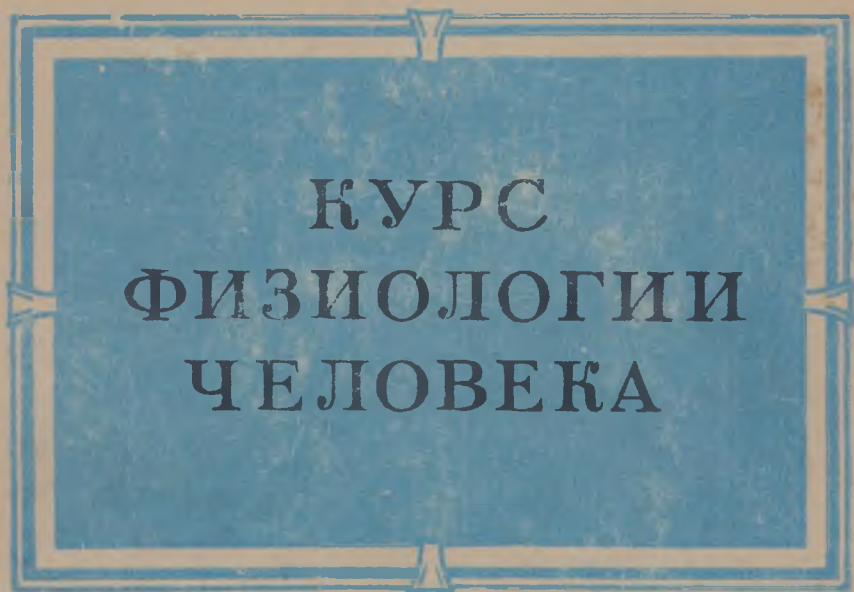


4510.2
Ф255

В. С. ФАРФЕЛЬ



КУРС
ФИЗИОЛОГИИ
ЧЕЛОВЕКА

• ФИЗКУЛЬТУРА И СПОРТ •
1948

В. С. ФАРФЕЛЬ,
доктор биологических наук

Читальна зала
ЛДІФК 21

4510.2

Ф255

КУРС ФИЗИОЛОГИИ ЧЕЛОВЕКА

2-е переработанное издание

Одобрено
Всесоюзным Комитетом
по делам физической культуры и спорта
при Совете Министров СССР
в качестве учебного пособия
для техникумов физической культуры

200734

БІБЛІОТЕКА
Львівського державного
інституту фізичної
культури



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО «ФИЗКУЛЬТУРА И СПОРТ»

Москва

1948

Предисловие ко второму изданию

По сравнению с первым изданием книга подверглась существенной переработке; некоторые главы выпущены, другие добавлены или дополнены, несколько изменен план книги, заменена часть рисунков. Для лучшего усвоения материала учащимися техникумов обращено внимание на более доступную форму изложения и на разъяснение некоторых физических и химических понятий, необходимых для понимания физиологических явлений. В книге содержится в основном материал, соответствующий программе физиологии для техникумов физической культуры. Вместе с тем приведен и некоторый дополнительный материал, рассчитанный как на преподавателей курса, так и на учащихся, заинтересованных в расширении объема своих знаний. Этот дополнительный материал дан петитом.

Некоторые разделы книги отражают исследования автора и его сотрудников по физиологической лаборатории Центрального научно-исследовательского института физической культуры. Эти разделы представлены главным образом во второй части книги и относятся к систематизации движений, к связи между длительностью и мощностью работы, к характеристике силовых упражнений и др. Оригинальны также некоторые рисунки и схемы. Часть главы XI по центральной нервной системе и глава XVII об образовании двигательного навыка излагаются под углом зрения учения о построении движения, созданного проф. Н. А. Бернштейном.

В. ФАРФЕЛЬ.

Введение

Представим себе спортсмена, бегуна, стремительно мчащегося по дорожке стадиона. С невольным восхищением следим мы за удивительной согласованностью, точной соразмерностью, силой и быстротой его движений. У нас возникает вопрос: в чем секрет способности спортсмена преодолевать пространство с такой громадной скоростью? В чем лежит причина мышечных сокращений, вызывающих движения человеческого тела, и почему эти сокращения могут в одних случаях совершаться медленно, в других быстро? Какова связь мозга с мышцами? Как сознание бегуна, его воля к спортивной победе претворяются в быстрые движения и как происходит согласование этих движений? Нас интересует, откуда черпается энергия для сокращения мышц, какие химические и энергетические процессы совершаются в организме бегуна. Мы представляем себе, как часто бьется его сердце и как глубоко он дышит, т. е. мы подходим к вопросу о сущности дыхания и кровообращения и о том, какую роль они играют в движениях спортсмена. Наша мысль обращается к отдельным органам человеческого тела, к их связи друг с другом и их влиянию друг на друга; перед нашим умственным взором встает весь сложный и интересный человеческий организм и возникает стремление познать сущность деятельности организма и его отдельных частей. Короче говоря, мы обращаемся к физиологии человека.

Задача физического воспитания — всестороннее и гармоничное развитие человеческого организма. Человек должен быть сильным, ловким, быстрым в движениях, выносливым в работе, здоровым, стойким и закаленным. Педагог, посвятивший себя физическому воспитанию, не может решить этих задач, не зная строения и функций организма. Спортсмен сознательнее построит свою тренировку, если будет опираться на знание законов физиологии, если будет понимать, как воздействует мышечная работа на его органы, на системы органов, на организм в целом.

Мы подошли к вопросам физиологии на примере бега. В меньшей мере относятся они ко всем видам спорта, ко всему многообразию физических упражнений. Изучение физиологии — это не только средство удовлетворить свою любознательность; это —

средство приобрести основной фундамент знаний, без которых немислима деятельность работника, посвятившего себя задачам физической культуры.

* * *

Человеческое тело — организм многоклеточный.

При всем многообразии форм клеток тела имеется общность в строении каждой клетки: все они представляют собой протоплазму, окруженную оболочкой и содержащую одно или несколько ядер.

Точно так же при всем многообразии процессов, свойственных различным клеткам тела, существуют процессы, общие для всех клеток.

К таким процессам, свойственным любому живому веществу, относится процесс обмена веществ. Он заключается в том, что сложные вещества клетки распадаются на более простые и поступают в окружающую среду; наряду с этим происходит образование нового клеточного вещества из веществ окружающей среды. В этом обмене веществ между клетками и окружающей их средой участвуют процессы питания и выделения.

Важную роль в обмене веществ играет дыхание клеток. Оно заключается в том, что между клетками и окружающей их средой происходит обмен газов — кислорода и углекислого газа. При этом кислород поступает в клетки из окружающей среды (воздуха, жидкости), а углекислый газ — из клеток в окружающую среду. Поступивший в клетки кислород вступает в соединение с содержащимися в клетке химическими веществами, в результате чего происходит разложение этих веществ с образованием углекислого газа и воды. Такой процесс присоединения кислорода и образования вследствие этого углекислого газа и воды относится к окислительным процессам. Процессы окисления играют очень большую роль в жизни клеток животных и человека, потому что без окисления не может быть дыхания, а при длительном прекращении дыхания прекращается и жизнь животного.

Характерным для клеток процессом является также процесс возбуждения. Он состоит в том, что в клетке под влиянием каких-либо раздражений происходит усиление обмена веществ и проявляется специфическая для данной клетки деятельность. Например, мышца, находящаяся в покое, под влиянием раздражения электрическим током возбуждается и становится деятельной, т. е. напрягается и сокращается.

Наряду с общими свойствами клеток существуют и специфические свойства, характерные для различных групп клеток разного строения. Такие группы клеток, отличающиеся своим строением и обладающие только им присущими свойствами, называются тканями, например, мышечная, нервная, соединительная, эпи-

тканально-железистая ткани. Из этих тканей построены все органы тела; кожа, кости, мышцы, мозг, сердце, желудок, почки и др. Органы в свою очередь объединяются в системы органов: пищеварительную, дыхательную, кровеносную, нервную, выделительную и т. п. Каждая из этих систем играет определенную роль в организме или, иначе, выполняет определенную функцию.

Понятно, что организм не мог бы нормально существовать, если бы одна система органов функционировала независимо от другой; точно так же ни одна система органов не могла бы выполнять свою функцию, если бы составляющие ее органы действовали несогласованно. Неосуществима была бы и нормальная функция какого-либо органа, если бы не были взаимно увязаны функции тех тканей, из которых этот орган построен. Короче говоря, деятельность организма как целого возможна только при наличии взаимной согласованности в функционировании его систем, органов, тканей и клеток.

Такая взаимная согласованность образуется благодаря регуляции функций. Мы знаем два вида регуляции: гуморальную и нервную.

Гуморальная регуляция, т. е. регуляция посредством жидкости (от латинского слова «гумор» — жидкость), совершается благодаря крови. Кровь проникает во все ткани тела и несет различные химические вещества, вырабатываемые в одних органах и воздействующие на другие. Примером гуморальной регуляции может служить действие адреналина — вещества, вырабатываемого надпочечными железами. Это вещество, разносимое кровью по всему телу, изменяет деятельность самых различных органов. Оно вызывает учащение работы сердца, сужение многих сосудов, усиленное поступление сахара из печени в кровь, уменьшение движений кишечника, расширение зрачка и др.

Нервная регуляция, как это явствует из названия, осуществляется благодаря нервной системе; отростки нервных клеток проникают во все органы и обеспечивают их взаимную связь. В основе нервной регуляции лежит механизм рефлекса. Он заключается в том, что любое изменение в состоянии органа вызывает возбуждение в чувствующем нерве; это возбуждение передается в мозг, а оттуда уже распространяется на другие органы, вызывая соответствующее изменение их деятельности. Например, при движениях мышц происходит возбуждение оканчивающихся в них чувствующих нервов. Это возбуждение передается по нервам в центральную нервную систему — спинной и головной мозг, откуда направляется уже по другим нервам к сердцу, сосудам, дыхательным и другим органам, в результате чего деятельность этих органов изменяется в соответствии с изменением интенсивности работы мышц.

Благодаря рефлекторной функции нервной системы осуществляется и взаимодействие организма с внешним миром. Реакция организма на воздействия внешней среды совершается вследствие того, что эти воздействия воспринимаются сначала органами чувств, а возникающий в последних процесс нервного возбуждения передается через центральную нервную систему на другие органы. Например, запах или вид пищи воспринимается органами обоняния или зрения животного. Возникшее при этом возбуждение чувствующих нервов поступает сначала в мозг, а затем в органы движения и пищеварения, в результате чего происходит устремление животного к пище и усиленное образование пищеварительных соков. Действие болезненного раздражителя, приложенного к коже, вызывает отдергивание конечности опять-таки по принципу рефлекса. Этот раздражитель возбуждает оканчивающиеся в коже чувствующие нервы. По ним возбуждение передается в мозг, а из мозга к мышцам, вызывающим отдергивание конечности.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ГЛАВА I

ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ

Вещества, из которых построен организм, непрерывно расходуются, а на место их поступают новые. Сложные вещества разрушаются, распадаются на более простые. Этот процесс называется диссимиляцией. В свою очередь из более простых веществ происходит в организме создание сложных. Такой процесс называется ассимиляцией. Подобные превращения веществ, их непрерывное расходование и обновление, т. е. постоянное взаимодействие процессов диссимиляции и ассимиляции, называется обменом веществ.

