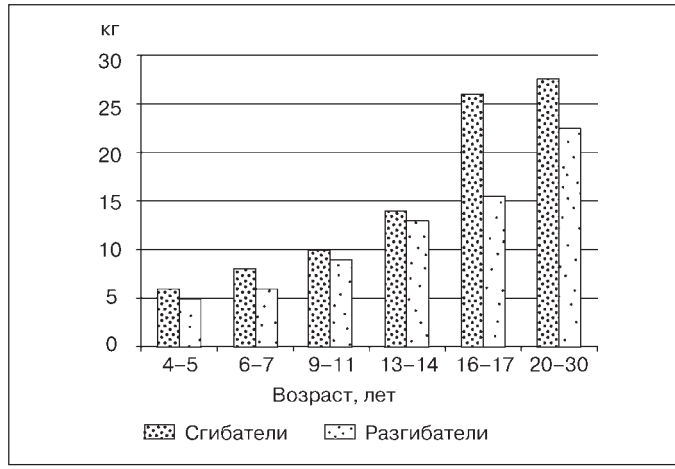


Рис. 57. Максимальная сила кисти у нетренированных лиц

В скелетных мышцах наблюдается миофибриллярная гипертрофия, отражающая процессы усиленного синтеза сократительных белков (актина и миозина) в миофибриллах. Под влиянием развития быстрых мотонейронов в нервной системе происходят изменения в составе мышечных волокон – заметно нарастает объем быстрых и мощных гликолитических волокон II-б типа.

Сенситивный период развития качества силы приходится на 14–17 лет. В возрасте 18–20 лет мышечная сила достигает максимальных значений для взрослого нетренированного человека. Обычно сила кисти у мужчин составляет около 70–75% от массы тела, а у женщин примерно 50–60%. При отсутствии специальной тренировки сила сохраняется на этом уровне примерно до 45-летнего возраста. В юношеском возрасте устанавливается характерная для взрослого организма топография мышечной силы, однако коррекцию в нее вносит специфика мышечной тренировки.

Позже других качеств развивается ***выносливость к длительной циклической работе*** умеренной мощности. Сенситивный период ее развития приходится на возраст 15–20 лет, когда в достаточной мере созревают функции дыхательной и сердечно-сосудистой систем, обеспечивающих работу аэробного характера. В 20–25 лет это качество достигает высокого развития и дольше других сохраняется в онтогенезе человека (примерно до 55 лет и более). ***Статическая выносливость*** (табл. 30) увеличивается меньше, чем динамическая. Она уменьшается в пубертатном периоде, а затем нарастает, особенно к возрасту 18–20 лет.

Таблица 30

Возрастная динамика показателей силы мышц и статической работоспособности у женщин при статических напряжениях
(по: Э.А. Городниченко, 1983)

Возраст, лет	8–9	13–14	18–20	30–35	40–45	56–60
Сила, кг	14,8	31,9	37,8	30,9	32,2	27,2
Статическая работоспособность, кгс	1368,6	3043,2	4221,6	3366,8	3904,0	3900,7

В юношеском возрасте на основе значительного развития различных качественных характеристик двигательной деятельности возможна специализация во многих видах спорта и достижение высоких спортивных результатов. Лишь в видах спорта, требующих предельного развития выносливости (бег на длинные и сверхдлинные дистанции, лыжные гонки и др.), высшие достижения появляются в более позднем возрасте – в 20–35 лет.

3.6.3. Особенности энергетики мышечной деятельности и реакций вегетативных систем на физические нагрузки

В растущем и развивающемся организме энерготраты на двигательную активность составляют около половины суточных энерготрат. У мальчиков в 14–15 лет суточная двигательная активность увеличивается более, чем на треть, по сравнению с 8–9-летними детьми. В 11–15 лет подростки делают 20–30 тыс. шагов в сутки. Их суточные энерготраты достигают в возрасте 10–12 лет 2200 ккал, в 13–15 лет примерно 3000 ккал. В покое основные энерготраты приходятся на органы с наиболее интенсивным обменом веществ – мозг, печень, почки, а во время работы – на работающие мышцы. С этим связано то, что с увеличением роста мышц и уровня двигательной деятельности резко возрастают энерготраты у подростков.

Основного развития у подростков достигают процессы аэробной энергопродукции. Бурное увеличение мышечной массы, преобладание в мышцах медленных волокон окислительного типа, нарастание в мышцах количества митохондрий и миоглобина, повышение активности окислительных ферментов, улучшение утилизации приносимого кровью кислорода, а также совершенствование механизмов регуляции сердечно-сосудистой и дыхательной систем – все это приводит к ***повышению аэробных возможностей организма и величины МПК.*** Если в препу-

Рис. 58. Аэробные возможности мальчиков 8–15 лет
(модифиц. по: С.Б. Тихвинский, 1972)

бертатном периоде и во II стадии полового созревания у подростков аэробные возможности еще невелики, то на III стадии полового созревания (у девочек в 12–13 лет, у мальчиков – в 13–14 лет) наблюдается их резкое увеличение. На этой стадии прирост МПК (л/мин) у мальчиков составляет примерно 28%, у девочек – 17%. У юных спортсменов прирост МПК еще больше (рис. 58). ***Максимальных значений абсолютные величины МПК достигают в возрасте 14–15 лет.***

Подростки в этот период хорошо приспособлены к выполнению работы аэробного характера – циклических упражнений умеренной мощности (около 70% от МПК). Выполнение нагрузок максимальной и субмаксимальной мощности (90–100% МПК) для них трудно переносимо, так как в этом возрасте недостаточно развиты анаэробные возможности организма.

Относительные величины МПК (мл/мин/кг) на протяжении среднего и старшего школьного возраста (10–17 лет) практически не изменяются (рис. 59). Это связано с тем, что годовые приросты аэробных возможностей не превышают приростов массы тела. Однако у юных спортсменов, имеющих лучше развитые скелетные мышцы, формирующие аэробное энергообеспечение, относительные величины МПК выше, чем у сверстников, не занимающихся спортом.

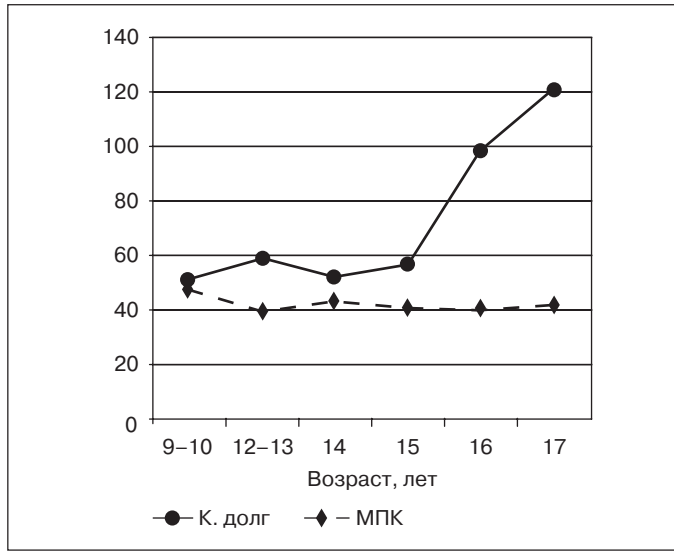


Рис. 59. Возрастная динамика анаэробных возможностей (кислородный долг, мл/кг) и относительная величина МПК (мл/мин/кг) у мальчиков 9–17 лет

Относительные величины МПК в женском организме ниже, чем в мужском. У девочек старше 8-летнего возраста относительные величины МПК в среднем школьном возрасте ниже, чем у мальчиков, на 12–21%, в старшем школьном возрасте – на 33–39%. Объясняется это тем, что в составе тела у девочек больше доля жирового компонента, потребляющего незначительное количество энергии.

Стабильные величины относительного МПК очень важны в плане отбора. Так как они не изменяются в процессе тренировки и уже в 9–10-летнем возрасте соответствуют взрослым показателям, то их следует использовать как информативные прогностические критерии для отбора детей в ДЮСШ, особенно в виды спорта, требующие развития выносливости.

После 14-летнего возраста начинается реализация нового этапа генетической программы онтогенеза. Происходит формирование быстрых мотонейронов в ЦНС и развитие быстрых и мощных гликолитических мышечных волокон в скелетных мышцах. К IV–V стадиям полового созревания (15–18 лет) быстрые волокна уже занимают по объему около 50% мышечной массы. Устанавливается характерный для каждого индивида состав (композиция) мышечных волокон. С появлением гликоли-

тических волокон происходит быстрое ***развитие анаэробных возможностей растущего организма*** (см. рис. 59). Сократительная деятельность этих волокон не зависит от работы кислородтранспортной системы (крови, сердечно-сосудистой и дыхательной систем), так как они получают энергию в бескислородных условиях. В результате повышается адаптация юношей и девушек к работе анаэробного характера – к выполнению циклической работы в зоне максимальной и субмаксимальной мощности, силовых и скоростно-силовых упражнений.

Мощность выполняемой работы увеличивается с 11 до 16 лет более чем на 200% (с 7 до 11 лет увеличение мощности работы составляет всего 30%). Объем выполненной работы максимальной мощности повышается по сравнению с 7-летним возрастом в 10 лет на 50%, а в 14–15 лет – на 300–400%.

За счет достигнутого высокого уровня МПК и улучшения процессов координации в мышечной и вегетативных системах энергообеспечения растет также и аэробная работоспособность юношей – в зонах большой и умеренной мощности.

Однако ***экономичность и эффективность их работы еще не достигают взрослых значений.*** КПД работы, выполняемой на уровне МПК, в 14–15 лет составляет всего 65–70% взрослого уровня, а процесс восстановления значительно более длительный. У юношей 17 лет длительность восстановления в 2 раза превышает время восстановления у 20-летних при той же выполненной работе.

Четко выраженные гормональные и вегетативные перестройки сопровождают выполнение физических нагрузок у детей среднего и старшего школьного возраста.

Адаптация к специфическим упражнениям отражается у систематически тренирующихся детей в более выраженных ***предстартовых изменениях*** по сравнению с детьми, не занимающимися спортом. Легче всего предстартовая настройка развивается у подростков и юношей, характеризующихся темпераментом сангвиников, затем – у холериков и у флегматиков. В период полового созревания у подростков из-за высокой возбудимости нервной системы особенно выражены состояния предстартовой лихорадки.

Период врабатывания как в возрасте 7–10 лет, так и в возрасте 15–18 лет характеризуется начальным резким увеличением показателей сердечно-сосудистой и дыхательной систем (на 42,5%) с последующим медленным повышением до необходимого

рабочего уровня. Длительность ***устойчивого состояния*** при постоянной мощности работы (или оптимального состояния при переменной мощности) короче, чем у взрослых, а утомление наступает быстрее.

Быстрое наступление утомления, в частности, обусловлено малой переносимостью кислородного дефицита. ***Величина максимального кислородного долга у подростков меньше, чем у взрослых:*** в 9–10 лет она составляет всего 0,8–1,2 л, в 12–14 лет – 2–2,5 л (у нетренированных взрослых – 6–10 л). В 13 лет величина относительного кислородного долга (в расчете на 1 кг массы тела или 1 $м^2$ поверхности тела) примерно равна 60–70% соответствующего показателя у взрослых.

В системе крови у детей среднего и старшего школьного возраста при физических нагрузках часто возникает II фаза миогенного лейкоцитоза (1-я нейтрофильная), в то время как у взрослых при тех же нагрузках наблюдается лишь I фаза (лимфоцитарная). Большие мышечные нагрузки вызывают неадекватные реакции крови у подростков – они снижают иммунитет организма. При этом в крови наблюдается угнетение активности и снижение количества Т-лимфоцитов, уменьшается количество иммунного белка гамма-интерферона, появляется феномен исчезающих антител.

В связи с незавершенностью роста массы сердечной мышцы и объема сердца у подростков увеличение ***систолического объема крови*** не достигает еще взрослых величин. Даже при максимальном нарастании систолического объема при работе его значения лишь в 2 раза превышают уровень покоя, а у взрослых – в 2,5 раза. В возрасте 8–9 лет максимальные значения систолического объема составляют 70 мл, в 10–11 лет – 80 мл, в 14–15 лет – 100–120 мл, у мужчин 20–22 лет – 140 мл.

Сравнительно небольшим объемом крови, поступающим в кровяное русло за один удар, объясняется то, что нарастание ***минутного объема крови*** у подростков еще в значительной мере зависит от преимущественного повышения ***ЧСС.*** Лишь после 15–16-летнего возраста величина сдвигов ЧСС при нагрузках несколько снижается. Величина МОК у подростков постепенно повышается: в 10–12 лет она равна 3,2 л/мин, в 13–16 лет – 3,8 л/мин, в юношеском возрасте МОК приближается ко взрослому уровню (у взрослых МОК 4,5–5 л/мин).

Недостаточная эффективность регуляторных процессов в пубертатный период у подростков отражается особенно заметно

в реакциях кровообращения на статические нагрузки. Если при статических напряжениях малых мышечных групп реакции сердечно-сосудистой системы вполне эффективны, то при статических напряжениях больших мышечных групп в вертикальной позе они явно недостаточны – наблюдается неустойчивость венозного тонуса, затяжной период восстановления. Это отражает низкую выносливость подростков к подобным статическим нагрузкам.

У нетренированных подростков 14–15 лет оптимальное повышение МОК наблюдается при мощности работы не более 40–50% МПК, а оптимальное повышение минутного объема дыхания – при 70% МПК, т.е. при работе умеренной мощности изменения дыхательной и сердечно-сосудистой систем наиболее эффективны.

С увеличением возраста повышаются функциональные резервы дыхательной системы. При работе на уровне МПК величина МОД (л/мин) увеличивается по сравнению с состоянием покоя в возрасте 8–9 лет в 7–8 раз, в 10–11 лет – в 9–11 раз, в 16–18 лет – в 10–12 раз. ***Однако эффективность дыхания у подростков и в определенной мере у юношей еще мала.*** Несмотря на возросший рабочий уровень легочной вентиляции, альвеолярный воздух насыщается кислородом при вдохе у подростков меньше, чем у взрослых. Это обусловлено менее глубоким дыхательным объемом, большим относительным объемом вредного пространства, меньшей выносливостью дыхательных мышц, отставанием роста грудной клетки (и соответственно недостаточной величиной ЖЕЛ), незрелостью регуляторных процессов.

К несовершенству газообмена в легких добавляется еще низкая величина кислородной емкости крови и менее эффективный газообмен в тканях, где ***невысок коэффициент утилизации кислорода,*** т.е. малая величина кислорода переходит из артериальной крови в ткани и значительная его часть уносится венозной кровью обратно. У подростков отмечается менее выгодное соотношение поступления кислорода в легкие и потребление его тканями: у ребенка 8–9 лет и подростка 15–16 лет это соотношение составляет 6:1, а у нетренированного взрослого человека оно равно 5:1 и у тренированного взрослого – 4:1. У взрослых людей каждый литр кислорода при работе на уровне МПК извлекается из 25 л воздуха, а у подростка – из 35 л, т.е. требуемая работа легких почти в 1,5 раза больше, чем у взрослых.

При этом ***кислородный запрос на работу у подростков и юношей выше, чем у взрослых*** на ту же нагрузку. Отмеченные особенности удовлетворения кислородного запроса свидетельствуют о важности регламентирования физических нагрузок у подростков и юношей.

Форсирование нагрузок особенно в период полового созревания может привести к тяжелым последствиям. У девочек 10–11 лет при больших нагрузках возникает несоответствие электрической и механической систолы сердца в результате нарушения обменных процессов в миокарде. При больших нагрузках возникает патологическая инволюция вилочковой железы, нарушение иммунитета приводит к повышенной заболеваемости детей. Угнетается секреция соматотропного гормона, что приводит к задержке роста, а также гормонов коры надпочечников. У девочек в возрасте 11–16 лет особенно угнетается секреция половых гормонов, нарушается становление и стабилизация ОМЦ.

В связи с отмеченным в процессе физического воспитания ***требуется тщательное дозирование и индивидуализация нагрузок,*** контроль за текущим состоянием детей. Постепенное наращивание физических нагрузок в соответствии с возрастными функциональными возможностями развивающегося организма обеспечит рациональное течение адаптационного процесса, сохранение здоровья детей и рост их спортивного мастерства.

3.6.4. Влияние спортивной тренировки на развитие функций организма и динамику работоспособности

Систематические занятия физическими упражнениями вызывают значительные изменения строения и функций организма, повышают его функциональные возможности и способствуют развитию физических качеств юных спортсменов.

В коре больших полушарий тренирующегося подростка наблюдается ***общий подъем функционального состояния (возбудимости и лабильности) корковых нейронов, улучшаются показатели высшей нервной деятельности – сила, уравновешенность и подвижность нервных процессов.*** Возникающий рост быстродействия мозга отражается в его электрической активности повышением частоты основного ритма покоя – альфа-ритма ЭЭГ. У юных спортсменов 14–15 лет с более высокой частотой альфа-ритма (11–12 колеб./с) наблюдается большая частота теппинг-теста и более высокая пропускная способность мозга, чем у детей того же возраста с меньшей частотой альфа-ритма (8–9 колеб./с).

По мере роста специальной работоспособности в ЦНС юного спортсмена происходят специфические изменения, отражающие формирование новых двигательных навыков. Нервные клетки начинают работать более ритмично и стабильно. Активность отдельных нейронов синхронизируется с соседними нейронами и с нейронами ряда отдаленных участков коры, необходимых для участия в управлении конкретными движениями. Тем самым ***создаются особые корковые функциональные системы,*** отражающие в своем составе специфику освоенного двигательного навыка (см. рис. 32), а при циклической работе – темп движений («меченые ритмы» ЭЭГ).

Проявление этих корковых функциональных систем в ЭЭГ усиливается у юных спортсменов по мере повышения возраста и спортивного мастерства, а их особенности проявляются не только во время работы, но и при ее мысленном выполнении (представлении движения), а также в предстартовом состоянии, демонстрируя степень освоения навыка и специфическую предстройку мозга (табл. 31).

В процессе адаптации к физическим нагрузкам ***совершенствуется регуляция кровеносных сосудов мозга.*** У подростков и юношей, адаптированных к значительным статическим напряжениям в процессе занятий тяжелой атлетикой, отмечается более стабильный и высокий кровоток в головном мозгу, чем у неподготовленных к такой работе сверстников.

Таблица 31

Динамика межцентральных взаимосвязей в коре больших полушарий у одних и тех же юных спортсменов-фигуристов на протяжении 5-летней тренировки*

(по: В.С. Капустин, 1984)

Функциональное состояние	I юн. разряд	III разряд	II разряд	I разряд	КМС
	11–12 лет	13–14 лет	15–16 лет	17–18 лет	19–20 лет
Исходный фон	9,3	9,2	10,0	8,2	11,0
Представление неспецифического элемента (бег)	12,2	12,2	12,8	13,7	18,9
Представление специфического элемента (перебежка)	9,6	10,1	13,8	17,4	23,3
Работа (имитация перебежки)	14,2	14,6	19,7	27,0	30,0
Работа под привычную музыку	15,3	19,1	23,3	29,9	32,6

* Показано среднее число высоких 0,7–1,0 корреляций потенциалов в ЭЭГ отдельного спортсмена в % от общего числа просчитанных корреляций.

Высокое нервно-психическое напряжение отрицательно сказывается на возможности сохранять устойчивую работоспособность. Например, более высокая эмоциональная и информационная нагрузка в индивидуальных уроках тактической направленности по сравнению с уроками технической направленности у юных фехтовальщиков приводит к более быстрому развитию утомления и значительно сокращает работу до отказа.

Вместе с тем, чем выше квалификация юных спортсменов, тем большей способностью они обладают к ***произвольной мобилизации функциональных резервов для преодоления утомления,*** особенно в условиях работы с повышенной мотивацией. Они выполняют при этом значительно больший объем работы, чем нетренированные сверстники, но испытывают более глубокое утомление и нуждаются в более длительном отдыхе.

Высокая способность к волевому преодолению развивающегося утомления у юных спортсменов обеспечивается более мощными рабочими доминантами в ЦНС, высокой возбудимостью симпатической нервной системы, наличием у них значительных гормональных резервов (например, величина суточной секреции адреналина и норадреналина во много раз превышает нормы нетренированных детей) и значительной продукцией нервными клетками стимулирующих нейропептидов.

Уже в 12–14-летнем возрасте ***юные спортсмены четко дифференцируются по целому комплексу психофизиологических особенностей на два различных типа, которые совершенно необходимо учитывать при выборе генетически адекватного вида спорта, стиля соревновательной деятельности и амплуа спортсмена*** (атакующий или контратакующий в боксе, нападающий или защитник в футболе, нападающий или разыгрывающий в волейболе и т.п.). На самых начальных этапах спортивной тренировки ***следует также самым тщательным образом определить ведущую руку и ногу спортсмена*** для адекватного выбора вооруженной руки в фехтовании, теннисе, хоккее, правосторонней или левосторонней стойки в боксе, бьющей ноги в футболе, таэквондо, кикбоксинге и т.п. Неадекватный выбор приводит к замедлению и остановке роста спортивного мастерства, создает напряженность в организме, связанную с организацией компенсаторных реакций, и угрожает здоровью спортсмена.

Физические упражнения оказывают положительное влияние на развитие сенсорных систем. Юные спортсмены отли-

чаются точностью кинестетических ощущений, которые выше на наиболее тренируемых мышцах и суставах. При воспроизведении заданных углов сгибания в локтевом суставе (без визуального контроля) фехтовальщики делают в 3 раза меньше ошибок, а лыжники в 2,5 раза меньше ошибок при сгибании в коленном суставе, чем нетренированные подростки. Юные баскетболисты практически точно воспроизводят с закрытыми глазами угол вращения в лучезапястном суставе. Диапазон точно воспроизводимых (без визуального контроля) заданных углов в плечевом и бедренном суставах гораздо более широк у высококвалифицированных юных спортсменов, специализирующихся в таэквондо, чем у нетренированных сверстников.

Юные футболисты отличаются более обширным полем зрения. Совершенствование поисковой функции глаза позволяет юным борцам, боксерам, подросткам, специализирующимся в игровых видах спорта, мгновенно схватывать наиболее значимую информацию и быстро на нее реагировать. Высококвалифицированные юные фигуристы демонстрируют великолепную вестибулярную устойчивость, выполняя за 55-минутную тренировку до 500 вращений без каких-либо нарушений координации. Опускаясь на пол после вращений на установке «Вертикаль», они почти мгновенно могут принимать стабильную позу, а у нетренированных подростков это «время нерешительности» занимает несколько секунд.

В среднем и старшем школьном возрасте особенно значительно спортивная тренировка влияет на развитие опорно-двигательного аппарата. В наиболее нагруженных костях скелета заметно увеличивается толщина и плотность костей, степень их минерализации. ***Мышечная масса и сила преимущественно нарастают в наиболее тренируемых мышцах,*** создавая специфику топографии мышечной силы, характерную для каждого вида спорта.

В процессе многолетней спортивной тренировки в скелетных мышцах ***увеличивается объем быстрых гликолитических волокон типа II-б (анаэробных).*** Возможно также, что под влиянием скорстно-силовых физических упражнений многие волокна промежуточного типа (II-а, окислительные, аэробные) приобретают свойства волокон типа II-б (гликолитических). Показано, что у 12-летних спортсменов объем быстрых и мощных мышечных волокон в составе скелетных мышц достоверно превышает этот показатель у незанимающихся подростков (59% против 51%).

Эти особенности коррелируют у юных спортсменов с большей (в 3 раза) концентрацией в крови гормона тестостерона в состоянии покоя (5,8 нМоль/л против 1,8 нМоль/л) и большей концентрацией лактата при анаэробной работе.

Повышение мышечной силы часто сопровождается чрезмерным ***усилением тонуса напряжения*** без достаточной способности к расслаблению мышц. Такие соотношения снижают амплитуду движений, препятствуют росту работоспособности мышечного аппарата, приводят к быстрому утомлению мышц. У 13–14-летних футболистов в четырехглавой мышце бедра отмечали наибольшее увеличение амплитуды тонуса за счет более выраженного нарастания тонуса напряжения, а улучшение показателей расслабления наступало лишь после 16 лет, при переходе в команду мастеров. Подобные изменения являются результатом усиленной изометрической тренировки силы без необходимого внимания к упражнениям на расслабление.

Увеличение тощей массы тела сопровождается у юных спортсменов ***уменьшением содержания жира,*** особенно заметным у представителей зимних видов спорта (до 7–8 % от массы тела). Чем меньше у них процент жира в составе тела, тем выше физическая работоспособность.

Систематические тренировки оказывают неоднозначное влияние на темпы роста и развития организма детей. У девочек-ретардантоk, занимающихся гимнастикой, многолетние тренировки усиливают отставание их биологического возраста от паспортного (меньше стандартных величин масса и длина тела, более позднее появление менархе и пр.). Лишь к 16-летнему возрасту они начинают догонять сверстниц. В противоположность этому у пловцов-акселератов увеличиваются темпы развития (нарастают проявления акселерации), они в 13-летнем возрасте на 2–3 года и более опережают сверстников по многим показателям. Многие юные баскетболисты в 13 лет достигают показателей 17–18-летних юношей, опережая однолеток на 4–5 лет.

Перестройки соматических функций организма сопровождаются изменениями вегетативных показателей у юных спортсменов.

Развитие массы сердечной мышцы и увеличение объема сердца повышают аэробные возможности организма. В системе дыхания под влиянием длительной тренировочных занятий повышается эффективность и экономичность дыхательной функции, увеличивается ЖЕЛ (на 123% против должных

величин), что обеспечивает быстрый рост МПК. Снижается чувствительность дыхательного центра к недостатку кислорода (гипоксии) и избытку углекислого газа (гиперкапнии). Это позволяет существенно увеличить переносимость кислородного долга и продлить задержку дыхания.

При адаптации организма юных спортсменов к работе переменной мощности показатели сердечно-сосудистой и дыхательной систем становятся более подвижными, точнее следуют за текущими изменениями мощности нагрузки.

Большое значение в адаптации к аэробной и смешанной аэробно-анаэробной работе имеет ***повышение кислородной емкости крови.*** Показано, что увеличение работоспособности юных бегунов на средние дистанции коррелирует с увеличением количества эритроцитов, гемоглобина и содержанием железа в крови. У 10–11-летних пловцов отмечалось повышенное содержание эритроцитов в крови и достоверное повышение физической работоспособности на протяжении годичного тренировочного цикла (табл. 32).

