

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗМА

**Методические рекомендации по дисциплине
«Физическое воспитание» для студентов
всех специальностей**

Минск 2009

УДК 796.01:612(075.8)

ББК 75.0я73

Ф50

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

Составители:

В. А. Пасичниченко, Д. Н. Давиденко

Рецензент:

кандидат педагогических наук, доцент кафедры физического воспитания и спорта Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники *В. А. Ткачук*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2009 год. Поз. 67.

Для студентов всех специальностей.

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2009

ВВЕДЕНИЕ

Целью физической культуры как учебной дисциплины является формирование физической культуры личности как одного из факторов ее социокультурного бытия, обеспечивающей биологический потенциал жизнедеятельности в качестве способа и меры реализации существенных сил и способностей.

Физическая культура как учебная дисциплина включает целый ряд аспектов знаний: медико-биологический, педагогический, психологический, социологический, философский, культуроведческий и т. д. Учебной программой по физической культуре предусматривается раскрытие указанных выше аспектов знания. Особое значение при этом уделяется биологическим основам физической культуры. Ее представляют анатомия, физиология, биохимия и биомеханика мышечной деятельности.

Важность предложенного в работе материала объясняется тем, что знание физиологических основ жизнедеятельности организма помогает не причинить вреда здоровью занимающихся физической культурой и спортом; разумно, научно обоснованно строить тренировочный процесс; избегать возникновения состояния переутомления; аргументировать задания тренировочного процесса; проводить спортивный отбор.

Поскольку оценить влияние различных физических и психоэмоциональных нагрузок на организм человека без знаний общей физиологии невозможно, то мы посчитали необходимым в данной работе раскрыть физиологические основы жизнедеятельности организма.

Хочется надеяться, что предлагаемые методические рекомендации будут полезны не только студентам при изучении теоретического курса «Физическая культура», но и преподавателям кафедры физического воспитания средних и высших учебных заведений при подготовке лекций и методико-практических занятий по физической культуре.

1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЖИВОЙ ТКАНИ

Наука об основных проявлениях жизнедеятельности как целостного организма человека, так и отдельных его частей – клеток, тканей, органов и систем органов – называется *физиологией*. Она изучает также механизмы регуляции функций организма.

Общая физиология – специальный раздел физиологии, изучающий наиболее общие закономерности функционирования клеток, тканей, органов, систем органов и организма в целом при нормальных и измененных условиях внешней и внутренней сред организма. Знания общей физиологии необходимы для понимания биологических основ физической культуры.

Различают *физиологическую систему* – совокупность наследственно обусловленных органов и тканей, выполняющих отдельную функцию в организме, и *функциональную систему*, основанную на взаимосвязях между органами и физиологическими системами для выполнения определенной деятельности и для адаптации к воздействию различных факторов среды.

Для изучения функций применяются инвазивные (требующие нарушения целостности организма) и неинвазивные (нетравматические) методы. При этом пользуются физическими, химическими, техническими, аналитическими и другими методами, позволяющими проводить кратковременные и длительные наблюдения и эксперименты.

Организм человека является целостной открытой саморегулирующейся живой системой, реагирующей на изменения внешней и внутренней среды, имеет автономную систему регуляции и управления жизненными функциями при различных ситуациях.

Совокупность физиологических процессов обеспечивает условия поддержания постоянства внутренней среды организма – *гомеостаз*. При любом отклонении состояния среды организм реагирует физиологической реакцией, направленной на его восстановление.

Регуляция функций организма осуществляется посредством *нервной системы*, а также *гуморальным* (в том числе *гормональным*) путем.

В обеспечении взаимодействия между органами и тканями ведущая роль принадлежит нервной регуляции – ее быстрое действие в 250–300 раз выше, она всегда строго направлена к определенному эффектору и может быстро прекращаться. Гуморальная регуляция осуществляется посредством веществ, поступающих в кровь и лимфу – гормонов, продуктов метаболизма, респираторных газов. Этот вид регуля-

ции зависит от скорости кровотока и лимфы, диффузии регуляторов и других факторов.

Оценить влияние различных химических, физических и других воздействий на организм без знаний общей физиологии невозможно.

Основными свойствами живой ткани являются *возбудимость*, *проводимость*, *лабильность* (функциональная подвижность). Мышечная ткань обладает еще и таким свойством, как *сократимость*.

Возбудимость – способность ткани реагировать возбуждением на воздействие извне. Мерой возбудимости является минимальная сила раздражения, при воздействии которой на ткань возникает наименьшая по величине, но проявляющаяся в специфическом функциональном отпавлении реакция раздражаемой ткани, которая называется *порогом возбуждения* или *реобазой*. Пороговое время раздражения ткани при силе тока, равной двум реобазам, – *хронаксия* – служит мерой функциональной подвижности ткани. Раздражитель, сила которого ниже пороговой, называется *раздражителем подпороговой силы*, выше пороговой – *надпороговой силы*.

Проводимость – способность живой ткани проводить возбуждение. *Лабильность* – способность ткани реагировать на воздействие извне с определенной скоростью. Мерой лабильности является максимальное число возбуждений, возникающих в ткани, в единицу времени.

Факторы внешней или внутренней среды организма, способные вызвать возбуждение, называются *раздражителями*. По своей энергетической природе они делятся на химические, механические, температурные, лучистые, электрические и другие; по биологическому значению – на адекватные и неадекватные.

Адекватные раздражители – это те, которые действуют на определенные возбудимые ткани и системы организма в естественных условиях существования; *неадекватные* – которые в натуральных условиях существования организма не являются средством возбуждения различных органов чувств, но способны при достаточной силе и длительности своего воздействия вызывать возбуждение.

Мембранная теория возбуждения. Поверхностная мембрана клетки обладает избирательной (селективной) проницаемостью для различных ионов, находящихся внутри и вне клетки. Внутри содержится больше ионов K^+ (в 40 раз), меньше Na^+ (в 10 раз) и Cl^- (в 13,5 раза), чем снаружи.

В состоянии покоя мембрана проницаема для ионов K^+ , которые движутся из клетки наружу. Ионы Cl^- , для которых мембрана в состоя-

нии покоя непроницаема, электростатически удерживают у поверхности покинувшие клетку ионы K^+ . Вследствие этого вся поверхность клетки как бы одевается слоем ионов K^+ . Наличие полупроницаемой мембраны способствует поляризованности ее и клетки, в результате чего возникает *мембранный потенциал покоя* (60–90 мВ). Ток, возникающий в результате разности потенциалов между внутренней и наружной стороной мембраны, называется током покоя (рис. 1).

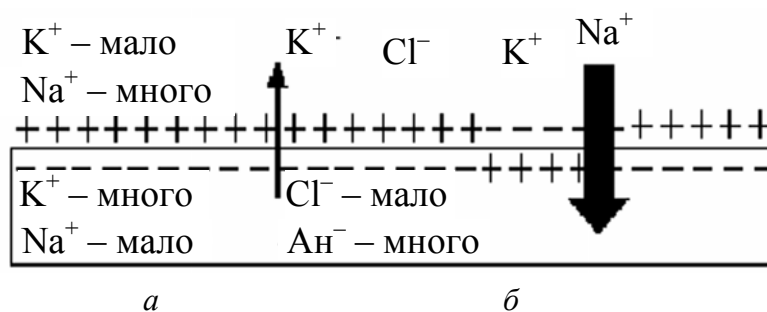


Рис. 1. Механизм возникновения клеточных потенциалов:
а – потенциал покоя; *б* – потенциал действия; $Ан^-$ – анионы

При прохождении нервного импульса через ткань ее возбудимость изменяется (рис. 2).

При возбуждении повышается избирательная проницаемость мембраны для ионов Na^+ и почти не изменяется по отношению к K^+ . Когда входящий поток ионов Na^+ превышает выходящий поток ионов K^+ , наступает инверсия полярности мембраны, и разность потенциала возбуждения оказывается больше разности потенциала покоя. В результате этих ионных сдвигов происходит деполяризация и последующая реинверсия – изменение заряда клеточной мембраны в зоне возбуждения: положительный поверхностный заряд сменяется отрицательным.

За счет быстрого проникновения Na^+ на внутреннюю поверхность мембраны происходит ее перезарядка до величины 35 мВ. Общий размах величины импульса – 95 мВ (60 + 35) и выше. Возбужденный участок всегда электроотрицателен по отношению к находящемуся в состоянии покоя. Ток, возникающий в результате разности потенциалов между возбужденным и покоящимся участками мембраны, называется током действия (*потенциалом действия*). Потенциалы покоя и действия регистрируются с помощью микроэлектрода. Можно наблюдать, как изменится проницаемость мембраны для различных ионов в состоянии покоя и при возбуждении. Если проницаемость мембраны для ионов K^+ принять за единицу, то в состоянии покоя для ио-

нов Na^+ она составляет 0,04, а для Cl^- – 0,45; при возбуждении для натрия проницаемость увеличивается до 20, а для хлора практически не меняется. Общая длительность потенциала действия – 10–80 мс.

Сразу после пика потенциала действия в любой точке волокна она оказывается в состоянии полной невозбудимости – это *абсолютный рефрактерный период* (АРП).

При прохождении нервного импульса через ткань ее возбудимость изменяется (рис. 2, поз. 6). Следующее за ним время частичной невозбудимости называется *относительным рефрактерным периодом* (ОРП) (рис. 2, поз. 7).

В рефрактерный период блокируются нервные импульсы, ограничивая частоту их прохождения по волокну. Затем следует период *экзальтации* (*супернормальная фаза*), в течение которой возбудимость ткани становится выше, чем в исходном состоянии покоя. Длительность ее для нерва составляет 20 мс, для мышцы – 50 мс. Далее следует слабо выраженная *фаза субнормальности*, в течение которой возбудимость ткани незначительно снижается по сравнению с состоянием покоя (рис. 2, поз. 8).

За время АРП в ткани протекают энергопроцессы, обеспечивающие ее нормальное функционирование. Значение фазы АРП состоит в следующем: начавшееся надпороговое возбуждение делает ткань нечувствительной к дополнительному воздействию извне, что защищает ее от чрезмерной траты энергетических ресурсов. Роль фазы экзальтации заключается в готовности ткани к ответу на повторное раздражение.

Синапс, виды синапсов. Контакт между нервными клетками (нейронами) или между ними и рабочим органом обеспечивается с

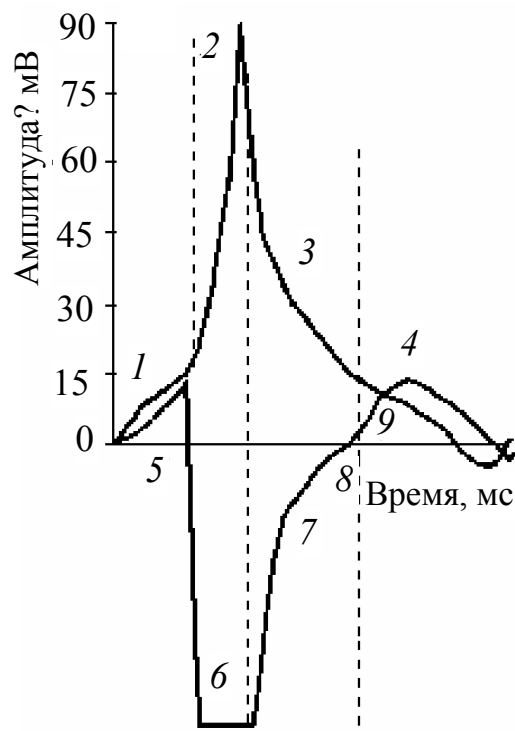


Рис. 2. Компоненты потенциала действия (1–4) и фазы возбудимости, им соответствующие (5–9): 1 – препотенциал; 2 – пик потенциала действия; 3 – следовой отрицательный потенциал; 4 – следовой положительный потенциал; 5 – местное повышение возбудимости; 6 – абсолютный рефрактерный период; 7 – относительный рефрактерный период; 8 – фаза субнормальности; 9 – фаза экзальтации

помощью аппарата связи – *синапса*. Аксоны нервных клеток (длинные отростки) многократно ветвятся и образуют синапсы на различных структурах других нервных клеток, а также на мышечных и секреторных клетках (рис. 3). Синапс состоит из концевой веточки аксона (рис. 3), пре- и постсинаптической мембраны 1, 3, пузырьков 2, содержащих ацетилхолин, синаптической щели 4 и других образований.

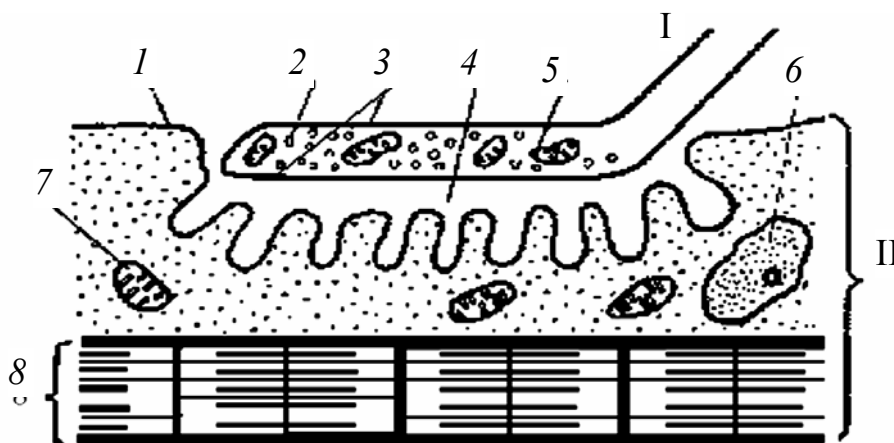


Рис. 3. Строение нервно-мышечного синапса:

I – концевая веточка аксона:

1 – постсинаптическая мембрана; 2 – пузырьки, содержащие ацетилхолин; 3 – пресинаптическая мембрана; 4 – синаптическая щель;

II – мышечное волокно:

5, 7 – митохондрии; 6 – ядро мышечной клетки;

8 – миофибрилла

Различают центральные и периферические, возбуждающие и тормозные синапсы.

Центральный синапс – область контакта между отдельными нервными клетками в центральной нервной системе (ЦНС).

Периферический синапс – область контакта между нейритом (длинным отростком) двигательного нейрона и рабочим органом.

Синапсы обладают следующими основными свойствами: а) возбуждение в синапсе передается только в одном направлении – от пресинаптической мембраны к постсинаптической; б) передача возбуждения в синапсе осуществляется с помощью специфических химических передатчиков – медиаторов; в) количество медиатора пропорционально частоте приходящей нервной импульсации; г) во всех синапсах, образованных нервными окончаниями одного нейрона, выделяется лишь один вид медиатора – либо возбуждающего, либо тормозного действия; д) скорость проведения возбуждения в синапсе значительно медленнее, чем в нервном волокне (0,05–0,50 мм/с); е) в синапсе происходит

трансформация ритма возбуждения; ж) синапсы обладают низкой лабильностью (100–150 имп./с), повышенной утомляемостью и высокой чувствительностью ко многим химическим веществам, гипоксии и т. д.

Возбуждающими медиаторами (биологически активными веществами – посредниками) являются: ацетилхолин, глутаминовая кислота, норадреналин, аспарагиновая кислота; *тормозными* – гамма-аминомасляная кислота, глицин. Механизм передачи возбуждения лучше всего изучен в нервно-мышечных соединениях, в которых наблюдается химическая передача, осуществляемая ацетилхолином. Синаптическая передача начинается с выделения медиаторов из синаптических пузырьков нервного окончания в синаптическую щель под влиянием действия пресинаптического нервного импульса. Выделенный в синаптическую щель медиатор действует на постсинаптическую мембрану, изменяя ее физико-химические и физиологические свойства. Последнее обуславливает деполяризацию постсинаптической мембраны и возникновение так называемого постсинаптического потенциала. При достижении критической величины постсинаптический потенциал вызывает деполяризацию соседних областей мембраны воспринимающей клетки, в которых возникает распространяющийся потенциал действия. Возбуждающие медиаторы вызывают в постсинаптической мембране повышение ее проницаемости для ионов натрия, что сопровождается деполяризацией мембраны и генерацией распространяющегося потенциала действия. Тормозные медиаторы вызывают в постсинаптической мембране повышение ее проницаемости для ионов калия, что обуславливает гиперполяризацию мембраны и блокирование передачи возбуждения.

2. ДВИГАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ

Двигательный аппарат – функциональная совокупность костей скелета, сухожилий, суставов, мышц с их сосудистой сетью и нервными образованиями, осуществляющих посредством нервной регуляции передвижение, позную активность, другие двигательные акты.

Функции двигательного аппарата: *опорная* – фиксация мышц и внутренних органов; *защитная* – защита жизненно важных органов (головной и спинной мозг, сердце и др.); *двигательная* – обеспечение двигательных актов; *рессорная* – смягчение толчков и сотрясений; *кровотворная* – гемопоэз; участие в *минеральном обмене*.

Двигательная единица (ДЕ) – группа мышечных волокон, иннервируемых одним мотонейроном (рис. 4) (в мышцах глаз это 3–5 волокон, туловища – 120–160, голени – 3–5 тыс. волокон). Мышца и ее нервный привод состоят из большого количества параллельно расположенных ДЕ.

В нормальных условиях ДЕ работает как единое целое: посылаемые мотонейроном импульсы приводят в действие все входящие

в ее состав мышечные волокна. Благодаря тому, что мышца состоит из множества ДЕ (в крупных мышцах до несколько сотен), она может работать не всей массой, а по частям. Это постоянно используется при регуляции силы и скорости мышечного сокращения. В естественных условиях частота импульсов, посылаемых мотонейронами в ДЕ, находится в пределах 5–35 имп./с, лишь при максимальных мышечных усилиях удается зарегистрировать частоту разрядов выше 50 имп./с.

Компоненты ДЕ обладают различной лабильностью: аксон – до 1000 имп./с, мышечное волокно – 250–500 имп./с, мионевральный синапс – 100–150 имп./с, тело мотонейрона – до 50 имп./с. Утомляемость компонента тем выше, чем меньше его лабильность.

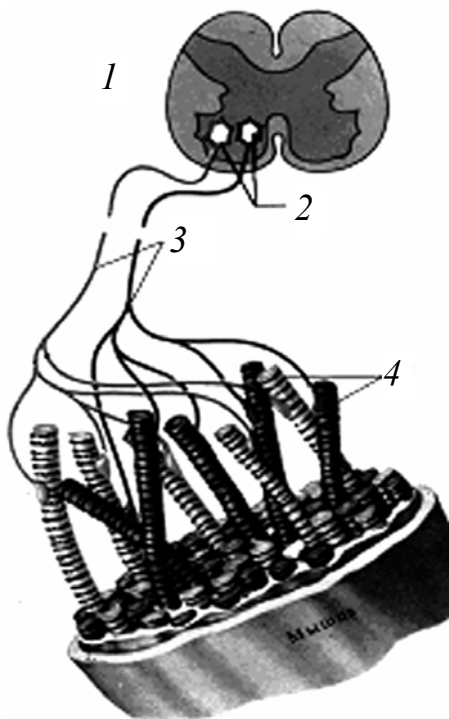


Рис. 4. Строение двигательной единицы:

1 – спинной мозг; 2 – мотонейроны; 3 – аксоны; 4 – мышечные волокна

Различают *быстрые* и *медленные ДЕ* (рис. 5). Быстрые обладают большой силой и скоростью сокращения в короткое время, высокой активностью гликолитических процессов; медленные работают в условиях высокой активности окислительных процессов длительно, при меньшей силе и скорости сокращения. Первые быстро утомляемы, содержат много гликогена, вторые выносливы – в них много митохондрий. Медленные ДЕ активны при любом напряжении мышцы, тогда как быстрые ДЕ активны лишь при сильных мышечных напряжениях.