Этот процесс свойственен только живым организмам; в мертвых телах обмена веществ не происходит.

Обмен веществ неразрывно связан с обменом энергии — с ее постоянным расходованием и накоплением. Например, расходование веществ связано с потерей той энергии, которая в этих веществах заключена. С другой стороны, накопление веществ в организме означает, естественно, и накопление содержащейся в этих веществах энергии. В организме происходит также превращение одних видов энергии в другие. Например, химическая энергия, заключенная в сложных веществах тела, в ходе распада этих веществ на более простые может превращаться (трансформироваться) в тепловую энергию или в механическую энергию. Последнее как раз и имеет место при совершении мышечной работы, при которой в организме происходит превращение заключенной в веществах мышц химической энергии в механическую. Когда организм находится в состоянии покоя, интенсивность процессов обмена мала, при работе же она тем больше, чем интенсивнее работа; никогда, однако, не бывает, чтобы в живом организме прекратился обмен веществ и энергии.

Для понимания того, как протекают процессы обмена в живом организме, имеет громадное значение закон сохранения материи, сформулированный впервые в XVIII в. Ломоносовым, и закон сохранения энергии, установленный в XIX в. Майером и Гельмгольцем. Эти законы говорят о том, что материя и энергия не могут ни исчезнуть, ни создаться из ничего. Законы сохранения материи и энергии являются абсолютными законами природы, которым подчиняется и организм человека.

ВЕС ТЕЛА

На примере веса тела мы можем видеть приложимость к человеку закона сохранения материи и энергии.

Если изо дня в день точно взвешивать все количество поступающих в организм веществ и количество веществ, выделяемых организмом, то можно убедиться в том, что разница между приходом и расходом точно соответствует изменениям веса тела.

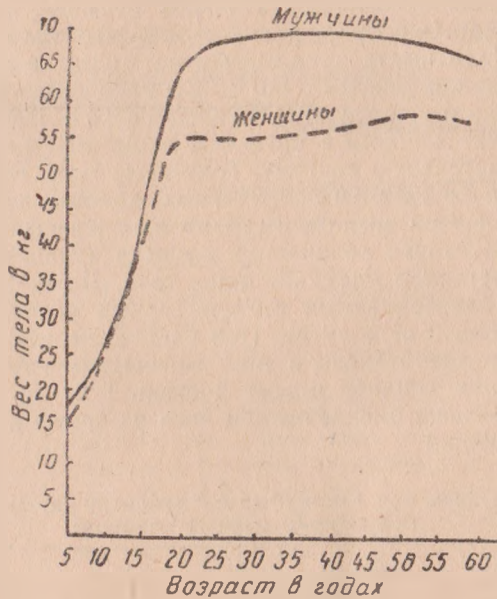


Рис. 1. Изменение веса тела с возрастом (средние данные по Кетле).

Нам пример опыта (Этуотер), который иллюстрирует баланс прихода и расхода веществ. Взвешивания, производившиеся в течение нескольких дней, показали, что в среднем за одни сутки испытуемый потерял 41 г. Средний приход веществ (пищи и воды) в сутки равнялся 2634 г. В то же время было выделено с калом 55 г, с мочой 1450 г и через легкие и кожу 1170 г, что в сумме составит 2675 г. Вычтя из этой величины расхода указанную выше величину прихода (2675—2634), получаем разность в 41 г, т. е. фактическую потерю веса.

Постоянство веса тела является следствием точного равенства прихода расходу, возрастание веса тела есть результат превышения прихода над расходом, и, наконец, уменьшение веса тела происходит в том случае, когда расход веществ больше, чем их поступление в организм.

Как показано на рис. 1, вес тела увеличивается с возрастом. Это увеличение, однако, происходит в среднем только до 20—

25-летнего возраста. Затем вес тела устанавливается примерно на постоянном уровне, сохраняющемся на протяжении многих лет. Следовательно, только у взрослого человека нормальным является точное соответствие между приходом и расходом веществ. Растущий же организм потребляет больше, чем расходует, и разница идет на построение тела, на увеличение его роста и веса.

В постоянстве веса взрослого организма мы убедимся лишь в том случае, если будем сличать измерения веса тела, производимые на протяжении больших отрезков времени. За короткое же время, например, на протяжении суток, вес тела может сильно колебаться. Надо иметь в виду, что потеря веса происходит за счет выделения веществ по четырем путям: через легкие, кожу, почки и кишечник. Восполнение же веса идет за счет поступления веществ в организм лишь по одному пути — через пищеварительную систему. Таким образом, восполнение веса совершается периодически — при приеме пищи и воды, в то время как потеря веса происходит непрерывно: через легкие и кожу некоторое количество веществ (главным образом вода и соли) постоянно покидает наше тело. Даже при полном покое и самых благоприятных температурных условиях эти потери составляют около 2 кг в сутки. При работе же эта величина возрастает весьма значительно и при физических упражнениях, требующих больших усилий, может достигать 1 кг за 1 час работы. В табл. 1 приведены цифры потери веса за время различных спортивных упражнений

Таблица 1

Потери веса при различных спортивных упражнениях
(по данным разных авторов)

Вид спорта	Средняя потеря веса (в г)	Вид спорта	Средняя потеря веса (в г)
Бег на 400 м	100	Плавание 400 м	200
То же 10 000 м	700	Езда на велосипеде 25 км	500
» » 15—30 км	1 000	То же 150 км	1 800
» » 42 км	1 500	Гребля 1,5 км	500
Марафон 30 км	3 000	То же 25 км	1 800
Бег на коньках 1 500 м	400	Футбол	1 000
То же 5 000 м	600	Регби	1 500
» » 10 000 м	700	Баскетбол	800
Ходьба на лыжах 5 км	500	Волейбол	400
То же 10 км	900	Хоккей	600
» » 20 км	1 200	Бокс	400
» » 50 км	2 700	Фехтование	400
» » 100 км	5 000		

Потери веса при физических упражнениях происходят главным образом за счет потерь воды через кожу и легкие и потому быстро восстанавливаются.

Знание веса своего тела и регулярное его измерение важно для спортсмена. При правильной тренировке вес тела взрослого спортсмена сохраняется примерно на одном и том же уровне. Если до тренировки вес больше обычного, то в первое время тренировки он снижается, а затем устанавливается на постоянном, нормальном уровне.

СОСТАВ ОРГАНИЗМА

В состав человеческого тела входят самые разнообразные химические элементы, из которых одни представлены в значительных количествах, другие же в виде ничтожных следов. Перечень этих элементов и их примерное соотношение в процентах к весу тела приведены в табл. 2.

Таблица 2

Элементарный состав организма

Элементы	Содержание в организме (в %)	Элементы	Содержание в организме (в ‰)
Кислород (O)	Около 65	Железо (Fe)	Около 0,004
Углерод (C)	» 18	Иод (I)	» 0,00004
Водород (H)	» 10	Медь (Cu)	В очень небольших количествах
Азот (N)	» 3	Марганец (Mn)	
Кальций (Ca)	» 1,5	Цинк (Zn)	
Фосфор (P)	» 1,0	Фтор (F)	
Калий (K)	» 0,35	Кремний (Si)	
Сера (S)	» 0,25	Бром (Br)	
Хлор (Cl)	» 0,15	Мышьяк (As)	
Натрий (Na)	» 0,15	Алюминий (Al)	
Магний (Mg)	» 0,05	Литий (Li)	

Для понимания процессов обмена веществ важны, однако, не сами элементы, а те химические соединения, которые из них образованы. Химические соединения организма делятся на две большие группы: органические соединения, т. е. животного и растительного происхождения, и неорганические.

В состав органических соединений нашего тела входит обязательно углерод, а также водород и кислород. Кроме того, в состав большей части органических соединений (белков и продуктов их распада) входят азот, сера и фосфор (последний присутствует также в жироподобных веществах и солях костей). Наконец, в соединении с белками крови в составе ее красящего вещества находится железо. Все перечисленные семь элементов образуют основные органические соединения нашего тела.

Неорганические соединения представлены главным образом в виде воды (водород и кислород) и солей; в тканевых жидко-

стях — соли натрия, в клетках — соли калия, в составе костей — соли кальция и магния; обильно представлен хлор, входящий главным образом в состав натриевой соли и соляной кислоты желудочного сока.

Неорганические соединения

Вода. Вода в человеческом теле содержится в большом количестве, ее вес составляет почти 70% веса тела.

Содержание воды в различных тканях и органах не одинаково. Больше ее в тканевых жидкостях (до 95% в лимфе и 99% в спинномозговой жидкости), в крови (около 80%), в мышцах (до 75%) и мало в костной и жировой тканях (20—30%).

Значение воды в организме исключительно велико. Вода является растворителем многочисленных химических соединений, и все химические реакции, сопровождающие обмен веществ, происходят в водном растворе. Не удивительно поэтому, что потери больших количеств воды губительны для организма. Опыты на животных показали, что при потере воды в размере примерно 10% от всего ее количества в теле происходят уже заметные расстройства, а при потере около 20% обычно наступает смерть животного.

Вода непрерывно покидает тело через легкие (выдыхаемый воздух насыщен водяными парами), через кожу (также в виде паров, постоянно отдаваемых всей поверхностью кожи, и в виде пота, выделяемого специальными потовыми железами) и периодически — с мочой и калом.

В состоянии покоя и при комнатной температуре человек теряет воды за сутки до 0,5 л через легкие, свыше 0,5 л через кожу, около 1,5 л с мочой и 0,05—0,1 л с калом. В итоге суточная потеря воды составляет в среднем около 2,5 л. Если же человек совершает большую мышечную работу, связанную с интенсивным дыханием и потением, то потери воды сильно возрастают. Из данных, представленных в табл. 1, видно, что эти потери могут достигать 5 л (или 5 000 г).

Понятно, что сохранение постоянства воды в теле возможно только в том случае, если убыль ее будет соответственно восполняться.

Нужно, однако, иметь в виду, что вода, помимо поступления ее извне с питьем и пищей, образуется также в самом организме. Это образование воды происходит непрерывно и связано с процессом окисления веществ в тканях тела. Количество воды, образовавшейся при окислении, различно, в зависимости от того, какие вещества окисляются, т. е. присоединяют кислород и распадаются с образованием углекислого газа и воды. Вычислено, что при окислении трех важнейших групп органических веществ — белков, жиров и углеводов — образуются следующие количества воды на 100 г вещества: при окислении белков — 41 г, углеводов — 55 г, жиров — 110 г. Общее количество образующейся в теле воды при питании смешанной пищей и в состоянии относительного покоя составляет в сутки около 400 г. Количество воды, образующейся в организме при окислении веществ, составляет, таким образом, лишь часть того количества ее, которое покидает тело. Таким образом, поступлению воды извне в количестве 2—2,5 л (или 2 000—2 500 г) в сутки (при покое организма) обязательно для сохранения водного баланса тела.