Таблица 32

Физическая работоспособность и количество эритроцитов в крови у юных пловцов и нетренированных мальчиков 10–11 лет в начале и конце учебно-тренировочного года

(по: В.Я. Еремеев и др., 1983)

Группы обследуемых	PWC_{170} в начале года, кгм/мин	PWC_{170} в конце года, кгм/мин	Количество эритроцитов в начале года, $n \times 10^{12}$/л	Количество эритроцитов в конце года, $n \times 10^{12}$/л
Пловцы-мальчики	497,9	616,5	4,545	4,57
Нетренир. мальчики	429,6	538,5	4,491	4,55

Юные спортсмены-лыжники I разряда в возрасте 16–17 лет, имевшие в состоянии покоя высокое содержание в крови эритроцитов (до $5{,}12 \times 10^{12}$/л) и гемоглобина (до 168 г/л), а также большую величину ЖЕЛ (до 5,7 л), показывали очень высокие функциональные изменения при выполнении велоэргометрических нагрузок, характерные лишь для высококвалифицированных взрослых спортсменов: максимальная мощность работы у них достигала 400 Вт, относительные величины МПК составляли 73,6 мл/мин/кг, ЧСС возрастала до 240 уд./мин, систолическое АД поднималось до 200 мм рт. ст., а концентрация лактата доходила до 26,5 мМоль/л.

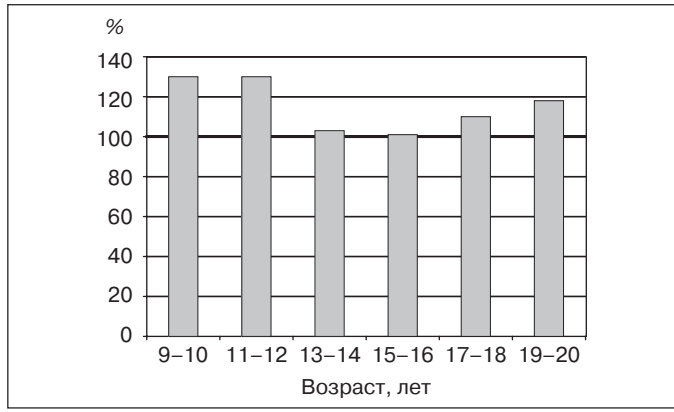


Рис. 60. Возрастная динамика физической работоспособности юных футболистов по отношению к работоспособности нетренированных сверстников, принятой за 100%

Подобные высокие показатели доступны юным спортсменам только после окончания периода полового созревания, а на протяжении переходного периода они чаще всего испытывают временное снижение работоспособности, связанное с перестройкой функций в организме. ***Временное снижение физической работоспособности юных спортсменов в период полового созревания*** (особенно в III фазу) наблюдается несмотря на продолжение систематических тренировок (рис. 60). После окончания этого периода снова показатели работоспособности превышают данные малоподвижных подростков и юношей.

Многочисленными исследованиями продемонстрировано, что ***рациональное построение тренировочного процесса приводит к улучшению сопротивляемости юного организма инфекционным и простудным заболеваниям, снижает их количество и продолжительность, уменьшает возможность осложнений.***

Изучение механизмов адаптации юных спортсменов к физическим нагрузкам показало, что этот процесс сугубо индивидуален, зависит от множества морфофункциональных и психофизиологических показателей молодого организма, которые довольно жестко контролируются генетически. Тренерам и педагогам, а также самим спортсменам необходимо помнить, что совершенствование функциональной подготовленности юных спортсменов требует обязательного учета индивидуальных особенностей каждого организма, его возрастных возможностей, врожденных пределов изменчивости строения и функций под влиянием физиче-

ских нагрузок. Лишь в этом случае возможно обеспечить планомерное нарастание спортивного мастерства, не ухудшая процессов роста и развития и сохраняя на высоком уровне здоровье юного спортсмена.

4. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УРОКА ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ В ШКОЛЕ

В последние годы наряду с общеобразовательными школами появились новые учебные заведения (гимназии, лицеи), в том числе и частные, которые характеризуются возросшим объемом общей учебной нагрузки и снижением внимания к занятиям физической культурой. Это приводит к существенному ухудшению функций организма, развитию преморбидных состояний и повышению уровня заболеваемости учащихся.

В физкультурных и педагогических вузах России студенты знакомятся с некоторыми положениями педагогического контроля и особенностями функций организма школьников на уроках физической культуры. Однако в методических указаниях по данной проблеме отсутствуют сведения о влиянии занятий физическими упражнениями на состояние здоровья детей. Параллельное рассмотрение этих вопросов педагогами, тренерами и физиологами будет способствовать всестороннему взаимодополнению и более глубокому анализу влияния физических нагрузок на организм учащихся.

Хорошо известно, что достаточное и правильно организованное физическое воспитание становится действенным средством сохранения и укрепления здоровья, улучшения физического и функционального развития детей и подростков. С другой стороны, анализ существующей системы педагогического и медицинского контроля за уроками физической культуры свидетельствует о том, что такие занятия проводятся без достаточного учета физиологических особенностей организма и работоспособности школьников.

4.1. ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НОРМИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ДЛЯ ДЕТЕЙ ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА

Одной из важнейших задач возрастной физиологии является нормирование ***физических нагрузок для детей с учетом их возраста.***

Обоснование физических нагрузок, адекватных функциональным возможностям организма, обычно осуществляется по трем параметрам:

1) ***величина сдвигов физиологических констант*** и прежде всего частота сердечных сокращений, уровень артериального давления, потребление кислорода и легочная вентиляция;

2) ***биоэнергетические затраты организма;***

3) ***интенсивность физических упражнений*** (сила, скорость передвижения).

В физиологии спорта чаще всего используются две классификации интенсивности физических упражнений. Согласно одной из них, интенсивность физических нагрузок оценивается ***величиной потребления кислорода*** и количеством затраченной энергии. В этом случае упражнения делят на группы с преобладанием аэробных, анаэробных или смешанных (анаэробно-аэробных) путей энергопродукции. При этом подчеркнем, что удовлетворение энергетических запросов организма обеспечивают три энергетические системы: 1) анаэробная фосфагенная (АТФ, КрФ), она же алактатная; 2) анаэробная лактатная (гликолитическая); 3) аэробная (окислительное фосфорилирование).

В другом случае весь диапазон интенсивности физических нагрузок делится на ***зоны мощности,*** в зависимости от показателей механической работы, которую выполняет человек. Впервые такую классификацию осуществил А. Хилл (1926), более детально ее рассмотрел В.С. Фарфель (1947), которым была установлена четкая зависимость между скоростью преодоления дистанции и предельным временем, в течение которого эта скорость может поддерживаться. Им обоснованы четыре зоны относительной мощности: максимальная, субмаксимальная, большая и умеренная.

Считается, что тренировочная нагрузка любого занятия физическими упражнениями должна обеспечивать не только нужную величину и направленность срочного эффекта, но и его ***взаимодействие с тренировочными эффектами предшествующего и последующего занятий*** (чистый фон или предшествовало какое-то упражнение). Исходя из этого, отмечают ***три типа взаимодействий,*** при которых нагрузка предшествующих упражнений влияет на функциональные сдвиги, вызванные нагрузкой последующего упражнения: 1) положительное взаимодействие (сдвиги функций увеличиваются); 2) отрицательное (сдвиги уменьшаются); 3) нейтральное (изменения функций не существенны).

Для развития тренированности важно положительное взаимодействие, которое достигается в следующих случаях:

– в начале занятия выполняются анаэробные алактатные упражнения (скоростно-силовые), а затем анаэробные гликолитические (упражнения на скоростную выносливость);

– сначала выполняются алактатные анаэробные упражнения, а затем аэробные (упражнения на общую выносливость);

– сначала выполняются анаэробные гликолитические, затем аэробные упражнения.

При другом сочетании упражнений добиться положительного взаимодействия трудно, а подчас и невозможно. Так, если вначале выполнять аэробные, а затем анаэробные упражнения, то взаимодействие энергетических систем будет отрицательным, а тренировочные занятия будут мало эффективными.

При нормировании нагрузок также рекомендуется учитывать следующие компоненты:

1) ***продолжительность упражнения;***

2) ***его интенсивность;***

3) ***продолжительность интервалов отдыха*** между упражнениями;

4) ***характер отдыха*** (активный, пассивный);

5) ***число повторений упражнений.***

Анализ и учет всех этих компонентов позволяет, с одной стороны, регулировать интенсивность нагрузок, а с другой – прогнозировать величину и характер функциональных сдвигов у занимающихся.

На уроках физической культуры должны выполняться упражнения как циклического характера (ходьба, бег, приседания), направленные прежде всего на развитие быстроты и выносливости, так и ациклического характера (прыжки, метания, гимнастические упражнения), развивающие силу и ловкость. Необходимость ациклических движений подтверждается большим их представительством при выполнении трудовых и бытовых двигательных действий.

При нормировании нагрузок в упражнениях циклического характера первостепенное значение приобретает оценка энерготрат на данную работу, степень функциональных сдвигов при ее выполнении и скорость их восстановления. При нормировании интенсивности ациклических упражнений главное значение приобретает оценка уровня устойчивости двигательного динамического стереотипа разучиваемого движения, степень совершенства

коррекций движений и их конечные результаты и в меньшей мере – показатели функциональных изменений и скорость их нормализации.

Одна из задач физиологически обоснованного нормирования нагрузок на уроках физической культуры состоит в том, чтобы затраты энергии, число повторений упражнений и продолжительность выполнения серий упражнений были ***оптимальными.*** Если затраты энергии и число повторений упражнений малы, то эффект занятий будет понижен вследствие недостаточной мобилизации физиологических функций. Если же затраты энергии, число повторений и продолжительность упражнений чрезмерно велики, то эффект упражнений будет также снижен, но в результате ослабления физиологических процессов в связи с истощениями энергоресурсов, ферментов и нарушениями механизмов регуляции функций.

В настоящее время считается, что затраты энергии детей младшего и среднего школьного возраста на уроках физической культуры должны составлять 20–30% МПК. Продолжительность серий упражнений не должна превышать той, при которой появляются признаки нарушения согласованного ритма физиологических процессов (Любомирский Л.Е., 1989). Проведенный автором анализ экспериментальных показателей работоспособности школьников от 7 до 11 лет и особенностей адаптации их систем дыхания и кровообращения дает основание считать, что использование чередования нагрузок большой и умеренной интенсивности позволяет повышать эффективность уроков физической культуры, направленных на развитие выносливости учащихся.

4.2. ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИЙ ОРГАНИЗМА ШКОЛЬНИКОВ НА УРОКЕ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

Физиологическое обоснование нагрузок на уроках физической культуры прежде всего обусловлено необходимостью изучения двигательной деятельности на уроке с учетом интенсивности нагрузок и времени их выполнения, а также оценкой функционального состояния организма в ответ на эти нагрузки. Исходя из этих основных положений, в настоящее время общепринятой является структура урока ***физической культуры, состоящая из трех взаимосвязанных частей: вводной (подготовительной), основной и заключительной.*** Продолжительность

каждой части урока должна определяться направленностью и характером учебной деятельности, возрастом и полом школьников, их физическим и функциональным развитием. В общеобразовательных школах в соответствии с существующими рекомендациями по проведению урока физической культуры время его каждой части довольно четко регламентировано.

Подготовительная часть урока, продолжительностью 8–10 мин, включает ходьбу с построением, бег со средней скоростью и вольные упражнения. Упражнения подготовительного этапа урока направлены на достижение врабатывания организма школьников к основной его части. ***Врабатывание*** различных органов и систем осуществляется неравномерно (вначале – быстро, затем медленнее) и неодновременно (гетерохронно) – двигательная система (10–30 с), вегетативные органы (3–5 мин). С физиологических позиций в период врабатывания происходит перестройка нервных и гуморальных механизмов регуляции анимальных и вегетативных систем, формирование необходимого двигательного стереотипа и улучшение координации движений, а также достижение требуемого уровня функций вегетативных органов и систем, оптимально обеспечивающих данную мышечную деятельность.

Основная часть урока, продолжительностью около 30 мин, включает бег, ходьбу, прыжки в длину и высоту и направлена прежде всего на развитие быстроты и выносливости. Физиологический интерес состоит в том, что в этой части урока следует ожидать наиболее выраженные функциональные изменения.

Заключительная часть урока (5–7 мин) включает ходьбу, прыжки на двух и одной ноге, бег со средней скоростью, ходьбу с глубоким дыханием. Все упражнения в этой части урока должны выполняться в замедленном темпе, способствуя расслаблению мышц, нормализации функций организма и активизации восстановительных процессов. Заключительная часть урока должна способствовать постепенному переходу от активной мышечной деятельности к обычному двигательному режиму школьника.

Как же изменяются функции организма на различных этапах урока? Во время подготовительной части урока функциональные изменения характеризуются преобладанием процессов возбуждения в ЦНС, повышением возбудимости сенсорных, моторных и вегетативных нервных центров, улучшением работы желез внутренней секреции. Все это ведет к усилению функций раз-

личных органов и систем и, в частности, проявляется ускорением сенсомоторных реакций, увеличением скорости проведения импульсов по нервным и мышечным волокнам; увеличивается скорость метаболических процессов в мышцах, растет содержание в крови катехоламинов и кортикостероидов, повышается температура тела.

Со стороны вегетативных органов и систем отмечаются тахикардия, повышение артериального давления и скорости кровотока, увеличиваются ударный и минутный объемы крови, ее венозный возврат, улучшается микроциркуляция скелетных мышц, миокарда, кожи. Увеличиваются частота и глубина дыхания, минутный объем дыхания, растет коэффициент использования кислорода, повышается количество лейкоцитов, эритроцитов и гемоглобина, отмечается сдвиг кривой диссоциации оксигемоглобина вправо и растет кислородная емкость крови, увеличивается потоотделение и др. ***Физиологический смысл всех этих изменений заключается в переходе различных органов и систем на новый уровень функционирования, оптимальный для конкретной мышечной деятельности.***

Существующие «Методические рекомендации по проведению урока физической культуры» предусматривают ***максимальные сдвиги физиологических функций в основной части урока и возвращение их к исходному состоянию в заключительной части***. Как показали специальные исследования В.С. Фарфеля с сотрудниками (1949) и других специалистов, отмечаются значительные отклонения фактических данных от методических рекомендаций. В частности, было установлено существенное увеличение частоты сердечных сокращений даже в подготовительной части урока (160–180 уд./мин, а рекомендуется увеличение не более, чем в 1,5–2 раза от исходного); иногда в подготовительной части урока изменения функций происходят в сторону увеличения по сравнению с основной; в заключительной части урока показатели не всегда достигают исходных величин.

С одной стороны, это свидетельствует о неправильном распределении физических нагрузок, урок не всегда достигает своей цели – повышения выносливости и тренированности, сохранения и укрепления здоровья учащихся. С другой стороны, это указывает на необходимость более глубокой и всесторонней физиолого-педагогической оценки урока физической культуры и внесения соответствующих коррективов в его проведение.

4.3. ВЛИЯНИЕ ЗАНЯТИЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ НА ФИЗИЧЕСКОЕ, ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ, РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ ШКОЛЬНИКОВ

Уроки физической культуры должны повышать устойчивость организма школьников к физическим нагрузкам и быть направлены на улучшение физического и функционального развития, увеличение работоспособности, сохранение и укрепление здоровья учащихся. Медико-биологической основой этих процессов являются физиологические, биохимические и морфологические изменения, возникающие во время занятий физическими упражнениями, а также совершенствование нервной и гуморальной регуляции функций организма учащихся.

Одно из основных физиолого-педагогических требований урока физической культуры состоит в получении тренировочного эффекта. В физиологическом отношении тренировочный эффект заключается прежде всего в повышении функциональных возможностей различных органов и систем и развитии адаптации организма к физическим нагрузкам.

Тренировочный эффект возникает, если ***нагрузка*** достигает или превышает пороговую величину, которая всегда ***должна быть выше обычной повседневной*** (бытовой) нагрузки. Выбирая величину пороговой нагрузки, следует учитывать функциональные возможности организма, возраст и пол школьников. Одна и та же нагрузка может быть выше или ниже пороговой для школьников разного возраста (младший, средний, старший) и разного пола. Для решения различных задач урока (вводная, основная, заключительная) величина пороговых нагрузок также должна быть различной. Из сказанного следует, что для правильного и грамотного проведения занятий педагогу необходимо знать и учитывать целый ряд методических и медико-биологических положений.

В соответствии с фазовым протеканием адаптационных изменений ***тренировочный эффект физических упражнений может быть различным: срочным, отставленным (пролонгированным) и кумулятивным.***

Срочный эффект нагрузки проявляется функциональными изменениями в организме во время или вскоре после окончания нагрузок (до 30–60 мин). Главная физиологическая особенность срочного эффекта заключается в том, что он формируется на основе готовых, ранее образованных механизмов регу-

ляции и программ приспособления и характеризуется избыточной активацией различных органов и систем.

Отставленный тренировочный эффект наблюдается на поздних фазах восстановления и в физиологическом отношении представляет собой продолжительную деятельность различных органов и систем на повышенном уровне их функционирования. Именно отставленный эффект способствует развитию в организме явлений суперкомпенсации.

Кумулятивный эффект возникает как результат последовательного суммирования срочных или отставленных и формируется на основе вновь создаваемых программ и механизмов приспособления. В кумулятивном эффекте возникают изменения, связанные с усилением синтеза нуклеиновых кислот и белков, способствующих развитию долговременной адаптации. Кумулятивный эффект выражается в улучшении физического и функционального развития, повышении работоспособности и вызывает две основные физиологические перестройки: а) увеличение функциональных резервов организма; б) повышение экономичности (эффективности) деятельности различных органов и систем.

Продолжительность упражнений тесно связана со скоростью их выполнения и определяется характером энергообеспечения. Так, при выполнении упражнений в максимально возможном темпе в течение 3–10 секунд энергообеспечение осуществляется по креатинфосфатному механизму, при работе от 20 секунд до 3–5 минут – по гликолитическому (лактатному) и при умеренной нагрузке в течение десятков минут и нескольких часов развертываются аэробные реакции.

Существенное значение имеет ***продолжительность интервала отдыха*** между нагрузками. Если нагрузки невелики и отдых между ними достаточен, то школьники работают при аэробном энергообеспечении; если нагрузки большие, а отдых мал – при анаэробном энергообеспечении.

Увеличение ***числа повторений упражнений*** в аэробных условиях повышает функциональные возможности кислородтранспортной системы и физическую работоспособность, а при увеличении числа повторений в анаэробных условиях – наступает истощение механизмов энергообеспечения и снижаются функциональные возможности организма.

С увеличением возраста школьников, которые регулярно занимаются физическими упражнениями, функции организма и работоспособность улучшаются. С другой стороны, достоверно

установлено, что ***количество занятий физическими упражнениями*** *для* ***адекватного развития организма школьников, предусмотренное существующим ныне учебным планом, недостаточно.*** В частности, специально выполненными исследованиями под руководством Л.Е. Любомирского (1989), школьников разных возрастных групп (7–10 классы) при обычном занятии физической культурой (2 часа в неделю) и дополнительном введении одного внеурочного часа установлено, что у лиц экспериментальной группы были лучшие показатели гемодинамики, внешнего дыхания, энергообеспечения и выше уровень физической работоспособности по данным велоэргометрии. Было также показано, что у школьников в стадии завершения полового созревания как в состоянии покоя, так и при различных физических нагрузках (по сравнению с лицами препубертатного периода) показатели функций организма более экономичны и у них существенно выше работоспособность.

Известно, что в странах Западной Европы, США и Японии на занятия по физическому воспитанию школьников отведено от 3 до 6 часов в неделю. И даже при таком положении дел в ФРГ, например, «более 60% школьников страдают заболеваниями, которые раньше считались “привилегией” лиц пожилого возраста». В США, по данным Президентского совета по физической подготовке и спорту, «... в начале 80-х годов лишь 0,1% школьников выполняли спортивные нормативы, установленные советом» (Жарова Л., Станиславская Е., 1987). Есть все основания полагать, что физическое и функциональное развитие школьников нашей страны и состояние их здоровья – не лучше.

По данным доклада в Государственной думе в 1993 г. о состоянии здоровья населения Российской Федерации, 60% детей в возрасте от 3 по 7 лет отнесены к практически здоровым, но имеющим различные функциональные нарушения. В частности, у 30–40% детей младшего и у 20–30% – старшего дошкольного возраста отмечены невротические нарушения, у 35% – отклонения со стороны опорно-двигательного аппарата и пр.

С 1960 по 1993 г. численность практически здоровых школьников (I–II группы здоровья) снизилась в первых классах с 61% до 46%, в восьмых – с 60% до 48%. С переходом из класса в класс здоровье детей ухудшается. За время обучения в школе число абсолютно здоровых детей снижается в 4–5 раз, особенно в 4–5 классах, когда совпадают периоды полового созревания и повышенной учебной нагрузки. К 8 классу в 5 раз возрастает частота

нарушений со стороны органа зрения, в 1,5–2 раза – нервно-психических расстройств, в 2–3 раза – нарушения осанки.

По данным Первого съезда практических психологов (1994), около 80% школьников заканчивают учебу с отклонениями в состоянии здоровья, 45% из них являются хроническими больными. Причины такого состояния – издержки школьного обучения.

Высокая интенсивность школьного обучения и недостаточная двигательная активность приводят к резкому снижению эмоционального и психического тонуса учащихся, повышению уровня тревожности и снижению их умственной работоспособности.

Гипокинезия, вызывая нарушения обменных процессов и избыточное отложение липидов, способствует заболеванию детей ***ожирением.*** У таких детей чаще возникают ***травмы,*** в 3–5 раз выше ***простудная заболеваемость.*** На протяжении школьного обучения у 14–18% школьников развивается гипертоническая болезнь, а 20–25% детей из числа отстающих в учебе по состоянию здоровья становятся второгодниками. Как указывают авторы, ***школьные уроки физической культуры (2 часа в неделю) восполняют двигательный дефицит только на 11%.***

На протяжении десяти лет под нашим руководством проводились комплексные обследования детей дошкольного возраста, школьников и студентов в различных регионах России (Калининград, Кемерово, Краснодар, Курск, Санкт-Петербург, Шуя, Уссурийск). Результаты этих исследований, значительная часть которых уже завершена и защищена в виде кандидатских и докторских диссертаций, позволили нам сформулировать и реализовать некоторые теоретические и прикладные проблемы профилактического, диагностического и оздоровительного характера.

Выполненные комплексные исследования по оценке функционального состояния ЦНС, сердечно-сосудистой, дыхательной и сенсорных систем, органов выделения, энергообеспечения и физической работоспособности у школьников и студентов в процессе регулярных занятий физическими упражнениями позволили установить некоторые особенности в проявлении вышеназванных физиологических реакций по сравнению с аналогичными показателями ***у лиц, не занимающихся физическими упражнениями.*** В частности, у последней категории обследованных перестройка регуляторных приспособительных механизмов и мобилизация физиологических резервов осуществляется, как правило, с ***повы-***

шенными энергетическими затратами. В зависимости от возраста и стажа физкультурных занятий установлены различные типы кортикального влияния на процессы центральной регуляции адаптивных механизмов с вовлечением в этот процесс различных отделов головного мозга.

Особенностью деятельности сердечно-сосудистой системы ***у детей в первые годы регулярных занятий физическими упражнениями*** с определенными нагрузками является ***преобладание процессов гипертрофии миокарда и более умеренное расширение полостей сердца.*** Под влиянием умеренных физических нагрузок у школьников и студентов ***улучшается взаимодействие анализаторных систем, нормализуется кислотно-щелочной баланс организма, ускоряется восстановление мышечного тонуса, а также совершенствуются фильтрационные, водо-, ионо- и осморегулирующие функции почек.***

Лица, не занимающиеся регулярно физическими упражнениями, при нагрузках характеризуются более ранним метаболическим ацидозом и коротким аэробно-анаэробным переходом, что является факторами, лимитирующими физическую работоспособность и способствующими возникновению отдельных заболеваний.

При систематических занятиях определенным видом труда в организме человека формируется специальная функциональная система адаптации. Образование такой системы у школьников и студентов ***составляет принципиальную основу долговременного приспособления к физическим нагрузкам*** и реализуется повышением эффективности деятельности различных органов, систем и организма в целом (Солодков А.С., 1988). Установлены особенности взаимосвязи функций ЦНС, кровообращения, дыхания, сенсорных систем и энергообеспечения в зависимости от возраста и стажа занятий. Зная закономерности формирования функциональной системы, можно различными средствами эффективно влиять на отдельные ее звенья, ускоряя приспособление к физическим нагрузкам и повышая работоспособность, т.е. управлять адаптационным процессом, а также предупреждать неблагоприятно направленные функциональные сдвиги и сохранять здоровье учащихся.

Сохранение и восстановление здоровья населения (в данном случае не принимается во внимание лечение болезней) могут осуществляться путем применения различных способов и средств. В настоящее время наиболее распространенными яв-

ляются: скрининг населения с ***выявлением «групп риска»*** среди практически здоровых людей, формирование и реализация ***здорового образа жизни, улучшение экологической ситуации, условий труда и быта людей*** и др. Однако многие из них требуют значительных материальных затрат, дорогостоящего оборудования и аппаратуры, специального обучения персонала. А ***достаточная двигательная активность,*** направленная на борьбу с гиподинамией и гипокинезией, широкое внедрение физической культуры в жизнь и быт населения, как показывают многочисленные медико-биологические исследования, способствуют укреплению здоровья человека, повышению устойчивости его организма к действию различных неблагоприятных факторов внешней среды (температура, давление, загрязненность воздуха и воды, инфекции и др.), а также сохранению и восстановлению работоспособности, препятствию развития раннего утомления и переутомления и коррекции психоэмоциональных перегрузок во время профессиональной деятельности человека.

В процессе выполнения исследований нами была теоретически обоснована и экспериментально проверена на практике в школах, гимназиях и вузах России ***концепция функциональной взаимозависимости физических нагрузок, показателей функций организма и состояния здоровья учащихся*** (рис. 61). Оказалось, что недостаточная двигательная активность ведет к изменению функциональных показателей организма, отрицательные сдвиги которых могут вызывать возникновение предпатологических состояний и заболеваний. Возникшие формы патологии в свою очередь снижают двигательную активность, ухудшают функциональное состояние организма и еще более увеличивают интенсивные показатели заболеваний, которые нередко приобретают хронический характер. ***Таким образом получается порочный замкнутый круг, который проще и доступнее всего***

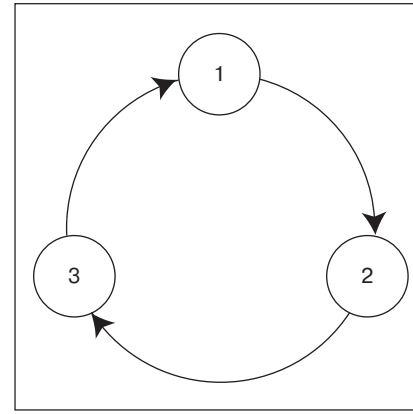


Рис. 61. Функциональная взаимосвязь физических нагрузок и состояния здоровья населения:
1 – уровень физической активности;
2 – состояние функций организма;
3 – заболеваемость

разорвать путем применения различных физических упражнений в достаточном объеме с учетом возраста, пола, тренированности и состояния здоровья людей.