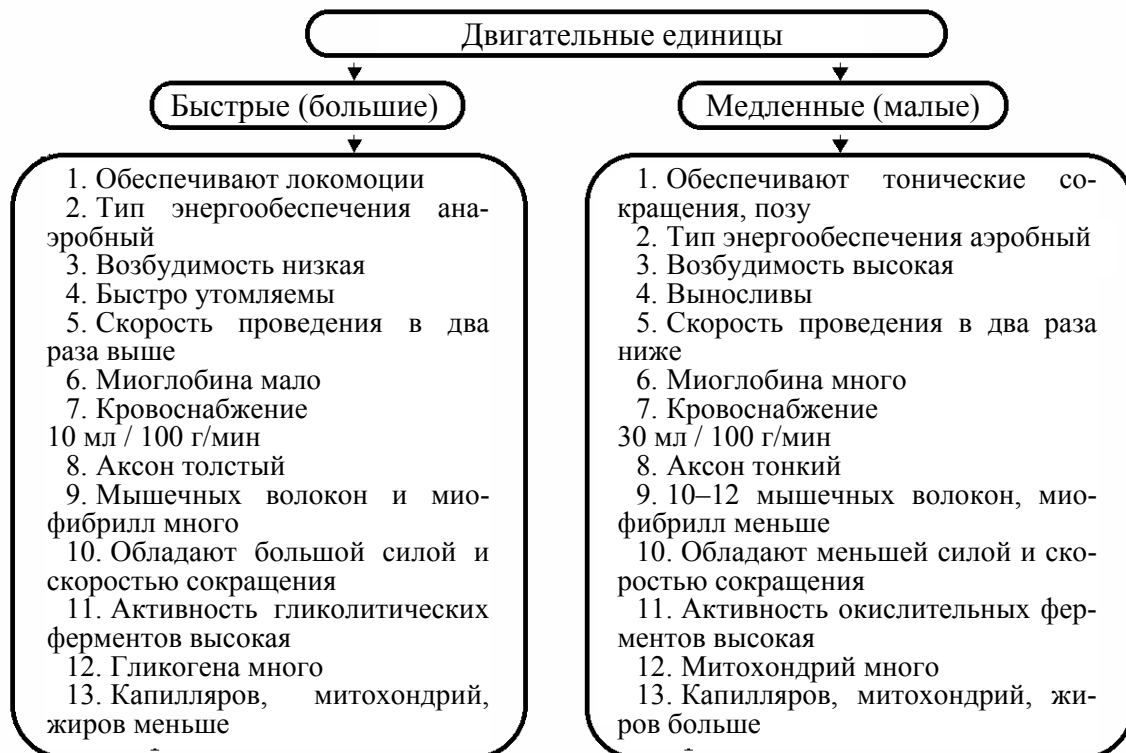


Рис. 5. Характеристика двигательных единиц

Основываясь на анализе ферментов мышечных волокон, их классифицируют на три вида: тип I, тип IIa, тип IIb.

В зависимости от скорости сокращения, аэробной и анаэробной возможности используют понятия: медленно-сокращающийся окислительный тип (тип МО), быстро-сокращающийся окислительно-гликолитический тип (БОГ) и быстро-сокращающийся гликолитический тип (БГ).

Существуют и другие классификации ДЕ. Так, основываясь на двух параметрах – снижении прерывистого тетануса и сопротивлении утомлению – ДЕ делят на три группы (Burke, 1981): медленно-

сокращающиеся, невосприимчивые к утомлению (тип S); быстро-сокращающиеся, невосприимчивые к утомлению (тип FR) и быстро-сокращающиеся, восприимчивые к утомлению (тип FF).

Волокна I типа соответствуют волокнам типа MO, волокна IIa типа – волокнам типа БОГ, а волокна IIб типа – волокнам типа БГ. Мышечные волокна типа MO относятся к ДЕ типа S, волокна типа БОГ – к ДЕ типа FR, а волокна типа БГ – к ДЕ типа FF.

Каждая мышца человека содержит совокупность всех трех типов волокон. ДЕ типа FF характеризуется наибольшей силой сокращения, наименьшей продолжительностью сокращения и наибольшей восприимчивостью к утомлению.

Говоря о пропорциях различных мышечных волокон у человека, следует отметить, что и у мужчин, и у женщин несколько больше медленных волокон (по данным различных авторов – от 52 до 55%).

Имеется строгая зависимость между количеством медленно и быстро-сокращающихся волокон в мышечной ткани и спортивными достижениями на спринтерских и стайерских дистанциях.

Икроножные мышцы чемпионов мира по марафону содержат 93–99% медленных волокон, тогда как у сильнейших спринтеров мира в этих мышцах больше количество быстрых волокон (92%).

У нетренированного человека число двигательных единиц, которые могут быть мобилизованы при максимальных силовых напряжениях, обычно не превышает 25–30%, а у хорошо тренированных к силовым нагрузкам лиц число вовлеченных в работу моторных единиц может превышать 80–90%. В основе этого явления лежит адаптация центральной нервной системы, приводящая к повышению способности моторных центров мобилизовывать большее число мотонейронов и к совершенствованию межмышечной координации.

Механизм мышечного сокращения. Потенциал действия, распространяющийся по мышечному волокну, инициирует выход ионов Ca^{2+} из цистерн саркоплазматического ретикулума в межфибрилярное пространство, который блокируется тропонином – тормозным веществом, не дающим взаимодействовать *актину* с *миозином* (мышечным сократительным белком); происходит повышение АТФазной активности миозина; освобождающаяся при расщеплении АТФ энергия используется для взаимодействия актина с миозином; образуется сократительный комплекс – *актомиозин*. *Поперечные мостики* между миозином и актином создают продольную тягу, в результате чего происходит скольжение тонких нитей актина вдоль толстых миозина (теория скольжения) (рис. 6).

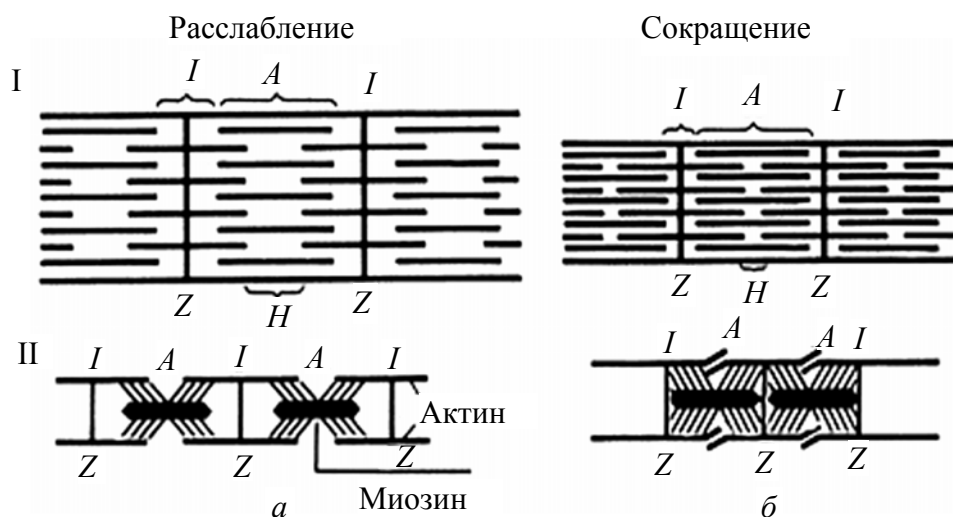


Рис. 6. Строение миофибриллы и схема скольжения нитей актина и миозина в процессе сокращения:
а – расслабленная миофибрилла; *б* – окрашенная миофибрилла:
 I – саркомер; II – миофибрилла; A – анизотропные диски;
 I – изотропные диски; H и Z – пластинки

Возвращение Ca^{2+} в цистерны прекращает сократительный процесс, мышечное волокно расслабляется. В мышечном волокне потенциальная химическая энергия используется непосредственно для выполнения механической работы.

Сокращение и напряжение мышцы осуществляется за счет энергии, освобождающейся при химических превращениях, которые происходят при поступлении в мышцу нервного импульса или нанесении на нее непосредственного раздражения. Химические превращения в мышце протекают как при наличии кислорода (в аэробных условиях), так и при его отсутствии (в анаэробных условиях).

Первичным источником энергии для сокращения мышцы, как указывалось выше, служит расщепление АТФ на аденозиндифосфорную кислоту (АДФ) и фосфорные кислоты. При этом из каждой грамм-молекулы АТФ освобождается 10 000 кал: $\text{АТФ} \leftrightarrow \text{АДФ} + \text{H}_3\text{PO}_4 + 10\,000 \text{ кал}$.

Запасы АТФ в мышце незначительны и, чтобы поддерживать их деятельность, необходим непрерывный ресинтез АТФ. Он происходит за счет энергии, получаемой при распаде креатинфосфата (КрФ) на креатин (Кр) и фосфорную кислоту (анаэробная фаза). С помощью ферментов фосфатная группа от КрФ быстро переносится на АДФ (в течение тысячных долей секунды). При этом на каждый моль КрФ освобождается 46 кДж: $\text{АДФ} + \text{КрФ} \leftrightarrow \text{АТФ} + \text{Кр}$.

Присоединение к креатину H_3PO_4 приводит к ресинтезу КрФ. При истощении запасов КрФ *более медленный ресинтез АТФ* осуществляется с помощью *гликолитических* и *окислительных процессов*. В анаэробных условиях необходимая энергия освобождается в процессе расщепления углеводов (гликогена и глюкозы). Под влиянием гликолитических ферментов они распадаются до молочной кислоты с выделением энергии. В результате гликолиза H_3PO_4 вначале присоединяется к углеводам, а затем, обогащенная энергией, отщепляется от них. В результате образуется богатая энергией фосфатная связь, которая и используется для ресинтеза АТФ.

Таким образом, конечным процессом, обеспечивающим все энергетические расходы мышцы, является процесс окисления. Между тем, длительная деятельность мышцы возможна лишь при достаточном поступлении к ней кислорода, так как содержание веществ, способных отдавать энергию, в анаэробных условиях постепенно падает. Кроме того, при этом накапливается молочная кислота, сдвиг реакции в кислую сторону нарушает ферментативные реакции и может привести к угнетению и дезорганизации обмена веществ и снижению работоспособности мышц.

Аэробный ресинтез АТФ (окислительное фосфолирование, тканевое дыхание) в 20 раз эффективнее анаэробного энергообразования. Накопленная во время анаэробной деятельности и в процессе длительной работы часть молочной кислоты окисляется до углекислоты и воды (1/4–1/6 ее часть), образующаяся энергия используется на восстановление оставшихся частей молочной кислоты в глюкозу и гликоген, при этом обеспечивается ресинтез АТФ и КрФ. Энергия окислительных процессов используется также и для ресинтеза углеводов, необходимых мышце для ее непосредственной деятельности.

В целом углеводы дают наибольшее количество энергии для мышечной работы. Например, при аэробном окислении глюкозы образуются 38 молекул АТФ (для сравнения: при анаэробном распаде углевода образуется лишь 2 молекулы АТФ).

Время развертывания аэробного пути образования АТФ составляет от 1 до 3–4 мин, максимальная мощность при этом 350–450 кал/(мин · кг), время поддержания максимальной мощности – десятки минут. Если в покое скорость аэробного ресинтеза АТФ невысокая, то при физических нагрузках его мощность становится максимальной и при этом аэробный путь может работать часами. Он отличается также высокой экономичностью: в ходе этого процесса идет глубокий распад исходных веществ до конечных продуктов CO_2 и H_2O . Кроме того, аэробный путь ресинтеза АТФ отличается универсальностью в использовании субстратов: окис-

ляются все органические вещества организма (аминокислоты, белки, углеводы, жирные кислоты, кетоновые тела и др.).

Мышечная деятельность, осуществляемая в большинстве видов спорта, не может полностью быть обеспечена аэробным процессом ресинтеза АТФ, и организм вынужден дополнительно включать анаэробные способы образования АТФ, имеющие более короткое время разворачивания и большую максимальную мощность процесса (т. е. наибольшее количество АТФ, образуемое в единицу времени) – 1 моль АТФ соответствует 7,3 кал, или 40 Дж (1 кал = 4,19 Дж).

Относительный вклад трех энергетических систем в выполнение упражнений разной предельной продолжительности представлен на рис. 7.

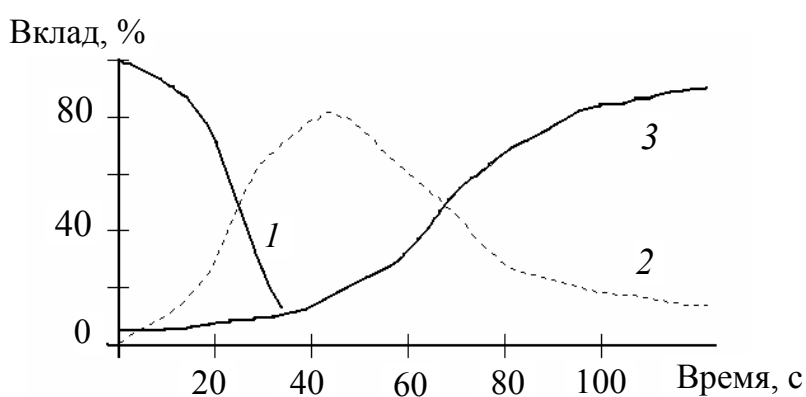


Рис. 7. Относительный вклад трех энергетических систем в выполнение упражнений разной предельной продолжительности, %:

1 – фосфагенная; 2 – лактацидная; 3 – кислородная система

Различают разные *формы* и *типы мышечного сокращения* (рис. 8).

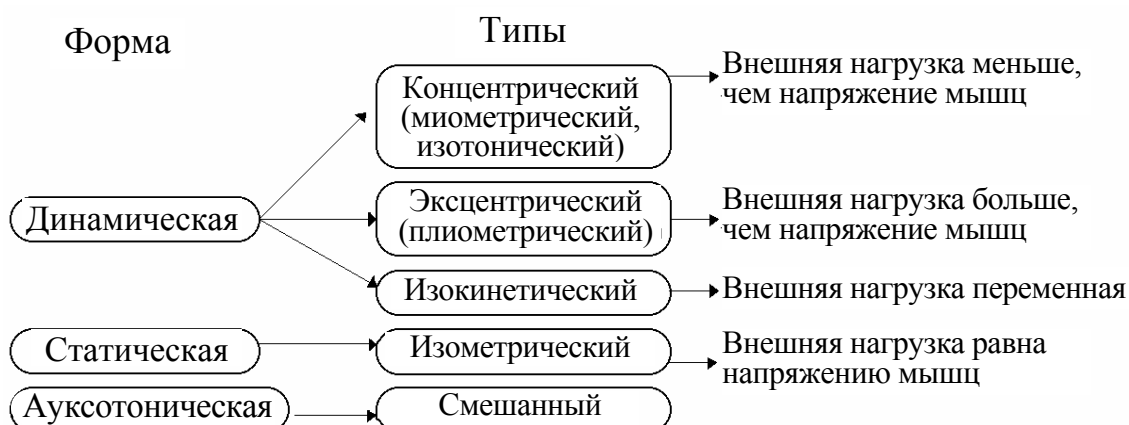


Рис. 8. Формы и типы мышечного сокращения

При динамической форме мышца изменяет свою длину; статической – напряжение (но не меняет длину); ауксотонической – длину и напряжение.

Существуют такие типы сокращения: изометрическое, изокинетическое и смешанное.

Режим мышечного сокращения может быть одиночным и тетаническим. Первый характеризуется возвращением мышцы в исходное состояние после каждого раздражения, второй – слиянием мышечных сокращений в ответ на ритмическое раздражение. Режим мышечного сокращения зависит от частоты раздражения (рис. 9).

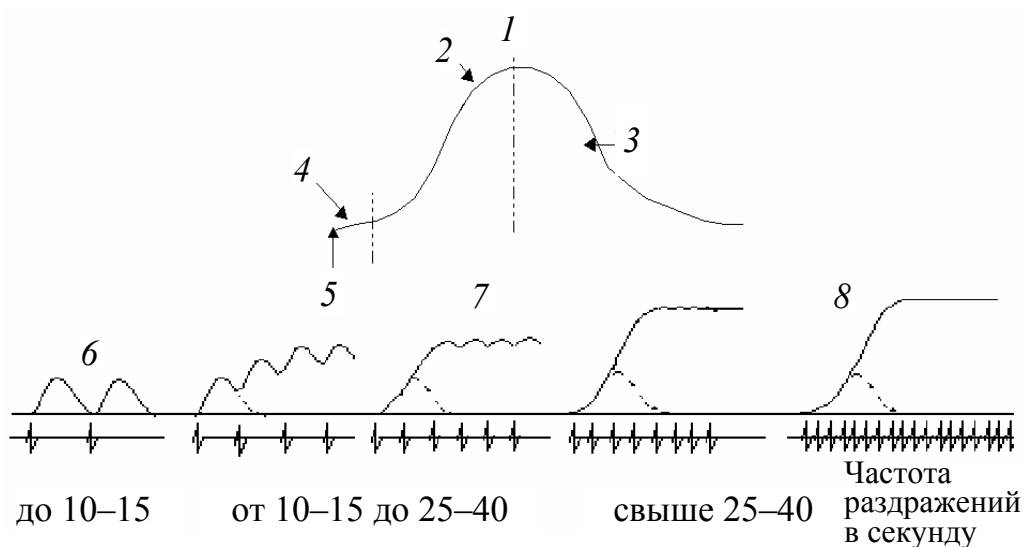


Рис. 9. Режимы мышечных сокращений:

1, 6 – одиночные мышечные сокращения; 2 – фаза напряжения (0,045 с);

3 – фаза расслабления (0,05 с); 4 – латентный период (0,005 с);

5, 7 – зубчатый тетанус; 8 – гладкий тетанус

При раздражении мышцы рядом повторных стимулов характер сократительного ответа будет определяться интервалом между двумя последовательными раздражениями в ритмическом ряде. Длительное суммарное сокращение мышцы, полученное в ответ на ритмическое прямое или не прямое раздражение ее, называется *тетанусом*. При относительно высокой частоте внешнего раздражения, обеспечивающей возникновение каждого последующего сократительного ответа мышцы в фазу сокращения предыдущего ответа, возникает *гладкий* (сплошной) *тетанус*. В случае относительно низкой частоты раздражения, когда каждое очередное сокращение мышцы возникает в фазу расслабления предыдущего сокращения, наблюдается *зубчатый* или неполный *тетанус*. Рабочая эффективность сокращения будет всегда

выше при гладком тетанусе. В то же время степень развиваемого мышечного напряжения при гладком тетанусе может быть различной в зависимости от частоты и силы раздражения.

Частота (и сила раздражения), дающая максимальный по величине тетанический ответ мышцы, называется *оптимальной частотой раздражения*. Высокие частоты (и силы) раздражения, ведущие к уменьшению сократительного ответа мышцы, называются *пессимальными частотами (и силами)* раздражения. Пессимальная частота раздражения, дающая снижение высоты тетанического сокращения мышцы, превосходит по величине оптимальный ритм волнового возбуждения в мышце.

Тетанический ответ мышцы на ритмическое раздражение будет наибольшим в том случае, когда каждый последующий стимул попадает в фазу экзальтации возбудимости мышцы (см. рис. 2 на с. 7).

Мышечное напряжение обеспечивается *включением числа активных ДЕ* (чем больше активных ДЕ, тем большее напряжение развивает мышца); *режимом их работы* (чем выше частота импульсации, тем большее напряжение развивает ДЕ); *регуляцией временной связи активности ДЕ* (чем синхроннее активность ДЕ, тем большее напряжение развивает мышца).