Соли. Соли содержатся как в клетках тканей, так и в окружающей клетки жидкой среде — лимфе и крови.

Мы встречаемся главным образом с солями натрия и калия в виде их хлористых (NaCl , KCl), двууглекислых (NaHCO_3 , KHCO_3) и отчасти фосфорнокислых (K_2HPO_4) соединений. Между солями калия и натрия, а также кальция (Ca) существует в организме определенное равновесие, нарушение которого вызывает ряд изменений в нормальной жизнедеятельности. Поэтому важно не только сохранение общего количества солей в организме, но и поддержание определенных соотношений между солями.

Соли покидают тело вместе с водой, в которой они растворены, т. е. с мочой и потом. В обычных условиях потери солей составляют 20—30 г в сутки. При обильном потении это количество значительно увеличивается.

Кроме того, различные перемещения воды в теле связаны с изменением содержания солей в органах. Поэтому нарушение водного равновесия связано с нарушением и солевого равновесия тела. Важно отметить, что сохранение воды в теле возможно лишь при поступлении в него достаточного количества солей. Если значительно уменьшить количество потребляемой соли, то это вызовет усиленную отдачу воды организмом; выведение воды превысит ее приход. Таким образом, при недостаточном питании солями или при усиленной потере их, не компенсируемой приемом соли с пищей, происходит обеднение организма не только солями, но и водой, т. е. нарушается водный и солевой баланс организма.

Поэтому рекомендуется увеличить потребление солей (до 0,5—1 л 0,5-процентного раствора поваренной соли в сутки) при совершении длительной, тяжелой работы, в особенности если она совершается в жаркие дни.

Органические соединения

Рассмотренные выше неорганические соединения необходимы для жизни организма, но самой жизнью организм обязан не им, а другому классу соединений — органическим соединениям. Именно они способны ассимилироваться организмом, и они являются источниками энергии, необходимой для жизни. Вода же и соли не могут дать организму пужной для его работы энергии; они лишь обеспечивают те необходимые условия, в которых возможно использование энергии органических соединений. Органические соединения, ассимилируемые организмом как энергетические вещества и как пластический материал (идущий на построение клеток тела), делятся на три большие группы: белки, углеводы и жиры.

Белки. «Жизнь — это форма существования белковых тел». Это определение Энгельса хорошо формулирует значение белков для жизнедеятельности организма. Протоплазма, из которой в основном состоят все клетки, построена преимущественно из белков. Белки — основной строительный (пластический) материал и важ-

ное энергетическое вещество клеток; белки представляют собой самое сложное из известных нам органических соединений.

Молекула белка имеет сравнительно с другими огромные размеры и состоит из нескольких тысяч атомов четырех ее главных элементов: углерода, кислорода, водорода и азота и меньшего количества атомов серы и фосфора. Приблизительное содержание этих элементов в белке следующее: углерода — 51—55%, кислорода — 20—24%, азота — 15—17%, водорода — около 7%, серы — 0,3—2%, фосфора — около 0,5%.

Белки содержатся во всех животных и растительных клетках. Строение белков, содержащихся в клетках различных тканей и различных видов животных, очень разнообразно. Путем постепенного расщепления белки можно разложить на более простые соединения, так называемые аминокислоты, из которых построены все белки. Из числа 22 обнаруженных к настоящему времени аминокислот каждая имеет отличное от другой строение, но каждая обязательно содержит четыре основных элемента: углерод, кислород, водород и азот, а некоторые также серу и фосфор.

Следует отметить, что некоторые растительные белки не содержат всех тех аминокислот, из которых построены белки нашего тела, и поэтому питание только этими неполноценными белками недостаточно. Белки же, которые входят в состав мяса, молока, яиц, все полноценные, потому что содержат все необходимые для нас аминокислоты. Это не значит, однако, что нашу потребность в белках следует покрывать исключительно животными белками. Необходимую сумму аминокислот можно получить и из растительных белков, но лишь в том случае, если растительная пища достаточно разнообразна.

Белки, принятые с пищей, расщепляются в пищеварительной системе до аминокислот. Последние всасываются из кишечника в кровь и разносятся по всему телу. В клетках тела из аминокислот вновь образуется белок, именно тот белок, который свойственен тканям человека. Таким образом, постоянно восполняется та убыль белка, которая происходит в результате непрерывного разрушения, распада его в наших клетках.

Распад белка в клетках — сложный процесс. Он приводит к образованию так называемых конечных продуктов белкового обмена, главнейшими из которых являются: вода, углекислый газ (CO_2), аммиак (NH_3) и мочевины [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$]. Вода и углекислый газ образуются также из углеводов и жиров, аммиак же, мочевины и ряд других содержащих азот веществ образуются только как продукты белкового обмена, потому что азот является обязательной составной частью только белков, но не содержится в углеводах и жирах. По этой причине образование в организме белков из жиров и углеводов невозможно; белки являются незаменимыми веществами.

В связи с тем, что количество азота в белках довольно постоянно и равно в среднем 16%, расчет количества распавшихся белковых

белков производится на основании определения количества азота, выделенного из организма с мочой, калом и потом. Например, если количество выделенного азота за сутки оказалось равным 16 г, то это означает, что за это же время в организме распалось 100 г белков.

Распад белка происходит в организме непрерывно в количестве не меньшем 30—50 г в сутки у взрослого человека. Ясно, что для покрытия белковых потерь тела необходимо потреблять ежедневно не меньше указанного количества белка. Оно определяет собой белковый минимум, при котором еще возможно сохранение постоянного количества белков в теле. Вследствие того, что количество поступившего и выделенного белка определяется по азоту пищи и выделений, постоянство содержания белков в организме называется азотистым равновесием. Например, азотистое равновесие может иметь место при выделении и поступлении с пищей 8 г азота. Это соответствует поступлению и распаду 50 г белка (как сказано, при распаде 100 г белка выделяется 16 г азота). При длительном потреблении меньших количеств белка равновесие уже не устанавливается, так как расход больше, чем приход, и белковая масса тела уменьшается. Но это не значит также, что нормальное потребление белка должно соответствовать точно белковому минимуму. Для нормального суточного потребления белка приняты более высокие цифры—не меньше 1 г белка на 1 кг веса тела взрослого организма. Для растущего же организма, у которого азотистый баланс должен быть положительным (вследствие увеличения белковой массы тела), а также для беременных и кормящих грудью женщин количество принимаемого с пищей белка должно быть увеличено. Величина белкового минимума для разных возрастов представлена в табл. 3.

Таблица 3

Величина белкового минимума	
Возраст	Количество белка на 1 кг веса тела в сутки (в г)
12—14 лет	2,5
15—17 »	2,0
18—20 »	1,5
21 г. и старше	1,0
Для беременных женщин	1,5
Для кормящих грудью	2,0

Понятно также, что у взрослого организма, если занятия спортом ведут к увеличению мышечной массы, потребление белка должно быть увеличено. Белковый минимум в этом случае может достигать 1,5 г белка на 1 кг веса тела. Статистика же показывает, что в условиях нормального питания среднее потребление белка составляет у взрослых 100—120 г в сутки. Это количество, следовательно, несколько выше белкового минимума.

Естественно может возникнуть вопрос, не будет ли происходить отложение запасного белка в теле, если сильно увеличить количество белков в пище. На этот вопрос опыты дают отрицательный ответ. При потреблении белков в количестве, превышающем их нормальный расход, избыток белка не откладывается в теле, а расходуется как энергетическое средство. Вследствие усиленного прихода белка соответственно усиливается и его расход, в результате чего азотистое равновесие остается прежним.

Важным является и другой вопрос: ведет ли усиленная мышечная деятельность к повышенному расходованию белков и не следует ли поэтому, что при мышечной работе для поддержания азотистого равновесия необходимо усиленное белковое питание? Ответ на этот вопрос также отрицателен. Многочисленными исследованиями показано, что убыль белков организма при мышечной работе практически не отличается от их убыли в покое. Поэтому большое добавление белков к пище при мышечной работе, если она не связана с увеличением мышечной массы, не является обязательным условием сохранения азотистого равновесия. Избыток принятых белков может быть использован как энергетическое вещество, подобно жирам и углеводам, но не как пластическое («строительное») вещество. Энергетическая же ценность белка примерно равна энергетической ценности углеводов: при окислении в организме 1 г белка освобождается несколько больше 4 больших калорий.

Углеводы. Строение углеводов значительно проще строения белков. В состав углеводов входят три элемента: углерод, водород и кислород.

Самые простые углеводы называются моносахаридами, т. е. состоящими из одной частицы сахара. К ним относятся, например, виноградный сахар — глюкоза и плодовый сахар — фруктоза, формула которых $C_6H_{12}O_6$. Углеводы, молекулы которых состоят из двух частиц сахара (с отнятием частицы воды), называются дисахаридами, $C_{12}H_{22}O_{11}$. К ним, например, принадлежит обычно употребляемый в пищу свекловичный сахар.

Наиболее же сложные углеводы, состоящие из многочисленных частиц сахара, называются полисахаридами, общая формула которых $(C_6H_{10}O_5)_n$. Представителями полисахаридов являются в растениях крахмал и клетчатка, а у животных — гликоген или, иначе, животный крахмал.

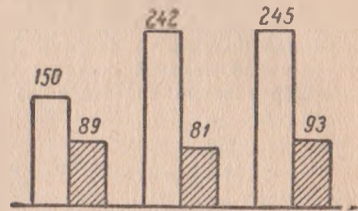
В организме человека углеводы содержатся главным образом в виде гликогена, общее количество которого составляет примерно 0,5% от веса тела. У человека весом 70 кг количество гликогена может, следовательно, составлять 300—400 г. Больше половины этого количества находится в печени, представляющей собой главное депо углеводов организма. Остальная часть углеводов содержится преимущественно в мышцах. В крови углеводы представлены главным образом в виде глюкозы, содержание которой в крови составляет в норме около 0,1%.

Углеводы представляют собой весьма ценный источник энергии для мышечной работы. О том, какую роль в длительном совершении работы играют запасы углеводов, свидетельствуют опыты, поставленные на трех хорошо тренированных подопытных. Испытуемые совершали работу на велоэргометре (см. ниже, стр. 28), причем старались работать в закатанном темпе как можно дольше. Одна серия опытов совершалась после нескольких дней пребывания на углеводной диете, другая—после жировой диеты, бедной углеводами. Как показывает рис. 2, при углеводной диете испытуемые могли совершить гораздо более длительную работу, чем при жировой диете. В первом случае они были в состоянии перасходовать на работу больше углеводов, чем во втором.