В частности, проведенное нами медико-педагогическое наблюдение за учащимися гимназии физико-математического профиля при СПбГУ показало, что ученики 9 класса (первый год обучения в гимназии) совершают от 12 000 до 20 000 локомоций (по данным шагометрии), в 10 классе 5000–12 000 и в 11 классе – от 10 000 до 15 000 (рис. 62). Анализ функций сердечно-сосудистой системы свидетельствует, что за трехлетний период обучения у детей как в состоянии покоя, так и при физических нагрузках наблюдается тенденция к тахикардии, развитию гипотензивных реакций и снижению мышечной работоспособности.

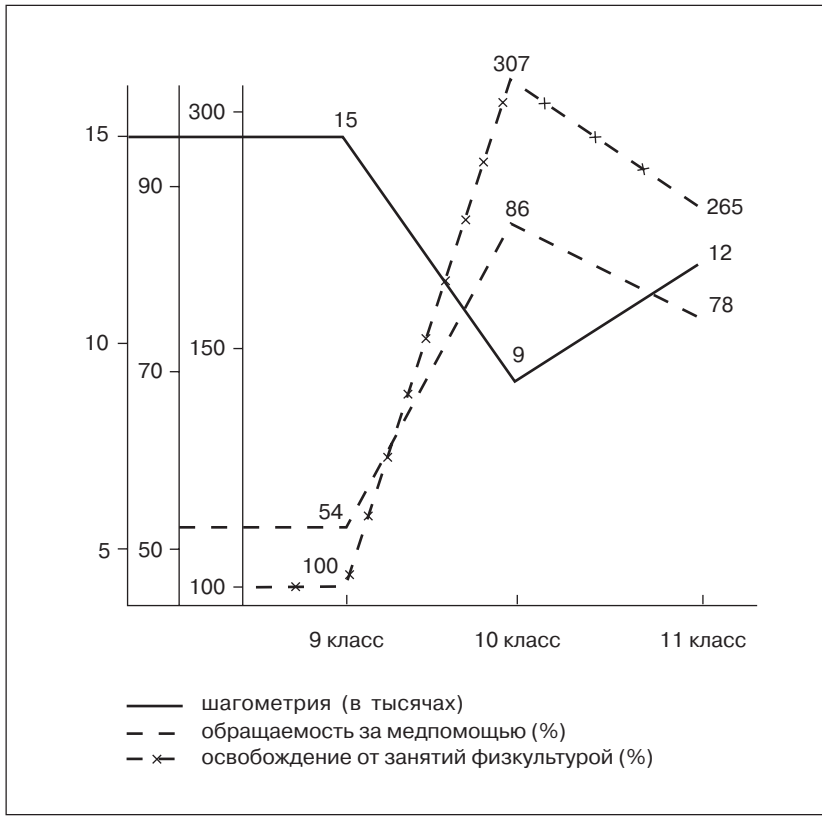


Рис. 62. Взаимозависимость двигательной активности и состояния здоровья учащихся

По данным врачей этой гимназии, среди учащихся 9 класса заболевания, по поводу которых они обращались за медицинской помощью, отмечены у 54% гимназистов, в 10 классе – у 86% и в 11 классе – у 78%. Несомненный интерес представляют сведения об освобождении учащихся по болезни от занятий на уроках физической культуры. Так, если общее число освобождений в 9 классе условно принять за 100%, то в 10 классе оно составило 307% и в 11 классе – 265%. Анализ общей заболеваемости гимназистов во всех трех классах позволил установить, что среди 227 человек те или иные формы патологии выявлены у 164 (74,4%) учащихся.

О состоянии здоровья студентов высших учебных заведений в различных городах России можно сказать следующее. ***Удельный вес студентов, включенных в специальные медицинские группы*** (Калининградский университет, Кубанский медицинский институт, Санкт-Петербургские медицинские вузы, Шуйский и Уссурийский педагогические институты), ***составляет от 15% до 30%.*** Совершенно очевидно, что в состав этих групп включаются не все студенты, имеющие те или иные формы патологии. Поэтому ***общая заболеваемость студентов в различных вузах колеблется от 50% до 75% от общего их числа. У школьников и студентов, регулярно занимающихся физическими упражнениями, общая заболеваемость в 1,5–2 раза ниже, чем у лиц контрольных групп.***

4.4. ФИЗИОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЗА ЗАНЯТИЯМИ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОРГАНИЗМА ШКОЛЬНИКОВ

Для эффективного нормирования и управления уроком физической культуры необходим комплексный физиолого-педагогический контроль, на основании которого оценивается эффект нагрузки и функциональное состояние организма. Зарегистрированные в процессе контроля параметры функционального состояния и эффектов нагрузки сопоставляются с количественными и качественными ее характеристиками, на основании чего составляется конспект урока и методические рекомендации по его проведению. Используются ***три вида контроля: оперативный, текущий и этапный.***

Оперативный контроль предназначен для регистрации одного упражнения, серии упражнений и урока в целом, а также

функциональных изменений организма. Анализ результатов контроля основан на оценке зависимости типа «доза-эффект», где дозой является величина и время нагрузки, а эффектом – степень выраженности и направленность функциональных сдвигов. Установлено, что ***наибольшее потребление кислорода, более эффективное функционирование различных органов и систем отмечается при средних по величине объемах нагрузок.*** Малые нагрузки не вызывают необходимого физиологического эффекта, большие – угнетают деятельность кислородтранспортной системы, снижают функциональные резервы и работоспособность учащихся.

Оперативная оценка физиологической стоимости упражнений имеет большое значение при выборе рациональной последовательности их выполнения и продолжительности на уроке. Нагрузку на уроке нужно распределять так, чтобы получить заданное (положительное или отрицательное) взаимодействие срочных эффектов, которое должно проявляться в увеличении или в уменьшении функциональных сдвигов, вызванных предшествующей энерготратой и последующей работой. Если во время урока используется много различных упражнений, оценка величины и направленности срочных эффектов каждого из них позволяет установить их нагрузочную стоимость и оптимизировать последовательность выполнения. Установлено, что частота сердечных сокращений при выполнении упражнений на различных гимнастических снарядах практически одинакова. Однако если определять частоту пульса только в начале нагрузок, то наибольшие сдвиги при этом наблюдаются при выполнении вольных упражнений, а наименьшие – во время прыжков. Особенно важен оперативный контроль за динамикой функциональных сдвигов в игровых частях урока, когда упражнения выполняются одновременно группой школьников.

Текущий контроль предусматривает регистрацию нагрузок и их влияние на организм за несколько уроков (5–10). В основе текущего контроля лежат данные регистрации показателей каждого урока, их сопоставление с результатами контрольных занятий и с показателями текущего функционального состояния школьников. Анализ данных текущего контроля проводится ***на основе оценки восстановления основных функций*** организма в зависимости от объема выполненной нагрузки. Полученные данные о характеристике восстановительных процессов служат основой для планирования нагрузки на ближайшие

уроки при обязательном учете гетерохронности восстановления различных функций. Поэтому подбор упражнений должен осуществляться таким образом, чтобы одинаковые по направленности нагрузки задавались через достаточные интервалы времени для восстановления ведущих функций организма.

Этапный контроль нагрузки заключается в регистрации ее параметров и их анализе на протяжении нескольких месяцев и даже всего учебного года. Количество этапов зависит от возраста, пола, подготовленности школьников и педагогических задач урока. Главными задачами этапного контроля являются ***анализ спортивных результатов, физического развития, функционального состояния и определения наиболее эффективных нагрузок, обладающих выраженным развивающим воздействием.*** Рассчитав соотношение нагрузок разной направленности, следует сопоставлять полученные результаты с показателями кумулятивного эффекта нагрузки. Надежность полученных при этом данных зависит прежде всего от информативности тестов этапного контроля, к числу которых относят ***энерготраты организма и показатели физической работоспособности школьников.*** Наиболее доступными методиками для определения энерготрат являются различные расчетные показатели.

Энерготраты в состоянии абсолютного покоя (основной обмен) рассчитывают по формуле Рида:

$$E = 0{,}75\ (\text{ЧСС} + 0{,}74 \times \text{ПД} \times 72),$$

где E – энерготраты в ккал/сут; ПД – пульсовое артериальное давление в мм рт. ст.

Широкое распространение для этих целей получила формула Брейтмана:

$$E = 0{,}75 \times \text{ЧСС} + 0{,}5 \times \text{ПД} - 74,$$

где E – энерготраты в % от стандартов Гарриса и Бенедикта.

В физиологии труда и спорта общие энерготраты организма ($E_{\text{общ.}}$) рассматривают как сумму энергетических расходов в покое ($E_{\text{пок.}}$) и при нагрузке ($E_{\text{нагр.}}$): $E_{\text{общ.}} = E_{\text{пок.}} + E_{\text{нагр.}}$.

При этом энерготраты в покое рассчитывают по формуле:

$$E_{\text{пок.}} = W_{\text{исх.}} \times 0{,}014,$$

где $E_{\text{пок.}}$ – мощность энерготрат в покое, ккал/мин; $W_{\text{исх.}}$ – исходная мощность функционирования организма в Вт; 0,014 – коэффициент пересчета Вт в ккал/мин.

Энерготраты при выполнении физических нагрузок определяют по формуле:

$$E_{\text{нагр.}} = W_{\text{нагр.}} \times 0{,}014 \times 5,$$

где $W_{\text{нагр.}}$ – мощность функционирования организма в процессе физической работы в Вт; 5 – коэффициент перерасчета энерготрат организма при выполнении работы на велоэргометре с КПД = 20%.

Нередко для практических целей при расчете энерготрат спортсменов используют применяемое в физиологии и гигиене труда сопоставление энергетических характеристик определенных этапов физических упражнений с представленными в литературе константами, полученными при аналогичных видах деятельности методом прямой и непрямой калориметрии. Такая методика не является абсолютно точной, но при оценке энерготрат в динамике она вполне допустима.

При оценке физической работоспособности существуют различные методические подходы. Прежде всего используют ее прямые показатели, которые позволяют оценивать профессиональную (спортивную) деятельность как с количественной (метры, секунды, килограммы, очки и т.д.), так и с качественной (надежность и точность выполнения конкретных физических упражнений) сторон.

К косвенным критериям работоспособности относят различные клинико-физиологические, биохимические и психофизиологические показатели, характеризующие изменения функций организма в процессе работы. Другими словами, ***косвенные критерии работоспособности представляют собой реакции организма на определенную нагрузку*** и указывают на то, какой физиологической ценой для человека обходится эта работа, т.е. чем, например, организм спортсмена расплачивается за достигнутые секунды, метры, килограммы и т.д. Кроме этого установлено, что ***косвенные показатели работоспособности в процессе труда ухудшаются значительно раньше, чем ее прямые критерии.*** Это дает основание использовать различные физиологические методики для прогнозирования работоспособности человека, а также для выяснения механизмов адаптации к конкретной профессиональной деятельности, оценке развития утомления и анализа других функциональных состояний организма.

В физиологии спорта определение физической работоспособности осуществляется также путем применения различных на-

грузочных тестов (проба Летунова, Гарвардский степ-тест, PWC_{170}, МПК и др. – см. раздел 5.3 в *«Спортивной физиологии»*).

Доступными и в достаточной мере информативными показателями, характеризующими влияние нагрузок на организм школьников и эффективность восстановительных процессов, являются частота сердечных сокращений и уровень артериального давления, особенно пульсового. Достаточную информацию дает частота пульса, подсчитанная в течение 10 с троекратно после окончания урока: 0–10 с, 30–40 с, 60–70 с. В результате получают три показателя пульса ($П_1$, $П_2$, $П_3$), которые подвергаются дальнейшей математической обработке и анализу. Считается, что величина $П_1$ характеризует реактивность сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку, $П_2$ и $П_3$ – эффективность ее восстановления. Комплексную оценку состояния сердечно-сосудистой системы осуществляют на основании суммы трех показателей ($П_1$+ $П_2$+ $П_3$).

Более достоверные данные о динамике восстановительных процессов в организме школьников дают два индекса восстановления пульса ($ИВП_1$ и $ИВП_2$) после окончания урока, которые рассчитывают по формулам:

$$ИВП_1 = \frac{П_2 - П_1}{П_1} \times 100, \qquad ИВП_2 = \frac{П_3 - П_1}{П_1} \times 100.$$

Чем больше величины $ИВП_1$ и $ИВП_2$, тем быстрее происходит восстановление сердечно-сосудистой системы и тем экономичнее школьник выполняет физические нагрузки на уроке.

Большой информативностью обладают константы, характеризующие потребление кислорода, кислородный долг, уровень молочной кислоты в крови, кислотно-щелочное состояние и порог анаэробного обмена. Для их определения требуются соответствующие специалисты, необходимые условия и оборудование и выполняются они, как правило, с целью научных исследований.

Одной из важнейших задач любого вида контроля за занятиями физической культурой является ***оценка выраженности функциональных сдвигов и характеристика восстановительных процессов*** у школьников. Во время мышечной деятельности в организме учащихся происходят связанные друг с другом анаболические и катаболические процессы, при этом диссимиляция преобладает над ассимиляцией. После окончания занятий в организме усиливаются процессы ассимиляции, когда восполняются израсходованные энергоресурсы, ликвидируется кислородная

задолженность, удаляются продукты распада, нормализуются нейроэндокринные, анимальные и вегетативные системы, стабилизируется гомеостаз.

При характеристике восстановительных процессов следует исходить из учения И.П. Павлова о том, что процессы истощения и восстановления в организме (деятельном органе) тесно связаны между собой и с процессами возбуждения и торможения в центральной нервной системе. Специальными исследованиями последних лет показано, что ***чем выше энергетические траты во время работы, тем интенсивнее процесс их восстановления.*** Однако если истощение функциональных потенциалов в процессе работы превышает оптимальный уровень, то полного восстановления не происходит. В этом случае физическая нагрузка вызывает дальнейшее угнетение клеточного анаболизма.

Большинство исследователей (Луговцев В.П., 1988; Волков В.М., 1990; Солодков А.С., 1990, 1992; и др.) сводят основные физиологические закономерности восстановительных процессов к следующему: их неравномерности, гетерохронности, фазовому характеру восстановления работоспособности, избирательности восстановления и ее тренируемости. Как и всякие системы с обратной связью, восстановительные процессы вследствие морфофункциональных перестроек приводят к супервосстановлению. Это явление составляет одну из важнейших физиологических основ физкультурных занятий, которое, расширяя функциональные резервы организма, обеспечивает рост силы, быстроты и выносливости.

Знание медико-биологических особенностей изменения функций организма и восстановительных процессов, его реализация в практике физической культуры будут способствовать улучшению физического и функционального развития и самое главное – сохранению здоровья учащихся.

5. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗМА ЛЮДЕЙ ЗРЕЛОГО И ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА И ИХ АДАПТАЦИЯ К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ

Зрелый и пожилой возраст – это закономерно наступающие этапы индивидуального развития человека. ***Процессы созревания и старения происходят непрерывно, неравномерно и неодновременно.*** Они затрагивают не в равной степени различные ткани, органы и системы организма.

Как указывалось ранее, к первому периоду зрелого возраста относят мужчин и женщин от 21 до 35 лет, ко второму периоду – женщин в возрасте 36–55 лет и мужчин – 36–60 лет; пожилыми считаются женщины в возрасте 56–74 лет, а мужчины – 61–74 лет. Период от 75 до 90 лет относят к старческому возрасту, а людей старше 90 лет – к долгожителям. ***В данном разделе мы будем преимущественно рассматривать физиологические особенности организма людей второго периода зрелого возраста и пожилых.***

5.1. СТАРЕНИЕ, ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ, АДАПТИВНЫЕ РЕАКЦИИ И РЕАКТИВНОСТЬ ОРГАНИЗМА

Механизмы и закономерности старения организма изучает геронтология. Существует целый ряд теорий старения на клеточном, молекулярном и организменном уровнях. ***Общим в большинстве этих теорий является признание роли возрастных мутаций в генетическом аппарате клетки.*** Однако большинство исследователей считают, что старение на клеточном и молекулярном уровне происходит медленнее, чем в целостном организме. По выражению А. Комфорта (1967): «Хвост кенгуру стареет медленнее, чем сам кенгуру».

Основные теории старения сводятся к следующему. В соответствии с ***теорией «изнашивания»,*** во второй половине жизни человека под знаком инволюции происходит «изнашивание» клеток, тканей и систем организма (как деталей у машины) и ослабление регуляторных процессов. При этом с возрастом несколько раньше нарушается нервная регуляция, а затем – гуморальная. Слабой стороной этой теории является то, что организм человека в процессе жизни не только изнашивается, но самовосстанавливается и саморегулируется.

К описанной выше близка ***теория растраты жизненной энергии.*** В соответствии с энергетическим правилом М. Рубнера, энергетический фонд человека предопределен генетически, и в течение жизни он только тратится. Если полностью следовать этой теории, то можно считать, что чем ниже двигательная активность и меньше траты энергии, тем медленнее наступает старение и продолжительнее жизнь.

Коллоидно-химическая теория старения постулирует положение о том, что клетки и ткани имеют коллоидную структуру, которая в процессе жизни разрушается, образуя вредные хими-

ческие вещества. Эти токсические вещества, отравляя организм, вызывают его старение. Для того чтобы замедлить инволюционные процессы, необходимо удалять из организма разрушенные коллоиды и создавать новые. Но как это делать, авторы теории не указывали.

В конце XIX – начале XX века широкое распространение в России и за рубежом получила ***теория аутоинтоксикации*** (самоотравления), разработанная лауреатом Нобелевской премии (1908) И.И. Мечниковым и изложенная в его знаменитых книгах: «Этюды о природе человека» и «Этюды оптимизма». Наряду с другими причинами, влияющими на продолжительность жизни (вредные привычки, неблагоприятные факторы внешней среды и др.), автор считал, в частности, что самоотравление кишечными ядами наступает вследствие жизнедеятельности микробов толстого кишечника, которые вызывают образование токсичных веществ (фенол, индол, скотол), которые и приводят к отравлению организма и наступлению преждевременной старости. С целью профилактики старости И.И. Мечников рекомендовал ограничивать белковое питание и в рацион больше вводить фруктов, овощей и продуктов, содержащих молочнокислые бактерии (простокваша, кефир), а также осуществлять очищение организма. ***При этом ученый сделал еще один исключительно важный вывод: надо продлевать жизнь, а не старость.*** Другими словами, он сформулировал понятие об активном долголетии, о том периоде жизни, когда у человека сохраняются и физические и умственные силы, – когда он способен к творчеству.

Некоторые ученые придерживаются ***теории неполноценности соматических клеток.*** Авторы этой теории выделяют две группы клеток: а) половые – наиболее важные, полноценные и активные, которые обеспечивают сохранение вида; б) соматические – свои жизненные ресурсы отдают первым, быстрее истощаются и стареют. Эта теория восходит к положению, высказанному И.И. Мечниковым (1903) о развитии дисгармоний у людей пожилого возраста. ***Главной причиной их является противоречие между долго не угасающим половым инстинктом и довольно быстро исчезающей способностью к удовлетворению полового чувства, между жаждой жизни и возможностью жить.*** Дисгармонии формируют у человека состояние пессимизма, в свою очередь усиливающего эти дисгармонии. ***В связи с этим И.И. Мечников заключает, что наши желания часто несоизмеримы с нашими возможностями, и это сокращает жизнь!***

Таким образом, ***имеется ряд теорий старения,*** каждая из которых, во-первых, отражает взгляды авторов на инволюционные изменения, а во-вторых, рассматривает эти изменения на определенных уровнях организма. Можно полагать, ***что этот сложный биологический процесс имеет полиморфную природу и объяснить его развитие какой-то одной причиной не представляется возможным.***

Естественно, ***скоростью старения,*** наряду с социально-экономическими и медицинскими факторами, ***определяется и продолжительность жизни людей.*** Средняя продолжительность жизни в разных странах неодинакова. Так, в Голландии, Швеции, США и Японии средняя продолжительность жизни составляет около 80 лет. В Советском Союзе (данные 1987 г.) средняя продолжительность жизни составляла у женщин 72 года, у мужчин – 64. Начиная с 1990 г. в России продолжительность жизни начала падать: в 1996 г. у женщин она в среднем равнялась 68 годам, у мужчин – 57 . Примерно такие же показатели продолжительности жизни в последние годы отмечаются и у жителей Санкт-Петербурга.

Максимальная продолжительность жизни, по расчетам В.В. Фролькиса (1975), может достигать 115–120 лет. Это делает обоснованной перспективу увеличения активного долголетия и продолжительности жизни на 40–50%. Английский врач-геронтолог Джустин Гласе в книге «Жить 180... Это возможно» указывает, что для этого необходимо: ***рациональное питание и правильное дыхание; движения и здоровый образ жизни; уменьшение стрессов и мотивация на долгую жизнь.***

После 20–25 лет (конец формирования организма) начинаются процессы инволюции, ***которые затрагивают все клетки, ткани, органы, системы организма и их регуляцию.*** Все возрастные изменения сводятся к трем типам: ***показатели и параметры, снижающиеся с возрастом; мало изменяющиеся и постепенно возрастающие.***

К первой группе возрастных изменений относят сократительную способность миокарда и скелетных мышц, остроту зрения, слуха и работоспособность нервных центров, функции пищеварительных желез и внутренней секреции, активность ферментов и гормонов. ***Вторую группу показателей*** составляют уровень сахара в крови, кислотно-щелочной баланс, мембранный потенциал, морфологический состав крови и др. К показателям и пара-

метрам, с возрастом ***постепенно возрастающим,*** следует отнести синтез гормонов в гипофизе (АКТГ, вазопрессин), чувствительность клеток к химическим и гуморальным веществам, уровень холестерина, лецитинов и липопротеидов в крови, артериальное кровяное давление.

Важнейшей физиологической характеристикой ***лиц молодого возраста является гомеостазис (относительное постоянство внутренней среды организма), для зрелых и пожилых людей – гомеорезис*** (возрастные изменения основных параметров организма). ***Наиболее существенные возрастные изменения возникают у людей в 50–60 лет; в это время чаще развиваются и различные заболевания.***

Исследованиями последних лет показано, что ***с возрастом меняется способность организма приспосабливаться к обычным факторам среды,*** что в конечном итоге у пожилых людей приводит к развитию реакций ***хронического стресса.*** Анализируя изменения организма при старении и при стрессе, В.М. Дильман (1976) установил, что многие из них идентичны. Автором была предложена так называемая ***элевационная теория старения*** (*лат.* элевация – «подъем», «смещение вверх»), основанная на том, что ***активность гипоталамического отдела мозга, ведающего регуляцией внутренней среды организма, с возрастом не снижается, а, напротив, увеличивается.*** Это выражается в повышении порогов к гомеостатичесому торможению, нарушении метаболизма и развитии хронического стресса. На основе этой теории предлагаются некоторые практические мероприятия, направленные на улучшение адаптивных возможностей пожилых людей (активный отдых, оптимальные физические нагрузки, биологически активные вещества).

Повышение порогов восприятия различных раздражений (гипоталамический порог по В.М. Дильману) обусловлено прежде всего снижением реактивности организма пожилых людей. Эти возрастные физиологические особенности приводят к изменению гомеостаза, развитию стрессовых реакций, ухудшению функций различных органов и систем, снижению умственной и физической работоспособности. Снижая порог восприятия гипоталамуса, Л.Х. Гаркави с сотрудниками (1990) установили улучшение функций организма, повышение фагоцитарной активности лейкоцитов, уровня половых гормонов и работоспособности у пожилых людей.

5.2. ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА, ВЕГЕТАТИВНЫХ И СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

После завершения развития организма начинаются ***процессы инволюции. Они затрагивают все ткани, органы и системы, а также их регуляцию.*** У большинства людей 45–50 лет начинается ***остеопороз (разрежение) ткани трубчатых костей, потеря ими солей кальция,*** истончение кортикального слоя и расширение костно-мозгового канала, что способствует перелому костей. Возрастная деформация позвонков и истончение межпозвоночных дисков приводят к развитию ***остеохондрозов и радикулитов.*** В суставах отмечаются ***деструктивные изменения хряща,*** огрубление синовиальной сумки, уменьшение синовиальной жидкости и снижение эластичности связок. Все это способствует ***возникновению артритов, артрозов, уменьшению подвижности в суставах, появлению суставных болей, разрыву связок.***

Возрастные изменения в скелетных мышцах характеризуются их атрофией, замещением мышечных волокон соединительной тканью, уменьшением кровоснабжения и оксигенации мышц, понижением функциональной активности мышечных белков, ферментов и ухудшением метаболизма в мышцах, уменьшением количества наиболее мощных и быстрых мышечных волокон II-б типа (рис. 63). Эти изменения приводят к снижению силы и скорости мышечных сокращений. В тех частях опорно-двигательного аппарата и мышечной системы, которые в процессе жизни подвергаются умеренным регулярным нагрузкам (бедро, голень, их мышцы), деструктивные изменения выражены в меньшей степени.

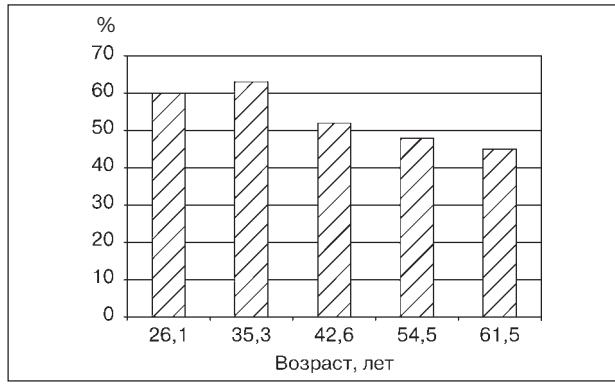


Рис. 63. Возрастная динамика количества быстрых волокон в мышцах (по: Э. Ларссен и др., 1979)

Морфологический состав крови, как указывалось ранее, с возрастом существенно не изменяется. И все-таки данные последних лет свидетельствуют об определенной возрастной эволюции показателей периферической крови. После 50 лет несколько снижается уровень гемоглобина, количество эритроцитов и их осмотическая стойкость, а также уменьшается перенос кровью кислорода. В этом возрасте наблюдается умеренная лейкопения (особенно – лимфопения), что приводит к снижению иммунитета и возможности развития ряда заболеваний. Количество тромбоцитов меняется мало, однако ***свертываемость крови повышается*** вследствие ферментных изменений, что может приводить ***к развитию тромбофлебитов и тромбозов.***

Функциональные возможности сердечно-сосудистой системы с возрастом понижаются. Это обусловлено уменьшением сократительной способности миокарда и ухудшением его кровоснабжения, увеличением дилатации предсердий и желудочков, ослаблением роли нервных механизмов регуляции и повышением гуморальных. У пожилых людей уменьшается васкуляризация всех органов и тканей, так как понижается эластичность сосудов и повышается их тонус вследствие снижения в стенках сосудов эластина и увеличения коллагена и солей натрия и кальция. После 35–40 лет в стенках сосудов обнаруживается холестерин, а максимум его отмечается в 60–70 лет, что приводит к развитию атеросклероза. Развитию атеросклероза способствуют несбалансированное питание, малоподвижный образ жизни, стресс. ***Однако заметим, что атеросклероз – болезнь, свойственная, но не обязательная даже в пожилом возрасте!*** У мужчин атеросклероз развивается на 10 лет раньше, а инфаркты миокарда у них встречаются в 4 раза чаще, чем у женщин. Это обусловлено повышенным содержанием в крови женщин эстрогенов, которые задерживают отложение холестерина в стенках сосудов. Вследствие снижения эластичности сосудов возрастает периферическое сопротивление кровотоку, уменьшается его скорость и повышается артериальное давление.