В зависимости от степени мышечного напряжения, развиваемого при разных формах двигательной активности (ходьба, бег, прыжок), включаются различные ДЕ: при малых мышечных напряжениях (0–20% от максимума) функционируют низкопороговые ДЕ типа S (МО); при средних мышечных напряжениях (20–50% от максимума) – ДЕ типа FR (БОГ); при мощных мышечных напряжениях (свыше 50% от максимума) – ДЕ типа FF (БГ).

Малые ДЕ активны при любом напряжении мышцы, тогда как большие ДЕ активны лишь при сильных мышечных напряжениях.

3. НЕРВНАЯ СИСТЕМА

Морфофункциональной единицей нервной системы является нервная клетка – *нейрон*, состоящий из тела (сомы) и отростков (рис. 10).

Отростки разделяются на *аксоны* (длинные) и *дендриты* (короткие – многочисленные ветвящиеся). В зависимости от выполняемой функции нейроны делятся на три основные группы: *воспринимающие* (чувствительные), *исполнительные* (эффекторные), *вставочные* (контактные).

Аксоны проводят возбуждение от тела нейрона к другим нервным клеткам или периферическим органам. Дендриты осуществляют связь между отдельными нервными клетками. Тело и отростки покрыты мембраной, избирательно проницаемой в покое для ионов калия, при возбуждении – ионов натрия. Внутреннюю часть нейрона составляет желеобразное вещество – *нейроплазма*. Тело выполняет трофическую функцию по отношению к своим отросткам, т. е. регулирует обмен веществ и питание.

Нервный центр с физиологической точки зрения представляет собой слаженную функциональную совокупность нескольких нервных образований, расположенных на разных уровнях ЦНС и осуществляющих определенные рефлексы и (или) регуляцию отдельной или нескольких функций.

Нервные центры обладают следующими физиологическими свойствами: односторонностью проведения возбуждения и его задержкой, суммацией возбуждений, трансформацией режима возбуждений, рефлекторным последствием, быстрой утомляемостью.

Обеспечение взаимосвязи между отдельными органами и системами организма, согласование и объединение их функций, осуществление связи организма с внешней средой, приспособление к внешней среде, поведение человека и животных определяет ЦНС. Она включает *головной и спинной мозг*. Между нервными центрами и перифе-

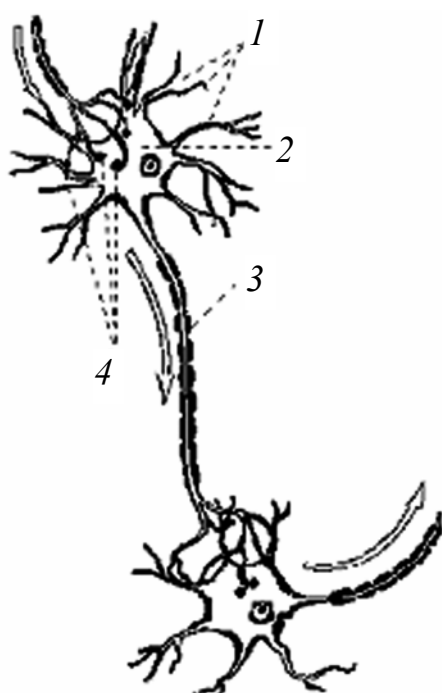


Рис. 10. Строение нейрона:
1 – дендриты; 2 – тело нейрона;
3 – аксон; 4 – синапсы

рическими органами существует двухсторонняя круговая связь. Любая деятельность сопровождается возникновением в рецепторах работающих органов афферентных импульсов, сигнализирующих ЦНС о результатах этой деятельности. Ответная реакция организма на раздражение с участием ЦНС называется *рефлексом*, а путь, по которому проходят импульсы при осуществлении рефлекса – *рефлекторной дугой* (рис. 11).

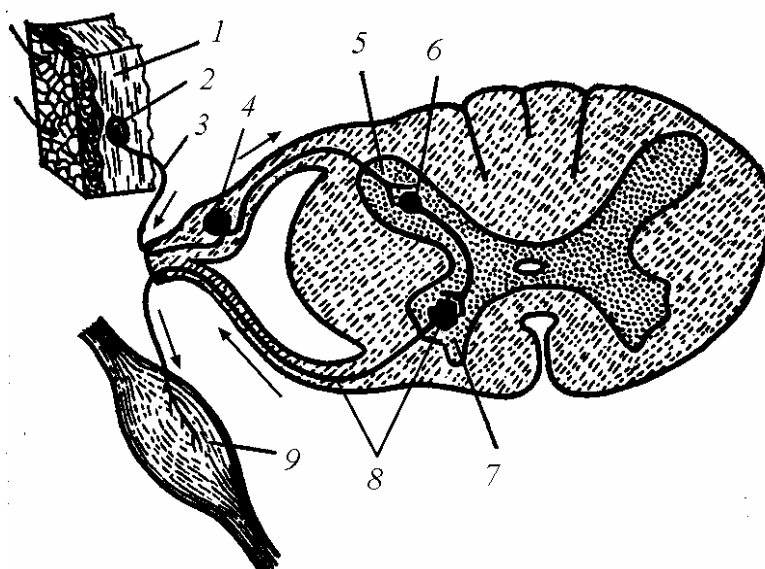


Рис. 11. Трехнейронная рефлекторная дуга:
 1 – кожа; 2 – рецептор; 3 – афферентный нейрон;
 4 – тело афферентного нейрона; 5 – задний рог спинного мозга;
 6 – вставочный нейрон; 7 – передний рог;
 8 – эфферентный нейрон (мотонейрон); 9 – мышца (эффектор)

Рефлекторная дуга может быть простой и сложной. Простая включает рецепторный и эффекторный нейроны, связанные одним синапсом; сложная состоит из *рецептора* – чувствительного элемента.

Рефлексы целостного организма делятся на безусловные и условные. *Безусловные* – это врожденные, наследственно передающиеся реакции организма; *условные* – реакции, приобретенные организмом в процессе индивидуального развития на основе безусловных рефлексов. Различают *экстеро-* (с внешней поверхности тела), *интеро-* (от внутренних органов и сосудов) и *проприо-* (от скелетных мышц, суставов, сухожилий) *рефлексы*. По характеру ответной реакции рефлексы разделяют на *моторные* (двигательные), где исполнителем является мышца; *секреторные*, которые заканчиваются секрецией желез; *сосудодвигательные*, регулирующие просвет сосудов.

И. М. Сеченов в 1862 г. открыл явление *центрального торможения*. В ЦНС различают первичный и вторичный виды торможения. Первое возникает благодаря наличию в нервных структурах тормозных нейронов и синапсов (пре- и постсинаптические виды торможения) без предшествующего возбуждения; второе – без особых тормозящих структур в результате изменения функциональной активности обычных возбудимых нейронов.

Особый вид торможения может возникать после возбуждения и развивающейся при этом сильной следовой гиперполяризации.

Наиболее древним и примитивным отделом ЦНС является *спинной мозг* (рис. 12). Он осуществляет в основном рефлекторную и проводниковую функции: получает импульсы от экстерорецепторов кожной поверхности, проприорецепторов и висцерорецепторов туловища и конечностей; иннервирует скелетную мускулатуру туловища; участвует в осуществлении всех сложных двигательных реакций тела (как самостоятельно, так и в качестве проводника импульсов).

Спинномозговые корешки посредством нервных волокон осуществляют связь спинного мозга с периферией. В передних корешках проходят моторные нервы скелетной мускулатуры и эфферентные сосудистые, секреторные и идущие к гладкой мускулатуре нервные волокна. Через задние корешки в спинной мозг поступают *афферентные* (чувствительные) импульсы.

Продолговатый мозг (рис. 13, поз. 5) выполняет две функции: рефлекторную и проводниковую.



Рис. 12. Спинной мозг в разрезе

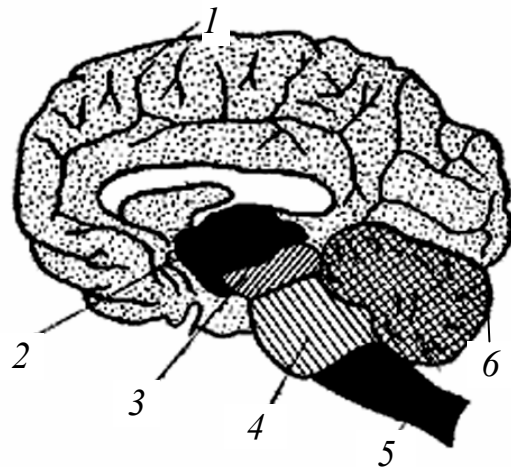


Рис. 13. Отделы головного мозга:
 1 – передний мозг;
 2 – промежуточный мозг;
 3 – средний мозг; 4 – варолиев мост;
 5 – продолговатый мозг; 6 – мозжечок

К рефлексам, осуществляемым продолговатым мозгом, относятся *защитные* (мигательные, чихательные, слезоотделительные, кашлевой и рвотный), *установочные* (обеспечивающие тонус мышц), *лабиринтные* (регулирующие позу тела), *дыхательные*, а также рефлекс *кровообращения и пищеварения*. Проводниковая функция представлена восходящими и нисходящими путями (между корой и спинным мозгом); собственными проводящими путями (соединяющими ядро и оливу вестибулярного нерва с мотонейронами спинного мозга). *Мозжечок 6* соединяется афферентными и эфферентными волокнами со всеми отделами ЦНС (рис. 13). Он осуществляет следующие рефлекс: *тактильные, мышечно-суставные, световые, звуковые*. При удалении мозжечка ослабляется мышечный тонус, снижается сила сокращений, теряется способность к слитным тетаническим сокращениям.

Входящие в образования *среднего мозга 3* передние бугры четверохолмия контролируют зрачковый рефлекс, аккомодацию, конвергенцию (сведение зрительных осей); задние бугры – ориентировочные звуковые рефлекс и вегетативные рефлекс при настораживании. Через средний мозг переходят все восходящие пути (к таламусу, большим полушариям и мозжечку) и нисходящие (к продолговатому и спинному мозгу). В среднем мозгу, как и в продолговатом, расположены нейроны ретикулярной формации.

Входящие в образование *промежуточного мозга 2* зрительные бугры (*таламус*) представляют собой центр всех афферентных импульсов (специфических от рецепторов и неспецифических, не имеющих прямой связи с рецепторами). Другое образование – подбугровая область (*гипоталамус*) – участвует в регуляции обмена веществ, теплообразовании и теплоотдачи, сна и бодрствования, многих вегетативных функций.

Ретикулярная формация – сплетение нервных клеток различных типов и размеров в центральной части ствола мозга, не имеющих непосредственных контактов с рецепторами организма. Она участвует в регуляции возбудимости и тонуса всех отделов ЦНС, оказывает *восходящее влияние* на клетки коры головного мозга и *нисходящее* на мотонейроны спинного мозга (эти влияния могут быть активизирующими или тормозными).

Различают *соматическую и вегетативную нервные системы*. Первая обеспечивает сенсорные и моторные функции организма, вторая – эфферентную иннервацию всех внутренних органов, сосудов потовых желез, трофическую иннервацию скелетной мускулатуры. К соматическим функциям относятся восприятие раздражений и двига-

тельные реакции, осуществляемые скелетными мышцами. Вегетативные функции обеспечивают обмен веществ, пищеварение, дыхание, кровообращение, выделение.

Вегетативная нервная система осуществляет двойную иннервацию, подчиненную *симпатическому* и *парасимпатическому* отделам, которые являются функциональными антагонистами. Симпатический отдел интенсифицирует деятельность организма в условиях, требующих напряжения сил; парасимпатический способствует восстановлению тех ресурсов, которые организм потратил при напряжении. Так, симпатическая нервная система при воздействии на сердце повышает его возбудимость, ускоряет проводимость, усиливает силу сокращения и учащает сердечный ритм; парасимпатическая вызывает противоположный эффект. Приспособление интенсивности обменных процессов к условиям существования организма определяет адаптационно-трофическую функцию симпатической нервной системы.

Кора больших полушарий головного мозга осуществляет взаимодействие организма с окружающей средой путем безусловных и условных рефлексов; является основой высшей нервной деятельности; обеспечивает процессы мышления и сознания; регулирует, интегрирует, координирует работу внутренних органов, регулирует обмен веществ. Различают лобную (переднюю и промежуточную), теменную, затылочную и височные области коры, которые отвечают за управление определенными функциями. Так, височные доли связаны со слуховыми функциями, затылочные – зрительными и т. д.

4. ВЫСШАЯ НЕРВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Высшая нервная деятельность – это рефлекторная управляющая деятельность центральной нервной системы, осуществляющей посредством коры головного мозга и подкорковых образований регуляцию реакций, благодаря которым устанавливаются сложные взаимоотношения человека и животных с окружающей средой.

В основе этих взаимоотношений лежит *условный рефлекс* – индивидуальная, приобретенная рефлекторная реакция, выработанная на базе безусловного рефлекса, осуществляемая, главным образом, за счет деятельности коры больших полушарий головного мозга.

Если безусловные рефлексы имеют анатомически сформированные рефлекторные дуги, то условные рефлексы основаны на установлении временной нервной связи организма с определенным(и) раздражителем(ями) внешней или внутренней среды. Безусловные рефлексы замыкаются, в основном, в спинном мозге, реже – в мозговом стволе, подкорковых ядрах, они стереотипны, мало изменчивы, инертны. Условные рефлексы приобретаются в течение всей жизни, формируются при определенных условиях, в их осуществлении ведущая роль принадлежит коре, они изменчивы и могут легко исчезать.

Для образования условных рефлексов необходимо сочетание во времени двух раздражителей – индифферентного (безразличного) для данной деятельности, который затем станет условным сигналом, и безусловного, который должен быть биологически сильным (рис. 14).

Индифферентный раздражитель должен предшествовать безусловному и совпадать с ним во времени. Важным условием является неоднократность повторения сочетания двух раздражителей. При выработке рефлексов кора не должна быть под влиянием других раздражителей, необходима определенная мотивация.

Условные рефлексы делятся на натуральные и искусственные. Первые образуются в естественных условиях рефлекторной деятельности (например, пищевой условный рефлекс на запах или вид

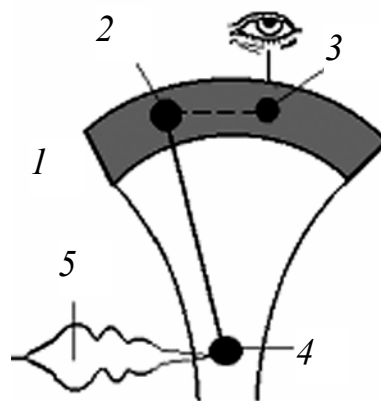


Рис. 14. Образование условного рефлекса по И. П. Павлову:

- 1 – кора больших полушарий;
- 2 – корковое представление пищевого центра;
- 3 – зрительный центр;
- 4 – подкорковый центр;
- 5 – слюнная железа

пищи); вторые – при действии искусственного(ых) раздражителя(ей) в процессе безусловного рефлекса (свет, звук, температура и т. д.). Условные рефлексы могут быть первого, второго, третьего, четвертого и т. д. порядка и могут относиться к *первой* и *второй сигнальной системам*. Первая обеспечивает реакции организма на любые раздражители внешней среды, кроме слов; вторая проявляется при действии речевых и письменных условных рефлексов, отвлеченно сигнализирующих об окружающей действительности и обеспечивающих абстрактное мышление в виде суждений и умозаключений.

Условные рефлексы могут угасать и исчезать. Это обусловлено внешним (*безусловным*) и внутренним (*условным*) торможением условных рефлексов. Безусловное торможение возникает под влиянием раздражений, вызывающих новую рефлекторную реакцию. Условное торможение (корковое) может вырабатываться при многократном действии неподкрепленного сигнала (причиной его развития бывают болезнь, переутомление, перенапряжение и т. д.), а также развиваться при выработке условного тормоза, при образовании запаздывающего условного рефлекса, при дифференцировании условных раздражений.

Под типом высшей нервной деятельности (темпераментом) понимается совокупность наследственно закрепленных свойств нервных процессов, мало меняющихся в процессе индивидуальной жизни. Для установления типологии высшей нервной деятельности учитываются три свойства нервных процессов: *сила* (или *слабость*), *уравновешенность* возбуждения и внутреннего торможения, *подвижность* (лабильность).

По преимущественному преобладанию указанных свойств нервных процессов различают четыре основных типа высшей нервной деятельности: сильный, но неуравновешенный тип, характеризующийся преобладанием возбуждения над торможением (*холерик*); сильный уравновешенный, с большой подвижностью нервных процессов (*сангвиник*); сильный уравновешенный тип, но с малой подвижностью нервных процессов (*флегматик*); тип со слабым развитием как возбуждения, так и торможения (*меланхолик*).

Согласно И. П. Павлову, рефлекторная теория основывается на трех основных принципах условно-рефлекторной деятельности: *структурности* (связи функций с определенными морфологическими структурами); *детерминизма* (причинной обусловленности рефлекторных актов соответственно изменениям внешней и внутренней среды); *анализа* и *синтеза* (установлением единства происходящих процессов в динамике нервной деятельности).

Динамический стереотип – выработанная в результате многократного воздействия и зафиксированная в коре больших полушарий мозга человека устойчивая последовательность следующих в определенном порядке условных рефлексов. Динамический стереотип является основой всех двигательных навыков, определяет характер поведения.

Полное временное торможение условно-рефлекторной деятельности происходит во время сна. Сон – непреодолимая физиологическая потребность организма высших животных, характеризующаяся замедлением интенсивности функционирования физиологических систем. При этом отсутствует сознание и реакция на многие раздражения внешней среды. Физиологическое значение сна – в обеспечении восстановительных процессов в нервных центрах коры и ближайших отделах подкорки головного мозга. Различают следующие виды сна: периодический суточный, периодический сезонный (спячка у животных), наркотический, гипнотический, патологический сон. Первые два вида сна являются физиологическими, остальные – следствием нефизиологических воздействий на организм. У взрослых *сон однофазный* (один раз в сутки), у детей – *многофазный*. Выделяют *медленный* и *быстрый* сон, различающиеся характером волн электроэнцефалограммы (рис. 15).

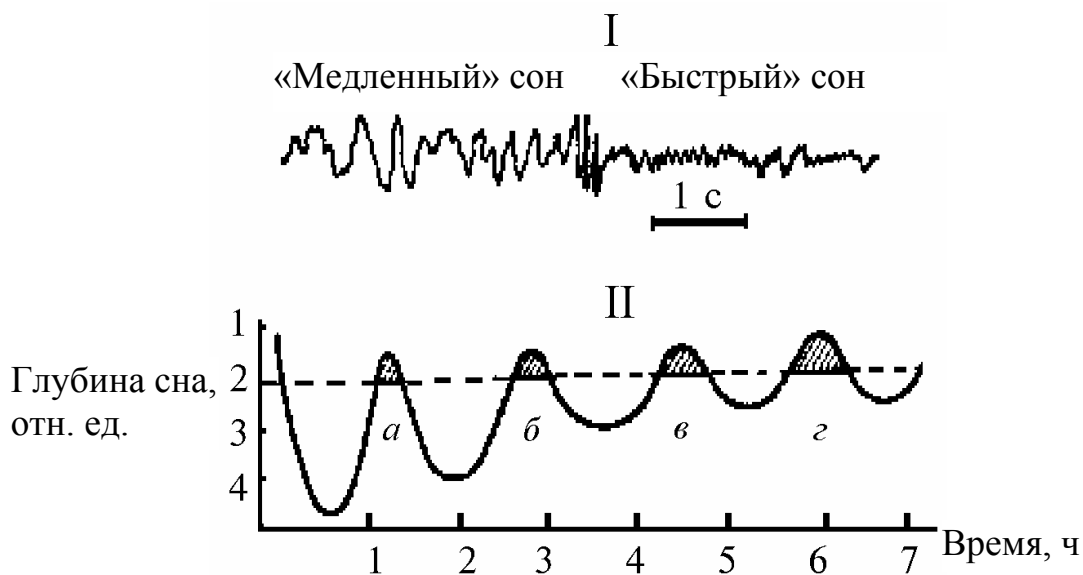


Рис. 15. Энцефалограмма во время сна (I) и глубина сна (II):

a, б, в, г – продолжительность «быстрого» сна:

a – 9 мин; *б* – 19 мин; *в* – 24 мин; *г* – 28 мин

Существуют *гуморальная* и *нервная теории сна*. Согласно первой, сон является следствием действия продуктов обмена, накапливаю-

щихся при бодрствовании (молочная кислота, CO_2 , аммиак и др.), второй – процессом внутреннего торможения, иррадиированно распространяющегося на всю массу полушарий и лежащие ниже отделы мозга. Современные данные свидетельствуют о том, что в головном мозге (зрительный бугор, подбугорье) находится «центр» сна, определяющий взаимоотношения между корой и подкорковыми структурами с целью создания в одних условиях развитие сна, в других – бодрствования.