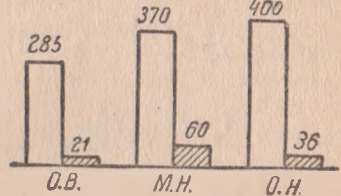
Использование энергии углеводов, их распад и окисление происходит в мышцах. Каждый грамм углеводов при этом освобождает 4,1 больших калорий. Запасы углеводов в мышцах не велики, и с самого начала своей работы мышцы начинают потреблять сахар из крови. Это, однако, не вызывает значительного понижения уровня сахара в крови, потому что тотчас начинается его поступление в кровь из печени. Основным поставщиком сахара для мышц и других органов, как уже упоминалось, является печень. В свою очередь печень пополняет свои запасы углеводов из крови, притекающей к ней из кишечника, в котором перевариваются (расщепляются до моносахаридов) углеводы, принятые с пищей. Понятно, что при отсутствии в пище углеводов печень уже не может описанным путем пополнять свои запасы гликогена. Углеводы, возможно, образуются в организме и из белков и жиров, однако это происходит значительно сложнее и медленнее и не в таких количествах, как при питании углеводами.

Если напряженная мышечная работа совершается долго и во время ее не происходит питания углеводами (сахаром), то запасы гликогена в печени начинают истощаться, и сахар поступает в кровь уже в меньшем количестве, чем то количество сахара, которое потребляется из крови мышцами. В результате уровень сахара в крови понижается. На рис. 3 приведен такой случай, зарегистрированный при ходьбе на лыжах на 35 км натошак. Как видно на рисунке, понижение уровня сахара в крови свидетель-

Продолжительность работы в мин.



Расход углеводов в г



Испытуемые

Углеводная диета
Жировая диета

Рис. 2. Влияние жирового и углеводного питания на работоспособность и расход углеводов (по данным Бейе).

ствует об истощении углеводных запасов тела, что и заставило в данном случае лыжника прекратить дальнейшую работу.

Отложение гликогена в печени и доступление его в виде сахара в кровь регулируются рядом факторов. Синтез гликогена в печени из моносахаридов, приносимых к ней кровью из кишечника, происходит под влиянием инсулина — вещества, вырабатываемого поджелудочной железой и поступающего из нее в кровь. При недостатке инсулина (например, при заболевании поджелудочной железы) сахар не удерживается в организме и выводится с мочой (сахарная болезнь — диабет). Выработка инсулина в свою очередь зависит от вегетативной нервной системы (ее так называемого парасимпатического отдела). Образование гликогена из несахарных источников (белков, жиров) со-

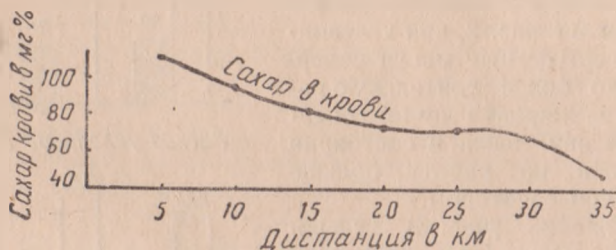


Рис. 3. Изменение уровня сахара в крови во время лыжного бега на 35 км (по Лившиц).

вершается под воздействием другого вещества — корти́на, вырабатываемого корковым слоем надпочечных желез.

Расщепление гликогена до глюкозы и поступление ее в кровь происходит под влиянием вещества, вырабатываемого мозговым слоем надпочечных желез, — адреналина. Последний усиленно поступает в кровь под влиянием симпатической нервной системы, возбуждающейся при работе и различных эмоциональных состояниях: гнева, радости, страхе, волнении на старте и т. п. Упомянутые вещества влияют также на использование углеводов мышцами.

Все сказанное свидетельствует о том, что регуляция углеводного обмена обусловливается влияниями нервной системы и действием химических веществ, приносимых кровью, т. е. происходит нервная и гуморальная регуляция, о чем упоминалось выше. Регуляция углеводного обмена влияет на успешность совершения мышечной работы. Если регуляция несовершенна, что наблюдается у нетренированных людей, то даже при кратковременной работе (например, при беге на 400 м) происходит резкое снижение уровня сахара в крови вследствие того, что он не поступает из печени в достаточном количестве. Постепенная тренировка приводит к тому, что это явление исчезает и мобилизация углеводов печени увеличивается до нужной степени.

Большую роль в регуляции углеводного обмена играют витамины (см. стр. 20).

Жиры. В состав жиров входят три элемента: углерод, водород и кислород, т. е. те же, из которых состоят и углеводы. Однако строение жира сложнее строения простейших углеводов; молекулы жира содержат многие десятки атомов углерода и водорода, например, $C_{55}H_{104}O_6$.

Жиры представляют собой соединения глицерина ($C_3H_5O_3$) с жирными кислотами: олеиновой, пальмитиновой и стеариновой, которые различаются по своим физическим свойствам, в частности по температуре плавления. Например, жир, в состав которого входит стеариновая кислота, плавится при $72^\circ C$, пальмитиновая — при $62^\circ C$, олеиновая (например, растительные масла) — 0° . Человеческий жир содержит преимущественно пальмитиновую и олеиновую кислоты, его точка плавления — около $30^\circ C$.

Значение жира для организма многосторонне. В основном оно сводится к следующему:

1) жир является важным источником энергии. 1 г жира освобождает при окислении в организме свыше 9 больших калорий, т. е. значительно большее количество энергии, чем может освободить 1 г белка или углеводов. Откладываясь в организме в больших количествах, жир образует громадные запасы энергии;

2) жир является плохим проводником тепла. Отложенный в подкожных тканях, он предохраняет тело от сильных теплопотерь;

3) жировая ткань обладает упругостью и этим обеспечивает защиту покрываемых ею тканей от механических воздействий. Так, например, амортизирующее значение имеет отложение жировой ткани под кожей в тех местах, где производится наибольшее механическое давление (подошвы ног, ладонные поверхности кистей). Жировые подкладки и подвески у внутренних органов выполняют рессорную защитную функцию, предохраняя органы от резких смещений при ударах и сотрясениях;

4) жировые выделения сальных желез на поверхность кожи предохраняют ее от высыхания и растрескивания, а также от смачивания, пропитывания, набухания (мацерации) при соприкосновении с водой. Чтобы еще больше предохранить кожу от мацерации, пловцы, отправляясь в дальние заплывы, дополнительно покрывают кожу жиром.

Использование энергии жира при мышечной работе происходит в мышцах. При окислении жира образуются углекислый газ и вода.

В процессе распада жира в тканях образуется ряд промежуточных продуктов, к которым относятся, в частности, так называемые кетонные (ацетоновые) тела: оксимасляная, ацетоуксусная кислоты и ацетон. При недостаточном окислении углеводов происходит накопление этих веществ, что ведет к снижению падением работоспособности организма. Если же запасы углеводов достаточны, то наряду с потреблением углеводов окисление жиров происходит до конечных продуктов — углекислого газа и воды и накопление продуктов неполного окисления жиров — кетонных тел — не происходит.

Образование жира в теле происходит не только из жиров, принятых с пищей, но и из углеводов. Известно, как способствует ожирению обильное углеводное питание лиц, которые склонны к ожирению. Белковое питание не ведет к значительному отложению жира в теле.

Липоиды Кроме белков, жиров и углеводов, в организме имеются и другие сложные органические соединения, являющиеся важными составными

частями клеток и играющие большую роль в нормальной деятельности тканей. К числу таких соединений относятся липоиды. Последние называются также жироподобными веществами благодаря сходству многих их физических свойств с физическими свойствами жиров. Но по своему химическому строению и по физиологическим свойствам липоиды не подобны жирам. Значение липоидов для организма многогранно. Они являются обязательной составной частью клеток, образуя наряду с белками их остов, главным же образом они входят в состав клеточных оболочек. Они играют большую роль в обмене веществ, в частности, в обмене жиров и углеводов. Липоиды образуются в тканях из веществ белкового, жирового и углеводного происхождения. Поэтому поступление липоидов с пищей для их образования в организме не необходимо.

Ферменты. Превращения белков, жиров и углеводов представляют собой сложные химические реакции, для быстрого протекания которых вне организма, в искусственных условиях, требовалось бы дополнительное воздействие ряда факторов: высокой температуры, сильных кислот и щелочей и т. п. Между тем в организме химические реакции протекают подчас с очень большой скоростью при постоянной, сравнительно невысокой температуре (37°C) и при сравнительно небольших отклонениях реакции среды от нейтральной. Объясняется это тем, что в организме вырабатываются вещества — ферменты, способствующие ускорению химических реакций при существующих в организме условиях. Действие этих веществ сходно с действием известных из неорганической химии катализаторов. Подобно катализаторам, ферменты способствуют быстрейшему протеканию реакций, вступая в них на короткое время и вновь освобождаясь из них неизменными.

Ферменты обладают специфичностью действия. Это значит, что каждый вид ферментов влияет на течение реакций не любых, а определенных веществ.

Имеется много разновидностей ферментов, из которых отметим две группы. К одной группе относятся ферменты, ускоряющие реакции гидролиза. Гидролитическими называются реакции расщепления, происходящие с присоединением частицы воды; к этим реакциям, в частности, относятся процессы расщепления веществ в пищеварительном аппарате. Другую группу составляют ферменты, обуславливающие процессы окисления (присоединение кислорода и отдача водорода) и восстановления (отдача кислорода и присоединение водорода). Эти реакции, имеющие большое значение в энергетических процессах, определяют собою дыхание клеток. Помимо указанных, существуют еще группы ферментов, вызывающие свертывание белков, ферменты брожения, участвующие, например, в углеводном обмене, и другие.

ВИТАМИНЫ

Питание одними энергетическими веществами, водой и солями еще недостаточно для нормальной деятельности организма. Уже давно было замечено, что если животные или люди потребляют эти вещества в чистом виде, то у них развивается ряд болезней, сводящихся в основном к нарушениям в обмене веществ. Оказалось, что для нормального протекания процессов совершенно

необходимо, чтобы в состав пищи входили еще особые вещества, называемые витаминами. В настоящее время выделено в чистом виде из разных продуктов множество разнообразных по своим свойствам витаминов. Их обозначают буквами латинского алфавита. Открыты уже витамины А, В (семи видов), С, D, Е, К, Р, Н и др., общим числом свыше двадцати. Содержание каждого из них в пище очень невелико.

Каждый из витаминов обладает специфичностью, т. е. влияет на определенные стороны обмена. Недостаток какого-либо витамина в пище вызывает развитие определенных заболеваний, называемых авитаминозами. Любой авитаминоз может быть излечен приемом определенного витамина. Явно выраженные авитаминозы развиваются при резкой недостаточности или полном отсутствии в пище витаминов. При частичной же недостаточности их развиваются очень слабые, трудно различимые формы заболеваний, называемые гиповитаминозами. Кроме того, при частичной недостаточности в пище витаминов понижается сопротивляемость организма инфекционным заболеваниям.

Рассмотрим некоторые, наиболее изученные витамины.

Витамин А. Витамин А содержится в наибольшем количестве в рыбьем жире, в коровьем масле, яичном желтке, в печени, моркови, томаты, салате. По химической структуре витамин А близок к желто-красному растительному пигменту — каротину (содержащемуся, например, в моркови).