Частота сердечных сокращений после 40–50 лет увеличивается. Вследствие снижения сократительной способности миокарда ***уменьшается УОК,*** а в организме должен поддерживаться на достаточном уровне МОК, что в какой-то мере и достигается увеличением ЧСС. ***Уровень артериального давления растет, при этом в большей степени диастолическое, что обусловлено повышением тонуса сосудов;*** пульсовое давление, естествен-

но, снижается. Одной из наиболее важных медицинских проблем является контроль за динамикой артериального давления у пожилых людей и знание его нормальных возрастных показателей. С этой целью профессор Военно-медицинской академии З.М. Волынский с сотрудниками (1954) обследовали 109 тыс. жителей Ленинграда и вывели формулу «идеального» артериального давления для людей в возрасте от 20 до 70 лет: систолическое АД = 102 + 0,6 × возраст, диастолическое АД = 63 + 0,4 × возраст. ***В соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения нормальное артериальное давление у людей зрелого и пожилого возраста не должно превышать 140/90 мм рт. ст.***

Органы дыхания ***с возрастом также претерпевают некоторые функциональные и морфологические изменения. Эти изменения выражаются в понижении эластических свойств легочной ткани, уменьшении силы дыхательных мышц и бронхиальной проходимости, развитии пневмосклероза, что приводит к*** снижению вентиляции легких, нарушению газообмена, появлению одышки, особенно при физических нагрузках. ***В возрасте 60 лет (по сравнению с 25-летними) общая емкость легких снижена примерно на 1000 мл, ЖЕЛ – на 1500 мл, остаточный объем после максимального выдоха увеличен на 15–20%.*** Но в целом функции дыхательной системы (например, по сравнению с сердечно-сосудистой) являются достаточно стабильными и ***даже в глубокой старости обеспечивают потребности метаболизма в кислороде.***

Пищеварительная система наибольшего функционального развития достигает к 25 годам, высокой остается до 40–45 лет, затем ***снижаются секреторная, кислотообразующая, моторная и всасывательная функции.*** Например, если в возрасте 25 лет отсутствие свободной соляной кислоты в желудочном соке встречается в 3–4% случаев, то у 60–70-летних – уже в 26–28%. Функции печени с возрастом изменяются несущественно.

После 20–25 лет отмечается постепенное ***снижение почечного кровотока, клубочковой фильтрации, реабсорбции и экскреторной функции канальцев; несколько позднее наблюдается инволюция нефронов.*** Эти изменения приводят к ***уменьшению диуреза.*** Хотя он становится чаще вследствие повышения порога раздражения рецепторов мочевого пузыря, а также отмечается задержка выведения мочевины, мочевой кислоты, креатинина, солей.

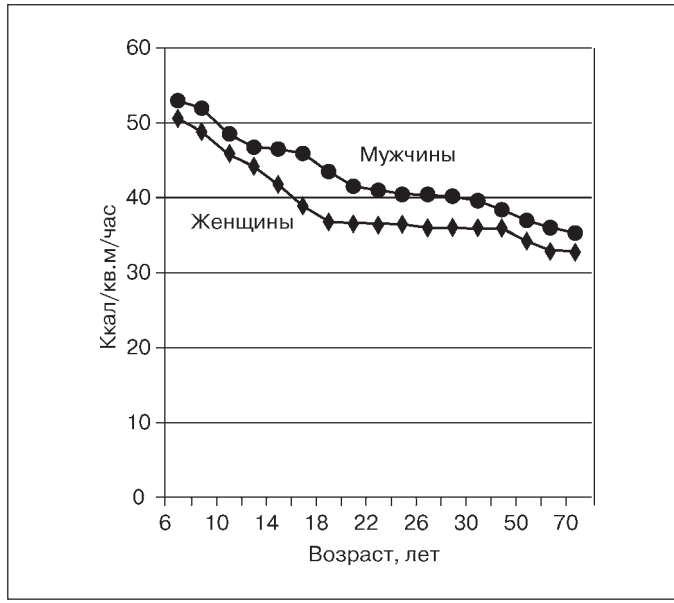


Рис. 64. Возрастная динамика основного обмена
(по: W.M. Boothby et al., 1936)

Все виды обмена веществ (белковый, углеводный, жировой и минеральный) с возрастом снижаются. Снижение метаболизма обусловлено ухудшением доставки кислорода и питательных веществ к тканям. Названные сдвиги приводят к ***уменьшению энергообмена и падению физической работоспособности*** (рис. 64). Пониженный уровень метаболизма сопровождается некоторым снижением температуры тела и кожи, нарушением терморегуляции, особенно химической.

По мере старения организма снижаются функции сенсорных систем. Это проявляется *в* ухудшении зрения, слуха, уменьшении болевой, температурной и тактильной чувствительности рецепторов кожи, повышении порогов вкусовой и обонятельной чувствительности. ***Наиболее выраженные возрастные изменения претерпевают зрительная и слуховая сенсорные системы. Известно, что с возрастом*** снижается эластичность хрусталика***, и к 45–50 годам аккомодация глаза уменьшается в 4–5 раз*** (рис. 65). Это приводит к развитию ***дальнозоркости*** и понижению остроты зрения; кроме того, повышаются пороги цветоощущения и цветоразличения, сужаются границы полей

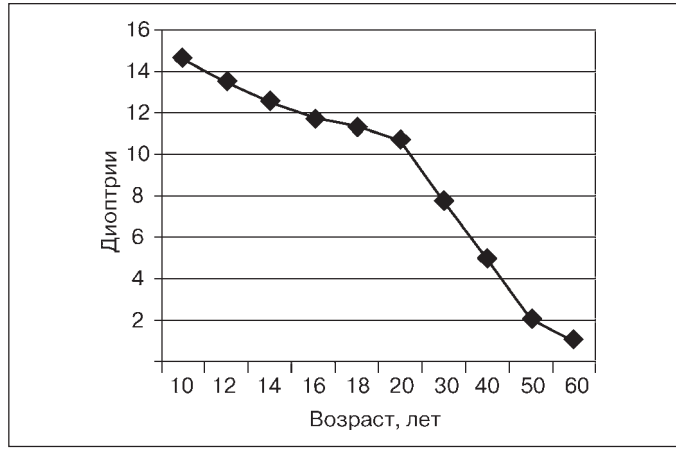


Рис. 65. Возрастная динамика аккомодации глаза
(модиф. по: А.Г. Хрипкова и др., 1990)

зрения. ***Ухудшения функций слуховой сенсорной системы*** проявляются в том, что уже после 35–40 лет снижается слуховая чувствительность, особенно в области высоких частот. После 60 лет плохо воспринимаются и низкочастотные звуки. Большинство возрастных нарушений слуха обусловлены изменениями, происходящими в звуковоспринимающем аппарате внутреннего уха (уменьшение эластичности основной мембраны улитки и повышение порогов восприятия рецепторов кортиева органа).

5.3. ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛЯТОРНЫХ СИСТЕМ

Как известно, существует два основных механизма регуляции функций – гуморальный и нервный.

• ***Гуморальный механизм*** осуществляется за счет химических веществ, находящихся в циркулирующих в организме жидкостях (кровь, лимфа, тканевая жидкость). Основными химическими регуляторами функций являются гормоны – физиологически активные вещества, вырабатываемые железами внутренней секреции.

Большинство желез внутренней секреции созревает довольно рано, но неодновременно. Так, гипофиз достигает полного развития уже к 15 годам, и все образуемые им гормоны наиболее активны до 40–45 лет, затем активность большинства из них постепенно снижается. ***Активность некоторых гормонов гипофиза (АКТГ, вазопрессин) с возрастом даже увеличивается.***

Надпочечники максимального веса достигают к 35–40 годам. В это время наиболее активна функция их коркового слоя, вырабатывающего, в частности, глюкокортикоиды, минералокортикоиды и аналоги половых гормонов. Мозговой слой надпочечников созревает несколько раньше и его функциональная активность (катехоламины) велика уже в детском возрасте, достаточна в зрелом и снижается в пожилом (после 55–60 лет).

Поджелудочная железа (смешанного типа) созревает к 10–12 годам, а с 30–35 лет начинается инволюция, особенно ее эндокринной функции. Это проявляется снижением образования инсулина, что нередко приводит ***к развитию возрастного*** сахарного диабета.

Несколько позже (с 50–60 лет) ухудшается также и внутрисекреторная функция поджелудочной железы, что подтверждается уменьшением образования и падением активности ее ферментов – липазы, амилазы и протеаз.

Щитовидная железа окончательно формируется к 15–20 годам; ее функции высокими остаются примерно до 50 лет, затем развивается умеренная атрофия железистой ткани и снижение уровня тироксина и трийодтиронина. Наступившие сдвиги приводят к уменьшению уровня обмена веществ, что проявляется, в частности развитием ожирения и падением физической работоспособности.

Максимальная функциональная ***активность половых желез*** отмечается в возрасте 20–40 лет, ***с 45 до 65 лет функции этих желез умеренно снижаются, но процессы носят сугубо индивидуальный характер.*** Для мужчин и женщин в возрасте после 65–70 лет введен специальный термин «третий пол» – или «третий возраст», когда количество андрогенов и эстрогенов у тех и других достаточно низкое, что уравнивает их в физической и психической активности.

Возрастное снижение функций эндокринных желез приводит к развитию трех «нормальных» болезней старения – гиперадаптозу, климаксу и ожирению. Гиперадаптоз ***(избыточность стрессовой реакции)*** развивается вследствие повышения порога чувствительности гипоталамуса к гормонам защиты (в частности, к гормону надпочечников – кортизону). Поэтому неблагоприятные факторы, которые в молодом возрасте были вполне переносимыми, в пожилом – становятся избыточными и возникает гиперадаптоз. В пожилом возрасте человек живет в более узком диапазоне изменений внешней и внутренней среды.

Климакс ***(прекращение репродуктивной функции)*** наиболее выражен у женщин и наблюдается ***после 45–50 лет,*** хотя эти изменения носят индивидуальный характер. Физиологическая суть этого процесса состоит в том, что с возрастом повышается порог чувствительности полового центра гипоталамуса к эстрогенам и в конечном итоге нарушается овуляторный цикл.

Возникновение ожирения с возрастом обусловлено тем, что повышается порог чувствительности пищевого центра гипоталамуса к насыщению (глюкозе и жирным кислотам). ***Поэтому у людей зрелого возраста аппетит не снижается и даже растет,*** а окисление веществ вследствие гормональных перестроек и снижения двигательной активности уменьшается и ***происходит накопление жира в организме.***

• ***Нервный механизм регуляции эволюционно более молодой.*** Он отличается от гуморального тем, что нервные импульсы распространяются по нервным путям с достаточно большой скоростью (от 0,5 до 120 м/с) и идут по конкретным нервным волокнам к строго определенным органам и системам организма. Нервная регуляция функций складывается из сложнейших взаимоотношений безусловных и условных рефлексов.

Центральная нервная система является наиболее устойчивой, интенсивно функционирующей и долгоживущей системой организма. Ее функциональная активность обеспечивается длительным сохранением в нервных клетках нуклеиновых кислот, оптимальным кровотоком в сосудах мозга и достаточной оксигенацией крови. Однако в возрасте после 30 лет нервная система ежедневно теряет 30–50 тыс. нейронов.

Правда, в последние годы появились сообщения о том, что нервные клетки головного мозга восстанавливаются. В частности, в 1999 г. сотрудниками Принстонского университета США было показано, ***что зрелый мозг продуцирует новые нейроны в количестве нескольких тысяч в день в течение всей жизни. Этот процесс был назван*** нейрогенезом. Новые клетки начинают размножаться в субвентрикулярной зоне мозга, оттуда мигрируют в кору – к местам «постоянной прописки», где и созревают до взрослого состояния. Можно полагать, что активность продукции новых нейронов зависит от тренировки мозга (чтение, заучивание стихов, решение различных умственных задач, а не многочасовой просмотр телевизора!). Кстати заметим, что в молодом возрасте головной мозг человека содержит от 14 до 25

миллиардов нейронов. Максимальная масса головного мозга отмечается у женщин в возрасте 15–19 лет, у мужчин – от 20 до 29 лет.

Электрическая активность головного мозга от 30 до 60 лет характеризуется некоторым учащением альфа-ритма; после 60 лет несколько снижается частота и амплитуда этого ритма, растет выраженность бета-ритма и медленных компонентов электроэнцефалограммы. В это время отмечается также снижение чувствительности мозга к гипоксии, ослабевает процесс внутреннего торможения. Названные функциональные особенности проявляются удлинением латентного периода сенсомоторных реакций, снижением быстроты одиночного движения и темпа движений, что ***в конечном итоге приводит к ухудшению быстроты, ловкости и координации движений.***

Условно-рефлекторная деятельность человека в возрасте до 65–70 лет существенно не отличается от молодых. Лишь после 70 лет отмечаются затруднения в образовании условных рефлексов, их непрочность и непостоянство, тогда как старые, давно образованные рефлексы достаточно стабильны. В это время наблюдается также неустойчивость основных нервных процессов, ослабление их силы, подвижности и концентрации. Основным фактором перечисленных изменений прежде всего является снижение тонуса коры больших полушарий. Этим объясняется уменьшение психической и физической активности, повышенная утомляемость, эмоциональная неустойчивость, снижение мнестической деятельности (восприятие, хранение и воспроизведение информации), усиление процессов забывания.

Интенсивность интеллектуальных функций человека зависит от двух основных факторов: внутреннего (одаренность) и внешнего (образование). Постоянная умственная деятельность замедляет инволюционные процессы в коре головного мозга. Оптимум развития интеллекта приходится на возраст 18–20 лет. Если принять его у 20-летних за 100%, то в 30 лет он составит 96%, в 40 лет – 87%, в 50 лет – 80% и в 60 лет – 75% (Ананьев Б.Г., 1960). Считается также, что ***вербально-психические функции*** возрастают в зрелом возрасте, достигая максимума к 40 годам и ***начинают снижаться после 60 лет.*** Снижение интеллектуальных функций сопровождается ухудшением находчивости, воображения и изобретательности, снижением абстрактного анализа, сложных мыслительных операций и сенсорных восприятий. Лицами в возрасте после 60 лет трудно осваивается новая дея-

тельность, плохо находятся обходные пути решения поставленных задач, с трудом интегрируется различная информация в одно целое. Однако пожилые люди легко решают некоторые проблемы на основе жизненного опыта, знаний, большого объема накопленной информации и словарного запаса.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что возрастные инволюционные изменения – неизбежный процесс, ждет всех живущих и к этому необходимо относиться с пониманием и терпением. С другой стороны, следует помнить, что ***активная жизненная позиция человека, систематический умственный и физический труд существенно отодвигают и уменьшают все геронтологические проблемы.***

5.4. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ ЛЮДЕЙ ЗРЕЛОГО И ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ

Занятия физическими упражнениями и связанные с этим изменения функций и эмоциональные реакции благоприятно влияют на организм людей зрелого и пожилого возраста. Наиболее ярко положительное воздействие проявляется, когда характер, объем, ритм, интенсивность и другие качества упражнений устанавливаются с учетом тренированности, личностных особенностей и функционального состояния занимающихся. В то же время физические нагрузки должны обеспечивать коррекцию возрастных нарушений и профилактику патологических изменений в организме.

5.4.1. Особенности формирования двигательных навыков и центральной регуляции движений

Возрастные изменения, происходящие в органах и системах организма, особенно отчетливо проявляются при физических нагрузках. В полной мере это относится и к сдвигам, происходящим в центральной нервной системе. Так, И.П. Павлов, анализируя симптомы возрастного снижения реактивности мозга, указывал, что с возрастом отмечается падение способности точно координировать выполнение нескольких действий одновременно. С другой стороны, ***регулярные занятия физическими упражнениями лицами зрелого и пожилого возраста повышают функциональные возможности организма и корригируют уже развившиеся неблагоприятные изменения в органах и системах.*** В частности, при занятиях физическими упражнениями

улучшается работа вегетативных и анимальных систем, поддерживаются механизмы нервной и гуморальной регуляции функций и сохраняется установившийся стереотип жизнедеятельности. Для лиц, прекративших профессиональную деятельность, лучшим способом профилактики болезней и сохранения функциональной активности являются регулярные занятия физическими упражнениями.

Установлено, что ***люди зрелого и пожилого возраста, хорошо физически подготовленные, успешно разучивают и запоминают упражнения как при рассказе, так и при показе.*** У недостаточно подготовленных лиц запоминание строится преимущественно на показе. Таким образом, способность к разучиванию и запоминанию физических упражнений, а следовательно, и выработка двигательных навыков зависят не столько от возраста занимающихся, сколько от уровня их физической подготовленности. Наблюдения показывают, что у людей в возрасте 40–50 лет ***процесс формирования новых двигательных навыков*** идет достаточно быстро, ***после 50 лет – замедляется.*** Поэтому у лиц пожилого возраста формирование двигательных навыков должно быть сочетанным: словесная инструкция должна подкрепляться показом разучиваемого упражнения. Это положение ***отражает общие физиологические закономерности образования двигательного навыка на основе взаимодействия конкретно-образной (первой) и абстрактно-понятийной (второй) сигнальных систем.***

Роль второй сигнальной системы проявляется на всех этапах образования и осуществления двигательных навыков при постоянном активном влиянии как речевого отчета, так и внутренней речи, связанной с продумыванием упражнений. Для успешного овладения новыми двигательными навыками лицами зрелого и пожилого возраста большое значение имеет запас разнообразных двигательных действий, приобретенных ранее, в том числе и не связанных прямо с разучиваемыми упражнениями. Как правило, люди, разносторонне физически подготовленные, быстрее и лучше овладевают новыми двигательными навыками.

У людей зрелого и пожилого возраста большие затруднения вызывает выполнение различных игровых приемов, сложнокоординированных движений, что связано с ослаблением внимания и ухудшением автоматичности двигательных актов. Существенно ***затруднены выполнения физических упражнений, если они осуществляются в быстром темпе.*** Чтобы ус-

пешно выполнить последующее движение, необходимо значительно замедлить предыдущее. Таким образом, образование новых двигательных навыков у лиц рассматриваемого возраста зависит прежде всего от запаса ранее приобретенных навыков, активности второй сигнальной системы (внутренней речи) и характера центральной регуляции движений.

Центральная регуляция движений во многом индивидуальна, но общие ее физиологические закономерности у людей зрелого и пожилого возраста характеризуются: ослаблением кортикальных и ретикулярных влияний; снижением торможения в коре головного мозга, функций экстрапирамидных систем и таламуса; ухудшением лабильности мотонейронов спинного мозга и восстановительных процессов в ЦНС; замедлением проведения возбуждения по нервам и в синапсах; снижением синтеза медиаторов и др. По механизму обратных связей на функции нервных центров оказывает влияние ослабление импульсации с проприорецепторов. При этом определенные структурные изменения отмечаются и ***в мышцах,*** которые выражаются в ***уменьшении числа миофибрилл и быстрых мышечных волокон, снижении силы мышц и др.***

Многие характеристики центральной регуляции движений определяются уровнем снабжения кислородом нервной системы. Вследствие сосудистых нарушений с возрастом кислородное обеспечение ухудшается, что проявляется ***развитием дегенеративных изменений в нейронах головного, спинного мозга и в проводящих путях.*** Естественно, такие структурные нарушения могут вызывать существенные изменения функций нервной системы и их регуляторных влияний на двигательный аппарат.

5.4.2. Возрастные изменения физических качеств

Изменения физических качеств с возрастом достаточно индивидуальны. Можно встретить людей среднего и пожилого возраста, у которых состояние нервно-мышечной системы носит явные признаки увядания, тогда как у других людей того же возраста функциональные показатели высокие. Например, у некоторых лиц ***сила мышц снижается*** после 20–25 лет, когда поступательное биологическое развитие организма заканчивается; у других – ***после 40–45 лет. В первую очередь с возрастом ухудшаются быстрота, гибкость и ловкость; лучше сохраняются – сила и выносливость, особенно аэробная.*** Существенные коррективы в возрастную динамику двигательных качеств

вносят занятия физической культурой и спортом, которые отодвигают наступление инволюционных процессов.

Быстрота с возрастом ухудшается по всем составляющим ее параметрам (латентному периоду сенсомоторных реакций, скорости одиночного движения и темпа движений). От 20 до 60 лет время латентного периода возрастает в 1,5–2 раза. Наибольшее падение скорости движения отмечается в возрасте от 50 до 60 лет, а в период 60–70 лет наступает некоторая стабилизация. Темп движения наиболее заметно снижается в возрасте от 30 до 60 лет, в период 60–70 лет он мало изменяется, а в более старшем возрасте – существенно замедляется. Создается впечатление, что в возрасте 60–70 лет возникает какой-то новый уровень жизнедеятельности, который обеспечивает определенную, хотя и несколько сниженную скорость движений. У лиц, регулярно выполняющих физические нагрузки, снижение всех показателей быстроты идет более медленными темпами. Например, у тренированных лиц в возрасте 50–60 лет снижение быстроты составляет 20–40%, а у нетренированных – 25–60% от исходных величин, полученных в 18–20-летнем возрасте.

Сила различных групп мышц достигает максимальных значений к 18–20 годам, остается на высоком уровне до 40–45 лет, а ***к 60 годам снижается примерно на 25%*** (рис. 66). Инволюция силы как физического качества может быть оценена по ее показателям в отдельных движениях и по перестройке топографии

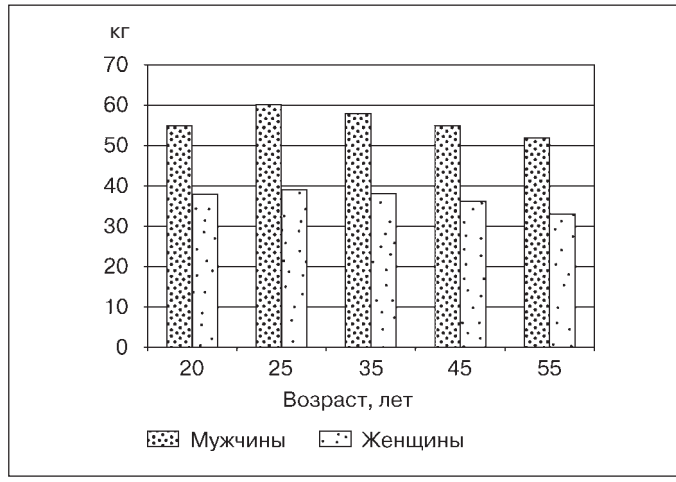


Рис. 66. Сила кисти в зрелом возрасте
(по: E. Asmussen, 1968)

различных групп мышц. К 60 годам в большой степени снижается сила мышц туловища, что обусловлено прежде всего нарушением трофики нервно-мышечного аппарата и развитием в нем деструктивных изменений.

У лиц, не занимающихся выполнением физических упражнений, наибольшее снижение силы отмечается в возрасте от 40 до 50 лет, у регулярно тренирующихся – от 50 до 60 лет. Преимущество тренированных людей становится наиболее ощутимым в возрасте 50–60 лет и старше. Например, у лиц, занимающихся спортом или физическим трудом, сила кистей рук при динамометрии даже в возрасте 75 лет составляет 40–45 кг, что соответствует в среднем уровню 40-летнего человека. Снижение мышечной силы связано с ослаблением функций симпатоадреналовой системы и половых желез (уменьшается образование андрогенов). Эти возрастные изменения приводят к ухудшению нейрогуморальной регуляции мышц и снижению в них уровня метаболизма.

Скоростно-силовые качества также с возрастом снижаются, но вклад того или иного качества (силы, быстроты) в общую двигательную реакцию зависит от характера упражнений. Например, при прыжках в длину с возрастом больше снижается сила, при метаниях – скорость. При выполнении большинства физических упражнений скоростно-силовые качества взаимосвязаны и влияют друг на друга. Тренировка скоростно-силовой направленности в большей мере развивает эти качества человека и мало влияет на развитие выносливости. И наоборот, тренировка выносливости вызывает ее повышение, мало затрагивая системы и механизмы, ответственные за проявления мышечной силы. Именно поэтому люди зрелого и пожилого возраста при занятиях физическими упражнениями должны использовать различные комплексы, позволяющие противодействовать инволюционным изменениям большинства органов и систем.

Выносливость по сравнению с другими физическими качествами с возрастом сохраняется более длительное время. Считается, что ее снижение начинается после 55 лет, а при работе умеренной мощности (с аэробным энергообеспечением) нередко она остается достаточно высокой в 70–75 лет. Это подтверждают широко известные факты участия людей такого возраста в длительных забегах, заплывах, туристических походах. При выполнении упражнений скоростного, силового и скоростно-силового характера (с анаэробным энергообеспечением) выносливость сни-

жается уже после 40–45 лет. Это обусловлено тем, что развитие выносливости зависит прежде всего от функциональной полноценности органов кровообращения, дыхания и системы крови, т.е. от кислородтранспортной системы, которая при выполнении вышеназванных упражнений тренируется недостаточно. Регулярные занятия физическими нагрузками на выносливость (бег, лыжи, плавание) заметно отдаляют ее снижение, упражнения силового характера (гири, гантели, эспандер) мало влияют на возрастную динамику выносливости.

Гибкость характеризуется способностью выполнять движения с максимальной амплитудой. Без специальной тренировки это качество ***начинает снижаться уже с 15–20 лет,*** что нарушает подвижность и координацию в различных формах сложных движений. У лиц пожилого возраста, как правило, гибкость тела (особенно позвоночника) существенно снижена. Тренировка позволяет сохранять это качество долгие годы. При попытке восстановить гибкость лучший результат наблюдается у тех, кто имеет хорошую физическую подготовленность.

Основным проявлением ***ловкости*** является точность двигательной ориентации в пространстве. Это качество ***также снижается довольно рано (с 18–20 лет);*** специальные тренировки замедляют снижение ловкости и она остается на высоком уровне в течение многих лет.

5.4.3. Особенности адаптации к физическим нагрузкам вегетативных и регуляторных систем организма

Физические упражнения являются мощным средством сохранения на высоком уровне всех функциональных параметров организма.