Память – способность живых существ воспринимать, отбирать, хранить и использовать информацию, основанную на механизмах образования условных рефлексов, для формирования поведенческих реакций. Память является составной частью психической деятельности. Она формируется посредством нейронов коры больших полушарий, ретикулярной формации, гипоталамуса, лимбической системы, особенно гиппокампа (нервного образования подкорки, контролирующего прохождение афферентных сигналов).

По длительности хранения информации различают краткосрочную и долгосрочную память (рис. 16 дается по кн.: Чайченко Г. М. Память и ее механизмы. М., 1987).

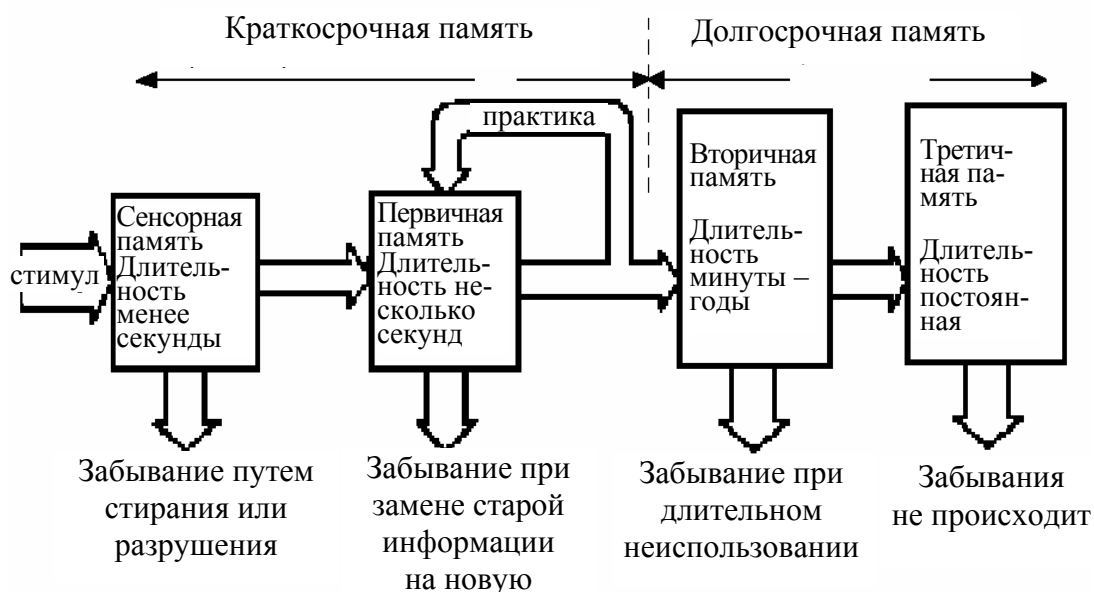


Рис. 16. Виды и формы памяти

Сенсорная память – это один из первых этапов восприятия информации. Сигналы, воздействующие на слуховые или зрительные рецепторы, поступают в соответствующие им отделы мозга бессознательно. В *первичной памяти* для сохранения материала необходимо

его мысленное повторение, т. е. производится определенная переработка информации. *Вторичная память* – это длительная форма хранения информации путем формирования ассоциаций. *Третичная память* обеспечивает наиболее полное сохранение информации, которая практически не забывается (способность к чтению и письму, профессиональные навыки).

По характеру запоминания выделяют три вида памяти: образную, эмоциональную и условнорефлекторную. Образная зрительная память иногда необычайно сильно выражена у детей, слуховая хорошо развита у многих музыкантов, моторная лежит в основе всех двигательных навыков. Эмоциональная память – это способность нервной системы воспроизводить пережитое ранее эмоциональное состояние. Условнорефлекторная память является основной формой хранения информации. Любое внешнее воздействие, для восприятия которого имеется соответствующий рецепторный аппарат, может стать объектом запоминания, если он сочетается с безусловнорефлекторной деятельностью организма, т. е. запоминание представляет собой формирование временной связи в процессе приспособительной деятельности организма.

5. СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ

Сенсорная система (анализатор) – совокупность специализированных нервных структур, осуществляющих восприятие определенных раздражений, проведение возникающих при этом возбуждений, высший их анализ. В соответствии со специфичностью действия раздражителей различают следующие анализаторы: зрительные, слуховые, вестибулярные, вкусовые, обонятельные, тактильные, проприоцептивные, температурные и др. Воспринимающим элементом анализатора является *рецептор*.

По отношению к окружающей среде рецепторы разделяются на *внутренние (интерорецепторы)* и *внешние (экстерорецепторы)*; по природе раздражителя – механо-, фото-, хемо-, термо-, электро-, болевые рецепторы; по способу восприятия раздражения – контактные, дистантные, первично- и вторичночувствующие (рис. 17).



Рис. 17. Классификация рецепторов

К свойствам анализаторов относятся возбудимость, лабильность, адаптация, иррадиация, концентрация, индукция, последствие.

Адаптация рецепторов заключается в изменении порогов их возбуждения с целью приспособления к различной интенсивности действующего раздражителя. Адаптация может сопровождаться как понижением, так и повышением возбудимости рецепторов.

Структурно каждый анализатор включает три основных отдела: периферический, состоящий из рецепторов и специальных образова-

ний, способствующих работе рецепторов (глаз, ухо и т. д.); проводниковый, включающий проводящие пути и подкорковые центры; корковый, в который адресуется информация.

Нервный путь обычно состоит из четырех нейронов: первый, чувствительный, находится вне ЦНС; второй – в спинном, продолговатом или среднем мозге; третий – в промежуточном мозге; четвертый – в коре больших полушарий головного мозга (рис. 18).

Функционально общим для всех анализаторов является формирование рецепторного потенциала (кодирование); его проведение; активация подкорковых центров и их связь с другими центрами (декодирование); корковый анализ субъективных восприятий (переработка информации); осуществление обратной связи.

Сенсорная система как аппарат, через который информация поступает в мозг, функционирует посредством прямых и обратных связей, т. е. как система самоорганизации и управления (рис. 19).

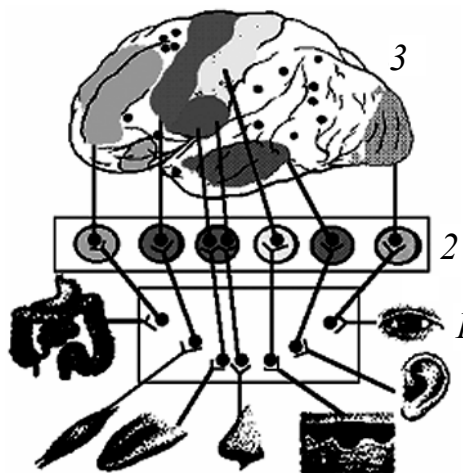


Рис. 18. Схематическое изображение отдельных анализаторов:
1 – спинной или продолговатый мозг;
2 – ствол мозга; 3 – кора мозга

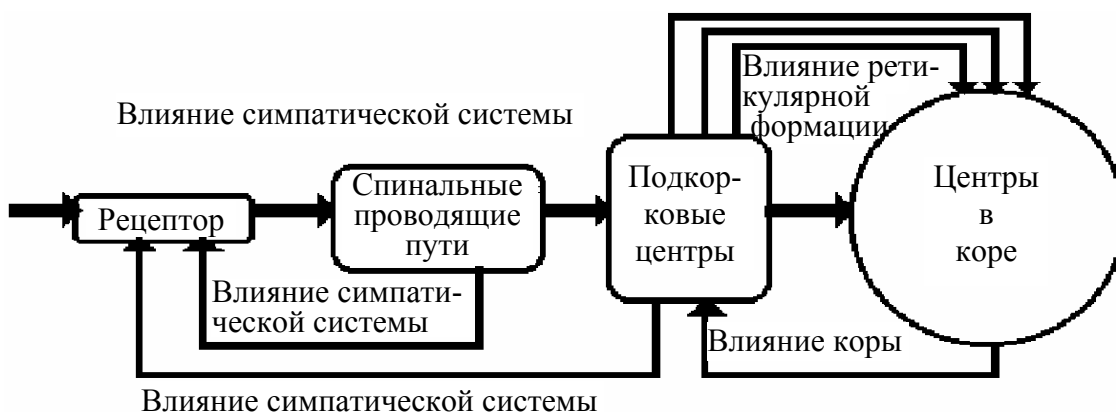


Рис. 19. Общий принцип структуры и функции анализаторных систем

Обратные связи, представленные в каждой сенсорной системе, осуществляют настройку рецепторных элементов и переключательных аппаратов к более адекватному и полному восприятию внешнего мира и в то же время обеспечивают избирательную фильтрацию биологически полезной информации.

Симпатическая система регулирует уровень возбудимости рецепторов, кора больших полушарий головного мозга – поток информации; ретикулярная формация активизирует кору.

Зрительная сенсорная система. Функционально начальным звеном зрительного анализатора у всех животных являются светочувствительные образования сетчатки – *палочки* и *колбочки*, воспринимающие световые раздражения. В них под действием света изменяются светочувствительные химические вещества – зрительные пигменты, в которых при поглощении фотона световой энергии происходит распад молекул. В результате возникает рецепторный потенциал. Импульс посредством первого нейрона поступает от сетчатки ко второму нейрону (ганглиозному), затем по двум зрительным нервам достигает зрительной хиазмы (перекреста), находящейся у основания черепа.

Далее сигнал передается третьему нейрону, который начинается в зрительных буграх промежуточного мозга и заканчивается в затылочной доле коры больших полушарий, где располагается четвертый нейрон (рис. 20).

Имеющиеся в сетчатке три типа колбочек обладают различной спектральной чувствительностью. Первый тип обладает минимумом возбуждения в красно-оранжевом, второй – в зеленом, третий – в синефиолетовом свете. Суммарное одинаковое возбуждение всех типов колбочек приводит к восприятию белого цвета. При повреждении одного из них возникает слепота к определенному цвету.

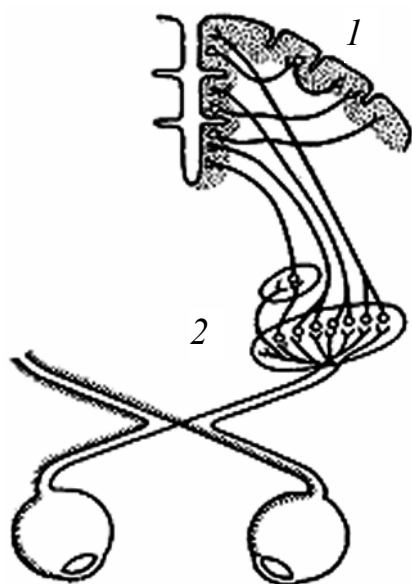


Рис. 20. Схема зрительного пути:
1 – зрительная кора; 2 – таламус

Изменение способности четкого видения различно удаляющихся предметов (фокусирование) – *аккомодация* – осуществляется несколькими механизмами. Во-первых, за счет изменения кривизны хрусталика, которая достигается напряжением мышцы, находящейся в ресничном теле: при ее сокращении хрусталик становится шаровидным. Во-вторых, таким одновременным поворотом глазных яблок, при котором пересечение обеих оптических осей приближается к глазам. В-третьих, изменением ширины зрачка: при возрастании интенсивности светового потока зрачок сужается.

Одно и то же изображение на сетчатке каждого глаза имеет небольшие

геометрические различия (*диспаратность*), которое тем сильнее, чем объект ближе. При монокулярном зрении (одним глазом) восприятия глубины (стереоскопии) добиться сложно даже при движении головы, перемещении фокуса и других действиях.

Зрение, при котором два монокулярных изображения объединены, называется бинокулярным. При этом усиливается впечатление пространственной глубины.

Слуховая сенсорная система. *Слуховой анализатор* – морфо-функциональная система, обеспечивающая восприятие и анализ звуковых раздражений.

Начальным звеном слухового анализатора – рецепторами – являются чувствительные клетки (волосковые и опорные) *Кортиева органа*, расположенного в улитке внутреннего уха и воспринимающего звуковые волны определенной длины и частоты.

Возникающий в рецепторах импульс поступает по первому нейрону проводникового отдела, расположенному в спиральном узле улитки, в продолговатый мозг. Отсюда посредством вторых нейронов он достигает зрительного бугра промежуточного мозга, где располагается третий нейрон, волокна которого достигают рецепторных клеток коры головного мозга – височной области коры больших полушарий.

Механизм передачи звуковых колебаний следующий. Звук оказывает влияние на барабанную перепонку, которая передает колебания через систему косточек среднего уха на перилимфу внутреннего уха. Перилимфа колеблет основную мембрану, на которой находятся чувствительные клетки Кортиева органа, касающиеся при этом покровной мембраны. В результате возникает рецепторный потенциал. Различная частота звука воспринимается разными частями улитки.

При поражении среднего или внутреннего уха может возникнуть глухота. Нарушения слуха можно разделить на два вида: нарушение проведения, при котором среднее ухо по разным причинам не передает достаточную звуковую энергию к внутреннему уху, и поражение внутреннего уха, при котором глухота вызвана повреждением улитки – волосковых клеток или афферентных нервных волокон. Если нарушение слуха вызвано повреждением внутреннего уха, слуховой порог возрастет и при воздушном, и при костном проведении, так как затронут сам процесс рецепции. Если же глухота связана с поражением среднего уха, проведение возникших в воздухе звуков нарушается, а внутреннее ухо продолжает функционировать и порог костного проведения остается неизменным.

Для определения нарушения слуха только с одной стороны (поражено ли среднее или внутреннее ухо) применяется *проба Вебера*. Ножку колеблющегося камертона (лучше с частотой 256 Гц) прижимают к средней линии черепа. Если поражено внутреннее ухо, человек слышит тон на непораженной стороне. Если же нарушено проведение через среднее ухо, он слышит тон на пораженной стороне.

Громкость звука определяется в белах (логарифм отношения мощности звука к пороговой его интенсивности). Диапазон восприимчивости человеком составляет 1–140 дБ (1 дБ = 0,1 Б). Частота звука определяется в герцах (количество колебаний в 1 с). Ухо взрослого человека чувствительно к звуковым частотам от 16 до 20 000 Гц, детей – до 40 000 Гц.

Вестибулярный анализатор. Во внутреннем ухе (в полукружных каналах и преддверии отолитового органа) находятся механорецепторы, воспринимающие раздражения при изменении силы тяжести во всех трех плоскостях (рецепторы вестибулярного анализатора): при поворотах, наклонах головы, ускорениях и замедлениях. Основой рецепторов являются *ампулярные гребешки*, в которых чувствительные клетки окружены студенистым веществом (*ампулярная купула*), способным колебаться при изменениях давления эндолимфы полукружных каналов. Возникающая при этом энергия растяжения преобразуется в нервный импульс.

Возбуждение через вестибулярный ганглий по вестибулярному нерву, входящему в состав слухового нейрона, поступает в продолговатый мозг, отсюда в зрительные бугры и в височную долю коры больших полушарий.

Под влиянием ускорений может происходить перераздражение вестибулярных рецепторов и возникать противоречия афферентации в характере движения с отолитовых и купулярных рецепторов. В результате развивается воздушная болезнь, являющаяся одной из разновидностей укачивания, или болезнь передвижения (транспортная болезнь), для которой характерны соматические, сенсорные и вегетативные расстройства. Возникает тенденция к нарушению равновесия, падению в сторону нарушения. Поскольку вестибулярная система связана с *гипоталамусом*, сильное возбуждение вестибулярного аппарата часто приводит к неприятным ощущениям – головокружению, тошноте, потоотделению и т. п. Термин «болезнь» в данном случае весьма условен, так как возникающие расстройства исчезают после прекращения укачивания через несколько часов.

Лица без лабиринтной функции (глухонемые), у которых внутреннее ухо разрушено, обычно не подвержены укачиванию. Кроме отсутствия вестибулярных рецепторов, это также объясняется тем, что в механизме развития укачивания лежит возникающая при этом взаимосвязь вестибулярного аппарата с другими сенсорными системами – рецепторами органов брюшной и грудной полости, кожно-механическими проприорецепторами. Кроме того, у здоровых людей в этих условиях зрительная информация способствует возникновению так называемого зрительно-вестибулярного сенсорного конфликта, для которого характерно расхождение между зрительными ощущениями и сигналами от вестибулярных органов. Хроническая утрата лабиринта у глухонемых сравнительно хорошо компенсируется, если человек может ориентироваться зрительно, но в темноте этот дефект становится ощутимым.

Двигательный анализатор. Это цепь нервных клеток, связывающих мышечно-суставной аппарат с корой головного мозга.

Рецепторный аппарат двигательного анализатора реагирует на степень растяжения (сокращения) скелетных мышц, сухожилий, изменение суставных углов. Информация о напряжении мышцы поступает в нервные центры от сухожильных органов (*Пачиниевых телец*). На растяжение реагируют мышечные веретена, сухожильные органы (*тельца Гольджи*), рецепторы суставной капсулы и суставных связок. Веретена соединены с мышечными волокнами параллельно, сухожильные органы – последовательно, поэтому при пассивном растяжении мышцы возбуждаются рецепторы обоих видов. При активном же сокращении мышцы веретена «разгружаются» и частота их импульсации снижается, а сухожильный рецептор, наоборот, при этом возбуждается.

Амплитуда движений и суставные углы контролируются нервными окончаниями в суставных хрящах, капсулах, внутри- и внесуставных связках. Эти рецепторы определяют ощущение положения и движения, но не усилия. Сигнализация об изменениях в положении звеньев, образующих сустав, связана с ответами трех групп рецепторов, лежащих в суставных связках и капсуле: *окончаний Гольджи, окончаний Руффини и телец Фатер-Паччини*.

Окончания Гольджи и Руффини являются медленно адаптирующимися. Окончания Гольджи малочувствительны к скорости изменения суставного угла. Их ответ не зависит от активности мышц. Рецептор Гольджи дает разряд только в пределах определенной величины суставного угла (обычно 15–30°). Окончания Руффини сигнализируют

о скорости и направлении изменений суставного угла, не давая точной информации об абсолютной величине угла между звеньями. Их разряд зависит от активности мышц. Окончания Фатер-Паччини дают быстро адаптирующийся ответ, который длится до тех пор, пока меняется напряжение суставной капсулы – от надавливания или при движении. Ответ прекращается не позже, чем через 1 с. Они активируются на короткое время быстрым движением, независимо от его направления.

Таким образом, рецепторы суставных капсул и связок непосредственно сигнализируют о положении звеньев, образующих сустав, направлении и скорости их взаимного смещения.

Сигналы от этих рецепторов по проводящей системе, включающей первый, второй и третий нейроны, через спинной мозг поступают в продолговатый, а затем в моторную зону коры.

Существует специальный регуляторный нервный механизм, посредством которого ретикулярная формация изменяет возбудимость проприоцепторов, т. е. выполняет их настройку на восприятие конкретного раздражителя.