Значение витамина А разнообразно. Он влияет, например, на рост. Отсутствие его в пище молодых животных задерживает их рост. Недостаток витамина А в пище сказывается в нарушении покровных (эпителиальных) тканей, в их ороговении. В частности, при этом происходит заболевание белочной оболочки и роговицы глаза. Кроме того, недостаток витамина А вызывает нарушение способности видеть в сумерках (так называемая куриная слепота); это происходит вследствие недостатка каротина, входящего в состав светочувствительного вещества сетчатки глаза и получаемого с пищей в виде витамина А. Отмечается также, что пониженная сопротивляемость организма инфекции вызывается недостатком именно витамина А.

Витамины В. Витамины В в большом количестве содержатся в яичном желтке, горохе, черносливе; очень много их в дрожжах и в злаковых зародышах. В значительном количестве витамины В содержатся также в органах животных (печень, почки, мозг), в овощах (капуста, томат, шпинат) и в отрубях.

К витаминам В относится, собственно, ряд витаминов; недостаточность каждого в пище вызывает особые расстройства. Например, при отсутствии витамина В₁ развивается авитаминозный полиневрит (множественное воспаление нервов), известный на Востоке под названием бери-бери. При отсутствии витамина В₂ развивается болезнь пеллагра, при которой поражаются кожные покровы, а затем и высшие отделы центральной нервной системы.

В последнее время все больше выясняется значение витаминов В в протекании процессов обмена веществ, в частности, связанных с мышечной деятельностью. Эти витамины играют большую роль в углеводном обмене, способствуя отложению запасов углеводов в печени, их нормальному распаду и окислению в мышцах. Недостаток витаминов В вызывает быструю утомляемость, обильное же содержание их в пище, наоборот, сильно способствует повышению работоспособности. Поэтому витаминами В должен быть особенно богат пищевой рацион спортсмена.

Витамин С. Витамин С содержится преимущественно в фруктах и овощах. Всего больше его в шиповнике, черной смородине, апельсинах, лимонах. Витамин С разрушается при длительном действии высокой температуры. По строению витамин С представляет собой, сравнительно с другими витаминами, наиболее простое соединение (аскорбиновая кислота), получаемое теперь уже синтетическим путем.

При отсутствии в пище витамина С развивается цинга (скорбут). Болезнь эта, постепенно развиваясь, сказывается в точечных кровоизлияниях в коже, в набухании, разрыхлении, кровоточивости десен, в расшатывании зубов, подчас в выпадении их. При глубоких стадиях заболевания наступают значительные кровоизлияния в коже, суставах, мышцах, изменения в костной ткани, в кроветворных органах. Глубокие изменения происходят, понятно, лишь при длительном отсутствии витамина С в пище. Однако если этот витамин в пище и имеется, но в недостаточном количестве, тоже наблюдается ряд расстройств: вялость, быстрая утомляемость, незначительные, подчас едва заметные нарушения в обмене веществ, легкая подверженность инфекционным заболеваниям, медленное заживление травматических повреждений. Обнаружено, что усиленное введение витамина С в организм положительно влияет на его работоспособность. Кроме того, выяснено, что потребность в витамине С при мышечной работе сильно возрастает. Все это говорит о том, что в пище спортсмена витамин С должен присутствовать не только в том минимальном количестве, которое необходимо для предохранения от авитаминоза, но в количествах, значительно превышающих норму.

Витамин D. Витамин D содержится преимущественно в жирах, в которых он обычно находится вместе с витамином А. Его особенно много в рыбьем (тресковом) жире. При отсутствии витамина D у детей развивается рахит, главным образом вследствие нарушения кальциевого и фосфорного обмена. Отсутствие его сопровождается часто также задержкой роста. Действие витамина D в особенности усиливается при облучении пищи ультрафиолетовыми лучами. Вообще ультрафиолетовые лучи (солнечный свет, отраженный от неба свет, свет ртутно-кварцевой лампы) обладают сильным антирахитическим действием, так как при воздействии их на кожу ребенка происходит активизация содержащегося в коже витамина D.

ЭНЕРГЕТИКА

Энергетическая ценность пищевых веществ

Выше указывалось, что белки, жиры и углеводы являются для организма важными энергетическими веществами, т. е. содержат потенциальную (скрытую) химическую энергию, способную при распаде и окислении этих веществ трансформироваться (превращаться) в другие виды энергии, в том числе в кинетическую (действительную) энергию движения.

Энергию пищевых веществ удобнее всего выражать в величинах тепловой энергии — калориях. Известно, что калорией называется количество тепла, способное нагреть единицу массы воды на один градус Цельсия. Количество тепла, необходимое для нагревания на один градус (с 14° до 15°) одного грамма воды, называют малой калорией (или грамм-калорией), а одного килограмма воды — большой калорией (или килограмм-калорией).

Опыты с различными пищевыми веществами показали, что при сжигании белков, углеводов и жиров образуется на 1 г вещества соответственно 5,4, 4,1 и 9,3 б. кал.

При окислении этих веществ в организме образуется примерно то же количество тепла, что и при сжигании их в лабораторных приборах. Исключение представляет лишь белок, который в организме окисляется не полностью, а приблизительно на $\frac{4}{5}$; некоторая часть продуктов распада белка (аммиак, мочевины) выводится из организма в неокисленном виде. Сделав соответствующую поправку на неполное окисление белка, а также на неполное усвоение пищевых веществ в организме, можно принять следующие округленные цифры, характеризующие энергетическую ценность основных трех веществ: при окислении в организме 1 г белка или углевода освобождает 4 б. кал., а при окислении 1 г жира — 9 б. кал.

Эти цифры дают возможность сопоставить энергетические вещества по их калорической ценности. Они показывают, что в энергетическом отношении (но и только) белки равноценны углеводам, а жиры больше чем в 2 раза превосходят их. Это важно в тех случаях, когда ставится вопрос о необходимости заменить в энергетическом отношении одно вещество другим. Так, например, 40 г жира могут заменить 90 г углеводов или 90 г белка, потому что во всех трех случаях мы получим 360 б. кал.

Исходя из этих трех цифр и определив путем анализа содержание белков, жиров и углеводов в различных продуктах питания, можно рассчитать энергетическую (калорическую) ценность продуктов.

В табл. 4 приведены эти данные с поправкой на усвояемость съедобных частей продуктов питания.

Нужно помнить, однако, что приведенные цифры говорят лишь о соотношении веществ по их энергетической ценности и о воз-

возможности их взаимозамены в количественном энергетическом отношении. Но это отнюдь не означает, что одно пищевое вещество можно заменить другим и в прочих качественных отношениях и я х. Все сказанное выше о белковом минимуме, о качественных различиях между белками, жирами и углеводами и о витаминах должно быть принято во внимание при составлении пищевых рационов.

Обычный пищевой рацион составляется из следующих отношений: на 100 г белка — 50 г жира и 500 г углеводов. Не трудно рассчитать, что эти количества веществ дают в общей сложности свыше 2 850 б. кал., т. е., как будет показано ниже, они достаточны для удовлетворения суточной потребности человека, не занятого очень тяжелым физическим трудом.

Таблица 4

Содержание белков, жиров и углеводов в пищевых продуктах и их калорийность (с поправкой на усвояемость)

Название продуктов	Количество сырого вещества (в %)			Калорийность усваиваемых веществ на 100 г веса продукта
	белки	жиры	углеводы	
Мясные продукты				
Говядина средней упитанности	19,6	5,3	0,7	108
Свинина	13,8	35,5	—	329
Баранина	15,5	29,5	—	278
Мясо курицы	18,9	4,8	1,1	108
Яйцо куриное	12,2	11,5	0,6	140
Печень	18,4	4,4	2,8	108
Сало свиное нетопленное	10,5	64,9	—	647
Колбаса вареная	13,4	14,2	4,0	204
Рыбные продукты				
Балык осетровый	37,8	13,9	—	185
Вобла сушеная	37,2	13,8	—	197
Греська соленая	18,3	0,3	—	51
Сельдь соленая	16,6	14,0	—	129
Молочные продукты				
Молоко коровье	3,1	3,5	4,9	66
Сметана	4,2	24,0	1,7	256
Масло сливочное	1,0	84,0	0,6	786
Творог	14,1	0,6	1,2	68
Сыр голландский	25,0	30,0	2,4	361
Зерновые продукты				
Мука ржаная	6,7	1,1	71,2	329
» пшеничная	10,1	0,7	71,6	342
Крупа манная	8,0	0,8	73,6	342
Рис	6,5	1,2	71,7	332
Хлеб ржаной	5,5	0,6	39,3	190
» пшеничный	5,8	0,5	56,1	258
Лапша и макароны	9,3	0,5	73,3	344

Продолжение

Название продуктов	Количество сырого вещества (в %)			Калорийность усвояемых веществ на 100 г веса продукта
	белки	жиры	угле-воды	
Овощи, корнеплоды, грибы				
Горох	19,3	3,2	50,3	284
Бобы	16,6	1,7	50,0	260
Картофель	1,4	0,2	18,6	63
Свекла	1,5	0,1	9,5	39
Морковь	0,7	0,3	7,4	31
Капуста	1,1	0,2	4,1	19
Грибы белые	4,3	0,3	4,6	28
» » сушеные	22,0	2,3	31,1	215
Фрукты, ягоды				
Яблоки	0,3	—	10,9	42
Вишня	0,7	—	13,7	53
Изюм	1,8	0,5	62,7	242
Земляника	0,4	0,4	5,1	24
Малина	0,2	—	4,4	17
Компот сухой	1,8	—	47,2	201
Мармелад	0,4	—	55,3	229
Растительные масла, орехи, сахар, мед и др.				
Растительные масла	—	94,5	—	879
Орехи лесные—ядра	11,6	54,4	7,3	384
Сахар-рафинад	—	—	94,9	389
Мед	1,0	—	75,9	315
Шоко	0,5	—	5,4	24
Шоколад	0,4	18,9	57,1	428

Расход энергии человека при покое и работе

Так как конечным итогом превращений энергии в организме является образование тепла, то поэтому вся энергия, вырабатываемая организмом, может быть определена по отдаче тепла и выражена в единицах тепла — калориях.

Для определения количества энергии, расходуемой целым организмом, физиологи располагают двумя методами — прямой и непрямой калориметрии. Метод непрямой калориметрии (метод газообмена) будет нами подробно рассмотрен ниже. В настоящей же главе остановимся на основных положениях энергетики, вытекающих из метода прямой калориметрии. Само название этого метода свидетельствует о том, что он дает возможность непосредственного измерения в калориях всего количества тепла, расходуемого организмом. Осуществляется это измерение с помощью большой калориметрической камеры, в которой может помещаться человек. Калориметрическая камера для измерения энергетических затрат у человека была впервые сооружена Этуотером, который при помощи ее с исключительной точностью установил совершенную приложимость к человеку закона сохранения энергии.