Движения – это наиболее физиологичный атрибут жизни. Мышечная деятельность вызывает напряжение всех функциональных систем, сопровождается гипоксией, что тренирует механизмы регуляции, улучшает восстановительные процессы, совершенствует адаптацию к неблагоприятным условиям среды.

Влияние мышечной активности настолько велико, что под ее длительным воздействием изменяются активность генетического аппарата и биосинтез белка, замедляется старение и предупреждаются многие заболевания; организм делается менее восприимчивым к вредным факторам. Эти положения достаточно хорошо известны, хотя в жизнь претворяются с трудом. Приведем высказывания по этому поводу двух широко известных людей. Рим-

ский поэт Квинт Гораций в своем знаменитом «Памятнике» еще до нашей эры писал: «Если не бегаешь, пока здоров, придется побегать, когда заболеешь». А французский писатель Альфред Мюссе в романе «Исповедь сына века», изданном в 1836 г., указывает: «Физические упражнения могут заменить множество лекарств, но ни одно лекарство в мире не может заменить физических упражнений».

Какова же роль физических упражнений для людей зрелого и пожилого возраста с физиологических позиций? Под влиянием умеренных и постоянных физических нагрузок ***совершенствуются механизмы регуляции различных органов и систем, а функции организма носят более экономный характер.*** Последнее проявляется в снижении частоты сердечных сокращений и уровня артериального давления, увеличении диастолы миокарда, повышении коэффициента использования кислорода и уменьшении кислородной стоимости работы. ***Применение физических упражнений*** способствует улучшению кровоснабжения различных тканей, особенно скелетных мышц, что ***снижает гипоксические явления.*** Развитие положительных эмоций и повышение устойчивости гипоталамо-гипофизарной системы обеспечивают ***антистрессовый эффект.*** На более продолжительное ***время замедляется снижение физических качеств и сохраняется умственная и физическая работоспособность.*** Все это способствует развитию активного долголетия, предупреждению заболеваний, старения и продлению жизни людей.

Адаптация вегетативных систем у людей зрелого и пожилого возраста имеет достаточно выраженные особенности. Так, развитие миогенного лейкоцитоза, эритроцитоза и тромбоцитоза выражено меньше и особенно слабо проявляется лимфоцитарная реакция. У лиц этого возраста повышено разрушение форменных элементов крови, а восстановление их затягивается на более длительный срок.

У людей, регулярно выполняющих физические нагрузки, отмечается более экономная деятельность сердечно-сосудистой системы, длительное время сохраняются на оптимальном уровне ее основные функциональные константы. В частности, у них более стабильные показатели частоты сердечных сокращений, не наблюдается значительного повышения артериального давления, сохраняются сократительная сила миокарда, его метаболизм, возбудимость и проводимость. У этих лиц не отмечается существенного снижения ударного и минутного объе-

мов кровотока, его скорости и объема циркулирующей крови. У людей, не занимающихся регулярно физическими упражнениями, даже незначительные нагрузки вызывают резкую тахикардию, повышение артериального давления, снижение ударного объема крови и общего кровотока, а иногда может развиваться сердечно-сосудистая недостаточность. При этом достигаемая во время работы ***максимальная частота сердечных сокращений у людей зрелого и пожилого возраста заметно снижается*** (рис. 67).

Показатели функций внешнего дыхания при регулярных занятиях упражнениями остаются достаточно высокими у лиц пожилого возраста. Это проявляется сохранением у них должной глубины дыхания и легочной вентиляции, ЖЕЛ, МОД и максимальной вентиляции легких. У лиц, не занимающихся регулярно, физические нагрузки сопровождаются резкой одышкой, недостаточной вентиляцией легких и снижением оксигенации крови.

Функции пищеварительной и выделительной систем у людей, ведущих активный образ жизни, остаются достаточно стабильными. В частности, у них длительное время сохраняются секреторная и моторная функции желудочно-кишечного тракта, достаточно стабильны фильтрация и реабсорбция в почках, отсутствуют выраженные отеки, которые чаще всего являются следствием сердечно-сосудистой или почечной недостаточности. Малая же двигательная активность сопровождается ухудшением функций органов пищеварения и выделения.

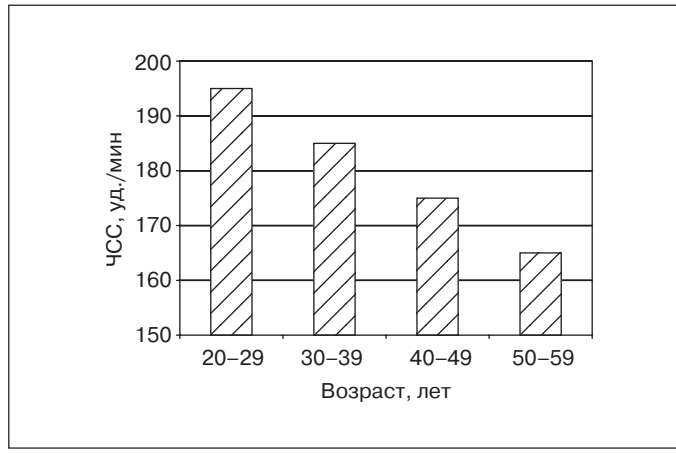


Рис. 67. Максимальная ЧСС в зрелом и пожилом возрасте

В пожилом возрасте все виды обмена веществ (белковый, углеводный, жировой и энергетический) снижены. Основным проявлением этого является избыточное содержание в крови холестерина, липопротеидов и молочной кислоты (даже при незначительных нагрузках). Регулярные умеренные физические нагрузки повышают уровень метаболизма и существенно снижают показатели холестерина и липопротеидов, уменьшая возможность развития атеросклероза. В то же время физические нагрузки, даже умеренной мощности, но проводимые эпизодически, сопровождаются избыточным накоплением молочной кислоты и снижением уровня глюкозы в крови, сдвигом pH в сторону ацидоза, повышением недоокисленных продуктов в крови и моче (креатинин, мочевина, мочевая кислота и др.). ***Даже умеренная работа у людей старше 40 лет энергетически обеспечивается главным образом за счет анаэробного гликолиза, что обусловлено ухудшением удовлетворения кислородного запроса.***

Функции регуляторных систем организма (железы внутренней секреции и ЦНС) с возрастом также снижаются. После 40–45 лет ухудшаются функции гипофиза, надпочечников и поджелудочной железы, после 50 лет – функции щитовидной и половых желез. Умеренные регулярные физические нагрузки задерживают снижение функций этих желез; значительные нагрузки, а также выполнение упражнений лицами, не адаптированными к ним, угнетают деятельность желез внутренней секреции.

Параметры центральной нервной системы и высшей нервной деятельности наиболее устойчивы и менее подвержены возрастным инволюционным процессам. Оздоровительная физическая культура активирует функции ЦНС и ВНД, тяжелая физическая работа – угнетает их. Естественно, возрастные изменения функций ЦНС и эндокринной системы ухудшают нервную и гуморальную регуляцию всех вегетативных систем организма.

5.4.4. Влияние физических нагрузок на функциональное состояние, работоспособность и сохранение здоровья людей

Физические упражнения являются хорошим средством сохранения всех параметров функционального состояния организма людей зрелого и пожилого возраста. Под функциональным состоянием человека в физиологии труда и спорта понимают совокупность наличных характеристик тех функций и качеств, которые обусловливают успешность его жизнедеятельности.

Основными функциональными состояниями, связанными с двигательной активностью, принято считать утомление, хроническое утомление, переутомление (перетренированность), психоэмоциональную напряженность, монотонию, гипокинезию и гиподинамию. Все функциональные состояния делят на три типа: нормальные (утомление), пограничные (хроническое утомление) и патологические (переутомление).

Совершенно очевидно, что ***в пожилом возрасте быстрее развивается утомление, и оно легче переходит в переутомление.*** Пожилые люди больше подвержены психоэмоциональным переживаниям, вся их жизнь и деятельность более монотонны, им ***чаще сопутствуют гиподинамия и гипокинезия.*** У пожилых людей особую роль приобретают два последних фактора, которые приводят к снижению функций органов и систем и уменьшению энерготрат. Эти физиологические сдвиги сопряжены с более интимными нарушениями в организме, связанными с уменьшением потребления кислорода и коэффициента его использования, снижением тканевого дыхания, общего газообмена и энергообмена. В конечном счете ***существенно падает работоспособность,*** особенно у мужчин (рис. 68). ***Регулярное применение физических упражнений предупреждает или существенно снижает эти нарушения.***

С физиологической точки зрения, изменение функционального состояния и снижение работоспособности у людей пожилого возраста обусловлены многими факторами. Прежде всего, у них

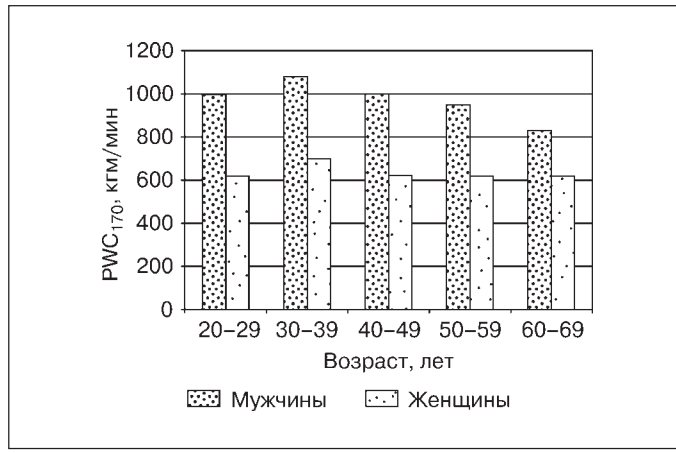


Рис. 68. Физическая работоспособность в зрелом и пожилом возрасте

наблюдается замедление скорости кровотока, уменьшение объема циркулирующей крови и ее оксигенации, развитие гипоксии органов и тканей. Небольшие запасы гликогена в мышцах и печени приводят к падению уровня глюкозы в крови, снижению окислительных процессов и энергообмена. Отмечается также замедление восстановительных реакций и развитие склеротических изменений в сосудах и тканях организма. В результате этого снижаются прямые показатели работоспособности (количество и качество выполненной работы) и ее косвенные критерии (клинико-физиологические, биохимические и психофизиологические), которые свидетельствуют о ***возрастании физиологической цены выполняемой работы.***

Значение физических упражнений и мышечной активности следует рассматривать прежде всего в свете теории моторно-висцеральных рефлексов, сформулированной Р.М. Могендовичем в 1947 г. Согласно этой теории, ***моторика выступает как ведущая система, которая определяет уровень деятельности всех основных систем организма.*** Основываясь на данной теории, представляется возможным оценивать взаимодействие двигательной и вегетативной систем, осуществлять профилактику неблагоприятных функциональных изменений, заболеваний и преждевременного старения.

В настоящее время существует целый ряд подходов к оценке состояния здоровья, физической подготовленности и выносливости человека. Например, хорошо известен тест здоровья, принятый медико-биологической программой ЮНЕСКО, который рекомендует учитывать возраст человека, его массу тела, курение, употребление алкоголя, выносливость к статическим нагрузкам, пульс в покое и характер его восстановления после динамической нагрузки. За каждый показатель начисляются очки и на основе их суммы выносятся соответствующие рекомендации по особенностям питания, двигательной активности и специальной физической тренировке.

Все авторы многочисленных способов и средств продления активного долголетия и профилактики старения на первое место ставят физические тренировки. Так, американский физиолог А. Танни из десяти рассмотренных для этих целей средств (питание, курение, продуктивная работа, оптимизм, любовь и внимание к людям, тренировка ума и др.) опять-таки ведущим считает использование ***оптимальных физических нагрузок.*** С физиолого-педагогической точки зрения оптимальной

нагрузкой является наименьший ее объем, который позволяет достигать возможно высокого полезного результата.

Наиболее доступные и достоверные критерии оценки оптимальности оздоровительных нагрузок – частота сердечных сокращений и % МПК (уровень потребления кислорода). В настоящее время существуют неоднозначные мнения по величине этих констант, но принципиально важно то, что все авторы рекомендуют при этом учитывать возраст, уровень тренированности и состояние здоровья человека. Если обобщить данные большинства специалистов в этой области, то можно рекомендовать ***средние величины частоты сердечных сокращений для лиц разного возраста при занятиях оздоровительной физической культурой.***

Так, лицам в возрасте до 20 лет рекомендуются нагрузки при частоте пульса не более 140 уд./мин, 30-летним – до 130, 40-летним – до 125, 50-летним – до 120, а 60-летним и старше – до 100–110 уд./мин. Н.А. Амосов допускает большие нагрузки людям зрелого и пожилого возраста, достаточно хорошо тренированным, с частотой пульса 130–150, а для начинающих – не более 120–130 уд./мин. ***При выполнении специальных физических упражнений, оздоровительной ходьбе и беге потребление кислорода у лиц пожилого возраста должно составлять 50–60% МПК*** (у более молодых людей может достигать 60–75%).

Роль и значение физической культуры в сохранении здоровья, профилактике преждевременного старения и продлении активного долголетия определяются рядом физиологических изменений у лиц, регулярно выполняющих рекомендуемые физические нагрузки. У таких людей улучшается оксигенация крови, органов и тканей, предупреждается регионарная гипоксия, повышается уровень метаболизма и выведение из организма конечных продуктов обмена веществ. У этих лиц остаются на высоком уровне биосинтез белка, ферментов и гормонов, что существенно замедляет процессы старения организма. Профилактика ишемической болезни сердца, атеросклероза и ожирения обусловлены снижением уровня холестерина и липопротеидов при достаточных мышечных нагрузках. Последние, повышая функциональную активность мышц («мышечный насос», или «периферические сердца», по Н.И. Аринчину), ***улучшают деятельность сердечно-сосудистой системы.*** Сохраняются и совершенствуются регуляторные и адаптивные механизмы, активность иммунной системы, а в ***конечном итоге повышается***

устойчивость организма к воздействию неблагоприятных факторов среды, снижается возможность возникновения ряда заболеваний, сохраняются умственная и физическая работоспособность.

Этот раздел хотелось бы закончить словами древних мудрецов: «Хочешь быть здоровым – бегай, хочешь быть красивым – бегай, хочешь быть умным – бегай». От себя добавим, что бегать надо тоже с умом!

6. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ У СПОРТСМЕНОВ РАЗНОГО ВОЗРАСТА

В соответствии с русской пословицей «Сила есть – ума не надо», уже априори предполагалось, что людям физического труда, в том числе и спортсменам, интеллектуальные (умственные) способности не очень нужны. Может быть, отчасти и поэтому в учебниках и учебных пособиях вопросы умственной работоспособности спортсменов не отражались. Хотя еще И.М. Сеченов указывал, что в любой физической работе обязательно присутствуют элементы и умственной деятельности.

6.1. ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ СПОРТА ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И ИХ ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Результативность спортивной деятельности определяется не только способностью преобразования энергии, но и возможностью переработки информации. Наряду с совершенствованием навыков моторных действий у спортсменов происходит формирование навыков тактического мышления – ***специализированной формы умственной деятельности.*** Это имеет место в различных видах спорта, но особенно важно в спортивных играх и единоборствах. Отсутствие в них стандартных программ двигательной деятельности требует высокого внимания к текущим ее условиям. Основной формой активности мозга становится не отработка двигательных стереотипов, а ***«творческая» функция.*** С этим связано большое значение процессов восприятия и переработки информации центральной нервной системой.

Спортсмен, находящийся на игровой площадке, футбольном поле или боксерском ринге, должен оценивать свое местополо-

жение в их пределах, расположение игроков своей команды и соперника, возможности их взаимодействий, скорость и направление движения мяча, шайбы и др. В крайне малые отрезки времени (секунды и доли секунд) происходят процессы восприятия ситуации и выработка ответных действий. Так, например, длительность этих процессов занимает в спортивных играх 1–2 с, в боксе – около 0,4–0,8 с.

На эффективность тактического мышления оказывают влияние определенные интеллектуальные качества человека и тип нервной системы: быстрота и объем зрительного восприятия, скорость переработки информации, развитие оперативного мышления, хорошая оперативная память, подвижность нервных процессов, устойчивость и концентрация внимания, помехоустойчивость и др. Результативность соревновательной деятельности футболистов, например, имеет достоверную корреляцию с силой нервных процессов, их подвижностью и уравновешенностью, а также с интегральным показателем высшей нервной деятельности.

У юных спортсменов эти качества формируются уже в 10–11 лет и под влиянием спортивной тренировки продолжают развиваться до взрослого состояния. Проявление этих способностей в первую очередь связано ***с развитием морфофункциональных взаимосвязей в коре больших полушарий головного мозга и развитием ассоциативных областей коры.*** В частности, морфологи отмечают особенно быстрый рост межцентральных горизонтальных взаимосвязей корковых нейронов в возрасте от 9 до 12 лет. Соответственно способность к решению простых зрительно-моторных задач особенно резко улучшается именно в этот период и продолжает развиваться до 16 лет. Подростки в 12 лет достаточно хорошо решают более простые тактические задачи. Сложные задачи, возникающие в трудных ситуациях, – переработка большого количества информации и выбор действий из двух и более альтернатив – решаются лучше с 14-летнего возраста. В этом возрасте необходимо проявлять и развивать способности к оперативному мышлению. ***10–13 лет следует считать сенситивным периодом развития тактического мышления,*** когда в коре больших полушарий существенно увеличиваются функциональные взаимодействия различных корковых областей, совершенствуются функции ассоциативных зон мозга и можно добиться наиболее заметного улучшения эффективности решения тактических задач (рис. 69). В возрасте от 13 до 16 лет спо-

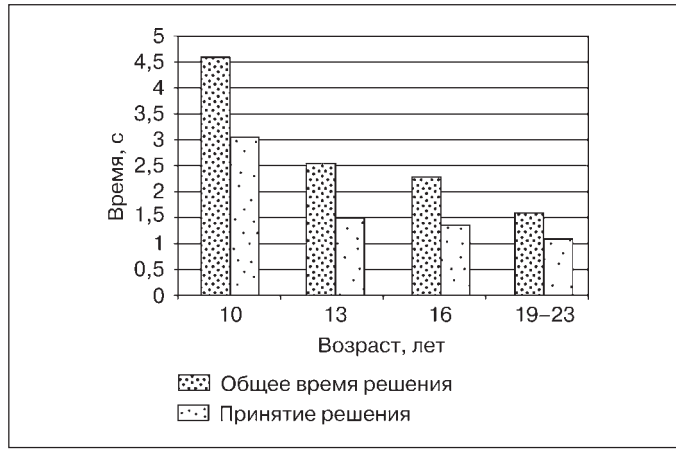


Рис. 69. Возрастная динамика времени решения тактических задач у баскетболистов

собность решать тактические задачи улучшается в меньшей степени, в 16 лет по этой способности подростки еще достоверно отличаются от взрослых спортсменов (Сологуб Е.Б. и др., 1988).

6.2. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ВОСПРИЯТИЯ, ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ ОТВЕТНЫХ ДЕЙСТВИЙ

В ходе решения тактических задач происходят процессы восприятия сигналов на периферии сенсорных систем, передача афферентных импульсов в проекционные зоны коры больших полушарий, переработка их в подкорковых структурах, первичных (проекционных) и вторичных (опознающих) полях коры, переход от процессов опознания образов ситуации к их осмысливанию в третичных (нижнетеменных) полях коры, где взаимодействуют сигналы от различных сенсорных систем и хранящиеся в памяти навыки моторных действий и тактических комбинаций. На основе полученных сведений и доминирующей мотивации переднелобные третичные поля коры осуществляют ***ключевой момент тактического мышления: выбор наиболее адекватного решения,*** т.е. принятие решения ***о цели и задачах действия.*** В соответствии с этим осуществляется построение программы для ответных действий и передача эфферентных импульсов к нижележащим нервным центрам и скелетным

мышцам – команд к движениям и тормозных команд для исключения посторонних движений (рис. 70).

На первом этапе (афферентного синтеза) восприятие внешней и внутренней информации обеспечивается деятельностью различных сенсорных систем, в которой основную роль играет ***зрительная сенсорная система.*** Зрение обеспечивает поступление 80–90% внешней информации. При этом огромную роль играет ***поисковая функция глаза,*** так как глаз человека не просматривает абсолютно все видимое пространственное поле, а выбирает наиболее значимые детали, в результате повышается скорость и эффективность восприятия ситуации. В мозгу создается ее обобщенный образ.

Поисковая функция глаза ***совершенствуется по мере роста спортивного мастерства.*** Опытные спортсмены способны быстро схватывать целостные картины внешней ситуации, совершая меньшее количество поисковых движений глаз и лучше выделяя значимые детали, чем менее подготовленные. Мастер спорта по боксу затрачивает на опознание финтов или ударов соперника на 1 с меньше, чем менее квалифицированный спортсмен, делает при этом в 2,5 раза меньше ошибок и совершает 1–3 макродвижения глаза (боксер разрядник – 4–10 движений глаза). При восприятии полета мяча опытные теннисисты по сравнению с менее опытными совершают гораздо меньше ошибок

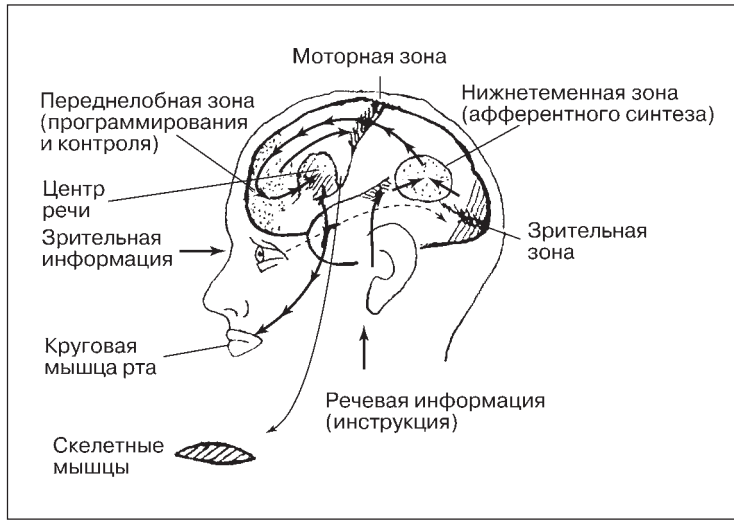


Рис. 70. Физиологические механизмы тактического мышления

в определении места и времени его встречи, даже при наблюдении лишь за начальной частью траектории его полета, а взор спортсмена сразу перемещается в конечную точку, не прослеживая всего пути.

Улучшению процессов восприятия способствует хорошая острота зрения и расширение поля зрения у спортсменов, особенно на цветные раздражители.

В ***реакциях на движущийся объект*** большое значение имеет восприятие его скорости, при котором происходит либо движение глаза за целью, и тогда анализируется информация от глазодвигательного аппарата, либо информация поступает от последовательного возбуждения фоторецепторов при перемещении изображения по сетчатке неподвижного глаза. Важна для восприятия ситуации отлаженная координация движения обоих глаз. ***Идеальный мышечный баланс*** встречается у нетренированных лиц примерно в 40% случаев, у спортсменов игровых видов спорта – в 50–80% случаев.

Слуховая сенсорная система участвует в решении тактических задач, обеспечивая ориентацию в пространстве и особенно во времени. Речевые сигналы необходимы для взаимодействия спортсменов, получения информации от тренеров, судей, словесных самоотчетов, инструкций и другой информации.

В тактическом мышлении учитывается также ***информация от вестибулярного аппарата, от мышц и кожи, от внутренних органов.***

Созревание сенсорных систем завершается в основном к 12–13-летнему возрасту, у юных спортсменов на 2–3 года раньше, чем у нетренированных сверстников. Это и определяет достаточное развитие у юных спортсменов процессов восприятия.

Доминирующая мотивация участвует в процессах предпрограммирования, осуществляя оценку ситуации и помогая в выборе моторных и тактических программ из памяти. С ее помощью происходит мобилизация усилий на удовлетворение потребностей, обеспечение положительных эмоций в деятельности спортсмена.

Она формируется с участием предшествующих переживаний, индивидуального опыта, накопленных знаний, представлений личности о цели и задачах действия, о чувстве долга, сиюминутных соображений и желаний и т.п. В формировании такой доминирующей мотивации принимают участие нервные процессы в различных корковых и подкорковых структурах мозга (в част-

ности, лимбическая система регуляции эмоций), а также гормональная настройка организма.

В целом ***весь этап афферентного синтеза обеспечивается*** тесным взаимодействием двух функциональных систем мозга: ***первым функциональным блоком – регуляции уровня бодрствования***, куда входят неспецифические системы мозга (ретикулярная формация, лимбическая система), ***и вторым функциональным блоком – восприятия, переработки и хранения информации***, включающим сенсорные системы с первичными, вторичными и третичными (нижнетеменными) полями задней половины коры больших полушарий.

Процесс принятия решений и программирование ответных действий осуществляет третий функциональный блок мозга – блок регуляции сложных форм поведения, программирования и контроля движений – в передних отделах коры (Лурия А.Р., 1973). Высшим отделом этого блока являются ассоциативные переднелобные области коры, которые на основании полученных сведений («что имеем?») осуществляют ключевой момент тактического мышления – принятие решения о цели и задачах действия («что делать?»). Одновременно формируется образ результата действия («что должно получиться»).

Процессы восприятия информации и принятия решения по длительности составляют примерно 50–60% от общего времени решения тактических задач. Принятие решения контролируется сознанием. При этом ***логическому решению всегда предшествует интуитивное решение, которое не осознается***, т.е. является довербальным (доречевым) компонентом принятия решения. За ним следует ***вербальный компонент – с участием внутренней речи, который отражается в сознании*** (этот период можно зафиксировать по появлению небольшой активности в ЭМГ круговой мышцы рта). В осуществлении принятия решения имеет большое значение синхронизация электрической активности различных областей коры больших полушарий. Она облегчает межцентральные взаимодействия в процессе переработки информации. Чем более стабильными и сильными являются функциональные взаимосвязи корковых центров, тем быстрее работает и оказывается более помехоустойчивой рабочая система мозга, становится более эффективным и меньше нарушается тактическое мышление.

Богатый запас тактических знаний позволяет квалифицированным спортсменам использовать различные их комбинации и строить на основе процессов ***экстраполяции*** (использования

предшествующего опыта) новые тактические комбинации в неожиданных условиях.

Автоматизация мыслительных операций позволяет многие решения принимать почти мгновенно, как бы интуитивно, а осознавать их уже после выполнения (например, в боксе, фехтовании). Как показывают электрофизиологические данные, по мере автоматизации навыков тактического мышления и двигательных навыков включение переднелобных областей в работу системы регуляции деятельности уменьшается, что сокращает число активных нейронов и увеличивает скорость решения тактических задач.