Тактильный анализатор. Информировывает организм о механических раздражениях (от легкого прикосновения до давления). Они воспринимаются чувствительными образованиями кожных покровов, представляющими нервные сплетения вокруг волосяных луковиц, а также с помощью телец Мейснера, расположенных в глубоких слоях кожи и обладающих тонкой соединительной капсулой.

В эпителии кожи рук, ног, груди, спины и других местах расположены тельца Меркеля, или осязательные диски. Импульсы от чувствительных образований кожных покровов по центральному отростку первого нейрона поступают в спинной и продолговатый мозг (второй нейрон), зрительный бугор (третий нейрон) и соматосенсорную область коры больших полушарий головного мозга.

6. ПРОИЗВОЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ

Произвольные движения – движения, выработанные с участием сознания, а по мере их освоения они могут осуществляться бессознательно. Каждый двигательный акт включает *моторные* и *вегетативные* компоненты. Первые обеспечивают движение (или позу), вторые – соответствующий уровень обмена, кровотока, дыхания и т. д.

Непосредственное управление скелетными мышцами (кроме мышц лица) обеспечивается мотонейронами спинного мозга, а произвольная их регуляция – при участии вышележащих отделов и коры больших полушарий. В организации двигательного акта участвуют различные отделы коры: моторная зона (прецентральная извилина) посылает импульсы к отдельным мышцам; объединение отдельных элементов движения в целостные акты осуществляют вторичные поля премоторной области; субъективное ощущение движения обеспечивает постцентральная извилина коры (*общечувствительная зона*); пространственная организация движений происходит благодаря участию нижнетеменных и теменно-затылочно-височных областей коры; эмоциональную окраску двигательной деятельности и управление вегетативными реакциями при работе обеспечивает лимбическая система (нижние и внутренние части коры). В высшей регуляции произвольных движений важнейшая роль принадлежит лобным долям: здесь происходит программирование произвольных движений, определение цели поведения, сравнение намеченной программы с результатами ее реализации. При этом используется вторая сигнальная система (внутренняя речь, словесные сигналы).

С помощью электроэнцефалограммы установлено, что при двигательной активности значительно усиливается (по сравнению с покоем) взаимосвязь (синхронность и синфазность) электрической активности различных областей коры.

Устанавливающиеся взаимосвязи между различными отделами коры и нижележащими нервными центрами и возникающие при этом циклы взаимных влияний от высших центров к низшим и обратно образуют замкнутую систему (или цикл) регулирования. При двигательной деятельности возникает множество таких циклов (например, между корой и ретикулярной формацией, между корой и мозжечком, между мотонейронами спинного мозга и мышцей и др.), образуя *многоуровневую систему*.

В конкретный момент та или иная рефлекторная реакция является наиболее важной для жизнедеятельности организма, поэтому

в центральной нервной системе возникает господствующий очаг возбуждения – *доминанта*. Чем больше нейронов вовлечено в данный очаг возбуждения, тем больше доминанта подавляет деятельность других отделов мозга.

Для решения поставленных задач в центральной нервной системе вырабатываются *программы* двигательных действий, в результате формируются команды к эфферентным нейронам и далее – к мышцам.

Особенностью такого управления является наличие обратной связи (осуществляется оценка правильности и эффективности выполненных движений). В результате происходит сенсорная коррекция (сохранение основных черт движения, несмотря на изменение условий его осуществления).

Такая коррекция возможна лишь при достаточной длительности движений. В условиях дефицита времени программирование движения должно отличаться большой точностью.

Различают *регуляцию позы и движения*. Поза (фиксация частей скелета в определенном положении) необходима для преодоления силы земного притяжения, сохранения равновесия, выполнения трудовой деятельности и т. д. Сохранение позы осуществляется благодаря статическим и статокинетическим рефлексам. Первые возникают при изменении положения тела или его частей в пространстве (*лабиринтные, шейные, выпрямительные рефлекс*), вторые компенсируют отклонения тела при ускорении и замедлении прямолинейного движения (усиление тонуса сгибателей при быстром подъеме и разгибателей при спуске – *лифтный рефлекс*). При вращении возникают реакции противовращения, проявляющиеся в отклонении головы, тела и глаз (*нис-тагм*) в сторону, противоположную движению.

Основой организации определенной позы является правильное распределение тонуса различных мышц, что обеспечивается деятельностью мозжечка, подкорковых ядер и коры. При этом происходит выбор наиболее целесообразной для данного момента позы.

Движения регулируются различными отделами центральной нервной системы, но в целостном поведении они сочетаются под контролем высших отделов, обуславливая двигательные действия. Образующаяся в процессе обучения по механизму условных рефлексов многофазная цепь рефлексов представляет собой двигательный навык.

Отличительной особенностью управления произвольными движениями человека является речевая регуляция.

В 1935 г. для объяснения двигательного поведения человека и животных П. К. Анохиным предложена теория функциональных систем,

в соответствии с которой приобретаемый в онтогенезе двигательный навык – это многоуровневая функциональная система с воспринимающими, управляющими, исполнительными компонентами, обратными связями, объединенными в единую организацию для реализации целесообразной функции (конечного приспособительного результата) (рис. 21, схема взята из кн.: Анохин П. К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. М., 1968. С. 23).

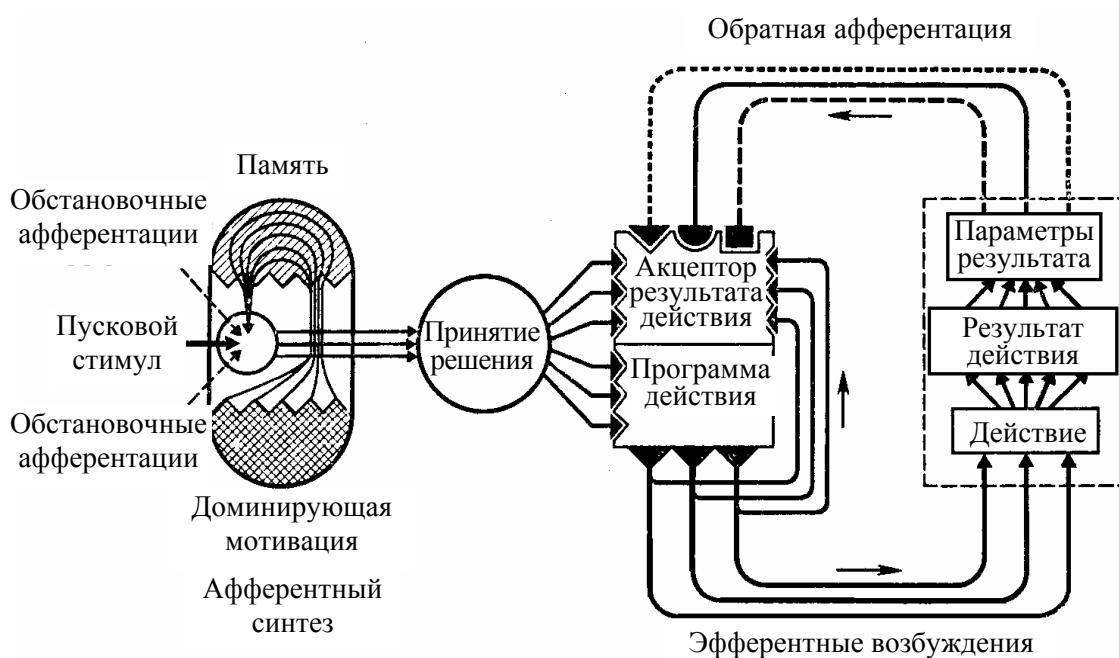


Рис. 21. Схема целенаправленного поведенческого акта

Функциональная система, разработанная П. К. Анохиным, является принципиальной схемой физиологических механизмов поведенческих реакций.

Все реакции организма, начиная от вегетативных и кончая сложными поведенческими актами, если только они заканчиваются полезным завершающим эффектом, непременно осуществляются через три стадии: афферентного синтеза; принятия решения; предсказания результата предстоящего действия в форме создания модели афферентных признаков этого ожидаемого результата будущего действия – акцептора действия.

Согласно современным представлениям, управление движениями представляет собой сложную многоуровневую нейрональную систему, построенную по иерархическому признаку, причем каждому уровню из этой системы отводятся свои собственные задачи, решение которых обуславливается собственными механизмами данного уровня.

7. КРОВЬ

Кровь – жидкая трофическая соединительная ткань организма, циркулирующая в сосудах и выполняющая следующие функции: транспортную, защитную, поддержания гомеостаза и др. Благодаря транспортной функции обеспечивается гуморальная регуляция (регуляторная функция), доставка тканям питательных веществ (питательная функция) и кислорода (дыхательная функция), удаление из них продуктов обмена и углекислого газа (эскреторная функция). Защитная функция заключается в обеспечении иммунитета и тромбообразования при кровотечениях. Поддержание гомеостаза достигается в основном за счет буферных систем.

Состав крови (рис. 22): форменные элементы (45%) и плазма (55%). Форменные элементы: эритроциты (44%), лейкоциты и тромбоциты (1%).

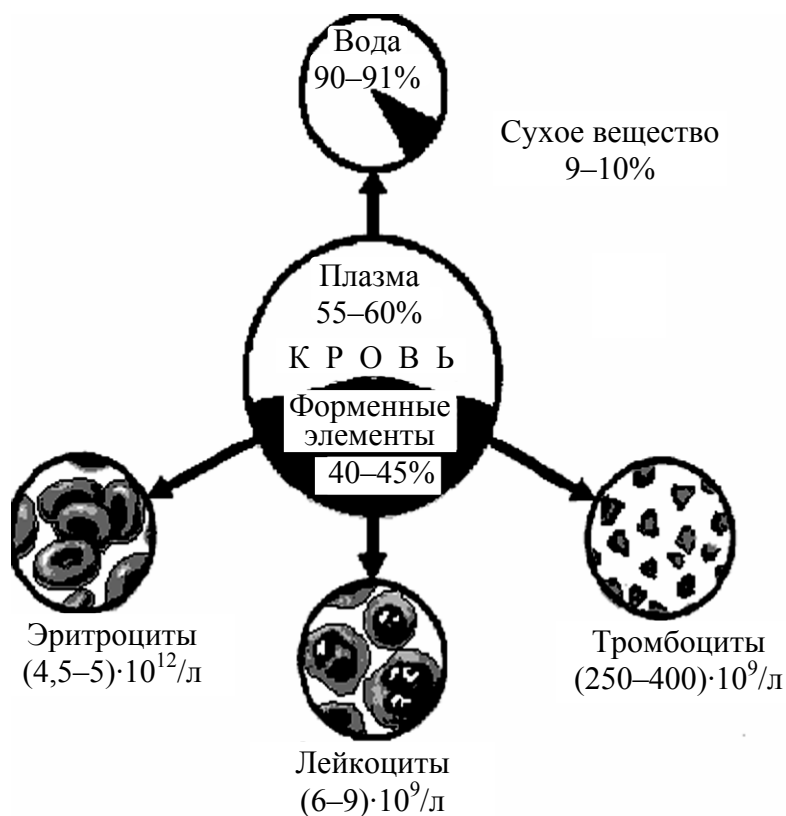


Рис. 22. Состав крови

Эритроциты (красные кровяные тельца, 4–5 млн./мм³) – безъядерные клетки, образующиеся в красном костном мозге. Они имеют форму двояковогнутого диска, обеспечивают транспортировку кисло-

рода O_2 и углекислого газа CO_2 между легкими и тканями, переносят ферменты и ряд других важных для организма веществ. Составным элементом эритроцитов является гемоглобин – сложное химическое соединение (белок – глобин – и четыре молекулы гема), образующее нестойкое соединение с кислородом и углекислым газом при их транспортировке с кровью. В организме содержится 750–800 г гемоглобина. Он определяет кислородную емкость крови (максимальное количество кислорода, которое может содержаться в 100 мл крови), ее буферную способность для CO_2 . Каждый грамм гемоглобина может объединиться с 1,33 мл кислорода, следовательно, каждые 100 мл крови могут связать до 20 мл кислорода. Соединение гемоглобина с кислородом называется оксигемоглобином, углекислым газом – карбаминогемоглобином, окислами и ядами – метгемоглобином.

Лейкоциты (6–8 тыс. в 1 мм^3) – подвижные бесцветные клетки, содержащие ядро и образующиеся в красном костном мозге, лимфатических узлах, селезенке и других органах. Они защищают организм от чужеродных бактерий, либо непосредственно уничтожая их посредством фагоцитоза (поглощения), либо образуя антитела для их уничтожения. Они противостоят токсинам, продуцируют антитела, выполняют другие функции. Лейкоциты разделяют на гранулоциты (зернистые при окрашивании) и агранулоциты. Первые делятся на окрашивающиеся кислыми (эозинофилы – 1–4%), нейтральными (нейтрофилы – 70%) и основными (базофилы – до 1%) красками, а вторые – на моноциты (4–8%) и лимфоциты (21–35%). Эозинофилы абсорбируют на свою поверхность антигены, разрушая их. Базофилы осуществляют синтез гепарина, поддерживают состояние жидкой среды организма. Нейтрофилы выделяют антитела, проникают в ткани из сосудов, где противодействуют инфекции, осуществляют фагоцитоз. Лимфоциты участвуют в образовании иммунитета, нейтрализуют токсины. Моноциты выполняют защитные функции: фагоцитируют продукты распада, обезвреживают организм от токсинов. Нейтрофилы находятся в трех состояниях: юные (1%), палочкоядерные (3–4%) и сегментоядерные (55–65%).

Процентное соотношение всех видов лейкоцитов называется *лейкоцитарной формулой*. Увеличение содержания лейкоцитов (*лейкоцитоз*) возникает при потреблении большого количества жиров, при воспалительных процессах и в результате мышечной работы (*миогенный лейкоцитоз*). Уменьшение содержания лейкоцитов называется *лейкопенией*. В развитии миогенного лейкоцитоза выделяется три фазы: лимфоцитарную, первую нейтрофильную и вторую нейтро-

фильную. Первая фаза характеризуется незначительным лейкоцитозом (10–12 тыс./мм³), вторая – увеличением лейкоцитов до 16–18 тыс./мм³, третья фаза – резким увеличением лейкоцитов, достигающим до 30–50 тыс./мм³.

Тромбоциты (200–400 тыс./мм³) способствуют свертываемости крови и при распаде выделяют сосудосуживающее вещество – серотонин.

Плазма – жидкая часть крови (92% воды), содержащая органические вещества и соли (8%), а также витамины, гормоны, растворенные газы. Органические вещества включают глюкозу, белки (альбумин, глобулин, фибриноген) и продукты их распада (мочевину и мочевую кислоту). Альбумины связывают и транспортируют продукты обмена, поддерживают онкотическое давление жидкости; глобулины являются носителями иммунных тел; фибриноген обеспечивает свертываемость крови.

Свертываемость крови осуществляется в несколько этапов, включающих разрушение тромбоцитов, выход фермента тромбокиназы, образование тромбина, образование нитей фибрина и закупорку ими сосудов, заполнение нитей форменными элементами и образование тромба, растворение тромба – лизис. По свойству склеивания эритроцитов при переливании крови выделяют четыре группы крови (рис. 23).

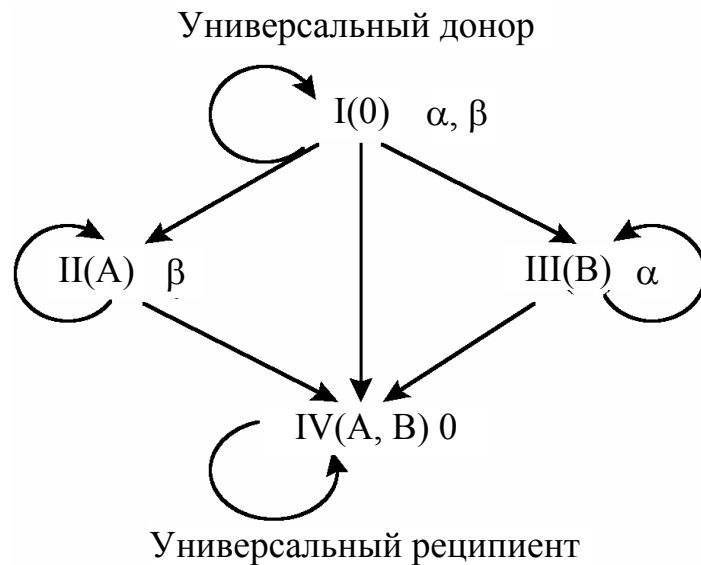


Рис. 23. Группы крови

В эритроцитах 85% людей имеется так называемый положительный резус-фактор (Rh⁺), который обуславливает выработку антител, склеивающих эритроциты. Поэтому если кровь, содержащую Rh⁺, перелить человеку, не имеющему его (Rh⁻ – отрицательный резус-

фактор), то у него вырабатываются антитела, которые при повторном переливании вызовут агглютинацию (склеивание) эритроцитов.

Процесс образования кровяных клеток (кроветворение) называется гемопоэз, эритроцитов – эритропоэз, лейкоцитов – лейкопоэз, тромбоцитов – тромбопоэз.

При снижении объема плазмы повышается концентрация в крови клеточной и белковой фракций, возрастает гематокрит с 40 до 50%, возрастает содержание эритроцитов и гемоглобина в единице крови, поскольку кровь становится более концентрированной. Это значительно повышает способность крови транспортировать кислород, что важно при мышечной деятельности. Во время нагрузки возможно значительное изменение рН крови, который становится более кислотным, снижаясь от 7,4 (щелочной) до 7,0 и ниже. Это снижение рН обусловлено главным образом накоплением лактата крови при нагрузке повышенной интенсивности.

8. КРОВООБРАЩЕНИЕ

Кровообращение – процесс направленного движения крови по кровеносной системе, обусловленный деятельностью сердца и сосудов. Основные функции сердечно-сосудистой системы: транспортная, обменная, выделительная, гомеостатическая, защитная.

Система кровообращения – это сердце, малый круг, в котором кровь омывает легкие, и большой круг, куда входят другие органы и ткани организма (рис. 24). Она обеспечивает транспорт дыхательных газов, питательных и биологически активных веществ, гормонов, перенос тепла внутри организма.

Малый круг включает правый желудочек, две легочные артерии, легочные капилляры, две легочные вены, левое предсердие. В легких кровь отдает углекислый газ и насыщается кислородом.

Большой круг начинается от левого желудочка, включает сосудистую систему всех органов тела, за исключением легких, и заканчивается полыми венами и правым предсердием.

Непрерывное направленное движение крови по сосудам обеспечивается благодаря насосной функции сердца, создающей разность давления в артериальном и венозном отделах сосудистой системы в результате периодического чередования сокращений (*систола*) и расслаблений (*диастола*) предсердий и желудочков. Способность изменять насосную производительность обеспечивается слаженностью взаимодействия сократимости, автоматии, а также деятельностью клапанного аппарата и способностью собственного кровоснабжения сердца.