Расход энергии при покое (основной обмен). Как уже выше указывалось, организм расходует энергию не только при мышечной работе, но и в состоянии покоя. Энергия тратится на поддержание тепла, на непрерывающуюся работу сердечной и дыхательных мышц, на работу многочисленных клеток выделительных и других желез и т. д. В скелетных мышцах в покое также происходит непрерывный обмен веществ, сопровождаемый затратами энергии. Приблизительное соотношение расхода энергии разными органами следующее: сердце — 4%, почки — 4—6%, печень — 13—20%, дыхательные мышцы — 5—8%, скелетные мышцы — 60%.

Количество энергии, которое расходуется человеком в состоянии полного покоя, натошак, при комнатной температуре, называется основным обменом. Величина основного обмена не у всех людей одинакова. Она зависит от возраста, пола и поверхности тела. Разберем сначала значение последнего фактора. Установлено, что количество тепла, отдаваемого животными, пропорционально поверхности тела, т. е. чем больше поверхность тела животного, тем больше оно отдает тепла. Эта зависимость основного обмена от поверхности тела называется законом поверхности.

Из двух людей весом 80 и 40 кг основной обмен первого будет не в 2 раза больше обмена второго, а во столько раз, во сколько раз поверхность его тела больше поверхности тела второго; точно так же два человека одинакового веса будут иметь неодинаковый обмен, если поверхность их тела не одинакова.

Расход энергии на единицу поверхности тела, как уже указывалось, зависит от возраста и пола. Для взрослого мужчины он составляет около 1 000 б. кал. на 1 м² за сутки. С увеличением возраста эта величина уменьшается; у женщин она ниже, чем у мужчин. Табл. 5 иллюстрирует это положение.

Таблица 5

Основной обмен (в больших калориях) за 1 час на 1 м² поверхности тела в зависимости от возраста и пола (по Дюбуа)

Возраст (в годах)	Мужчины	Женщины
14—16	46,0	43,0
16—18	43,0	40,0
18—20	41,0	38,0
20—30	39,5	37,0
30—40	39,5	36,5
40—50	38,5	36,0
50—60	37,5	35,0
60—70	36,5	34,0

Величина поверхности тела определяется по данным роста и веса согласно приводимой диаграмме (рис. 4).

Для грубых же подсчетов можно принять, что величина основного обмена для человека среднего роста и веса составляет 1 б. кал. на 1 кг веса тела за 1 час. Для человека весом 70 кг это составит 70 б. кал. в час, или 1 680 б. кал. в сутки — величина, сравнительно недалеко лежащая от величины фактического основного обмена.

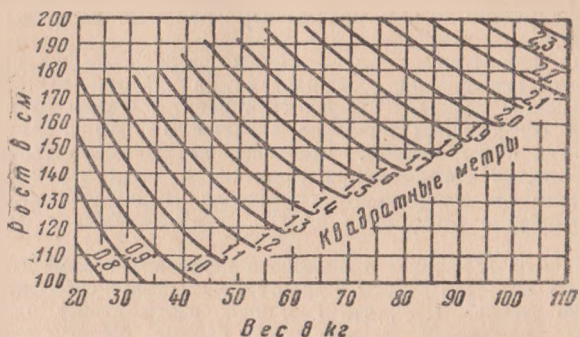


Рис. 4. Диаграмма для определения поверхности тела человека (по Дюбуа).

Расход энергии при работе. При мышечной деятельности расход энергии, естественно, увеличен, и тем в большей степени, чем больше величина совершаемой работы. При этом не вся энергия превращается в работу: большая часть энергии теряется в виде тепла.

Здесь следует иметь в виду ряд обстоятельств. Во-первых, так же как и в основном обмене, известное количество энергии тратится на работу сердца, дыхательных мышц, почек и других органов; при этом работа сердца и дыхательного аппарата при мышечной деятельности увеличивается во много раз. Кроме того, и сами мышцы используют для механической работы не всю освобождающуюся в них энергию, а только часть ее.

Какая часть расходуемой энергии переходит в работу, а какая ее часть освобождается в виде тепла, можно установить, определив коэффициент полезного действия. Коэффициент полезного действия, как известно, представляет собой отношение механической энергии ко всему количеству затраченной энергии, выраженное в процентах.

Вычисление коэффициента полезного действия работы, совершаемой человеком, представляет подчас значительные трудности вследствие большой сложности подсчета самой величины совершаемой работы. Однако для некоторых видов движений количество совершаемой работы оказалось возможным подсчитать, т. е. выразить ее в килограммометрах.

Наиболее просто, например, рассчитать величину работы при подъеме по винтовой лестнице. В этом случае почти вся работа идет на подъем тела по вертикали, работой же на горизонтальное передвижение, вследствие незначительности ее в этих условиях, можно пренебречь. Таким образом, работа

при подъеме равна произведению веса тела на высоту подъема. Например, если человек весом 70 кг поднялся на высоту 10 м, то, очевидно, он выполнил работу в 700 кгм.

Значительно большие трудности представляет расчет работы при горизонтальном перемещении (ходьба, бег). Рядом исследователей, однако, было установлено, что перемещение по горизонтали на 10—15 м (в зависимости от скорости) приблизительно равноценно подъему на 1 м. Отсюда, например, можно считать, что человек весом 70 кг, пройдя по горизонтали 100—150 м, совершил ту же работу, что и поднявшись по вертикали на 10 м, т. е. 700 кгм.

При многих лабораторных исследованиях физиологических процессов при мышечной работе испытуемый совершает ее на эргометрах — осевых приборах, подсчитывающих величину выполненной работы. Одним из наиболее употребительных и совершенных приборов является велоэргометр — неподвижный велосипед с устройством, позволяющим довольно точно подсчитать количество работы, совершаемой при вращении педалей в условиях различного, искусственно создаваемого сопротивления. В дальнейшем нам не раз придется встречаться с величинами работы, подсчитанными с помощью этого прибора.

Расчет величины коэффициента полезного действия производится таким путем. Подсчитав количество работы в килограммометрах, переводят эту величину в количество тепла, зная, что 1 б. кал. соответствует приблизительно 427 кгм работы, или, наоборот, что 1 кгм работы соответствует 1/427, или 0,00234 б. кал., или 2,34 м. кал. С другой стороны, определяют с помощью калориметра (или методом газообмена) общий расход энергии, выраженный уже в калориях. Относя первую величину, умноженную на 100, к второй, получают коэффициент полезного действия.

Приведем пример такого расчета, используя уже вышеприведенные цифры. Предположим, что, поднявшись на высоту 10 м, наш испытуемый, который весит 70 кг, израсходовал 5,5 б. кал. Переведем сначала в калории количество совершенной работы: $700 \times 0,00234 = 1,638$ б. кал. Коэффициент полезного действия равен в данном случае:

$$\frac{1,638 \cdot 100}{5,5} = 29,8\%$$

т. е., округляя, 30%.

Как показали многочисленные исследования, коэффициент полезного действия при привычной работе (в особенности выполняемой ногами) может достигать 30% и даже несколько выше. Для приблизительного представления о порядке встречающихся величин приводим в табл. 6 данные коэффициента полезного действия для некоторых видов мышечной работы, вычисленные различными исследователями.

Таблица 6

Коэффициент полезного действия при некоторых видах движений (в процентах)

Плавание	Удражение с гантелями	Работа на ручных эргометрах	Гребля	Работа на велоэргометре	Ходьба
3	10	14—17	20—25	25—27	25—33

Если пренебречь цифрой для плавания (очень неточной ввиду сложности подсчета работы), то для работ, выполняемых руками, мы можем принять коэффициент полезного действия равным 10—20%, а для ножных работ 25—30%. Надо указать, что знание этих величин имеет лишь относительное значение и позволяет грубо ориентировочно подсчитать потребное количество энергии при работе, поддающейся измерению в килограммометрах.

Ряд исследований был проведен также для выяснения суточного количества энергии, расходуемой при различных видах мышечной деятельности человека.

Выше уже указывалось, что в покое человек тратит в сутки около 1 500 б. кал.; при очень небольшой мышечной работе (канторский труд) затрата не превышает 2 500; при сравнительно легкой работе, связанной с передвижениями тела, — около 3 000; при работах, сопровождающихся более энергичной мышечной деятельностью, — 3 000—3 500. В частности, обычная нагрузка физкультурника, совершающего ненапряженную тренировку, связана приблизительно с указанными энергетическими затратами. При очень тяжелой работе, требующей больших мышечных усилий, суточный расход энергии может достигать 4 000—6 000 б. кал. Такой расход энергии (даже выше 6 000) встречается при тяжелом физическом труде (например, ручные сельскохозяйственные работы, труд дровосека и др.). Очень интенсивная тренировка спортсмена, в особенности работа, совершаемая в дни соревнований, у бегунов, лыжников, пловцов, велогонщиков на длинные дистанции сопровождается громадными энергетическими затратами. Подсчитано, например, что при стокилометровой лыжной гонке общий расход энергии за сутки составил около 10 000 б. кал.

ГЛАВА II

КРОВЬ

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА КРОВИ И ЕЕ ФУНКЦИИ

Кровь представляет собой жидкость (плазму) с плавающими в ней клеточными образованиями (кровяными тельцами). Поэтому кровь считают жидкой тканью. Она заполняет кровеносные сосуды и благодаря своему движению обеспечивает жидкостную (гуморальную) связь между всеми органами. Кровь поэтому называют также внутренней средой организма.

Перейдем к рассмотрению различных функций, выполняемых кровью в организме.

Рассмотренные в предыдущей главе процессы обмена веществ и энергии протекают в клетках наших тканей. Именно в них происходят процессы ассимиляции и диссимиляции — накопления энергии и расходования ее. Питательные же вещества и кислород поступают в клетки из тканевой жидкости — лимфы, заполняющей мельчайшие многочисленные щели в тканях и непосредственно омывающей каждую клетку. В свою очередь в лимфу питательные вещества поступают из крови, протекающей через ткани по мельчайшим кровеносным сосудам. И, наконец, в кровь питательные вещества поступают из пищеварительного аппарата или из других тканей, содержащих специальные отложения, резервы питательных веществ. В этом состоит питательная функция крови. Лимфа же в данном случае играет роль посредника между кровью и клетками тканей.

С другой стороны, продукты диссимиляции — процесса распада веществ, происходящего в клетках тканей, поступают из них в тканевую жидкость — лимфу, а оттуда в кровь, которая уносит продукты распада к выделительным органам — почкам и потовым железам. В этом заключается выделительная функция крови.

Далее, как мы видели, процессы обмена веществ тесно связаны с окислительными процессами, происходящими в самих клетках. Необходимый для этого кислород, опять-таки через посредство лимфы, поступает в клетки из крови, приносящей его из легких. Образующаяся в результате окисления веществ двуокись углерода CO_2 (углекислый газ) поступает из клеток в лимфу, оттуда в кровь, с кровью приносится к легким, откуда и выделяется наружу. В этом транспорте кислорода и углекислого газа состоит дыхательная функция крови.