Переднелобные (третичные), премоторные (вторичные) и моторные (первичные) поля коры совместно с базальными ядрами, таламусом и мозжечком формируют ***программу ответных действий*** и передают ее рабочим органам на периферию. Результаты выполнения движений контролируются переднелобными областями (через каналы обратной связи). Задуманное и осуществленное действие сопоставляются в специальных аппаратах сравнения (хвостатое ядро и др.). При их несоответствии в программы вносятся поправки – ***сенсорные коррекции.***

Скорость обучения и конечный уровень навыков тактического мышления зависят от индивидуальных психофизиологических особенностей спортсмена (лабильности и подвижности нервных процессов, типа нервной системы, способности к оперативному мышлению, концентрации и избирательности внимания и др.). В среднем около 30% спортсменов обладают высоким уровнем обучаемости, значительно повышая скорость и эффективность решения тактических задач в процессе обучения. Средние способности к обучению обнаруживают примерно 45% спортсменов, слабые – около 25%. Следовательно, процесс обучения тактическому мышлению протекает с разным успехом, демонстрируя разную тренируемость спортсменов.

6.3. СКОРОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТАКТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ. ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ МОЗГА

Эффективность решения тактических задач оценивается правильностью решения и временем решения. Параметры этих показателей зависят от пропускной способности мозга. ***Величина пропускной способности (С) равна количеству переработанной информации (I) в единицу времени (Т).*** За еди-

ницу информации 1 бит принимается ее количество, которое перерабатывается при выборе из двух альтернативных решений. Между числом альтернатив (А) и количеством информации существуют следующие отношения (табл. 33).

Таблица 33

Соотношения количества информации (I, бит) и числа альтернативных выборов (А)

А	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	1,0	1,58	2,0	2,32	2,58	2,81	3,0	3,17	3,32

У человека время решения увеличивается прямо пропорционально росту количества предъявляемой информации до 3 бит, а при большем количестве информации резко возрастает и не изменяется, так как человек не способен эту информацию сознательно воспринять и действует в условиях полной для него неопределенности.

Индивидуальные скоростные возможности в ситуации выбора зависят от быстродействия мозга, которое отражается в частоте основного ритма биопотенциалов коры больших полушарий – альфа-ритма. Чем выше частота альфа-ритма, тем короче латентный период реакции выбора. Общее время решения тактических задач и время принятия решения зависят у спортсменов от уровня спортивного мастерства (квалификации, тактической подготовленности, роста работоспособности в годичном тренировочном цикле и пр.), спортивной специализации (специфики вида спорта и спортивного амплуа), возраста и пола, степени утомления и других факторов. В основе скорости переработки информации лежат врожденные свойства мозга – лабильность и подвижность нервных процессов, которые в ходе тренировки меняются незначительно.

Пропускная способность мозга (по данным разных авторов) у квалифицированных спортсменов при напряженной спортивной деятельности колеблется в пределах 0,5–3 бит/с (рис. 71). Например, пропускная способность (бит/с) составляет у горнолыжников 3,5; у хоккеистов 2,8; у теннисистов 2,38; у гандболистов 2,33–3,01; у футболистов 2,28–2,85; у баскетболистов 1,66–2,14; у волейболистов 1,7; у ориентировщиков 0,84–1,28; у велосипедистов-шоссейников 0,62–0,96.

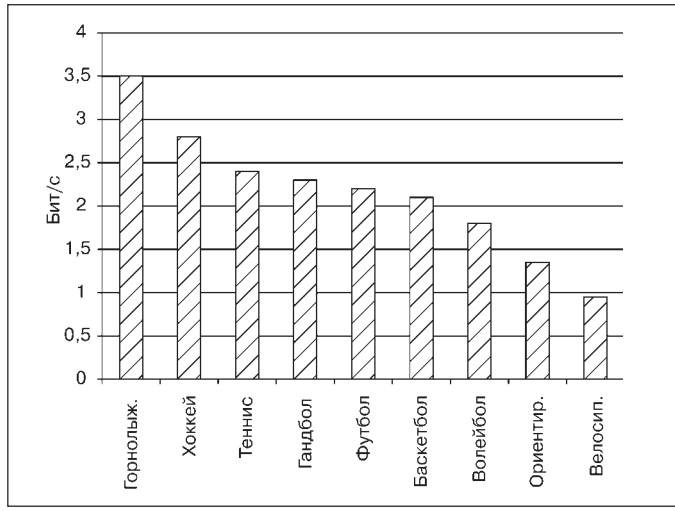


Рис. 71. Пропускная способность мозга у квалифицированных спортсменов (по данным разных авторов)

У людей нетренированных и спортсменов-разрядников оптимальным числом предъявляемой информации является 2 бита в 1 с, при этом наблюдается наибольшая скорость ее переработки и наиболее длительное сохранение умственной работоспособности на высоком уровне. У выдающихся спортсменов (членов сборных команд страны и олимпийских команд) пропускная способность достигает 4–6 бит/с (например, у футболистов 3,44 бит/с и выше, у фехтовальщиков 5,26–6,32 бит/с).

Определить пропускную способность можно, предъявляя спортсмену тактические задачи с определенным информационным содержанием (количеством альтернатив) и фиксируя время ответа. Можно также использовать таблицу с кольцами Ландольта, поставив спортсмену задачу, как можно быстрее просматривать таблицу и зачеркивать кольца с определенным разрывом (по циферблату часов – 12.00, 1.30, 3.00, 4.30, 6.00, 7.30, 9.00 и 10.30).

Пропускную способность (С) рассчитывают по формуле:

$$C = \frac{0{,}5436 \times 1024 - 2{,}807 \times n}{T} \text{ бит/с},$$

где n – число пропущенных или ошибочно зачеркнутых колец, T – время выполнения задания (с).

Величина пропускной способности есть важный критерий адаптации спортсмена к нагрузкам и может быть использована для контроля тактической подготовленности. Разрабо-

тана специальная шкала оценок пропускной способности для определения пригодности к конкретным видам спорта. По этой шкале, в частности, очень высоко оценивается пригодность к футболу тех спортсменов, которые в простых тестах (например, определение времени простой зрительно-двигательной реакции) показывают пропускную способность выше 5 бит/с. В аналогичных условиях было показано, что высококвалифицированные фехтовальщики имеют пропускную способность 5–6 бит/с.

Особенностью женского организма является меньшее нарастание пропускной способности в процессе обучения, чем у мужчин. Так, у гандболисток на протяжении подготовительного периода пропускная способность мозга возросла от 2,32 до 2,57 бит/с, а у мужчин-гандболистов за тот же период занятий – от 2,33 до 3,00 бит/с.

Женщины по сравнению с мужчинами лучше решают более простые, стандартные задачи, особенно в монотонных условиях. Однако хуже решают более сложные задачи и задачи в новых и экстремальных ситуациях. Процессы восприятия и переработки информации, появление тактических ошибок у женщин-спортсменок зависят от периодов овариально-менструального цикла. Ухудшение процессов решения тактических задач отмечается у них в менструальную, овариальную и предменструальную фазы.

6.4. ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ СПОРТСМЕНОВ, ЕЕ ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Величина пропускной способности и другие показатели эффективности тактического мышления могут быть использованы также для оценки помехоустойчивости спортсмена. С этой целью обычные показатели сравниваются с показателями, полученными на фоне ***несмысловых*** (световых и звуковых) ***и смысловых помех*** (крики болельщиков на стадионе, указания тренера, судьи, возгласы игроков своей команды и соперников и т.п.). Шумовые помехи могут быть очень значительны: запись «шума трибун» на ответственных соревнованиях по баскетболу и фехтованию показала, что уровень громкости достигает 100–112 дБ. При этом у помехоустойчивых спортсменов показатели физической и умственной работоспособности могут даже улучшаться на этом фоне, а у неустойчивых – они снижаются.

Помехоустойчивость – одно из наименее тренируемых свойств организма, обусловливаемое наследственными влия-

ниями. В этом отношении особенно важно учитывать реакции спортсменов на помехи для прогноза эффективности их соревновательной деятельности, а также с целью спортивного отбора.

Физиологической основой помехоустойчивости является формирование в коре больших полушарий мощной рабочей доминанты – функциональной системы, объединенной единым ритмом активности и включающей наиболее важные для работы нервные центры. Такая система не разрушается при посторонних раздражениях, а наоборот усиливается на их фоне. Посторонние раздражения подкрепляют рабочую доминанту. У неустойчивых к помехам лиц рабочая доминанта недостаточно прочная и легко разрушается при внешних помехах, утомлении и прочих воздействиях. В процессе индивидуального развития помехоустойчивость довольно рано (уже с 13 лет) достигает взрослого уровня. Это позволяет оценивать помехоустойчивость уже на начальных уровнях подготовки юных спортсменов и прогнозировать влияние этого свойства на спортивную работоспособность взрослых спортсменов, т.е. строить долгосрочные прогнозы.

7. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АСИММЕТРИИ СПОРТСМЕНОВ РАЗНОГО ВОЗРАСТА

Тело человека имеет, в принципе, двустороннюю симметрию. Однако существуют различия в весовых, линейных, объемных размерах, структуре и функциях парных органов и симметричных частей его тела. Эти особенности проявляются в результате генетических (наследственных) влияний, а также социальных, климатогеографических и прочих средовых воздействий. ***У человека различают моторную, сенсорную и психическую асимметрию.***

7.1. МОТОРНЫЕ АСИММЕТРИИ У ЧЕЛОВЕКА, ИХ ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Моторной асимметрией называют ***совокупность признаков неравенства функций рук, ног, мышц правой и левой половины туловища и лица.***

Ведущую конечность определяют по следующим признакам: 1) ее ***предпочтение*** при выполнении действия одной рукой или ногой; 2) более высокая ***эффективность*** по силе,

точности и быстроте включения; 3) ***доминирование*** при совместной деятельности обеих конечностей.

У большинства людей (в 75% случаев) правая рука является ведущей, а связанное с ней левое полушарие – ***главенствующим, доминантным.*** Это преимущественное значение левого полушария объясняют тем, что практически у всех праворуких (правшей) функция речи контролируется тем же левым полушарием, в котором располагается моторный речевой центр Брока. Гораздо меньше среди населения левшей – примерно 5–10% – и обоеруких, или амбидекстров, – 15–20%. Среди женщин левши встречаются в 2–3 раза реже, чем среди мужчин. По статистике среди родителей леворуких детей в 10 раз больше левшей, чем среди родителей правшей, что указывает на значительную роль наследственности в развитии леворукости (праворукости).

Моторные центры речи лишь у немногих леворуких (около 7%) расположены в правом полушарии, которое контролирует движения левой руки. У большинства левшей они локализуются в левом полушарии, а у небольшой части – в обоих полушариях. Моторные центры рук у левшей также могут располагаться в правом полушарии или в левом; либо асимметрия отсутствует.

Таким образом, перекрестные влияния на моторику не являются у человека единственно возможными. Наряду с доминированием левого полушария у правшей и правого – у левшей, может быть одновременное участие обоих полушарий, а также их попеременное доминирование при управлении движениями.

У правшей, как правило, ведущая ***правая рука*** превосходит левую по длине, размеру кисти и величине ногтевого ложа большого пальца. Она имеет большую мышечную массу, мышечные волокна ее толще и сильнее. Ведущая правая рука легче и раньше включается в двигательные акты, выполняет их более координированно, точнее дозирует усилия. Ей принадлежит основная активная роль не только в сознательном управлении движениями, но и в отражении эмоциональных и личностных особенностей человека.

Левой руке у правшей отводится преимущественно подсобная роль. Она более выносliва к статическим усилиям, чаще служит опорой при выполнении различных операций.

У праворуких людей центральное управление движениями правой и левой рук неоднозначно. Как показывают современные исследования, ***моторика правой (ведущей) руки осуществляется в большей степени по механизму центральных команд,***

более подчинена процессам сознательного управления, включающим самые высшие отделы коры больших полушарий (в первую очередь, переднелобные третичные области). Двигательные навыки правой руки формируются быстрее и легче автоматизируются.

Управление левой рукой у правшей в значительной мере связано с более древним филогенетически и ранее выявляемым в онтогенезе ***механизмом кольцевого рефлекторного регулирования.*** В обычных условиях целенаправленной деятельности неведущая левая рука существенно отстает от ведущей правой по своим координационным возможностям. Однако в экстремальных ситуациях, при выполнении многоцелевых программ деятельности, когда создаются необычные трудности для программного управления действиями правой руки, эффективность левой руки оказывается более высокой. Обнаружено, что мышцы неведущей левой руки содержат больше быстрых мышечных волокон, характеризуются лучшими взрывными сократительными свойствами и в большей степени подвержены утомлению.

Преобладание правой руки не связано с обязательным доминированием правой ноги. Чаще всего, а именно в 70% случаев, у праворуких людей ведущей является левая нога, т.е. имеется так называемая перекрестная асимметрия. Лишь для пятой части населения характерно наличие ведущей правой руки и правой ноги и всего около 5% людей имеют ведущие левую руку и левую ногу.

Перекрестная асимметрия, столь характерная для правшей, весьма мало выражена у левшей. Лишь в 7% случаев у леворуких людей обнаруживается ведущая правая нога.

Различные моторные возможности конечностей проявляются при разных видах локомоций – ходьбе, беге, плавании и др. Правши отклоняются обычно в левую сторону и в итоге, перемещаясь по кругу, приходят в исходный пункт, а при выключении зрения прямолинейное движение человека невозможно уже в пределах 100 м.

Моторная асимметрия проявляется также в различном развитии и двигательных возможностях мышц правой и левой половины туловища и лица.

В онтогенезе наблюдается постепенное развитие литерализации моторных функций. У детей 2–3 лет отмечается лишь 33% праворуких, 13% леворуких и у 54% отсутствует моторная асимметрия. К возрасту 7–8 лет уже более 50% детей являются праворукими. Однако степень доминирования правой стороны

при освоении двигательных навыков может изменяться в онтогенезе. Так, при освоении симметричных движений скорость их формирования выше на правой (ведущей) стороне в возрасте 9–11 и 15–17 лет, но в переходный период у подростков быстрее формируются навыки на левой (неведущей) стороне.

Хорошо выраженная в молодом возрасте моторная асимметрия по мере старения организма постепенно сглаживается. У людей пожилого возраста число правшей и левшей оказывается примерно одинаковым (50:50%).

7.2. СЕНСОРНЫЕ И ПСИХИЧЕСКИЕ АСИММЕТРИИ. ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ АСИММЕТРИИ

Сенсорные асимметрии определяют как ***совокупность признаков функционального неравенства правой и левой частей сенсорных систем.***

Особое значение в поведении человека имеет ***асимметрия зрения.*** Примерно две трети населения имеет правостороннюю асимметрию, т.е. ведущий правый глаз, около трети – левостороннюю и лишь немногие – симметрию зрительной функции. Ведущий глаз обладает более высокой остротой зрения, мгновенным и особенно ярким восприятием цвета, более обширным полем зрения, лучшим ощущением глубины пространства. При прицеливании воспринимается лишь то, что входит в поле зрения этого глаза. В целом, восприятие объекта в большей мере обеспечивается ведущим глазом, а восприятие окружающего фона – неведущим глазом.

При изолированном предъявлении стимулов правому или левому глазу выявлено преимущество правого поля зрения и соответственно левого полушария в восприятии второсигнальной информации (чисел, отдельных букв и целых слов), а также преобладание левого поля зрения и правого полушария в восприятии зрительно-пространственной информации (фотографий, геометрических фигур и пр.).

Изолированное предъявление звуковых раздражителей левому или правому уху показало своеобразие функциональной ***асимметрии слуха.*** Речевые сигналы лучше воспринимаются правым ухом у подавляющего большинства правшей и у половины левшей, а музыка, интонации речи, эмоциональная ее окраска – левым ухом. У женщин почти в 2 раза чаще отмечается преимущество правого уха в восприятии речевых стимулов, чем у мужчин.

В функциях осязания, обоняния и вкуса больше выражена левосторонняя асимметрия. На левой руке выше тактильная, болевая, температурная и вибрационная чувствительность, на правой руке – кинестетическая чувствительность. Левая сторона носа более чувствительна к запахам. На левой половине языка больше вкусовых сосочков и выше вкусовая чувствительность.

В понятие психических асимметрий включают ***нарушение симметрии собственно психических процессов.***

Психосенсорные процессы, связанные с чувственным познанием внешнего и внутреннего мира, соотносят с функциями правого полушария. Обработка этой информации происходит в настоящем времени с участием следов прошлых раздражений, хранящихся в памяти, т.е. с участием прошедшего времени. К функциям правого полушария относят целостное и одномоментное восприятие зрительно-пространственных впечатлений.

Психомоторные процессы связаны с абстрактно-логическим познанием, речевой регуляцией движений и двигательными асимметриями. Их связывают с функциями левого полушария. Протекая в настоящем времени, они направлены в будущее время, так как программируемые действия и прогнозируемые их результаты будут осуществляться в дальнейшей жизни человека. Левое полушарие осуществляет детальный анализ событий, производя их последовательную обработку.

Сочетание моторных, сенсорных и психических асимметрий составляет чрезвычайно важную характеристику человека – его индивидуальный профиль асимметрии, определяющий только ему присущие особенности поведения.

У многих людей отмечается правосторонняя асимметрия рук, ног, зрения (по прицельной способности), слуха (по восприятию речи) и левосторонняя асимметрия в функциях осязания, обоняния и вкуса. ***В поведении человека основное значение имеет асимметрия рук, ног, зрения и слуха, которая в основном и учитывается при определении индивидуального профиля асимметрии*** (табл. 34).

Таблица 34

Частый вариант индивидуального профиля асимметрии различных функций

Доминирование	Рука	Нога	Глаз	Ухо	Вкус	Обоняние	Осязание
Правое	+	+	+	+			
Левое					+	+	+

Различают ***одностороннее доминирование*** этих функций (либо правостороннее, либо левостороннее преобладание функций рук, ног, зрения, слуха) ***и парциальное*** (частичное) с любым сочетанием преобладающих функций.

У детей 4–7 лет односторонний правый профиль асимметрии (рука, нога, глаз, ухо) наблюдается только в 15% случаев, а парциальный – в 80% случаев. ***По мере взросления повышается праволатеральность моторики рук и ног, функций зрения.*** У взрослых правосторонний профиль асимметрии отмечается в 26% случаев, а парциальный – в 70%. Истинных левшей с односторонним левым профилем асимметрии насчитывают около 4%.

Особое значение в жизнедеятельности человека имеет ***сочетание ведущей правой руки и ведущего правого глаза.*** *У* правшей с ведущим правым глазом лучше ориентировка, чем в случае с ведущим левым глазом. Они лучше адаптируются ко многим сложным формам деятельности, требующим быстрого реагирования на изменения ситуации, высокой концентрации и скорости переключения внимания.

Обследование школьников-правшей 7–15 лет с правым ведущим глазом показало их большую способность к понятийному, абстрактному мышлению и более низкий уровень тревожности по сравнению с детьми, имеющими более низкие коэффициенты праворукости, стертые признаки левшества и левый ведущий глаз. У школьников-левшей в 90–100% случаев отмечено преобладание реакций на непосредственные раздражители (первой сигнальной системы), а у правшей в 25% случаев – преобладание реакций на словесные раздражители (второй сигнальной системы).

Сенсорные и психические функциональные асимметрии, как и моторные асимметрии, подвержены закономерным изменениям с возрастом.

Основную роль в регуляции поведения ребенка играет правое полушарие головного мозга. Те формы речи, которые доступны детям дошкольного и младшего школьного возраста, по-видимому, контролируются правым полушарием. У взрослых праворуких людей речевая функция связана с левым доминирующим полушарием, в котором находятся моторный центр речи Брока и сенсорный центр речи Вернике.

С возраста 10–12 лет начинает нарастать функциональная значимость ассоциативных третичных полей коры – нижнетеменных и переднелобных (фронтальных) в управлении двигательными действиями человека. В возрасте 13–15 лет не только уси-

ливается роль третичных зон, но и начинается их преобладание в левом (ведущем) полушарии, а к возрасту 16–18 лет участие ассоциативных третичных зон левого полушария в контроле двигательного поведения становится преимущественным.

В процессе воспитания и обучения ребенка следует особенно внимательно относиться к предпочтению той или иной руки, не переучивать леворуких детей есть, писать и рисовать правой рукой. Такое переживание нарушает врожденные механизмы управления движениями и вызывает ухудшение деятельности ЦНС, замедляет физическое и умственное развитие, может приводить к неврозам и заиканию.

Особенностью женского организма является значительно меньшее проявление функциональной асимметрии левого и правого полушария в осуществлении речевой функции. Функции речи у них связаны в большей мере с деятельностью обоих полушарий.

У женщин значительно чаще встречается ведущий правый глаз и почти в 2 раза чаще преимущество правого уха в восприятии речевой информации. В индивидуальном профиле асимметрии у них чаще выражена правосторонняя асимметрия (табл. 35).

Таблица 35

Количество лиц (%) с правосторонним профилем асимметрии у мужчин и женщин

Пол	Рука – глаз	Ухо – глаз
Мужчины	58	54
Женщины	72	65

7.3. ПРОЯВЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АСИММЕТРИИ У СПОРТСМЕНОВ

Функциональная асимметрия-симметрия проявляется в спортивной деятельности. Врожденные морфофункциональные асимметрии определяют предпочтение правой или левой конечности при выполнении различных действий с предметом или без него – выбор вооруженной руки у фехтовальщика, правостороннего или левостороннего хвата клюшки у хоккеиста, стороны вдоха при плавании кролем, левосторонней или правосторонней стойки у боксера и т.д.

Определение моторной асимметрии только по врожденным признакам показало, что среди спортсменов преобладают право-

рукие (51% случаев) над леворукими (35% случаев), но при определении по заученным движениям, манипуляциям и письму выявлено подавляющее преимущество правой руки (97% случаев) над левой (2% случаев). Это свидетельствует о роли обучения в развитии функциональной асимметрии.

Неравномерное морфологическое развитие, одностороннее преобладание физических качеств и асимметрия двигательных действий особенно выражены в асимметричных упражнениях при большом спортивном стаже и более ранней специализации.

При симметричных циклических упражнениях ведущая конечность выполняет более активные действия, регулируя работу неведущей. У велосипедистов ведущая нога развивает большее усилие и при нажиме, и при подтягивании педали, определяя тем самым темп педалирования и подчиняя ему действия неведущей ноги. Ведущая нога развивает большие усилия и делает более длинные шаги в легкоатлетическом беге, при передвижении на лыжах и лыжероллерах, активнее участвует в выполнении поворотов, в обгоне соперников на дистанции.

В асимметричных ациклических упражнениях (например, удары по мячу у футболистов и др.) технические приемы выполняются в основном ведущей конечностью, а неведущая осуществляет вспомогательную функцию, роль опоры (рис. 72). При выполнении прыжков (в фигурном катании и др.) ведущая нога

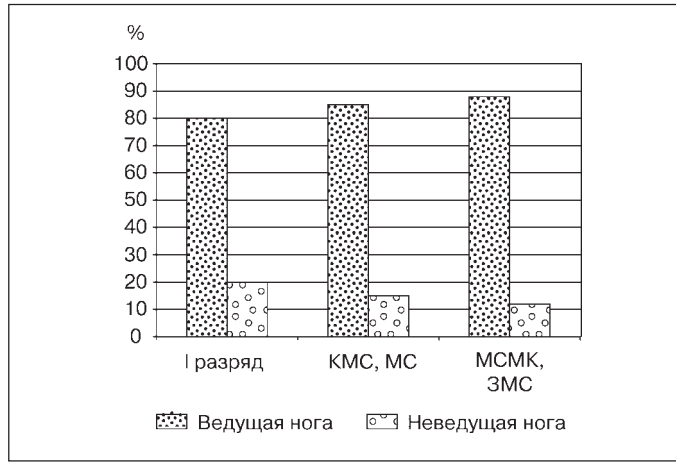


Рис. 72. Количество технических приемов у футболистов, выполняемых ведущей и неведущей ногой

является маховой (у большей части спортсменов – правая), а неведущая – толчковой (левая нога). Левую ногу как толчковую используют до 90% прыгунов в высоту, около 60% прыгунов в длину; большие усилия ее отмечаются у 86% бегунов на короткие дистанции.

Среди фехтовальщиков – финалистов крупнейших международных соревнований представительство левшей в 10 раз превышает средние популяционные данные.

У спортсменов отмечаются также проявления сенсорной асимметрии. Ведущим глазом у преобладающего числа спортсменов является правый: праворуких – 85%, леворуких – около 12%, без асимметрии – примерно 3%. У стрелков все праворукие спортсмены имеют ведущий правый глаз (табл. 36).

Таблица 36

Функциональная асимметрия глаз у спортсменов

Вид спорта	Количество спортсменов	Правая асимметрия, %	Левая асимметрия, %	Симметрия, %
Стрельба	28	100	–	–
Баскетбол	36	88	8	4
Тяжелая атлетика	30	84	8	8
Каратэ	158	73	25	2
Борьба	43	82	18	–
Суммарное кол-во	295	85,4	11,8	2,8

Профиль асимметрии определяет наиболее предпочитаемую, «удобную» сторону вращения в фигурном катании, в гимнастике («винт») и других видах спорта. В произвольном вращении примерно 90% людей предпочитают левую сторону (более удобную для правшей). У фигуристов 84% спортсменов выполняют вращения в левую сторону. Левый профиль асимметрии у теннисистов, борцов, боксеров и фехтовальщиков делает их неудобными соперниками для спортсменов с правым профилем асимметрии и обусловливает эффективность соревновательной деятельности.

У многих представителей циклических видов спорта встречается перекрестная моторная асимметрия: у пловцов-подводников ведущими являются правая рука и левая нога; аналогичную картину можно наблюдать у 60% высококвалифицированных лыжников-гонщиков.

Спортсмены, имеющие односторонний тип доминирования функций (либо правый, либо левый профиль асимметрии), отличаются более высоким уровнем подвижности нервных процессов

и психических функций, более короткой сенсомоторной реакцией. Зато по сравнению с лицами со смешанным профилем асимметрии они быстрее утомляются, особенно после тренировок с предельными и околопредельными нагрузками.

Определенные корреляции обнаруживаются между психофизиологическими характеристиками и личностными особенностями спортсменов, с одной стороны, и типом моторного доминирования, с другой стороны. Например, фехтовальщики-левши существенно отличаются от правшей более высоким уровнем реактивной и личностной тревожности, неуравновешенным типом нервной системы, более высоким уровнем невротизма (табл. 37). У спортсменов, фехтующих левой рукой, отмечено преобладание предметно-образного мышления и меньшая способность к абстрактно-логическому мышлению, преобладание холерического и меланхолического темперамента, предпочтение в боевой деятельности более простых технико-тактических действий с большей скоростью их выполнения. Вместе с тем им присуща худшая скорость переработки сложной информации, большее латентное время реакции с выбором, что затрудняет использование более сложных технических действий и принятие решений в сложных экспромтных ситуациях.