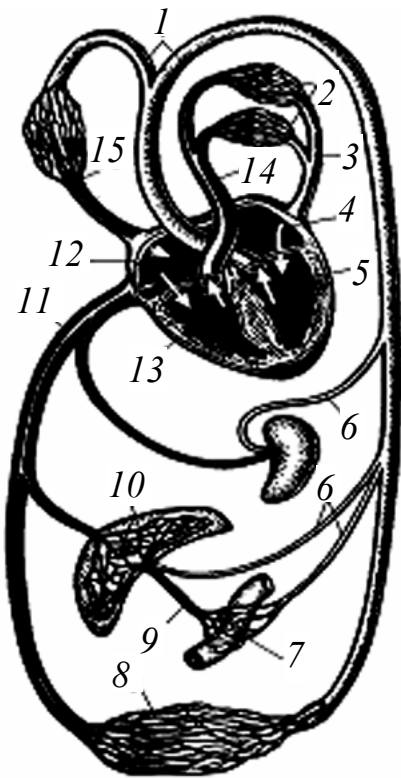


Рис. 24. Система кровообращения:
1 – аорта; 2 – капиллярная сеть легких;
3 – легочные вены; 4 – левое предсердие; 5 – левый желудочек;
6 – артерии внутренних органов;
7 – капиллярная сеть непарных органов брюшной полости;
8 – капиллярная сеть других органов;
9 – воротная вена; 10 – капиллярная сеть печени; 11 – нижняя полая вена;
12 – правое предсердие;
13 – правый желудочек;
14 – легочная артерия;
15 – верхняя полая вена

Мышечная ткань сердца, в отличие от скелетной мускулатуры, включает большое число коллагеновых и эластичных волокон, обладает густой сетью микрососудов, характеризуется большой продолжительностью рефрактерного периода, отсутствием возникновения тетануса. Растяжение сердечных волокон до определенного уровня способствует усилению последующего сокращения. Сердце обладает хронотропными свойствами, определяющими частоту сокращений, и инотропными, определяющими силу и мощность сокращения.

Клапанный аппарат сердца – образование, обеспечивающее прохождение крови по сосудистой системе в одном направлении. В сердце различают створчатые клапаны (между предсердиями и желудочками) и полулунные (на выходе крови из желудочков в аорту и легочную артерию).

Деятельность сердца характеризуется систолами предсердий (0,1 с) и желудочков (0,35 с), а также диастолой (0,45 с). В период систолы и диастолы желудочков различают еще ряд компонентов сокращения и расслабления, которые характеризуются фазностью проявления (фазы асинхронного и изометрического сокращения, фаза изгнания, протодиастолическая и фаза изометрического расслабления, фаза наполнения желудочков кровью).

Автоматия сердца – способность ритмически возбуждаться без участия регуляции центральной нервной системы. Возбуждение возникает в синоатриальном узле, распространяясь по мышечным волокнам, задерживается в атриовентрикулярном узле, затем распространяется по пучку Гиса, его ножкам, волокнам Пуркинье и охватывает все сердце (рис. 25). Сокращение сердца сопровождается слышимыми ухом звуками. В момент систолы желудочков и изгнания крови возникает первый звуковой тон (протяжный), при захлопывании полулунных клапанов – второй (быстрый).

Графическое изображение возникающей в сердце биоэлектрической активности называется электрокардиограммой (ЭКГ) (рис. 26).

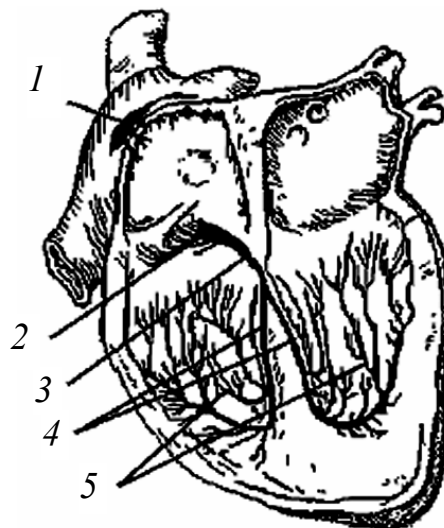


Рис. 25. Проводящая система сердца:
1 – синоатриальный узел;
2 – атриовентрикулярный узел;
3 – пучок Гиса; 4 – ножки пучка Гиса; 5 – волокна Пуркинье

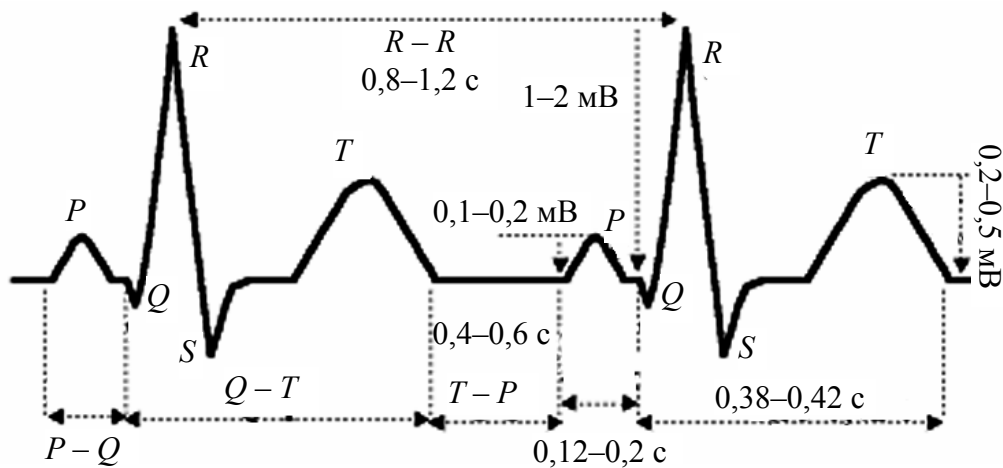


Рис. 26. Электрокардиограмма:

$P-Q$ – систола предсердий; $Q-T$ – систола желудочков; $T-P$ – диастола

Регистрируемые с поверхности тела зубцы ЭКГ дают представление о характере возбуждения предсердий (зубец P), возникновения и распространения возбуждения в желудочках (зубцы Q, R, S, T), процесса восстановления в период диастолы (интервал $T-P$).

Движение крови по сосудам обеспечивается, кроме насосной функции сердца, присасывающим действием грудной клетки и динамическим сдавливанием сосудов мышц при физической работе.

Линейная скорость кровотока определяется расстоянием перемещения частицы крови по сосудистой системе в единицу времени. В состоянии покоя в районе аорты она составляет $0,5$ м/с, в тканевых капиллярах – около $0,0005$ м/с.

Время полного кругооборота по сосудистой системе и сердцу в состоянии покоя – $22-25$ с, при работе – $7-8$ с. Движению крови по сосудистой системе оказывается сопротивление, которое во многом зависит от площади поперечного просвета сосудов, реологических свойств крови. Количество крови, проходящей через площадь поперечного сечения сосудистой системы за определенный промежуток времени, определяет *объемную скорость кровотока*.

Давление и сопротивление являются основными факторами, определяющими объемную скорость движения крови по сосудам.

Количество крови, выталкиваемой сердцем в сосудистую систему за каждое сокращение, называется ударным (УО) или систолическим (СО) объемом крови.

Частота сердечных сокращений (ЧСС) и УО определяют минутный объем крови (МОК). В покое ЧСС колеблется в пределах $60-75$ в 1 мин, УО – $70-80$ мл, МОК – $4-5$ л/мин; предельное увеличение при

мышечной нагрузке может составлять для ЧСС – 200 в 1 мин, УО – 200 мл, МОК – до 40–45 л/мин. МОК принято выражать через сердечный индекс, т. е. на 1 м² поверхности тела. У спортсменов высокого класса, занимающихся видами спорта, требующими проявления выносливости, ЧСС в покое составляет 28–40 уд./мин. ЧСС обычно снижается с возрастом. Максимальная частота сердечных сокращений – наибольший показатель, достигаемый при максимальном усилии перед моментом крайней усталости. Максимальную ЧСС можно определять, учитывая возраст, поскольку она снижается примерно на один удар в год, начиная с 10–15 лет. Вычтя возраст из 220, можно получить приближенный показатель максимальной ЧСС.

Кровяное давление – давление движущейся по сердечно-сосудистой системе крови, обусловленное, главным образом, работой сердца, сопротивлением стенок сосудов и гидростатическими силами. В аорте и центральных артериях большого круга кровообращения давление крови (артериальное давление) в покое при систоле составляет 120 мм рт. ст., при диастоле – 80 мм рт. ст. По мере продвижения крови по сосудам от сердца оно снижается в капиллярах тканей до 15–20 мм рт. ст., в крупных венах – 0. Измерение артериального давления у человека основано на определении величины внешнего давления, оказываемого на поверхность участка тела плечевой части руки. Для этого на плечо накладывают полую резиновую манжету, соединенную с нагнетающей воздух грушей и манометром. Давление в манжете увеличивают выше уровня систолического, затем постепенно выпускают воздух и одновременно с помощью фонендоскопа и манометра фиксируют момент появления слышимых звуковых тонов, возникающих в артерии к периферии от манжеты (систолическое давление). При исчезновении звуков фиксируют диастолическое давление. Часть крови, при отсутствии возмущающих влияний на организм, находится в кровяных депо – селезенке, печени, легких, подкожных сосудах. При физической работе, ранении, недостатке кислорода и других изменениях функционирования организма эта кровь интенсивно поступает в сосудистое русло.

Различают три основных механизма регуляции деятельности сердца: местный (когда в результате увеличения венозного возврата увеличиваются растяжимость, сократимость и сила сердечного выброса – механизм Франка-Старлинга), нервный и гуморальный.

Нервная регуляция влияет на возбудимость, проводимость, силу и частоту, но не является пусковой. Этот вид регуляции осуществляется симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной

системы и находится под контролем высших отделов коры головного мозга. Парасимпатический отдел вегетативной нервной системы посредством блуждающего нерва замедляет сердечную деятельность, снижает возбудимость, ухудшает проводимость. По симпатическим нервам осуществляется противоположная регуляция. Информационными центрами измерения внутрисосудистого давления и производительности сердца являются барорецепторы, находящиеся в сосудистых рефлексогенных зонах (дуга аорты, разветвление сонной артерии, устье соединения полых вен и др.).

Гуморальная регуляция обусловлена активирующим действием на сердечную деятельность гормонов: адреналина, тироксина и других, причем K^+ угнетает работу сердца, Ca^{2+} – усиливает.

Кроме нервно-гуморальной регуляции сердца, посредством сосудосуживающих и сосудорасширяющих нервов, берущих начало в продолговатом мозге, осуществляется аналогичная регуляция сосудистой системы.

Гуморальную регуляцию сосудосуживающего эффекта осуществляют гормоны адреналин и вазопрессин, сосудорасширяющего – ацетилхолин и гистамин. Регулирующие влияния на сосуды в мышцах оказывает АТФ, молочная кислота, углекислый газ и другие вещества тканевого обмена.

9. ДЫХАНИЕ

Дыхание – комплекс физиологических, биохимических и биофизических процессов, обеспечивающий поступление кислорода в организм, транспорт его к тканям и органам, а также образование, выделение и выведение из организма углекислого газа и воды. Основное назначение системы дыхания – поддерживать адекватную метаболическим потребностям организма скорость (интенсивность) окислительных процессов.

Выделяют следующие основные звенья системы дыхания: внешнее дыхание, транспорт газов кровью и тканевое дыхание (рассматривается в курсе биохимии).

Внешнее дыхание включает верхние дыхательные пути и легкие, обеспечивающие поступление кислорода в организм и выведение из него углекислого газа (рис. 27).

Верхние дыхательные пути состоят из носовых ходов, ротовой полости и носоглотки, которая через гортань направляет воздушный поток в трахею, разделяющуюся в своей нижней части на два главных бронха: правый бронх идет к правому легкому, левый – к левому легкому. Легкие представляют собой парные дыхательные органы, заключенные в плевральные многокамерные мешки и связанные с окружающей средой воздухоносными путями. Конечным звеном воздухоносных путей являются воздушные мешочки – альвеолы (500–600 млн.), общая поверхность которых составляет более 100 м². Их внутренняя поверхность покрыта особым веществом – сурфактантом, обеспечивающим поверхностное натяжение альвеолярных стенок.

Воздух окружающей среды попадает в легкие активно (вдох), выходит пассивно (выдох). Вдох осуществляется в результате возбуждения инспираторных нейронов дыхательного центра, находящегося в продолговатом мозге. При этом происходит сокращение внешних межреберных мышц и диафрагмы, грудная клетка расширяется

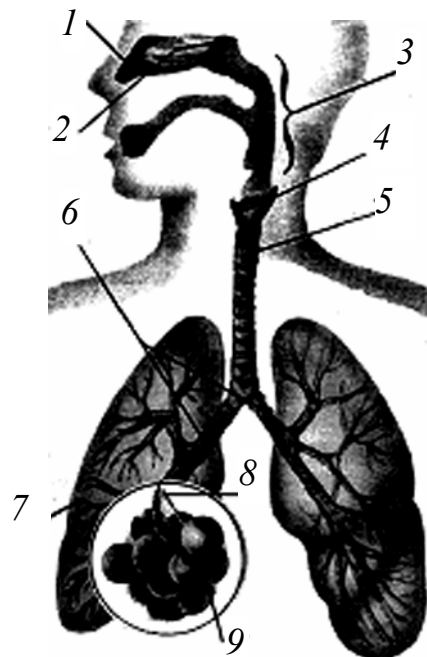


Рис. 27. Система внешнего дыхания:
1 – носовая полость; 2 – носовая раковина; 3 – глотка; 4 – гортань;
5 – трахея; 6 – главные бронхи;
7 – легкое; 8 – бронхиолы;
9 – альвеолы

вперед и вверх, давление в легких становится ниже атмосферного и воздух устремляется внутрь легких.

Выдох происходит под действием тяжести ребер мышц и тканей грудной клетки, а также эластических сил, которые возникают при вдохе. В результате давление в легких становится выше атмосферного и воздух выходит наружу.

Различают следующие легочные объемы: дыхательный (0,5 л), резервные объемы вдоха (1,8 л) и выдоха (1,2 л), сумма которых составляет жизненную емкость легких (ЖЕЛ) (3,5 л). Часть воздуха, которая остается в легких после максимального выдоха, называется остаточным объемом (1,2 л). ЖЕЛ и остаточный объем определяют общую емкость легких (4,7 л).

Для диагностических целей чаще других определяется ЖЕЛ. Вентиляционную способность легких характеризует объем дыхания в 1 мин, определяющийся суммой (частотой) дыхательных объемов. Он может увеличиваться с 5–7 л/мин в состоянии покоя до 120–150 л/мин при интенсивной физической работе. При этом частота дыханий с 10–12 в 1 мин возрастает до 50–70, а дыхательный объем – до 2 л и более. Выделяют также анатомическое и физиологическое мертвое дыхательное пространство, в котором концентрация кислорода и углекислого газа такая же, как во вдыхаемом воздухе. Дыхательный объем без физиологического мертвого пространства умноженный на частоту дыханий в минуту называется альвеолярной вентиляцией, доля которой в минутном объеме дыхания составляет около 70%.

Газовый состав вдыхаемого (или атмосферного) воздуха (неизменный на уровне моря и в горах): 20,97% O₂, 79% N₂, 0,03% CO₂. Парциальное давление газов по мере подъема над уровнем моря уменьшается. Выдыхаемый воздух в покое содержит 16% O₂ и 4% CO₂, альвеолярный воздух – 15% O₂ и 5% CO₂.

Основной движущей силой перемещения газов в организме является диффузия, которая определяется разницей парциальных давлений (рис. 28).

По мере продвижения кислорода в организме его парциальное давление снижается с 159 мм рт. ст. в атмосфере до 102 мм рт. ст. в альвеолярном газе, до 90 мм рт. ст. в артериальной крови и до 30 мм рт. ст. в тканях. В смешанной венозной крови оно составляет около 40 мм рт. ст.

Для характеристики процесса обмена газов между воздухом альвеол и кровью капилляров оценивают диффузную способность легких – количество газа, перешедшего через альвеолярно-капиллярную

мембрану легких в течение одной минуты при разнице парциального давления в 1 мм рт. ст.

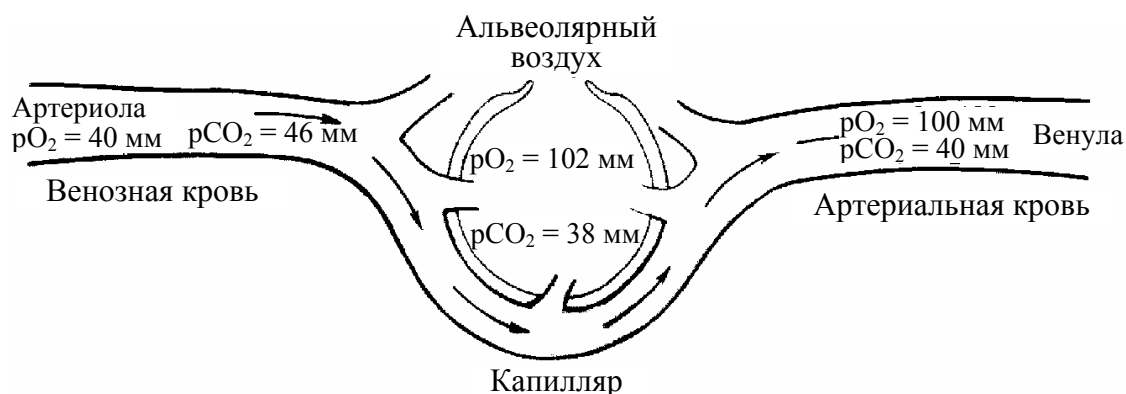


Рис. 28. Газообмен между альвеолой и капилляром

Перенос газов кровью. Кислород транспортируется кровью в двух состояниях – в виде оксигемоглобина и в растворенном виде. Связь гемоглобина с кислородом непрочная и зависит от pH, температуры, парциального напряжения кислорода.

Зависимость между степенью насыщения кислородом и его парциальным давлением в физиологических пределах характеризуется S-образной кривой (кривая диссоциации оксигемоглобина). Ее особенностью является пологая верхняя часть, обеспечивающая при большом диапазоне изменений степени насыщения высокий уровень парциального давления кислорода.

Диоксид углерода (CO_2) транспортируется кровью в трех состояниях: в виде карбамингемоглобина, в соединении с бикарбонатами и в растворенном виде. Соединению углекислого газа с гемоглобином в тканях способствует его высокое парциальное давление и освобождение гемоглобина от кислорода.

Образование соединения CO_2 с бикарбонатами следующее: сначала CO_2 соединяется с водой, затем, благодаря ферменту карбоангидразы, вместе с солями натрия и калия, которых больше всего содержится в белковой части гемоглобина, образуется бикарбонат. Существуют также другие буферные системы крови, связывающие и транспортирующие двуокись углерода.

Процесс дыхания обладает способностью к саморегуляции. Хеморецепторы аортальной и синокаротидной зоны информируют дыхательный центр о снижении парциального напряжения кислорода и накоплении CO_2 в крови. Возникающее возбуждение передается к мышцам, осуществляющим вдох. Информация от рецепторов растяжения

грудной клетки поступает обратно, что активизирует процесс торможения вдоха, после чего происходит пассивный выдох.

Активность дыхательного центра находится под контролем коры больших полушарий, в результате чего осуществляется интеграция других нервных центров с дыханием – между ними устанавливаются условно-рефлекторные связи, например, согласование дыхания с ритмом движения.

При физической работе возрастает кислородный запрос организма и активизируются все звенья системы дыхания: возрастает легочная вентиляция и поступление кислорода в организм, улучшаются условия для его диффузии из альвеол в кровь и из CO_2 в обратном направлении. Повышается доставка кислорода к работающим мышцам с кровью, интенсифицируются окислительные процессы в мышцах (его утилизация с 30% в состоянии покоя увеличивается при работе до 80%).

Пределные возможности всех звеньев системы дыхания характеризует величина максимального потребления кислорода (МПК), которая определяется при физической работе, совершаемой, как правило, в лабораторных условиях с помощью специальных механических устройств (велоэргометр, тредмил и др.). При этом измеряется минутный объем дыхания и его газовый состав, учитывается дефицит кислорода в выдыхаемом газе.

Легочная вентиляция увеличивается при физической нагрузке прямо пропорционально метаболическим потребностям организма, достигая наибольшей величины при нагрузке субмаксимальной интенсивности. При более низкой интенсивности нагрузки это осуществляется за счет увеличения дыхательного объема. При увеличении интенсивности нагрузки частота дыхания тоже повышается. Максимальная величина легочной вентиляции зависит от размеров тела. У крупных людей максимальная вентиляция превышает 200 л/мин, тогда как у людей с небольшими размерами тела она составляет около 100 л/мин.