Клетки нашего тела не живут обособленно друг от друга, а представляют собой части целого сложного организма. Деятельность каждой части зависит от состояния и деятельности всех остальных. Такое взаимодействие обеспечивается также через посредство крови, являющейся связующим звеном между всеми органами тела. Через кровь органы, находящиеся в отдаленных частях тела, воздействуют друг на друга посредством продуктов своей жизнедеятельности. Через посредство крови происходит перераспределение воды и солей в организме, поддержание определенной концентрации кислот и щелочей, осуществляется распределение тепла в теле при неравномерном нагревании или охлаждении различных частей его. Все это многообразие процессов характеризует собой регуляторную функцию крови. Еще раз подчеркнем, что и в этом отношении промежуточным звеном между кровью и клетками является тканевая жидкость (лимфа).

Укажем, наконец, еще на защитную функцию крови, заключающуюся в том, что в крови происходит обезвреживание, разрушение, уничтожение инородных тел (например бактерий), попадающих в организм извне. Подробнее об этом см. ниже (стр. 36).

Количество крови. Общее количество крови, содержащейся в теле разных людей, не одинаково. У взрослых людей оно колеблется в сравнительно небольших пределах, в среднем около 80 г на 1 кг веса, что составляет около 8% среднего веса тела. У человека весом 70 кг общее количество крови равняется, таким образом, приблизительно $5\frac{1}{2}$ —6 л.

Приведенные цифры относятся к взрослому человеку. У подростков же и в особенности у маленьких детей на 1 кг веса тела приходится больше крови. У новорожденных вес крови составляет 15% от веса тела, у годовалых — 11%. Далее с возрастом относительная масса крови снижается, достигая к 14 годам 9%, и, наконец, 8% у взрослых.

Однако не всегда все то количество крови, которое имеется в теле, циркулирует по сосудам. Когда организм находится в покое, часть крови задерживается в некоторых органах, вступая в общую циркуляцию лишь при мышечной работе и под влиянием некоторых других воздействий, о которых будет сказано в главе о кровообращении. Временное скопление масс крови происходит главным образом в печени (10—12% всей крови), в селезенке (около 10%) и под кожей (около 7%). Эти органы, следовательно, играют роль кровяных депо, в которых может при покое организма скапливаться до 30% всей содержащейся в теле крови.

Состав крови. Кровь состоит из водного раствора органических и неорганических веществ, в котором находится большое количество разнообразных телец. Они называются форменными элементами крови, или кровяными тельцами, и делятся на три группы: красные кровяные тельца, или эритроциты, белые кровяные тельца, или лейкоциты, кровяные пла-

стинки, или тромбоциты. Вид кровяных телец представлен на рис. 5.

Остальная часть крови — полупрозрачный раствор неорганических и органических соединений — называется плазмой. По объему общее количество плазмы и форменных элементов приблизительно одинаково.



Рис. 5. Форменные элементы крови

1—эритроциты: а—вид сверху, б—вид сбоку; 2—тромбоциты; 3—6—виды лейкоцитов: 4—лимфоцит, 5—базофил, 6—эозинофил; 7—9 нейтрофилы: 7—юный, 8—палочкоядерный, 9—сегментированный.

Свертываемость крови. Способность крови свертываться, т. е. образовывать плотный сгусток, закупоривающий рану, представляет собой важную защитную функцию, предохраняющую организм от сильной кровопотери при ранении. Образование кровяного сгустка есть сложный, еще не до конца распознанный процесс, в котором принимают участие различные элементы крови.

Кровь, выпущенная из кровеносного сосуда в пробирку и некоторое время отстаивающаяся, образует сгусток, над которым находится полупрозрачная жидкость — сыворотка. Сгусток состоит из форменных элементов, окутанных густой сетью нитей фибрина. В крови, циркулирующей в теле, фибриновых нитей не имеется: они появляются лишь при свертывании крови. Образуются они из кровяного белка — фибриногена, нормально присутствующего в крови в растворенном виде. Сыворотка же, остающаяся над сгустком, есть плазма, лишенная фибриногена.

Последовательная цепь причин, приводящих в конечном счете к образованию фибрина, а отсюда и к образованию сгустка, схематически представляется в следующем виде.

Преобразование фибриногена в фибрин есть процесс ферментативный, происходящий под действием фибрин фермента — тромбина. Последний однако присутствует в нормальной крови не в активном виде а в виде недействительного тромбогена. Активизация же последнего происходит в присутствии солей кальция под влиянием другого фермента тромбокиназы, освобождающегося преимущественно из тромбоцитов при разрушении последних. Взаимодействие звеньев всей этой цепи реакций видно на прилагаемой схеме (рис. 6).

В нормальных условиях кровь, текущая по сосудам, не свертывается. Свертывание происходит только при вытекании крови из пораненного участка. Несвертываемость крови в теле происходит по ряду причин. Одной из них является то, что стенки кровеносных сосудов не смачиваются кровью; кровь к ним не прилипает. При поражении же или воспалительном процессе частицы крови прилипают к пораженному участку, что вызывает распад тромбоцитов и свертывание крови.

Предохранить кровь от свертывания можно, выпуская ее в сосуд, стенки которого не смачиваются жидкостью (например, покрыв стенки слоем парафина). От свертывания кровь может быть предохранена также при осаждении содержащихся в ней солей кальция (лимоннокислым или щавелевокислым натрием). От свертывания крови в теле предохраняет также находящееся в крови вещество, вырабатываемое печенью, — г е м о ф и л и н, который препятствует образованию тромбина. Замедление свертывания происходит под влиянием некоторых фармакологических веществ и при понижении температуры. Повышение температуры ускоряет свертывание крови.

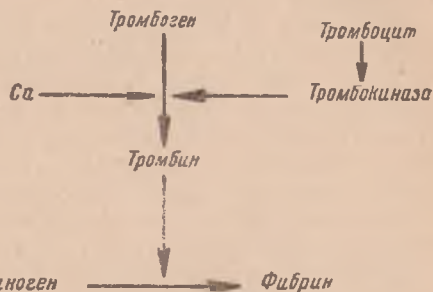


Рис. 6. Схема свертывания крови.

Нормально длительность свертывания крови составляет несколько минут, причем индивидуальные колебания очень велики. В редких случаях встречается г е м о ф и л и я — заболевание, которое характеризуется резким замедлением скорости свертывания крови или даже полной несвертываемостью. Мышечная деятельность не оказывает сколько-нибудь заметного влияния на скорость свертывания крови.

Реакция крови на чужеродные тела. Важными в биологическом отношении являются разнообразные реакции крови на введение в организм чужеродной крови (плазмы или форменных элементов) или иных тел. Многие из этих реакций основываются на родовой специфичности белка, сказывающейся в частности, в том, что в организме возникает ряд патологических процессов при попадании в кровь белка иного содержания, чем тот, который свойствен данному роду или виду животного.

Если ввести в кровь одного животного чужеродный белок (яичный белок, белки крови животного другого рода, молоко и т. п.), то сыворотка крови этого животного будет давать осадок с чужеродным белком (реакция преципитации). Далее, сыворотка крови при введении в нее чужеродных клеток, например эритроцитов крови животного другого рода, приобретает свойство разрушать эти клетки путем растворения их оболочек (реакция гемолиза). Наконец, сыворотка крови одного животного способна вызвать склеивание, собирание в комочки эритроцитов другого животного (реакция агглютинации).

Группы крови. Явление агглютинации эритроцитов происходит не только при смешивании крови разных родов или видов живот-

ных, но и в пределах одного вида. У людей, например, по реакции агглютинации можно обнаружить четыре группы крови, знание которых имеет очень важное значение для успешного переливания крови. Переливание крови от одного человека к другому можно совершать лишь в том случае, если эритроциты крови дающего (донора) не агглютинируются, не склеиваются под влиянием сыворотки крови принимающего (реципиента).

Для объяснения этих явлений в настоящее время допускают следующую гипотезу.

Для того чтобы произошла агглютинация, эритроциты должны содержать агглютинируемое вещество, называемое агглютиногеном, а сыворотка — вещество, действующее агглютинирующим образом и называемое агглютинином. Если бы в природе существовали только один вид агглютиногена и один вид агглютинина, то всякая сыворотка агглютинировала бы любые эритроциты, включая даже свои, что явно абсурдно. Следовательно, существуют разные виды агглютиногенов и агглютининов, которые различно сочетаются у разных людей.

Достаточно допустить существование двух видов агглютиногена, которые принято обозначать буквами А и В. Соответственно этому, по наличию агглютиногенов в эритроцитах, может быть четыре группы людей: А, В, АВ и 0 (нулем обозначается отсутствие вещества). Также достаточно допустить два вида агглютининов, которые обозначают литерами α (греческая буква альфа) и β (греческая буква бета).

По наличию в сыворотке агглютининов тоже может быть четыре группы людей: α , β , $\alpha\beta$ и 0. При этом считают, что агглютинация может происходить при соединении агглютиногена и агглютинина, обозначаемых одинаковыми буквами: А и α , В и β .

Если мы произведем сочетания из 4 групп сыворотки и 4 групп эритроцитов и исключим из них сочетания, содержащие одинаковые буквы, то останутся возможными только следующие 4 группы:

I группа:	сыворотка $\alpha\beta$;	эритроциты 0	
II	»	» β ;	» А
III	»	» α ;	» В
IV	»	» 0;	» АВ

Легко рассудить, что человеку, относящемуся, например, к I группе и имеющему оба вида агглютининов, нельзя приливать крови ни одной из остальных трех групп, потому что его сыворотка вызовет агглютинацию эритроцитов прилитой крови. Зато человек, принадлежащий к I группе, является универсальным донором, потому что его эритроциты, будучи лишены агглютиногенов, не агглютинируются ни одной сывороткой. Эритроциты же реципиента не агглютинируются сывороткой донора, потому что для этого

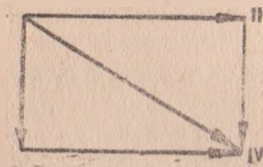


Рис. 7. Схема переливания крови.

количество переливаемой крови должно намного превышать количество крови в теле реципиента. Продолжая тот же ход рассуждений и в отношении остальных групп, построим таблицу (7), в которой знак + обозначает агглютинацию, т. е. что кровь донора данной группы нельзя переливать в данного реципиента.

Таблица 7

Группы крови

Доноры (эритроциты)	Реципиенты (сыворотка)			
	I гр. (αβ)	II гр. (β)	III гр. (α)	IV гр. (0)
I гр. (0)	—	—	—	—
II гр. (A)	+	—	+	—
III гр. (B)	+	+	—	—
IV гр. (AB)	+	+	+	—

Для запоминания более удобна схема рис. 7, направление стрелок в которой показывает, от каких и каким группам кровь можно переливать.

Доказано, что связь между принадлежностью к той или иной группе и способностью к какому-либо виду спорта отсутствует.

БЕЛЫЕ КРОВЯНЫЕ ТЕЛЬЦА — ЛЕЙКОЦИТЫ

Лейкоциты являются полноценными клетками, т. е. содержащими все присущие клетке элементы — ядро, протоплазму, оболочку. Увлекаясь пассивно током крови, некоторые виды лейкоцитов способны в то же время к самостоятельному активному передвижению. Подобно одноклеточным простейшим (амёбе), они выпячивают в разных направлениях протоплазму, образуя ложноножки (псевдоподии), с помощью которых и перемещаются, проникая через межклеточные пространства из капиллярных сосудов во все участки тела (рис. 8).