Таблица 37

Психофизиологические и личностные особенности фехтовальщиков-рапиристов высокого класса (мастеров спорта и мастеров спорта международной квалификации) с различным типом моторного доминирования

Показатели	Левши	Правши	Достов. различ.
Латентный период простой реакции, мс	148,16	152,33	–
Моторный компонент простой реакции, мс	112,30	148,33	$P<0,05$
Латентный период сложной реакции, мс	359,16	320,16	$P<0,05$
Моторный компонент сложной реакции, мс	239,66	239,16	–
Личностная тревожность	45,56	26,16	$P<0,05$
Реактивная тревожность	43,83	34,00	$P<0,05$
Экстраверсия	11,16	14,50	–
Нейротизм	18,16	8,00	$P<0,05$
Самочувствие	6,26	5,98	–
Активность	5,45	5,01	–
Настроение	5,93	5,98	–

7.4. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕНИРОВОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ С УЧЕТОМ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АСИММЕТРИИ

Врожденные асимметрии могут значительно видоизменяться под влиянием многолетней спортивной тренировки. Направленность изменений зависит от симметричности выполняемых действий.

При систематическом выполнении преимущественно односторонних упражнений происходит преобладающее развитие ведущей конечности и усиление асимметрии. Различия в функциях правой и левой конечности нарастают, обусловливая в определенных пределах рост достижений спортсмена (например, в теннисе, фехтовании и других видах спорта).

Однако при выполнении многих симметричных упражнений функциональная асимметрия оказывает отрицательное влияние на спортивный результат. Функциональная асимметрия снижает дальность прыжка на лыжах с трамплина, ухудшает технику выполнения упражнений в акробатике, прыжках на батуте, плавании, горнолыжном спорте, снижает скорость бега, ходьбы и других циклических движений. Следовательно, во многих видах спорта она является фактором, лимитирующим спортивную работоспособность.

Сильнейшая конечность выполняет большую работу, производит большие по амплитуде и силе движения в симметричных упражнениях, что нарушает ритмичность и прямолинейность циклических движений, затрудняет координацию нервных влияний, синхронизацию в деятельности нервных центров и ведет к затрате дополнительной энергии на коррекцию локомоций. Вдобавок к этому слабейшая конечность быстрее утомляется и в большей степени влияет на снижение работоспособности.

Различия в функциях правых и левых конечностей тем меньше оказываются, чем больше преодолеваемая спортсменом дистанция. Так, если заметная асимметрия ног отмечается у бегунов-спринтеров, барьеристов, то у бегунов-стайеров она незначительна, у марафонцев практически равна нулю. У 90% ходоков, марафонцев, бегунов-стайеров наблюдается практически полная симметрия мышечной силы ног.

Процессом спортивного отбора, а также адаптацией в ходе многолетней тренировки к выполнению симметричных упражнений обеспечивается естественное сглаживание функциональной асимметрии у спортсменов высокой квалификации.

Накопленные данные указывают, что в результате долговременной адаптации к выполнению специальных упражнений симметричного характера наибольших успехов добиваются спортсмены, имеющие наименьшие различия в действиях правой и левой конечности (рис. 73), в то время как при выполнении упражнений одностороннего характера ведущие спортсмены имеют выраженную асимметрию.

Формирование двигательных навыков у спортсменов сопровождается различным участием правого и левого полушария в управлении движениями.

Доминирование функциональных систем управления движениями (с избирательными взаимосвязями корковых потенциалов, рабочими ритмами) ***в левом полушарии*** наблюдается у спортсменов высокой квалификации, по мере их вхождения в спортивную форму в годичном тренировочном цикле, при выполнении освоенных движений (выработанных двигательных навыков) и в период устойчивого состояния (или оптимальной работоспособности) в процессе работы.

Преобладание специфических систем управления движениями ***в правом полушарии*** отмечается у спортсменов низкой квалификации, в периоды врабатывания и утомления, в состоянии перетренированности, при дезавтоматизации двигательных

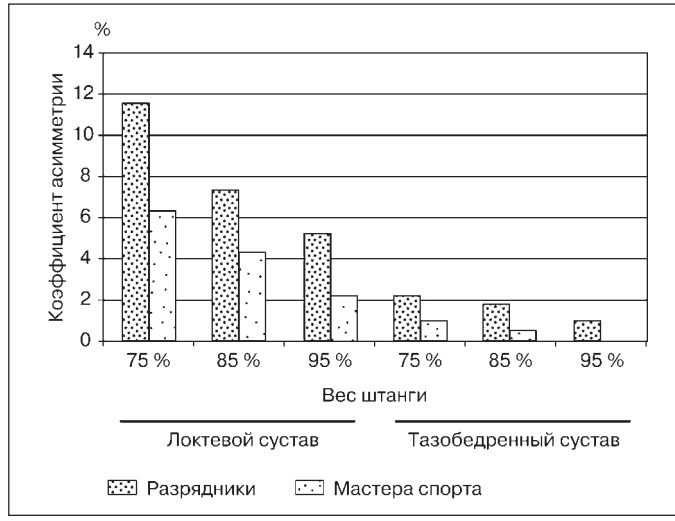


Рис. 73. Асимметрия двигательного аппарата у тяжелоатлетов – данные амплитуды и длительности ЭМГ при толчке штанги (по: В.С. Степанов, 1985)

навыков, т.е. при всяком снижении уровня специальной работоспособности спортсменов.

Из всего изложенного следуют два важных вывода:

• функциональная асимметрия изменяется под влиянием специфических тренировочных воздействий;

• направленные изменения (усиление или сглаживание) функциональной асимметрии в процессе тренировки являются важным резервом повышения специальной работоспособности спортсменов.

Исследования в этом направлении показали возможность и целесообразность управления тренировочным процессом с учетом симметрии-асимметрии. Так, например, для повышения эффективности выполнения симметричных упражнений целесообразны тренировочные занятия, направленные на ***сглаживание имеющейся функциональной асимметрии.***

Направленные влияния должны использоваться на протяжении круглогодичной подготовки с основным объемом работы в подготовительном периоде. В процессе сглаживания функциональной асимметрии (у лыжников-гонщиков, тяжелоатлетов и др.) в недельном микроцикле следует включать 3–4 занятия с дополнительной нагрузкой на неведущую конечность при выполнении основных и вспомогательных упражнений. Дополнительный объем работы неведущей конечности должен превышать нагрузку на ведущую конечность на 15% у мастеров спорта и на 10% у спортсменов-разрядников.

Иная направленность управляющих воздействий должна быть в случае необходимости усиления асимметрии (например, в стрельбе, фехтовании, теннисе и ряде других видов спорта). В этих случаях неведущую конечность предлагается использовать лишь для разгрузки ведущей конечности.

8. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ СПОРТСМЕНОВ И ИХ РАЗВИТИЕ В ОНТОГЕНЕЗЕ

Понятие ***«высшая нервная деятельность» (ВНД)*** в физиологию введено И.П. Павловым, заменившим прежний термин «психическая деятельность». ВНД присуща всем организмам, обладающим нервной системой. В основе ВНД лежит взаимодействие условных и безусловных рефлексов, к которым у человека добавляется вторая сигнальная система.

8.1. ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЧЕЛОВЕКА

В качестве основных свойств нервной системы И.П. Павлов рассматривал силу возбуждения и торможения, их уравновешенность и подвижность. Их различное сочетание позволило выделить в организме ***четыре основные типа ВНД,*** общие для человека и животных.

По силе нервных процессов все организмы были разделены на сильных и слабых, по уравновешенности – на уравновешенных и неуравновешенных, а по подвижности – на подвижных (живых) и инертных (спокойных).

Оказалось, что их комбинации позволили выделить типы, соответствующие четырем ***темпераментам,*** описанным более 2 тыс. лет назад врачом Древней Греции Гиппократом (460–312 до н. э.). Согласно античным представлениям, поведение человека и его реакции на болезнь определяют основные «соки тела»: кровь – сангвис (sangvis), слизь – флегма (phlegma), желчь – холе (chole) и черная желчь – мелан холе (melan chole). Отсюда Гиппократ выделил индивидов с преобладанием горячей крови – энергичных сангвиников, холодной слизи – медлительных флегматиков, едкой желчи – вспыльчивых холериков и испорченной желчи – грустных меланхоликов.

Итак, можно выделить следующие четыре типа ВНД и соответствующие им темпераменты.

Тип сильный неуравновешенный (холерик). Характеризуется сильным процессом возбуждения и более слабым процессом торможения, поэтому легко возбуждается и с трудом затормаживает свои реакции. Однако в процессе тренировки способен развивать недостаточное торможение.

Тип сильный уравновешенный подвижный (сангвиник). Отличается сильными, уравновешенными и высоко подвижными процессами возбуждения и торможения. Легко переключается с одной формы деятельности на другую, быстро адаптируется к новой ситуации.

Тип сильный уравновешенный инертный (флегматик). Имеет сильные и уравновешенные процессы возбуждения и торможения, но мало подвижный – медленно переключающийся с возбуждения на торможение и обратно. Долго засыпает и просыпается, с трудом переходит от одного вида деятельности к другому, зато выносливый при длительной работе. Медленно, но прочно адаптируется к необычным условиям внешней среды.

Тип слабый (меланхолик). Характеризуется слабыми процессами возбуждения и торможения, с некоторым преобладанием тормозного процесса, мало адаптивен, подвержен неврозам.

Описанные четыре типа ВНД представляют собой лишь крайние проявления особенностей нервной системы, между которыми может быть множество переходных типов.

Для человека И.П. Павлов выделил специфические типы ВНД: 1) «мыслительный» – с преобладанием второй сигнальной системы (слова видимого, слышимого, написанного, произносимого); 2) «художественный» – с преобладанием «первой сигнальной системы (непосредственных раздражителей внешней или внутренней среды организма). Среди взрослых людей количество лиц с преобладанием второй сигнальной системы составляет около половины населения. Около 25% составляют лица с преобладанием первой сигнальной системы и примерно 25% – лица, имеющие равновесие обеих систем. Соответственно этим типам, в настоящее время различают ***две основные формы интеллекта человека:*** невербальный интеллект, отражающий природные возможности индивида манипулировать с непосредственными (особенно зрительно-пространственными) раздражителями, и вербальный интеллект, отражающий способность манипулировать со словесным материалом.

Дальнейшее развитие представлений об индивидуально-типологических свойствах нервной системы показало чрезвычайную их сложность и необходимость вести научные поиски при тесном содружестве морфологов, физиологов, клиницистов, педагогов и психологов.

В психологической литературе особенно следует отметить работы ***школы Б.М. Теплова – В.Д. Небылицина*** и их последователей, составившие основу ***нового научного направления*** – дифференциальной психофизиологии. Эта дисциплина посвящена изучению естественно-научных основ индивидуально-психологических различий, а термин «дифференциальная психофизиология» был предложен В.Д. Небылициным в 1969 г.

В.Д. Небылициным были сформулированы ***новые свойства нервной системы: динамичность*** (понимаемая как скорость образования условных рефлексов, ***или обучаемость***), и ***лабильность*** – скорость возникновения и прекращения нервного процесса в единичных актах реагирования. Им была предложена оригинальная структура свойств нервной системы: первичные

свойства – сила, динамичность, подвижность и лабильность, и вторичные – уравновешенность возбуждения и торможения по каждому из указанных первичных свойств. Кроме того, было создано ***новое представление о слабом типе как о высокочувствительном, чутко реагирующем на слабые раздражения, но не переносящем сильные воздействия.*** Человек слабого типа более чувствительный, он получает за тот же промежуток времени больше информации, чем человек сильного типа и соответственно раньше устает.

В настоящее время, на основе ***идей П.К. Анохина о функциональной системе*** нервных центров, осуществляется ***системный подход*** к изучению типологических особенностей человека (Русалов В.М., 1979; и др.). Различные свойства нервной системы выражаются через характеристики функциональных систем: сила – устойчивость комплекса нервных центров, динамичность – быстрота формирования новой функциональной системы, подвижность – скорость смены функциональных систем. Особое значение приобретают междисциплинарные и полифункциональные исследования, преимущественное внимание уделяется изучению деятельности мозга как органа с самым высоким использованием генетической информации.

8.2. РАЗВИТИЕ ТИПОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ В ОНТОГЕНЕЗЕ

Уже в первые дни и месяцы жизни у детей проявляются различия в вегетативных и эмоциональных реакциях, общей двигательной активности, актов сосании. Однако ***типология организма еще не сформирована,*** сведения о ее развитии ***до 3-летнего возраста*** противоречивы. Можно отметить, что все дети имеют слабые нервные процессы, особенно внутреннее торможение. У них очень высока чувствительность к внешним раздражениям, и внешнее торможение легко подавляет все условные рефлексы. Стереотипы очень прочны и в результате низкой подвижности с трудом поддаются переделке. Особенно это относится к знакомым лицам, привычной обстановке.

На протяжении периода ***с 5 до 7лет*** значительно возрастают сила и подвижность нервных процессов. Угашение дифференцировок вырабатывается в 2 раза быстрее, чем у детей 3–5 лет, а внешнее торможение при ориентировочной реакции меньше влияет на условные рефлексы. Это ***период формирования всех основных свойств нервной системы.***

В возрасте 7–10 лет все свойства нервной системы уже достигают характерных особенностей взрослого организма. Хотя выявление типологических различий у детей все еще сложнее, чем у взрослых, сделаны попытки классификации типов ВНД у детей с учетом соотношения активности корковых и подкорковых структур, роли первой и второй сигнальных систем. Выделены следующие ***четыре типа ВНД у детей.***

Сильный уравновешенный, оптимально возбудимый, быстрый тип. Дети этого типа быстро образуют и прочно сохраняют положительные и отрицательные условные рефлексы, имеют хорошо развитую речь. Кора больших полушарий у них четко контролирует безусловные реакции.

Сильный уравновешенный, медленный тип. Условные рефлексы у детей этого типа медленнее образуются и дольше восстанавливаются после угашения. Безусловные рефлексы и эмоциональные реакции у них находятся под выраженным корковым контролем. Эти дети могут устойчиво выполнять сложные задания, хорошо обучаются речи, но их речь несколько замедленна.

Сильный неуравновешенный, повышенно возбудимый, безудержный тип. У детей этого типа имеется недостаточность тормозного процесса. Подкорковые реакции у них сильно выражены и не всегда контролируются корой. Условные рефлексы неустойчивы. Вследствие этого их поведение отличается нестабильностью, эмоциональной возбудимостью и неустойчивостью, частыми проявлениями аффектов, вспыльчивостью. Речь у них быстрая, с отдельными выкрикиваниями.

Слабый тип с пониженной возбудимостью. Условные рефлексы у детей этого типа образуются медленно и быстро затормаживаются. Эти дети легко утомляются при длительной и сложной работе, плохо адаптируются к новым условиям.

Исследованиями морфологов, физиологов, педагогов и психологов было установлено, что ***сенситивным периодом развития речи являются первые 2–3 года жизни ребенка.*** К 3-летнему возрасту в основном заканчивается анатомическое созревание речевых областей мозга, ребенок осваивает базовые грамматические формы родного языка и большой словарный запас. Дети, выросшие по воле случая среди животных (волков, обезьян, медведей, тигров) и пропустившие этот сенситивный период, практически не способны впоследствии овладеть речью и более того – даже выжить в человеческом обществе. Как правило, они погиба-

ют до наступления детородного возраста. Например, две девочки примерно 7 и 11 лет (Амала и Камала) были воспитаны волками и найдены в индийских дебрях. Камала научилась стоять за 2 года, ходить – за 6 лет, говорить 6 слов – за 4 года, 45 слов – за 7 лет. К 17-летнему возрасту ее умственное развитие соответствовало 4-летнему ребенку. Среди людей она прожила всего 10 лет. Так что прекрасные сказки о Маугли, выросшем в волчьей стае, и Тарзане, выросшем среди обезьян, которые благополучно вернулись в человеческое общество, оказываются лишь мифами.

В процессе формирования речи (и соответствующих отделов мозга) особую роль играет двигательная активность ребенка. Мышечные ощущения примешиваются ко всем другим ощущениям (зрительным, слуховым и др.). Они сопровождают осязательные ощущения при ощупывании и хватании предметов, возникают при прослеживании глазом движущихся предметов в поисковых движениях глаз, при поворотах головы в сторону звуковых сигналов, при настройке мышц гортани на тональность слышимого звука и т.п.

Информация от мышечных рецепторов усиливает все другие ощущения и помогает их синтезу. Таким образом, двигательная проекционная область коры является зоной, в которой на ранних этапах онтогенеза (когда еще недоразвиты третичные поля) объединяются нервные импульсы различных сенсорных систем и которая способствует развитию словесных обобщений. Кроме того, важно, что корковые ***моторные центры речи находятся в непосредственной близости к центрам мышц, управляющих движениями кисти и пальцев.*** А эти мышцы относятся к числу наиболее легко управляемых: их двигательные единицы содержат наибольшее число произвольно управляемых – 70–74% против 55–62% ДЕ мышц плечевого и локтевого сустава и против 31–41% управляемых ДЕ мышц ноги. Этим объясняется высокая значимость как общей двигательной активности ребенка, так и главным образом движений рук (мануальных движений) в становлении второй сигнальной системы и общем развитии организма.

Как показали исследования, ***у детей 3–4 лет реакции на непосредственные раздражители превалируют над словесными влияниями,*** у детей 5–5,5 лет, хотя и выработались реакции на слова, но первосигнальные раздражители все еще оказываются сильнее, а у детей 6 лет в 60% проб уже начинают доминировать реакции на слова. ***Преобладающее значение второй сиг-***

нальной системы (близкое к тому, что имеется у взрослых) ***проявляется примерно к 10 годам.*** Однако на протяжении переходного периода, связанного с половым созреванием (с 11–13 лет у девочек и с 13–15 лет у мальчиков), вновь наблюдается ослабление ее влияния. В этот период скорость выработки условных рефлексов на непосредственные раздражители снова возрастает, а на словесные – замедляется. Лишь через 1,5–2 года (к 15–17 годам) устанавливается прочное соотношение сигнальных систем, характерное для типологии взрослого индивида. В целом, ***формирование устойчивых типологических особенностей человека продолжается вплоть до 16–18 лет.***

8.3. ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СПОРТСМЕНОВ И ИХ УЧЕТ В ТРЕНИРОВОЧНОМ ПРОЦЕССЕ

Индивидуально-типологические особенности человека определяют характер его поведенческой деятельности, в том числе различия спортивной деятельности.

При изучении типологических особенностей адаптации человека к условиям внешней среды В.П. Казначеевым (1984) все население было классифицировано на ***группы спринтеров и стайеров, а также промежуточную группу (миксты).*** Спринтеры в спортивном аспекте характеризуются способностью выполнять кратковременные нагрузки максимальной мощности, в медицинском плане – предрасположенностью к острым формам заболеваний, в психологическом плане – склонностью к эмоциональным стрессам. Они быстро адаптируются к экстремальным условиям среды (Крайний Север, Дальний Восток), но вскоре покидают эти места. Стайеры в спортивном отношении более выносливы к длительной, монотонной работе; отличаются предрасположенностью к хроническим формам заболеваний; дольше адаптируются к необычным условиям среды, но длительнее сохраняют там работоспособность.

При адаптации спортсменов к физическим нагрузкам отмечают различные типы индивидуальных реакций вегетативных и соматических систем: с усиленной реакцией сердечно-сосудистой системы на нагрузку – гипертонический тип; с умеренной реакцией – гипотонический тип; с разной способностью нервной системы к тормозно-релаксационным реакциям.

Свойства нервной системы признаются в качестве лимитирующих факторов, особенно в ситуационных видах спорта.

Их учет весьма важен при подборе игроков в командных видах спорта (волейбол, футбол и др.).

Высококвалифицированные спортсмены в своем большинстве (около 80%) относятся к сильному типу нервной системы. Однако спортсмены, специализирующиеся в разных видах спорта, характеризуются значительными типологическими различиями. Так, например, среди высококвалифицированных волейболистов преобладающим типом ВНД являются сангвиники и практически отсутствуют флегматики, а среди велосипедистов-шоссейников, наоборот, основным типом ВНД являются флегматики и значительно меньше сангвиников.

У спортсменов преобладание второй сигнальной системы отмечается в 76% случаев, что гораздо выше, чем у нетренированных лиц – 57%. Спортсмены с инертными нервными процессами и высокой тревожностью медленно на первых порах осваивают двигательные навыки. Эффективность тренировочной и соревновательной деятельности ниже у спортсменов со слабой нервной системой, они плохо переносят частые выступления на соревнованиях.

По-разному происходит распределение сил на дистанции у различных спортсменов – велосипедистов, лыжников, конькобежцев. Первую половину дистанции быстрее проходят спортсмены со слабой нервной системой, но с высокой ее подвижностью – они создают задел во времени. Вторую половину дистанции быстрее проходят спортсмены с сильной, но инертной нервной системой, способные терпеть трудности. Аналогично этому, волейболисты с сильной нервной системой лучше проводят концовку соревновательной встречи, чем спортсмены со слабой нервной системой.

Различные типологические свойства нервной системы являются врожденными задатками, из которых при определенных условиях развиваются конкретные способности индивидуумов. Для максимального проявления своих способностей человек случайным образом или сознательно выбирает наиболее адекватные приемы и способы деятельности, а в спорте – стиль соревновательной деятельности, который обусловливает тактику ведения спортивной борьбы. Так, в спортивных единоборствах и спортивных играх различают атакующий (нападающий), контратакующий (защитный) и комбинированный стиль. Спортсмены с различным стилем имеют существенные различия по временным параметрам деятельности, эффективности решения такти-

ческих задач, психофизиологическим особенностям и по характеру взаимосвязанной активности в коре больших полушарий.

Спортсмены, предпочитающие атакующую манеру ведения спортивной борьбы, имеют существенно более короткие величины времени сенсомоторной реакции, большую точность реакции на движущийся объект, меньшее время принятия решения и короткую общую длительность решения тактических задач, более высокие показатели теппинг-теста. Они отличаются более низкими показателями в словесном тесте Г. Айзенка. При обучении с электромиографической обратной связью у них менее выражен прирост способности к управлению мышечными усилиями. Характерной для них является более экономная и асимметричная (преобладающая в левом доминантном полушарии) корковая система взаимосвязанной активности, в которую входят преимущественно зрительные и моторные проекции и нижнетеменные ассоциативные зоны коры (ответственные за афферентный синтез и пространственную организацию движений) – условно «система восприятия». Все это позволяет отнести их к «художественному» типу (по И.П. Павлову).

Спортсмены, использующие контратакующую манеру ведения спортивной борьбы, имеют относительно большие временные параметры простой двигательной реакции, принятия решения и общей длительности решения тактических задач, большую стабильность двигательных реакций, большую быстроту оперативного мышления, больший объем и устойчивость внимания, более высокие коэффициенты интеллектуальности в словесном тесте. Они характеризуются более обширной и симметричной корковой функциональной системой взаимосвязанной активности, в которой существенную роль играют переднелобные ассоциативные области коры, осуществляющие прогноз будущей ситуации, логическую обработку информации, программирующие и контролирующие движения – условно «система принятия решения». При обучении с ЭМГ-обратной связью у них более успешно совершенствуется мышечное чувство и точность воспроизведения заданных усилий. Этих спортсменов можно отнести к «мыслительному» типу.

Дифференцированный подход к тренировочному процессу спортсменов с различным стилем соревновательной деятельности требует разных педагогических приемов: преимущественного использования методов показа, наглядности, прочувствования движения, срочной информации при обучении спортсменов атаку-

кующего (нападающего) стиля и методов рассказа, инструкций, словесных отчетов для спортсменов контратакующего (защитного) стиля.

При подготовке юных спортсменов важно уже на начальном этапе правильно определить адекватный для них стиль ведения спортивной борьбы. Например, при определении у юных волейболисток 11–14 лет комплекса психофизиологических показателей были выделены две группы, включающие преимущественно спортсменок, более способных к нападающим действиям и к роли связующих (рис. 74).

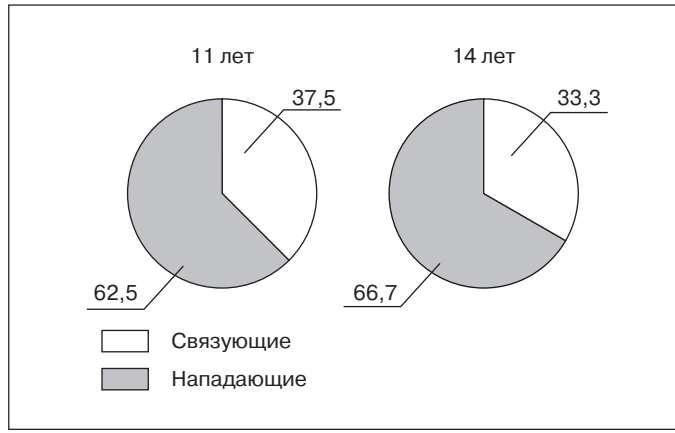


Рис. 74. Разделение юных волейболисток 11 и 14 лет по психофизиологическим показателям на группы, в которых преобладающими оказались связующие или нападающие спортсменки (в %)

Практика спорта показывает, что выбор неадекватного для спортсмена стиля является лимитирующим фактором, не только замедляющим рост спортивного мастерства, но и не дающим возможности достичь наивысших результатов в избранном виде спорта.

8.4. ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БИОРИТМОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

Множество функций в организме протекает с периодическими изменениями. На эти периоды влияют как внутренние ритмические процессы, так и факторы внешней среды. К внутренним синхронизаторам относятся ритмы электрической активности мозга (например, альфа-ритм ЭЭГ с частотой около

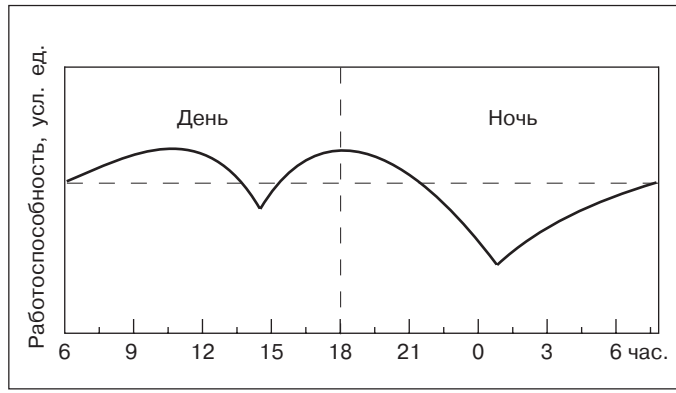


Рис. 75. Изменение работоспособности у человека на протяжении суточного цикла

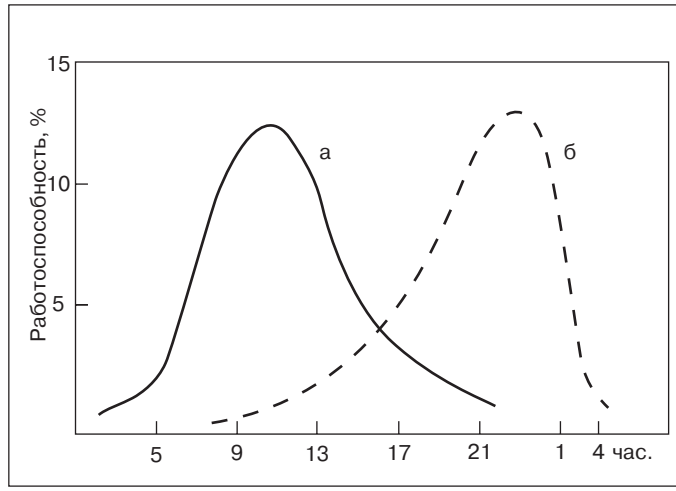


Рис. 76. Распределение работоспособности у «жаворонков» (а) и «сов» (б)

10 колеб./с – «биологические часы» мозга), частота сердцебиения и дыхания, периодика пищеварительных процессов и эндокринных функций и пр. К внешним синхронизаторам относят периодические изменения температуры, освещенности, колебания магнитного поля земли, атмосферного давления и др. Они связаны с космическими явлениями (фазами луны, активностью солнца, расположением планет и пр.).