Основной механизм регуляции дыхания при мышечной деятельности следующий: в результате рассогласования между доставкой кислорода и кислородным запросом снижается парциальное напряжение кислорода в скелетных мышцах, венозной и артериальной крови, а парциальное напряжение CO_2 возрастает, что рефлекторно активизирует деятельность всех звеньев системы дыхания.

10. ПИЩЕВАРЕНИЕ

Пищеварение – совокупность физических, химических и физиологических процессов, происходящих в пищеварительной системе и обеспечивающих превращение пищевых продуктов в такие химические соединения, которые могут всасываться в кровь и лимфу.

Пищеварительная система (рис. 29) состоит из полости рта, глотки, пищевода, желудка, двенадцатиперстной, тонкой и толстой кишок, заканчивается прямой кишкой, включает слюнные железы, поджелудочную железу, желчный пузырь и печень.

Основные функции пищеварительной системы: моторная (измельчение, перемещение и удаление остатков пищи), секреторная (под действием ферментов химическое расщепление пищевых веществ на такие, которые могут всасываться в кровь и лимфу), всасывающая (переход нужных для организма веществ в кровь и лимфу), экскреторная (удаление из организма некоторых продуктов обмена), бактерицидная. Пищеварительные ферменты входят в состав слюны, желудочного и кишечного сока.

В ротовой полости пища измельчается, формируется в пищевые комки, обволакивается белковым веществом – муцином. Здесь анализируются свойства пищи (плотность, консистенция, температура, вкусовые качества), начинается под действием ферментов расщепление углеводов. В слюне содержатся гидролитические ферменты: амилаза и мальтаза. Первая превращает полисахариды в дисахариды и активизирует деятельность второй, которая расщепляет дисахариды до моносахаридов.

В желудке имеются главные, обкладочные и добавочные железистые клетки, которые секретируют пищева-

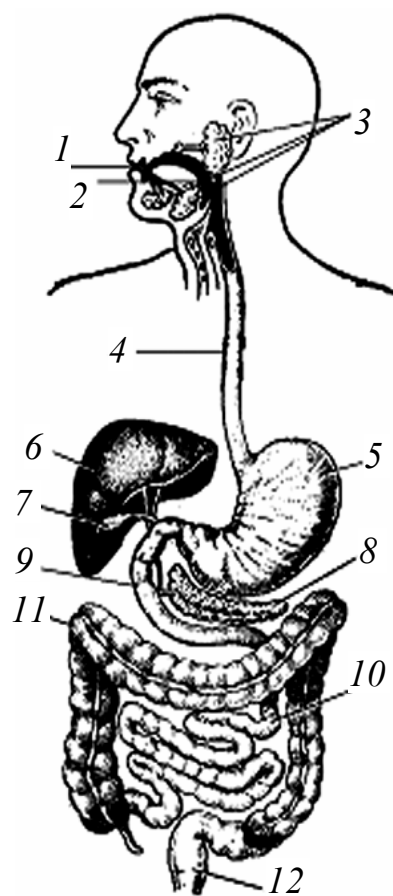


Рис. 29. Пищеварительная система:

- 1 – полость рта; 2 – глотка;
- 3 – слюнные железы; 4 – пищевод;
- 5 – желудок; 6 – печень;
- 7 – желчный пузырь;
- 8 – поджелудочная железа;
- 9 – двенадцатиперстная кишка;
- 10 – тонкая кишка; 11 – толстая кишка; 12 – прямая кишка

рительные ферменты, выделяют соляную кислоту и слизь. Благодаря маятникообразным сокращениям гладкой мускулатуры желудка пища перемешивается (образуется химус), за счет перистальтических сокращений пища перемещается к привратнику (место перехода пищи из желудка в двенадцатиперстную кишку). Ферменты желудочного сока пепсиноген и химозин расщепляют белки, липазы – эмульгированные жиры. Пепсиноген под действием соляной кислоты превращается в пепсин и расщепляет белки до полипептидов, химозин вызывает створаживание молока и превращение растворимого в воде белка казеиногена в нерастворимый – казеин. Различают три фазы секреции желудочного сока: сложно-рефлекторную («психическую»), желудочную (нейро-гуморальную), кишечную. Из желудка пища через привратник периодически поступает в двенадцатиперстную кишку. Открытие привратника происходит рефлекторно под действием соляной кислоты на слизистую оболочку пилорической части желудка.

Кислая среда перешедшего содержимого раздражает внутреннюю поверхность двенадцатиперстной кишки, в результате мышцы сфинктера привратника рефлекторно сокращаются и он закрывается.

В кишечнике процесс пищеварения продолжается под действием ферментов кишечного сока: пептазы, оказывающей переваривающее влияние на белки, энтерокиназы, активирующей трипсиноген поджелудочного сока, и липазы, расщепляющей эмульгированные жиры.

Желчь, содержащаяся в желчном пузыре и вырабатываемая печенью, усиливает активность ферментов поджелудочного и кишечного соков, участвует в эмульгировании жиров, их расщеплении и всасывании.

Гладкие мышцы в стенках пищевода, желудка и кишок, сокращаясь в одном месте и расслабляясь в другом, передвигают пищу в одном направлении – от ротовой полости к прямой кишке.

В толстом кишечнике интенсивно происходит всасывание жидкости, брожение углеводов, гниение остатков белков, синтез некоторых витаминов (группы В) и биологически активных веществ. Здесь формируются каловые массы. Их удаление происходит рефлекторно в результате растяжения прямой кишки и раздражения механорецепторов гладкой мускулатуры. При этом расслабляется сфинктер и открывается выход из прямой кишки. Благодаря перистальтическим сокращениям кал удаляется из организма.

Процесс всасывания заключается в переходе разного рода веществ во внутреннюю среду организма – кровь и лимфу. Всасывание происходит в основном за счет диффузии и осмоса, а также бла-

годаря специфичности стенок кишечника для проницаемости питательных веществ.

Субъективные ощущения, обусловленные пищевой потребностью организма, характеризуются чувством голода. В его основе лежит безусловный рефлекс, который находится под контролем коры больших полушарий головного мозга.

Жажда – субъективное ощущение потребности пить воду, которая объективно проявляется в поисках и приеме воды.

Чувство аппетита связано с активностью коркового звена пищевого центра, деятельность которого осуществляется на основе цепи условных рефлексов. В результате удовлетворения этого чувства возникает ощущение сытости.

Интенсивная физическая нагрузка значительно снижает кровоснабжение кишечника, замедляет процесс опорожнения желудка, незначительная может ускорять его.

11. ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ

Обмен веществ и энергии в природе происходит постоянно, при этом один вид энергии преобразуется в другой. Организм использует энергию энергетически богатых пищевых веществ и путем химических превращений преобразует ее преимущественно в тепло и, частично, в механическую энергию.

Процессы создания и распада живой материи называются *ассимиляцией* и *диссимиляцией*, их совокупность – *метаболизмом*. Различают внешний обмен, включающий поступление веществ и энергии в организм и выведение конечного продукта, и промежуточный – превращение одних веществ (в основном, углеводов, жиров, белков) в другие внутри организма с выделением энергии.

Обмен веществ. Наиболее доступным источником энергии являются *углеводы*, суточная потребность человека в них составляет 400–650 г. Углеводы осуществляют в организме ресинтез АТФ, принимают непосредственное участие в энергообмене (гликоген печени и мышц). При избыточном поступлении углеводов они превращаются в жирные кислоты и депонируются в виде жира. Углеводы – основной источник энергии для организма большинства спортсменов. Их вклад в образование энергии должен составлять не менее 50% калорий от общих энерготрат. У спортсменов, занимающихся видами спорта, требующими проявления выносливости, этот показатель должен быть еще выше – 55–65%. Содержание углеводов в печени и в скелетных мышцах ограничено; их достаточно для образования не более 2 000 ккал энергии. Запасы жира достаточны для образования более 70 000 ккал энергии.

Жиры выполняют множество важных функций в организме: являются неотъемлемым компонентом клеточных мембран и нервных волокон, а также основным источником энергии, обеспечивают организм до 70% энергии в состоянии покоя; окутывают основные органы тела; из холестерина образуются все стероидные гормоны; обеспечивают усвоение жирорастворенных витаминов и транспортируют их по всему организму; подкожный слой жира обеспечивает сохранение тепла в организме. Суточная потребность человека в жирах – 100–200 г, причем большая часть животного происхождения. Конечным продуктом обмена жиров является вода и углекислый газ. При физической работе потребность в жирах увеличивается. Значительное содержание жира отрицательно влияет на скорость, выносливость, координацию, подвижность и прыгучесть. Хотя жиры более энергоемки, чем углево-

ды, для их окисления требуется больше кислорода, чем для окисления углеводов. Доставка кислорода ограничена кислородтранспортной системой, поэтому предпочтительным источником энергии во время выполнения физического упражнения высокой интенсивности являются углеводы.

Белки выполняют следующие функции: пластическую, обменную, ферментативную, гормональную, обеспечения возникновения и распространения возбуждения, сократительную (мышечные белки актин и миозин), транспортную (перенос O_2 и CO_2 с помощью гемоглобина), свертывания крови, поддержания онкотического давления, буферную, защитную (с помощью антител), передачи наследственности и другие. Суточная потребность человека в белках – 110–160 г. Валовым итогом белкового обмена является азотистый баланс – соотношение количества азота, поступающего в организм с пищей и выделяющегося с мочой и потом. *Аминокислота* – наименьшая единица белков. Все белки должны расщепиться до аминокислот, чтобы организм мог их использовать. Наш организм способен синтезировать только заменимые аминокислоты. Незаменимые аминокислоты поступают в организм лишь с продуктами питания. Белки не являются главным источником энергии, но могут использоваться для ее образования. Энергетическая ценность углеводов и белков составляет на 1 г вещества – 4,1 ккал, жиров – 9,3 ккал.

Основной составной частью всех тканей и клеток организма является *вода*, обеспечивающая протекание всех биохимических процессов и осуществляющая в организме транспортную, теплообменную и другие функции. В организме молодого мужчины вода составляет около 60% общей массы тела, в организме женщины – 50%. Около 60–65% воды находится в клетках – внутриклеточная жидкость. Остальное количество находится вне клеток – внеклеточная жидкость. В нее входят тканевая жидкость, находящаяся вокруг клеток, плазма, лимфа и некоторые другие жидкости. Потеря 9–12% воды от общей массы тела может привести к смерти.

Минеральные вещества в организме включены в различные соединения, в том числе и с органическими веществами, они определяют осмотическое давление жидкостей, возбудимость клеток, активную реакцию внутренней среды, транспорт респираторных газов, входят в состав костной ткани, гормонов, ферментов и т. д. Регуляция потребности воды и минеральных веществ определяется чувством жажды и солевого аппетита, а выделение осуществляется в основном путем нервных и гуморальных влияний на почки и потовые железы.

Для поддержания нормальной жизнедеятельности, обеспечения роста и обмена веществ организму необходимы (в ничтожных количествах) *витамины*, специфические органические вещества, не относящиеся к углеводам, жирам и белкам. Они делятся на две группы: водорастворимые (группа В, С и Р) и жирорастворимые (А, D, Е, К и др.).

Обмен энергии. Внешний обмен включает учет поступления энергии и ее трат. Для измерения энерготрат существуют различные методы: расчетный (по таблицам); прямой калориметрии (измерение выделившегося тепла в термокамере); непрямой калориметрии (определение образовавшейся энергии по кислородному запросу). Кислородный запрос – количество кислорода, необходимое для поддержания жизнедеятельности в условиях покоя либо выполнения физической работы. Составной частью запроса является кислородный долг – его избыточное потребление сверх уровня покоя после прекращения работы. Различают алактатный компонент кислородного долга (ресинтез АТФ, восстановление оксигемоглобина) и лактатный (устранение накопившейся молочной кислоты и других продуктов обмена). При потреблении каждого литра кислорода, в зависимости от окисления углеводов, жиров или белков, выделяется эквивалентное количество энергии (калорический эквивалент), соответственно равные 5,05, 4,69 и 4,6 ккал. Преимущественное использование углеводов и жиров при определении энерготрат по кислородному запросу определяется дыхательным коэффициентом (ДК) – отношением количества выделившейся углекислоты к потребленному кислороду. При окислении глюкозы на каждую молекулу O_2 образуется молекула CO_2 , т. е. ДК = 1, при окислении жира ДК = 0,7.

Затраты энергии для поддержания жизнедеятельности организма на минимальном уровне определяют основной обмен (утром, натощак, в условиях покоя). Расход энергии у спортсменов с большой массой тела, ежедневно проводящих интенсивные тренировки, может превышать 10 000 ккал/день.

12. ВЫДЕЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Функции выделения в организме выполняют почки, легкие, железы желудочно-кишечного тракта, кожа, потовые, сальные, половые, молочные, слюнные, слезные железы, слизистая поверхность носовых ходов. Благодаря выделительной функции из организма удаляются конечные продукты обмена веществ (экскреты), поддерживается постоянство внутренней среды. Экскретами являются моча, пот, CO_2 , содержащее железо желудочно-кишечного тракта, кал, слюна, слезы, вода и т. д.

Почки являются главными органами выделения. Они удаляют из организма конечные продукты белкового обмена и инородные вещества; регулируют уровень содержания жидкости в организме, концентрацию солей; кислотно-основное состояние крови; образуют продукты, влияющие на тонус сосудов (ренин) и эритропоеза (эритропоэтин). Структурной и функциональной единицей почек является *нефрон* (рис. 30), включающий сосудистый клубочек с окружающей его капсулой, в которой происходит образование первичной мочи, и мочевые канальцы первого и второго порядков, соединенные между собой петлей Генле, берущие начало от капсулы и заканчивающиеся протокой в собирательную трубку. В результате реабсорбции первичной мочи из канальцев в окружающие их кровеносные сосуды образуется вторичная (или конечная) моча. В почках около 2 млн. нефронов, которые функционируют попеременно. Особенностью кровоснабжения почек является высокая объемная скорость кровотока, двойное разветвление артериол с образованием капиллярных сетей, а также относительно высокое давление в первом разветвлении – сосудистом клубочке. Благодаря последнему 1/10 часть проходящей крови фильтруется.

Реабсорбция осуществляется в результате создания разницы осмотического давления для всасывания глюкозы, натрия, калия, кальция и других веществ из первичной мочи. Отличием вторичной мочи от первичной является состав и объемное количество. Первичная моча

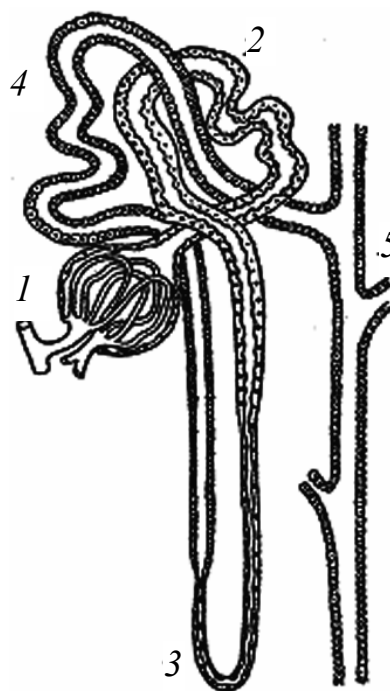


Рис. 30. Строение нефрона:
1 – сосудистый клубочек;
2 – извитой каналец первого порядка; 3 – петля Генле;
4 – извитой каналец второго порядка; 5 – собирательная трубка

по составу представляет собой отфильтрованную от белков плазму крови, вторичная лишена сахара, аминокислот, некоторых солей, но содержит в большой концентрации мочевины, мочевую кислоту, фосфаты и сульфаты.

В сутки образуется 150–170 л первичной мочи и 1,5–2 л конечной мочи.

Регуляция скорости образования и качества мочи осуществляется посредством нервной системы и гормонов. Объем жидкости, подлежащей удалению, определяется системой рефлексов, регулирующих скорость реабсорбции. Важнейшим из них является рефлекс, возникающий при возбуждении осморорецепторов. Ускоряют мочеобразование гормоны передней доли гипофиза (адренокортикотропный гормон), замедляют гормоны задней доли (вазопрессин). Гормон надпочечников – адреналин – при низких концентрациях увеличивает давление в сосудистом клубочке и усиливает диурез, при высоких – угнетает его. Минералкортикоиды повышают всасывание в кровь натрия, тироксин (гормон щитовидной железы) угнетает реабсорбцию и усиливает выделение жидкости из организма. Паратгормон паращитовидной железы повышает содержание в крови кальция и фосфора, в результате чего возрастает их выделение с мочой. Составные части мочи: *мочевина* – 2% (90% всего азота мочи), *мочевая кислота* – 0,5%, *аммиак* – 0,04%, *креатинин* – 0,075%, органические соединения небелкового происхождения – *молочная кислота, ацетоновые тела, пигменты, неорганические соли*. При заболеваниях и физической работе в моче появляются и другие вещества.

Образующаяся вторичная моча собирается в мочевой пузырь, который при этом растягивается. В результате происходит раздражение механорецепторов стенок, рефлекторное сокращение мышц стенок и одновременное расслабление сфинктера мочеиспускательного канала. Центры этих рефлексов, находящиеся в поясничном и крестцовом отделах мозга, подвержены регулирующему влиянию вышележащих отделов головного мозга.

Потовые железы разделяются на эккриновые, расположенные по всему телу и продуцирующие в основном разбавленный водный раствор натрия, мочевины, глюкозы и некоторых других веществ, и апокриновые, расположенные в подмышечной и лобковой областях и секретирующие жирное вещество, богатое органическими компонентами. Потовые железы находятся под контролем симпатического отдела вегетативной нервной системы. По отношению к крови пот является гипотоническим раствором (солей в нем меньше, чем в крови), поэтому организм с потом теряет больше воды, чем солей. При обильном потоотделении может наступить дегидратация организма и потеря солей.

13. ТЕПЛООБМЕН И ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ

Теплообмен – совокупность процессов теплообразования и теплоотдачи, обеспечивающих поддержание постоянства температуры тела в определенных пределах. Животные, у которых температура тела пассивно следует за изменениями температуры окружающей среды, называются пойкилотерными, а те, у которых она поддерживается в довольно узких пределах при значительных колебаниях внешней температуры, – гомойтерными (теплокровными). Теплообразование обусловлено химическими процессами, происходящими при окислении пищевых веществ и других реакций тканевого метаболизма. При окислении разных веществ образуется неодинаковое количество тепла. Температура тела постоянна и колеблется в пределах 0,5–0,7°C. Процесс теплообразования называют *химической*, а теплоотдачи – *физической терморегуляцией* (рис. 31).