В организме человека ведущую роль в регуляции биоритмов играют функции гипоталамуса и эпифиза. В период внутриут-

робного развития ритмы плода всегда синхронизируются с биоритмами матери.

Суточные биоритмы наиболее знакомы человеку (рис. 75). Они формируются к концу третьей недели жизни ребенка. В целом, многие органы и системы организма наиболее активны днем (около 16 часов) и наименее деятельны ночью (около 4–5 часов). В зависимости от времени суток варьируют также смертность человека (наибольшая около 4 часов), чувствительность к лекарствам, рентгеновским облучениям и другим воздействиям, что учитывается в хронотерапии.

Среди населения ***по индивидуальным типам суточных биоритмов*** различают людей, имеющих наибольшую активность функций и наибольшую работоспособность в утренние часы – с 9 до 13 часов (рис. 76), называемых «жаворонками» (их около 20–25%); наиболее активных вечером с 21 часа до 1 часа ночи – «сов» (около 30–40%) и активных в течение всего дня – аритмиков (около 50%).

Наличие этих биоритмов оказывает влияние на спортивную деятельность. Спортсмены с утренним типом суточного цикла более эффективно тренируются и лучше выступают на соревнованиях в утренние часы, а спортсмены с вечерним типом – в вечернее время.

При различных экстремальных воздействиях и тяжелых состояниях возникает рассогласование периодичности функций – десинхроноз (при действии алкоголя, наркотиков, болезнях, смене часовых поясов, перетренированности спортсменов).

При смене часовых поясов происходит постепенная перестройка суточных биоритмов, для чего требуется 1–2 недели. У женщин-спортсменок эта перестройка происходит быстрее, чем у мужчин-спортсменов, у юных спортсменов 14–16 лет быстрее, чем у взрослых спортсменов.

Обнаружено, что у многих спортсменов доминируют недельные и двухнедельные биоритмы – по показателям минутного объема дыхания, частоты сердцебиения, PWC_{170}, температуре и массе тела, энергетическому обмену, что является основой планирования микроциклов тренировочного процесса.

К околомесячным биоритмам (18–37 суток) можно отнести специфический биологический цикл женского организма – ***овариально-менструальный цикл*** – в среднем 28 дней, связанный с фазами лунного цикла, а также широко известные «флиссовские» биоритмы – ***физический, эмоциональный и интеллектуальный*** (рис. 77).

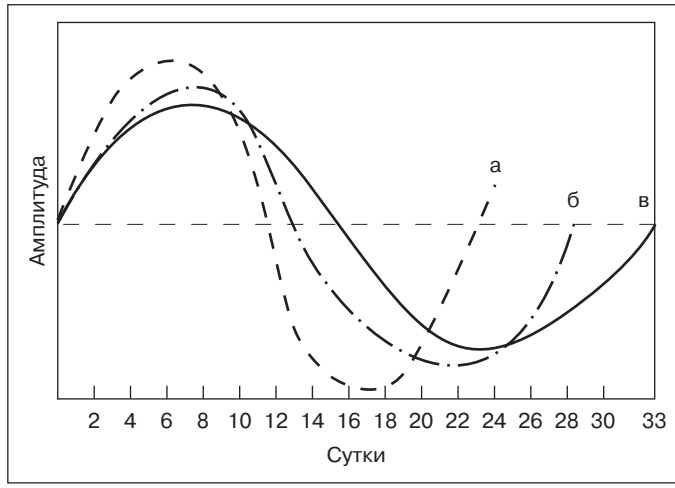


Рис. 77. Графическое изображение физического (а), эмоционального (б) и интеллектуального (в) циклов человека

Физический ритм (с периодом 23 дня) связан с колебаниями работоспособности, энергии организма; ***эмоциональный ритм*** (28 дней) – с изменениями настроения, реактивности организма; ***интеллектуальный*** (33 дня) – с переменами умственной работоспособности, сообразительности, памяти. Переходы от наивысших проявлений этих функций к наименьшим через нулевую линию являются самыми тяжелыми для организма. Это так называемые критические дни, когда проявляется нестабильность и возможны нарушения соответствующих функций. В среднем критические дни одного из указанных трех циклов происходят примерно 1 раз в 6 дней, совпадения критических дней двух циклов (двойные критические дни) – 6 раз в году, а тройные – 1 раз в году (это самый опасный день). Чем выше уровень тревожности у человека, тем ярче проявляются околомесячные биоритмы. У спокойных, уверенных в себе людей амплитуда периодических колебаний функций выражена гораздо меньше.

На работоспособность человека большое влияние оказывают сезонные, годичные биоритмы, особенно снижая его возможности во время полярной ночи в Заполярье, при резких колебаниях климата на Дальнем Востоке.

Большой статистический материал накоплен по изменению состояния здоровья и результативности спортивной деятельности на протяжении многолетних биоритмов (рис. 78). При этом

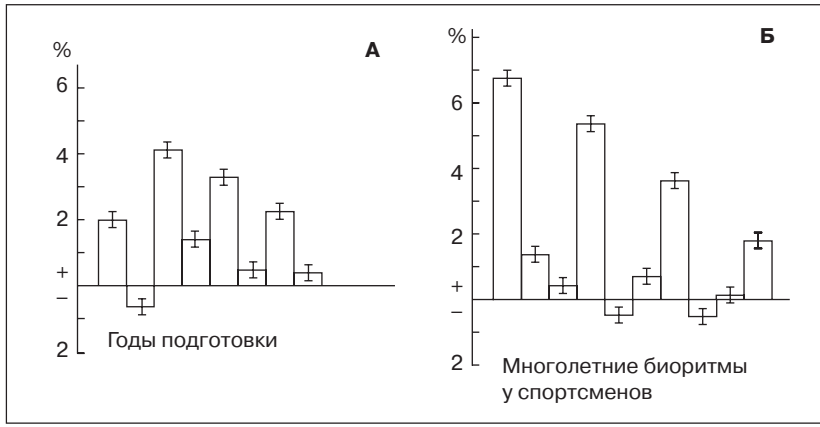


Рис. 78. Изменение величин прироста результатов (в %) по отношению к каждому предыдущему году:
А – у 16 легкоатлеток – призеров Олимпийских игр 1980 г. в беге на 400, 800 и 1500 м; **Б** – у 67 сильнейших метателей мира (по: В.И. Шапошникова, 1984)

выявлены достоверные их половые различия. У высоко-квалифицированных женщин-спортсменок основные достижения на чемпионатах мира и Олимпийских играх имеют колебания с периодом 2 года, а у мужчин-спортсменов – с периодом 3 года (Шапошникова В.И., 1984).

Знание индивидуальных особенностей и половой дифференциации биоритмов необходимо педагогу и тренеру для рационального планирования процесса спортивной тренировки и составления длительных прогнозов в спорте. Их учет в тренировочном процессе не только позволит наиболее эффективно адаптировать спортсмена к нагрузке и получить высокие результаты, но и сохранить при этом здоровье и долголетие спортсмена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном учебнике в краткой форме изложены особенности функционирования организма человека в обычных условиях, при спортивной деятельности и в процессе индивидуального развития. Знакомство с функциями различных органов и систем в названных условиях позволяет сформулировать несколько общих положений, касающихся интегративной деятельности организма человека в целом.

С позиций **системного подхода,** одно из них состоит в том, что в основе жизнедеятельности организма как единого целого лежит **совокупная работа функциональных систем в их взаимодействии,** что определяет сложные процессы адаптации к внешней и внутренней среде организма. Возникнув на основе условно-рефлекторной теории И. П. Павлова, представления о функциональных системах явились ее дальнейшим творческим развитием. Вместе с тем в процессе собственного развития сама теория функциональных систем вышла за рамки классической рефлекторной теории и оформилась в самостоятельный принцип организации физиологических функций.

Функциональные системы имеют отличную от рефлекторной дуги циклическую динамическую организацию, вся деятельность составляющих компонентов которой направлена на обеспечение различных полезных для организма результатов. Такое представление о характере функционирования организма имеет исключительное значение для понимания и решения прикладных проблем спортивной и возрастной физиологии.

Следующее положение касается поддержания **постоянства внутренней среды организма.** Для сохранения гомеостаза и осуществления регуляции основных жизненных функций в процессе эволюции сформировались две основные системы – **нервная и эндокринная,** работающие во взаимодействии между собой при осуществлении любой деятельности человека.

Реализация индивидуального поведенческого приспособления человека к изменяющимся условиям среды осуществляется прежде всего благодаря **высшей нервной (психической) деятельности,** представляющей собой интегративную работу коры головного мозга. При введении этого понятия И.П. Павлов определил его отличия от **низшей нервной деятельности.** Последняя объединяет совокупность безусловных рефлексов и некоторых гор-

мональных влияний, обеспечивающих координированную работу организма, направленную прежде всего на поддержание постоянства его внутренней среды. При этом сохранение гомеостаза в существенной мере зависит от регулирующего влияния ЦНС на физиологическую активность эндокринных желез, осуществляемого через гипоталамус.

В сохранении постоянства внутренней среды огромное значение имеет способность организма защищаться от чужеродных тел и веществ. Эта защита осуществляется посредством **иммунных и фагоцитарных реакций,** эффективность которых определяется прежде всего функциональным состоянием системы крови.

И наконец, изучение функций организма постулирует положение о том, что человек обладает огромными **резервными возможностями, которые реализуются при адаптации к экстремальным факторам среды.** Исследователям еще многое не известно об интимных физиологических процессах, происходящих в организме в таких условиях. И хотя современной классической физиологии исполнилось почти 400 лет, она и сейчас продолжает интенсивно развиваться. Можно полагать, что успехи физиологической науки на основе использования современных технологий раскроют некоторые механизмы адаптации и резервы человеческого организма в экстремальных условиях среды, при чрезмерных физических и психических нагрузках.

Прикладное использование данных любой науки оправдано лишь в том случае, когда их достоверность утверждается в повторных исследованиях, когда выявлены стоящие за ними закономерности, когда создана соответствующая теория. Поэтому в учебнике мы пытались изложить только общепринятые, устоявшиеся, теоретически обоснованные и подтвержденные практикой сведения по физиологии человека в различных условиях его деятельности. Важно также подчеркнуть, что ряд представленных нами материалов по дисциплине ранее в учебной литературе не рассматривался.

Все изложенное выше указывает на необходимость регулярной коррекции и переиздания учебников и учебных пособий по различным разделам физиологии человека.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

Часть I
ОБЩАЯ ФИЗИОЛОГИЯ 8

1. Введение. История физиологии 8
   1.1. Предмет физиологии, ее связь с другими науками и значение для физической культуры и спорта 8
   1.2. Методы физиологических исследований 9
   1.3. Краткая история физиологии 10
2. Общие закономерности физиологии и ее основные понятия 12
   2.1. Основные функциональные характеристики возбудимых тканей 12
   2.2. Нервная и гуморальная регуляция функций 14
   2.3. Рефлекторный механизм деятельности нервной системы 15
   2.4. Гомеостаз 16
   2.5. Возникновение возбуждения и его проведение 17
3. Нервная система 21
   3.1. Основные функции ЦНС 21
   3.2. Основные функции и взаимодействия нейронов 21
   3.3. Особенности деятельности нервных центров 25
   3.4. Координация деятельности ЦНС 29
   3.5. Функции спинного мозга и подкорковых отделов головного мозга 33
   3.6. Вегетативная нервная система 39
   3.7. Лимбическая система 43
   3.8. Функции коры больших полушарий 43
4. Высшая нервная деятельность 49
   4.1. Условия образования и разновидности условных рефлексов 49
   4.2. Внешнее и внутреннее торможение условных рефлексов 52
   4.3. Динамический стереотип 52
   4.4. Типы высшей нервной деятельности, первая и вторая сигнальная система 53
5. Нервно-мышечный аппарат 55
   5.1. Функциональная организация скелетных мышц 55
   5.2. Механизмы сокращения и расслабления мышечного волокна 57
   5.3. Одиночное и тетаническое сокращение. Электромиограмма 60

5.4. Морфофункциональные основы мышечной силы ... 63
5.5. Режимы работы мышцы ... 67
5.6. Энергетика мышечного сокращения ... 68
6. Произвольные движения ... 71
6.1. Основные принципы организации движений ... 71
6.2. Роль различных отделов ЦНС в регуляции позно-тонических реакций ... 75
6.3. Роль различных отделов ЦНС в регуляции движений ... 77
6.4. Нисходящие моторные системы ... 81
7. Сенсорные системы ... 83
7.1. Общий план организации и функции сенсорных систем ... 83
7.2. Класификация и механизмы возбуждения рецепторов ... 84
7.3. Свойства рецепторов ... 86
7.4. Кодирование информации ... 87
7.5. Зрительная сенсорная система ... 88
7.6. Слуховая сенсорная система ... 93
7.7. Вестибулярная сенсорная система ... 96
7.8. Двигательная сенсорная система ... 99
7.9. Сенсорные системы кожи, внутренних органов, вкуса и обоняния ... 102
7.10. Переработка, взаимодействие и значение сенсорной информации ... 105
8. Кровь ... 109
8.1. Состав, объем и функции крови ... 110
8.2. Форменные элементы крови ... 112
8.3. Физико-химические свойства плазмы крови ... 116
8.4. Свертывание и переливание крови ... 118
8.5. Регуляция системы крови ... 121
9. Кровообращение ... 123
9.1. Сердце и его физиологические свойства ... 123
9.2. Движение крови по сосудам (гемодинамика) ... 128
9.3. Регуляция сердечно-сосудистой системы ... 132
10. Дыхание ... 136
10.1. Внешнее дыхание ... 136
10.2. Обмен газов в легких и их перенос кровью ... 139
10.3. Регуляция дыхания ... 143
11. Пищеварение ... 145
11.1. Общая характеристика пищеварительных процессов ... 145
11.2. Пищеварение в различных отделах желудочно-кишечного тракта ... 147
11.3. Всасывание продуктов переваривания пищи ... 153

12. Обмен веществ и энергии ... 155
12.1. Обмен белков ... 155
12.2. Обмен углеводов ... 156
12.3. Обмен липидов ... 157
12.4. Обмен воды и минеральных солей ... 159
12.5. Обмен энергии ... 160
12.6. Регуляция обмена веществ и энергии ... 163
13. Выделение ... 165
13.1. Общая характеристика выделительных процессов ... 165
13.2. Почки и их функции ... 165
13.3. Процесс мочеобразования и его регуляция ... 168
13.4. Гомеостатическая функция почек ... 170
13.5. Мочевыведение и мочеиспускание ... 170
13.6. Потоотделение ... 171
14. Тепловой обмен ... 173
14.1. Температура тела человека и изотермия ... 173
14.2. Механизмы теплообразования ... 174
14.3. Механизмы теплоотдачи ... 176
14.4. Регуляция теплообмена ... 177
15. Внутренняя секреция ... 178
15.1. Общая характеристика эндокринной системы ... 178
15.2. Функции желез внутренней секреции ... 181
15.3. Изменения эндокринных функций при различных состояниях ... 192

Часть II
СПОРТИВНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ ... 198

Раздел I
ОБЩАЯ СПОРТИВНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ ... 198
1. Спортивная физиология – учебная и научная дисциплина ... 199
1.1. Спортивная физиология, ее содержание и задачи ... 199
1.2. Кафедра физиологии и ее роль в становлении и развитии спортивной физиологии ... 201
1.3. Состояние и перспективы развития спортивной физиологии ... 206
2. Адаптация к физическим нагрузкам и резервные возможности организма ... 210
2.1. Динамика функций организма при адаптации и ее стадии ... 211
2.2. Физиологические особенности адаптации к физическим нагрузкам ... 215

2.3. Срочная и долговременная адаптация к физическим нагрузкам ... 217
2.4. Функциональная система адаптации ... 221
2.5. Понятие о физиологических резервах организма ... 224
3. Функциональные состояния спортсменов ... 226
3.1. Общая характеристика функциональных состояний ... 226
3.2. Физиологические закономерности развития функциональных состояний ... 229
3.3. Виды функциональных состояний ... 231
4. Функциональные изменения в организме при физических нагрузках ... 237
4.1. Изменения функций различных органов и систем организма ... 237
4.2. Функциональные сдвиги при нагрузках постоянной мощности ... 240
4.3. Функциональные сдвиги при нагрузках переменной мощности ... 241
4.4. Прикладное значение функциональных изменений для оценки работоспособности спортсменов ... 243
5. Физиологическая характеристика состояний организма при спортивной деятельности ... 244
5.1. Роль эмоций при спортивной деятельности ... 244
5.2. Предстартовые состояния ... 247
5.3. Разминка и врабатывание ... 250
5.4. Устойчивое состояние при циклических упражнениях ... 252
5.5. Особые состояния организма при ациклических, статических и упражнениях переменной мощности ... 253
6. Физическая работоспособность спортсмена ... 254
6.1. Понятие о физической работоспособности и методические подходы к ее определению ... 255
6.2. Принципы и методы тестирования физической работоспособности ... 257
6.3. Связь физической работоспособности с направленностью тренировочного процесса в спорте ... 262
6.4. Резервы физической работоспособности ... 264
7. Физиологические основы утомления спортсменов ... 269
7.1. Определение и физиологические механизмы развития утомления ... 269
7.2. Факторы утомления и состояние функций организма ... 273

7.3. Особенности утомления при различных видах физических нагрузок ... 275
7.4. Предутомление, хроническое утомление и переутомление ... 278
8. Физиологическая характеристика восстановительных процессов ... 281
8.1. Общая характеристика процессов восстановления ... 281
8.2. Физиологические механизмы восстановительных процессов ... 283
8.3. Физиологические закономерности восстановительных процессов ... 285
8.4. Физиологические мероприятия повышения эффективности восстановления ... 288

Раздел II
ЧАСТНАЯ СПОРТИВНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ ... 291
9. Физиологическая классификация и характеристика физических упражнений ... 291
9.1. Различные критерии классификации упражнений ... 292
9.2. Современная классификация физических упражнений ... 293
9.3. Физиологическая характеристика спортивных поз и статических нагрузок ... 294
9.4. Физиологическая характеристика стандартных циклических и ациклических движений ... 298
9.5. Физиологическая характеристика нестандартных движений ... 303
10. Физиологические механизмы и закономерности развития физических качеств ... 305
10.1. Формы проявления, механизмы и резервы развития силы ... 306
10.2. Формы проявления, механизмы и резервы развития быстроты ... 310
10.3. Формы проявления, механизмы и резервы развития выносливости ... 313
10.4. Понятие о ловкости и гибкости. Механизмы и закономерности их развития ... 318
11. Физиологические механизмы и закономерности формирования двигательных навыков ... 320
11.1. Двигательные умения, навыки и методы их исследования ... 320
11.2. Физиологические механизмы формирования двигательных навыков ... 321

11.3. Физиологические закономерности и стадии формирования двигательных навыков 324
11.4. Физиологические основы совершенствования двигательных навыков 330
12. Физиологические основы развития тренированности 333
12.1. Физиологическая характеристика тренировки и состояния тренированности 334
12.2. Тестирование функциональной подготовленности спортсменов в покое 336
12.3. Тестирование функциональной подготовленности спортсменов при стандартных и предельных нагрузках 339
12.4. Физиологическая характеристика перетренированности и перенапряжения 343
13. Спортивная работоспособность в особых условиях внешней среды 346
13.1. Влияние температуры и влажности воздуха на спортивную работоспособность 346
13.2. Спортивная работоспособность в условиях измененного барометрического давления 348
13.3. Спортивная работоспособность при смене поясно-климатических условий 353
13.4. Физиологические изменения в организме при плавании 355
14. Физиологические основы спортивной тренировки женщин 357
14.1. Морфофункциональные особенности женского организма 357
14.2. Изменения функций организма в процессе тренировок 365
14.3. Влияние биологического цикла на работоспособность женщин 370
14.4. Индивидуализация тренировочного процесса с учетом фаз биологического цикла 373
15. Физиолого-генетические особенности спортивного отбора 375
15.1. Физиолого-генетический подход к вопросам спортивного отбора 376
15.2. Наследственные влияния на морфо-функциональные особенности и физические качества человека 378
15.3. Учет физиолого-генетических особенностей человека в спортивном отборе 383
15.4. Значение генетически адекватного и неадекватного выбора спортивной

специализации, стиля соревновательной деятельности и сенсомоторного доминирования 390
15.5. Использование генетических маркеров для поиска высоко- и быстротренируемых спортсменов 395
16. Влияние генома на функциональное состояние, работоспособность и здоровье спортсменов 398
16.1. Хранение, передача наследственной информации и расшифровка генома 398
16.2. Генетические маркеры ДНК в спорте 402
16.3. Генетические допинги в спорте 405
16.4. Обнаружение допингов 415
16.5. Риск для здоровья 417
17. Физиологические основы оздоровительной физической культуры 421
17.1. Роль физической культуры в условиях современной жизни 422
17.2. Гипокинезия, гиподинамия и их влияние на организм человека 425
17.3. Основные формы оздоровительной физической культуры и их влияние на функциональное состояние организма 428

Часть III
ВОЗРАСТНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ 435

1. Общие физиологические закономерности роста и развития организма человека 435
1.1. Периодизация и гетерохронность развития 435
1.2. Сенситивные периоды 438
1.3. Влияние наследственности и окружающей среды на развитие организма 441
1.4. Акселерация эпохальная и индивидуальная, биологический и паспортный возраст 444
2. Физиологические особенности организма детей дошкольного и младшего школьного возраста и их адаптация к физическим нагрузкам 448
2.1. Развитие центральной нервной системы, высшей нервной деятельности и сенсорных систем 448
2.2. Физическое развитие и опорно-двигательная система 456
2.3. Особенности крови, кровообращения и дыхания 457
2.4. Особенности пищеварения, обмена веществ и энергии 461

2.5. Особенности терморегуляции, процессов выделения и деятельности желез внутренней секреции 462
2.6. Физиологические особенности адаптации детей дошкольного и младшего школьного возраста к физическим нагрузкам 466
3. Физиологические особенности организма детей среднего и старшего школьного возраста и их адаптация к физическим нагрузкам 488
3.1. Развитие центральной нервной системы, высшей нервной деятельности и сенсорных систем 489
3.2. Физическое развитие и опорно-двигательная система 494
3.3. Особенности крови, кровообращения и дыхания 497
3.4. Особенности пищеварения, выделения и эндокринной системы 500
3.5. Особенности терморегуляции, обмена веществ и энергии 506
3.6. Физиологические особенности адаптации детей среднего и старшего школьного возраста к физическим нагрузкам 508
4. Физиологические особенности урока физической культуры в школе 530
4.1. Физиологическое обоснование нормирования физических нагрузок для детей школьного возраста 530
4.2. Изменение функций организма школьников на уроке физической культуры 533
4.3. Влияние занятий физической культурой на физическое, функциональное развитие, работоспособность и состояние здоровья школьников 536
4.4. Физиолого-педагогический контроль за занятиями физической культурой и физиологические критерии восстановления организма школьников 543
5. Физиологические особенности организма людей зрелого и пожилого возраста и их адаптация к физическим нагрузкам 548
5.1. Старение, продолжительность жизни, адаптивные реакции и реактивность организма 549
5.2. Возрастные особенности опорно-двигательного аппарата, вегетативных и сенсорных систем 553
5.3. Возрастные особенности регуляторных систем 557

5.4. Физиологические особенности адаптации людей зрелого и пожилого возраста к физическим нагрузкам 561
6. Физиологические особенности переработки информации у спортсменов разного возраста 573
6.1. Значение для спорта процессов переработки информации и их возрастные особенности 573
6.2. Физиологические основы процессов восприятия, принятия решения и программирования ответных действий 575
6.3. Скорость и эффективность тактического мышления. Пропускная способность мозга 579
6.4. Помехоустойчивость спортсменов, ее возрастные особенности 582
7. Функциональные асимметрии спортсменов разного возраста 583
7.1. Моторные асимметрии у человека, их возрастные особенности 583
7.2. Сенсорные и психические асимметрии. Индивидуальный профиль асимметрии 586
7.3. Проявление функциональной асимметрии у спортсменов 589
7.4. Физиологические основы управления тренировочным процессом с учетом функциональной асимметрии 593
8. Физиологические основы индивидуально-типологических особенностей спортсменов и их развитие в онтогенезе 595
8.1. Индивидуально-типологические особенности человека 596
8.2. Развитие типологических особенностей в онтогенезе 598
8.3. Индивидуально-типологические особенности спортсменов и их учет в тренировочном процессе 601
8.4. Индивидуально-типологические особенности биоритмов и их влияние на работоспособность человека 604
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 609

Учебное издание

СОЛОДКОВ Алексей Сергеевич
СОЛОГУБ Елена Борисовна

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

ОБЩАЯ • СПОРТИВНАЯ • ВОЗРАСТНАЯ

Учебник

Редактор-корректор *И.Т. Самсонова*
Художник *А.Ю. Литвиненко*
Художественный редактор *Е.С. Пермяков*
Верстка *Н.И. Петровой*

Подписано в печать 18.06.2015 г. Формат 60×90 1/16.
Печать офсетная. Бумага офсетная.
Усл.печ.л. 38,75. Уч.-изд.л. 39,0. Тираж 5000 экз. 1-й завод 1000 экз.
Изд. № 11. Заказ №

ООО Издательство «Спорт».
117218, г. Москва, а/я 111
Тел./факс: (495) 662-64-31, 662-64-30
Сайт: www.olimppress.ru
E-mail: olimppress@mail.ru,
chelovek.2007@mail.ru

Отпечатано с готовых диапозитивов
в ОАО «Первая Образцовая типография
филиал «Чеховский Печатный Двор».
142300, Московская обл., г. Чехов, ул. Полиграфистов, д. 1.
Сайт: www.chpd.ru
E-mail: sales@chpd.ru
Тел./факс: 8(496) 726-54-10