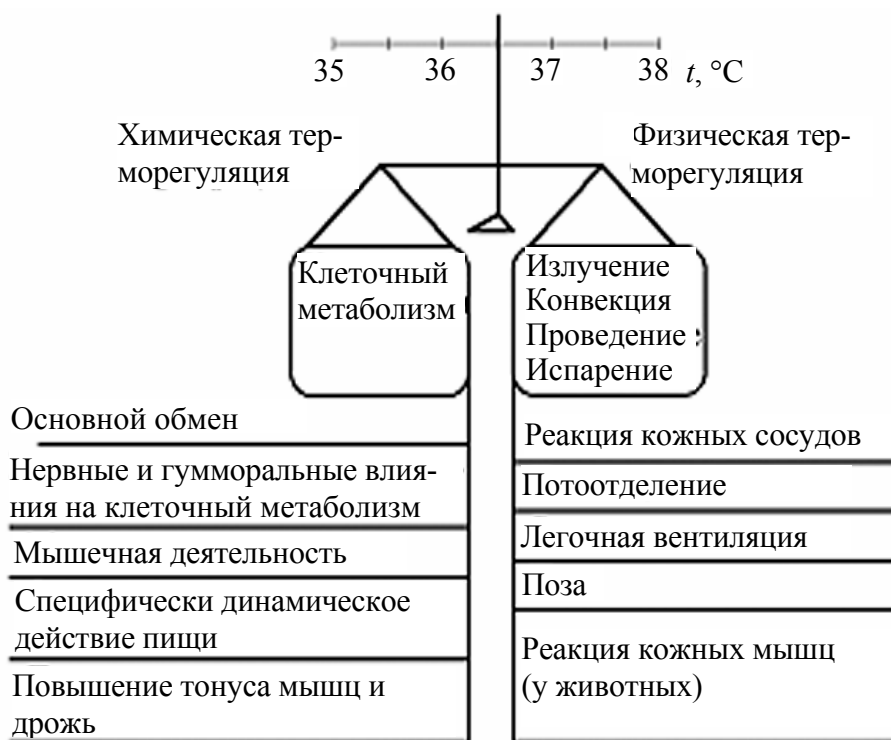


Рис. 31. Соотношение механизмов физической и химической терморегуляций в поддержании температуры тела

Механизмом химической терморегуляции является окисление пищевых веществ. Физическая терморегуляция осуществляется тремя механизмами: проведением тепла (от предмета к предмету или веществу при соприкосновении), радиацией (на расстоянии фотонами тепла),

испарением (при потоотделении в результате удаления тепла с поверхности тела в процессе преобразования жидкости в газообразное состояние). Неощущаемая потеря тепла через кожу и легкие при испарении выделяющейся влаги называется неощущаемой перспирацией, потеря тепла с потом – ощущаемой перспирацией. Пот должен испаряться, чтобы обеспечить охлаждение тела. Без потоиспарения охлаждение тела при потоотделении не происходит. Химическая терморегуляция обеспечивается на постоянном уровне при внешней температуре 15–25°C (зона безразличия). При ее снижении теплообразование усиливается, предохраняя организм от переохлаждения, при повышении – уменьшается, предохраняя от перегревания. При температуре выше 36°C химическая регуляция нарушается и теплопродукция неуклонно возрастает (рис. 32).

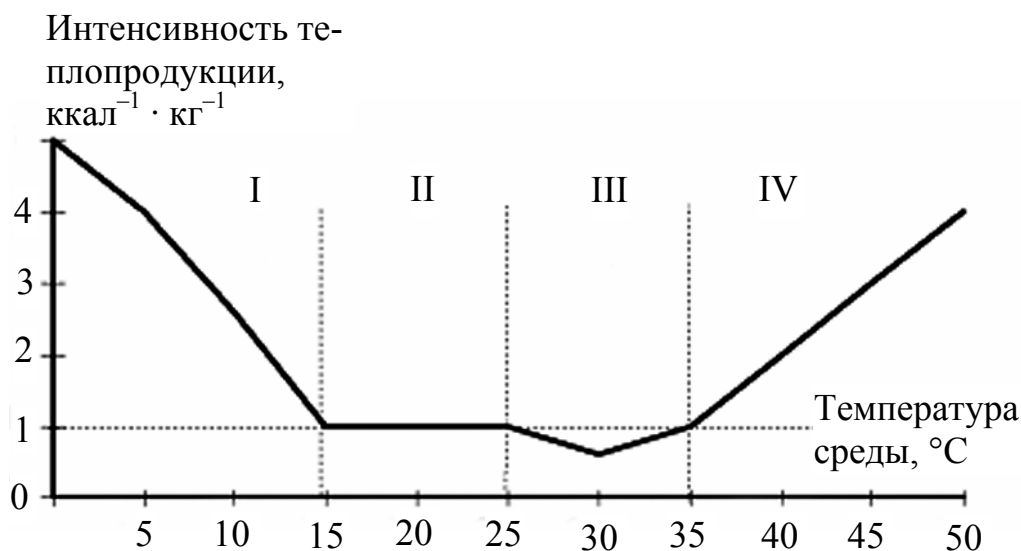


Рис. 32. Интенсивность теплопродукции в зависимости от температуры среды: I – нижняя зона повышенного обмена; II – зона безразличия; III – зона пониженного обмена; IV – верхняя зона повышенного обмена.

Повышение интенсивности теплообразования при понижении внешней температуры достигается эффективней в результате мышечной работы. Если она отсутствует, то наступает непроизвольное дрожание, сопровождающееся усилением теплообразования. При физической нагрузке теплопродукция может возрастать в 20 и более раз, при этом температура внутри тела повышается до 39–40°C, а температура кожи в результате потоиспарения может снижаться на 1–2°C. При выполнении физической нагрузки главным механизмом, осуществляющим теплоотдачу, является испарение, особенно если температура окружающей среды приближается к температуре тела.

Регуляция теплообмена осуществляется рефлекторно путем изменения тонуса сосудов, интенсивности метаболизма, попеременного сокращения мышц-антагонистов (дрожание), потоотделения. Изменение температуры тела воспринимают два типа терморецепторов – центральные и периферические. Центральные рецепторы находятся в гипоталамусе и контролируют температуру крови, омывающей мозг. Они очень чувствительны к малейшим (до $0,01^{\circ}\text{C}$) изменениям температуры крови. Изменение температуры крови, проходящей через гипоталамус, приводит в действие рефлексы, которые в зависимости от потребности либо сохраняют, либо отдают тепло. Периферические рецепторы, расположенные по всей поверхности кожи, осуществляют контроль за окружающей температурой. Они направляют информацию в гипоталамус, а также в кору головного мозга.

Передача тепла внутри тела происходит путем проведения и конвекции, что более эффективно и обеспечивается, в основном, циркуляторной системой. Условно различают температурное ядро тела, которое включает органы, расположенные внутри тела: сердце, легкие, головной мозг, органы брюшной полости, глубокие мышцы конечностей. Ядро окружено слоем поверхностно расположенных тканей тела и кожей (температурная оболочка тела).

14. ЭНДОКРИННАЯ СИСТЕМА

Эндокринная система представлена железами внутренней секреции, которые продуцируют в кровь вещества высокой биологической активности – *гормоны*, вызывающие специфические изменения обмена веществ, функции, структуры органов и тканей или организма в целом. Общим для желез внутренней секреции является то, что они не имеют протоков, а секрет поступает непосредственно в омывающую их кровь.

Физиологическая роль желез внутренней секреции заключается в обеспечении гуморальной регуляции физиологических функций. Гормоны желез внутренней секреции не влияют на химические процессы в бесклеточной среде, а регулируют процессы, происходящие в клетках и структурах организма. К специфическим свойствам гормонов относятся: избирательность и специфичность действия, способность проникать через стенки капилляров и мембран, непродолжительность существования, отсутствие у большинства гормонов видовой специфичности. Гормоны делятся на стероидные и нестероидные. Стероидные гормоны липидорастворимые и большинство их них образуется из холестерина. Нестероидные гормоны – белки, пептиды, аминокислоты. Экскретируя в кровь и циркулируя по организму, гормоны воздействуют только на клетки-мишени. Их действие по принципу «замок – ключ» заключается в связывании их специфичными рецепторами, содержащимися только в тканях-мишенях. Стероидные гормоны проходят через клеточную оболочку и связываются с рецепторами, находящимися внутри клетки, они вызывают белковый синтез. Нестероидные гормоны связываются с рецепторами, находящимися на оболочке, вызывая многочисленные клеточные процессы.

К железам внутренней секреции относятся: гипоталамус, гипофиз, эпифиз, надпочечники, щитовидная, паращитовидные, вилочковая, поджелудочная и половые железы (рис. 33).

Регуляция желез внутренней секреции осуществляется следующим образом. При изменении состояния физиологических процессов информация посредством рецепторов в органах и тканях или путем изменения концентрации веществ в крови поступает к нервным клеткам промежуточного мозга (гипоталамуса). По нервным каналам или с помощью биологически активных веществ стимулируется образование некоторых гормонов гипофиза, которые осуществляют основную регуляцию большинства желез внутренней секреции, частичная регуляция деятельности которых может осуществляться и местными механизмами.

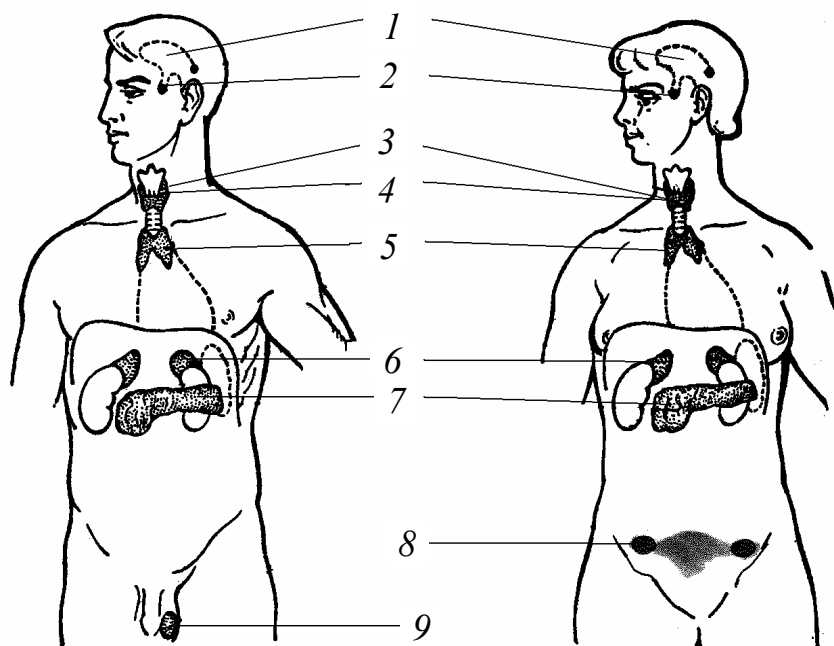


Рис. 33. Железы внутренней секреции и их гормоны:

1 – гипоталамус: релизинг-гормоны; 2 – гипофиз: кортикотропин, соматотропин, тиреотропин, пролактин, меланлтропин, вазопрессин, окситоцин; 3 – щитовидная железа: тироксин, трийодтиронин, тиреокальцитонин; 4 – паращитовидная железа: паратирин; 5 – вилочковая железа; 6 – надпочечники: альдостерон, кортизол, кортикостерон, андрогены, эстрогены, прогестерон, адреналин, норадреналин; 7 – поджелудочная железа: инсулин, глюкагон; 8 – яичники: эстрогены, прогестерон, андрогены; 9 – яички: андрогены, эстрогены

Гипофиз, расположенный в турецком седле мозга и осуществляющий влияние на функции других желез, является центральной железой внутренней секреции. Его передняя доля регулирует рост (гормон соматотропин), выработку молока молочными железами (пролактин), стимулирует функцию половых желез, контролирует выделение гормонов щитовидной железы (тиреотропин), усиливает деятельность надпочечников (адренокортикотропный гормон), влияет на функцию поджелудочной железы (интермедин). Задняя доля регулирует содержание воды (угнетает мочеобразование) и повышает кровяное давление (вазопрессин), стимулирует сокращение гладкой мускулатуры матки в конце беременности (окситоцин).

Эпифиз секретирует гормон мелатонин, который у млекопитающих действует на половые железы – задерживает половое развитие у неполовозрелых самцов, а у взрослых самок вызывает уменьшение размера яичников и торможение циклов. Эпифиз изменяет свою деятельность в соответствии с суточными циклами.

Щитовидная железа (20–25 г) – наиболее крупная из желез внутренней секреции. Главное ее регулирующее воздействие направлено на интенсивность окислительных процессов и терморегуляцию, в молодом возрасте – на общее развитие и рост. Основные гормоны – тироксин и трийодтиронин – усиливают расходование питательных веществ и протеолитических процессов. Источниками образования этих гормонов является тирозин и йод. Гиперфункция щитовидной железы (гипертиреоз) приводит к развитию Базедовой болезни. Паращитовидных желез четыре и они вплотную прилегают к щитовидной. Выделяют паратгормон, регулирующий содержание кальция в крови и выведение фосфатов почками. Вилочковая железа (тимус) вырабатывает гормон тимозин, участвующий в иммунологических реакциях и задерживающий половое созревание. В тимусе вырабатываются Т-лимфоциты. Поджелудочная железа содержит около 1% массы эндокринной ткани, которая представляет собой островки Лангерганса и содержит альфа-, бета- (75%) и гамма-клетки. Бета-клетки выделяют гормон инсулин, повышающий проницаемость клеток для глюкозы в 20 раз. При его отсутствии развивается гипергликемия (повышенное содержание глюкозы в крови) – сахарный диабет. Альфа-клетки выделяют глюкагон – антагонист инсулина, быстро разрушающийся в крови. В экстрактах железы имеются еще гормоны: ваготонин, усиливающий активность парасимпатической нервной системы; центропнеин, расширяющий просвет бронхов, повышающий сродство гемоглобина к кислороду; липокаин, стимулирующий окисление жирных кислот в печени.

Надпочечники расположены на верхнем полюсе почек и состоят из двух слоев: наружного – коркового и внутреннего – мозгового. Мозговое вещество выделяет гормоны адреналин и норадреналин. Первый учащает пульс, повышает артериальное давление, работоспособность скелетных мышц, угнетает деятельность желудочно-кишечного тракта, суживает артериолы кожи; второй действует подобно адреналину, но при регуляции частоты пульса и расслаблении беременной матки он оказывает противоположное влияние. Кора надпочечников продуцирует более сорока гормонов, объединенных по направленности действия в три группы: а) регулирующие минеральный обмен – минералкортикоиды (альдостерон, кортикостерон, дезоксикортикостерон); б) регулирующие углеводный, белковый и жировой обмен – глюкокортикоиды (кортизон, гидрокортизон, кортикостерон); в) влияющие на развитие половых органов – гонадокортикоиды (андрогены, эстрогены). Минералкортикоиды поддерживают равновесие электролитов во внеклеточной жидкости, особенно натрия и калия,

глюкокортикоиды позволяют адаптироваться к внешним изменениям и стрессам, гонадокортикоиды соответствуют тем гормонам, которые выделяют органы воспроизведения. Воздействие их на организм взрослых людей незначительно.

Половые железы, кроме образования половых клеток (сперматозоидов и яйцеклеток), секретируют в кровь половые гормоны – мужские – андрогены (тестостерон, эпистестостерон, андростерон) и женские – эстрогены (эстрон, эстриол, эстрадиол, прогестерон). Их роль заключается в обеспечении половых функций и развитии характерных отличий мужского и женского организмов. Они влияют на все виды обмена, участвуют в синтезе белков, у женщин, в частности, обеспечивают нормальное протекание беременности и подготовку организма к кормлению новорожденного.

У женщин активность половых желез зависит от фаз овариально-менструального цикла: предовуляционная – увеличение фолликул в яичнике, выделение эстрогенов, координация сокращения труб и матки, синтез белков; овуляционная – разрыв фолликула, поступление яйцеклетки в просвет яйцевода, образование из его остатков желтого тела, продуцирующего гормон прогестерон, подготавливающий слизистую оболочку матки к развитию плода и тормозящий овуляцию; послеовуляционная фаза (если оплодотворение не произошло) – желтое тело дегенерирует, отторгается слизистая оболочка с развитием менструального кровотечения; фаза межовуляционного покоя, в течение которой происходит быстрая регенерация оболочки.

Стресс. Состояние организма в процессе разворачивания механизма общей адаптации, мобилизации энергетических и пластических ресурсов при различных раздражающих воздействиях на него называется стрессом. Мобилизация энергетических ресурсов обеспечивается в основном симпатoadренальной системой, а пластического резерва – гормонами коры надпочечников. Усиленная секреция гормонов повышает устойчивость к действию различных стрессоров (рис. 34).

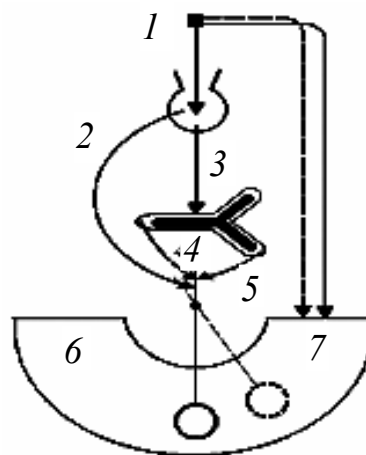


Рис. 34. Реакция «стресс»:
 1 – агент; 2 – соматотропный гормон;
 3 – аденокортикотропный гормон;
 4 – минералокортикоиды;
 5 – глюкокортикоиды; 6 – опасность
 воспаления, нефросклероза,
 гипертонии и т. д.; 7 – опасность
 инфекции, некроза, катаболизма и т. д.

Совокупность последовательных изменений в организме при стрессе называют общим адаптационным синдромом.

Сначала возникает *стадия тревоги*, после повторных воздействий – *стадия устойчивости*, при частых и чрезмерных воздействиях – *стадия истощения* (сопротивляемость организма при этом снижается).

Чрезмерно длительное и значительное стрессорное воздействие может стать причиной уменьшения резерва гликогена, снижения резистентности органов к гипоксии, возникновения различных повреждений, таких как язвы слизистой оболочки желудка, некроз миокарда, нарушение мозгового кровообращения.

Короткие же и не слишком интенсивные стрессорные ситуации могут обеспечивать мобилизацию резервов организма и повышение его резистентности к различным факторам.

Многократное повторение подобных ситуаций – адаптация к ним – существенно повышает резистентность организма к тяжелым и длительным стрессорным воздействиям, предупреждая таким образом стрессорные повреждения, являясь основой повышения функциональных резервов организма человека.

Предварительная адаптация к коротким стрессорным воздействиям обладает достоверным защитным эффектом к длительному стрессу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бернштейн, Н. А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности / Н. А. Бернштейн. – М.: Медицина, 1966. – 349 с.
2. Гандельсман, А. Б. Физиологические основы методики спортивной тренировки / А. Б. Гандельсман, К. М. Смирнов. – М.: ФиС, 1970. – 232 с.
3. Давиденко, Д. Н. Биологические основы физической культуры и спорта: учеб. пособие / Д. Н. Давиденко, В. А. Пасичниченко. – СПб.; Минск: СПбГПУ, 2008. – 102 с.
4. Дембо, А. Г. Спортивная кардиология / А. Г. Дембо, Э. В. Земцовский. – Л.: Медицина, 1989. – 463 с.
5. Меерсон, Ф. З. Адаптация сердца к нагрузке и сердечная недостаточность / Ф. З. Меерсон. – М.: Наука, 1975. – 258 с.
6. Научные основы физической культуры и здорового образа жизни: учеб. пособие / В. Ю. Волков [и др.]; под общ. ред. Д. Н. Давиденко. – СПб.: СПбГТУ, 2001. – 348 с.
7. Петленко, В. П. Этюды валеологии: здоровье как человеческая ценность / В. П. Петленко, Д. Н. Давиденко. – СПб.: Балтийская педагогическая академия, 1998. – 120 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Основные свойства живой ткани	4
2. Двигательный аппарат	10
3. Нервная система.....	18
4. Высшая нервная деятельность	23
5. Сенсорные системы	28
6. Произвольные движения	35
7. Кровь.....	38
8. Кровообращение.....	42
9. Дыхание.....	47
10. Пищеварение.....	51
11. Обмен веществ и энергии.....	54
12. Выделительная система.....	57
13. Теплообмен и терморегуляция	59
14. Эндокринная система	62
Литература	67

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ОРГАНИЗМА**

Составители: **Пасичниченко** Владимир Алексеевич
Давиденко Дмитрий Николаевич

Редактор *О. П. Соломевич*
Компьютерная верстка *О. Ю. Шантарович*

Подписано в печать 17.02.2009. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 4,1. Уч.-изд. л. 4,2.
Тираж 100 экз. Заказ .

Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220006. Минск, Свердлова, 13а.
ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220006. Минск, Свердлова, 13.
ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.