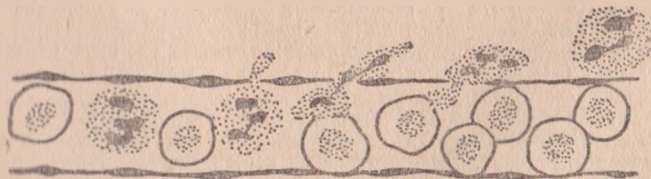


Рис. 8. Выход лейкоцита из капилляра.

Одной из важнейших функций лейкоцитов является их защитная функция, заключающаяся в способности лейкоцитов к поглощению и разрушению чужеродных тел — бактерий и дру-

гих микроорганизмов. Это активное пожирание лейкоцитами попадающих в организм микробов и возникающих в нем остатков отмерших клеток называется фагоцитозом, открытым Мечниковым. Фагоцитоз осуществляется с помощью тех же псевдоподий.

Лейкоцит, приблизившись к пожираемому объекту, выпускает псевдоподии с обеих сторон его, вслед за чем происходит слияние этих псевдоподий так, что пожираемое тело оказывается внутри лейкоцита (рис. 9).



Рис. 9. Фагоцитоз бактерий лейкоцитом.

Устремление лейкоцитов к чужеродному телу происходит вследствие того, что он раздражается химическими веществами, вырабатываемыми этим телом (положительный хемотаксис). Следует отметить, что способностью к фагоцитозу обладают не только блуждающие клетки — лейкоциты, но также и ряд неподвижных клеток в стенках мелких кровеносных сосудов, в печени, в селезенке и др.

Защитная функция крови не исчерпывается фагоцитозом. Уже давно было обнаружено, что человек, однажды перенесший некоторые виды инфекционных заболеваний, становится затем невосприимчивым к ним. Это состояние невосприимчивости, и мунитета, объясняется тем, что в крови вырабатываются вещества — антитоксины (противоядия), которые нейтрализуют действие токсинов (ядов), вырабатываемых бактериями данной инфекции. На этом же свойстве иммунитета основаны и прививки (против дифтерии, оспы и др.).

Виды лейкоцитов. Лейкоциты различаются друг от друга рядом признаков, по которым их разбивают на группы (см. рис. 5).

Различают три основные группы лейкоцитов, отличающиеся размерами, наличием или отсутствием зернистости в протоплазме, формой ядра, окрашиваемостью: лимфоциты, составляющие 20—25% общего числа лейкоцитов. Лимфоциты вырабатываются в лимфатических железах и селезенке; моноциты, составляющие приблизительно 6% общего числа лейкоцитов; вырабатываются они в многочисленных участках тела, главным образом в печени и селезенке; зернистые лейкоциты, или гранулоциты; последние представляют главную массу (60—70%) всех лейкоцитов; вырабатываются они в красном костном мозге; гранулоциты в свою очередь, в зависимости от окрашиваемости различными красками, делятся также на три вида: эозинофилы (2—4%), базофилы (1—3%), нейтрофилы, составляющие главную массу всех гранулоцитов и вообще всех лейкоцитов (приблизительно 65%).

В зависимости от степени зрелости строение ядра у нейтрофилов различное. Различают юные формы, палочкоядерные и сегментированные.

В норме количество юных форм и палочкоядерных очень невелико (4—6%); при усиленной же выработке новых лейкоцитов их количество увеличивается.

У человека, находящегося в покое, количество лейкоцитов в крови составляет 6 000—7 000 в 1 мм³ крови. Это количество, однако, подвержено сильным колебаниям. Число лейкоцитов резко возрастает при различных заболеваниях. Во время пищеварения количество лейкоцитов также увеличивается. Увеличение количества лейкоцитов наблюдается и после мышечной работы.

Влияние мышечной работы на количество лейкоцитов. После мышечной работы отмечается значительное увеличение числа лейкоцитов, достигающее подчас до 40 000 в 1 мм³. Увеличение количества лейкоцитов под влиянием мышечной работы называется многонным лейкоцитозом. Развитие многонного лейкоцитоза показано на рис. 10.

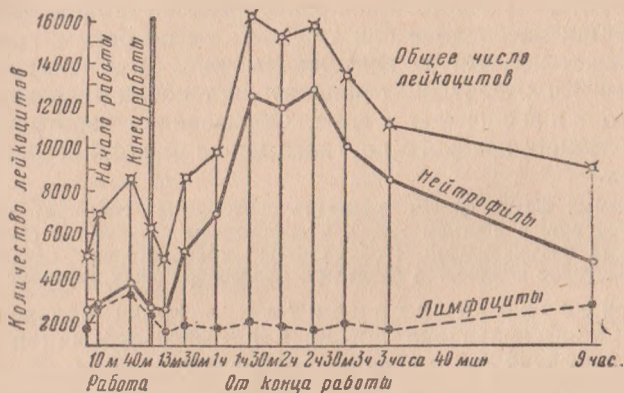


Рис. 10. Изменение количества лейкоцитов во время и после работы (по Лантошу).

Увеличение числа лейкоцитов происходит еще во время работы, причем возрастает количество как нейтрофилов, так и лимфоцитов. Сразу после работы часто наблюдается еще повышенное количество лейкоцитов; иногда же, как, например, в опыте, представленном на рис. 10, число лейкоцитов снижается, что происходит главным образом за счет падения числа лимфоцитов.

Причиной описанного общего лейкоцитоза при работе является, как предполагают, усиленное поступление лейкоцитов в кровь из кровяных делю.

Спустя некоторое время после окончания работы наблюдается вторичный лейкоцитоз. Этот подъем числа лейкоцитов идет почти целиком за счет увеличения количества нейтрофилов при неизменном или снизившемся числе лимфоцитов. Такой нейтрофилоз достигает своего максимума обычно через 1—2 часа после работы и сопровождается относительным возрастанием юных форм. Вторичный нейтрофилоз является уже следствием деятельности кроветворных органов, усилившейся под влиянием мышечной работы.

Миогенный лейкоцитоз встречается при всех видах спорта и выражен он тем больше, чем интенсивнее и длительнее работа.

Под влиянием тренировки величина миогенного лейкоцитоза снижается; одна и та же работа, совершенная в состоянии большей тренированности, вызывает меньшие сдвиги в числе лейкоцитов. Многими авторами указывается также, что под влиянием тренировки наблюдается при покое небольшой лимфоцитоз. После очень утомительной работы отмечается временное исчезновение эозинофилов.

КРАСНЫЕ КРОВЯНЫЕ ТЕЛЬЦА — ЭРИТРОЦИТЫ

Эритроциты — слабо окрашенные круглые тельца, сплюснутые с двух сторон; посередине они толще, чем по бокам, при рассматривании сбоку похожи на гантели (см. рис. 35). Диаметр эритроцитов — $7\frac{1}{2}$ —8 μ ¹. Эритроцит представляет собой отдельную клетку, однако лишенную ядра. Образование эритроцитов происходит в тканях красного костного мозга, находящегося в трубчатых костях.

В начальных фазах своего развития эритроциты содержат ядра, но эти ядра теряются еще в костном мозге, и эритроциты вступают в сосуды общего кровотока уже безъядерными. При сильных кровопотерях, однако, в кровь поступает некоторое количество незрелых, ядросодержащих эритроцитов.

Количество эритроцитов в крови человека очень велико — приблизительно 5 млн. в 1 мм³ у мужчин и $4\frac{1}{2}$ млн. у женщин. Во всей же крови их количество измеряется десятками миллиардов (около 30 миллиардов). Такое большое количество эритроцитов обеспечивает быстрое поглощение больших количеств кислорода в легочных капиллярах.

Спортивные упражнения вызывают обычно увеличение количества эритроцитов в крови. Оно колеблется при разных спортивных упражнениях от совсем незначительных количеств до 1— $1\frac{1}{2}$ млн. в 1 мм³. Четкой, закономерной связи между степенью увеличения числа эритроцитов и интенсивностью или характером спортивного упражнения не обнаружено. Замечено лишь, что после кратковременных напряжений, например при беге на короткие дистанции, а также после спортивных игр прирост числа эритроцитов достигает 1 млн. в 1 мм³; после длительных напряжений, например после бега на 10 км и больше или лыжного пробега на 50 км, сдвиги в числе эритроцитоз часто превышают 1 млн. в 1 мм³.

Основной причиной увеличения количества эритроцитов при мышечной работе является поступление крови в общую циркуляцию из кровяных депо, в которых кровь имеет более высокую концентрацию эритроцитов, чем в общем кровотоке. При длительных спортивных напряжениях возможно также усиленное новообразование эритроцитов в костном мозге и выход их в общий кровоток:

¹ Греческой буквой μ обозначается микрон. 1 микрон равен $\frac{1}{1000}$ миллиметра.

при длительных напряжениях в крови иногда обнаруживают незрелые ядерные эритроциты.

Стойкое увеличение количества эритроцитов в крови наблюдается подчас и при тренировке. У тренированных лиц рядом исследователей отмечены несколько большие количества эритроцитов, чем у нетренированных.

Особенно большое влияние на число эритроцитов в крови оказывает пребывание на больших высотах. Кратковременный подъем на самолете вызывает небольшое, скоро проходящее увеличение количества эритроцитов вследствие выхода их из кровяных депо. Медленный же подъем в гору и в особенности длительное пребывание на горных высотах вызывает уже стойкое, длительное возрастание количества эритроцитов вследствие постоянно усиленной деятельности кроветворных органов.

Гемоглобин. В состав эритроцитов входит пигмент (красящее вещество) — гемоглобин. Благодаря наличию гемоглобина эритроциты осуществляют свою главную функцию — перенос кислорода. Кислород легко присоединяется к гемоглобину, образуя оксигемоглобин.

Гемоглобин — сложное соединение. В его состав входят белковое вещество глобин и красящее вещество гем. Последний содержит железо, в соединении с которым и вступает кислород. Гемоглобин может вступить в соединение не только с кислородом. В весьма прочное соединение вступает он с окисью углерода (СО — угарный газ); при этом окись углерода вытесняет кислород из оксигемоглобина. Этим объясняется задушение от недостатка кислорода в крови при отравлении угарным газом.

Количество гемоглобина в крови велико: 100 г крови могут содержать до 17 г гемоглобина. Обычно содержание гемоглобина определяется по особому прибору (Сали) и выражается в процентах к условной величине — 17 г на 100 г крови. Такое содержание гемоглобина принимается за 100%. По отношению к этой цифре среднее содержание гемоглобина составляет приблизительно 80%. Это значит, что на 100 г крови приходится 13,6 г (т. е. 80% от 17 г) гемоглобина. У женщин содержание гемоглобина в среднем несколько ниже, чем у мужчин.

При спортивных напряжениях наблюдаются часто изменения в количестве гемоглобина. Увеличение содержания гемоглобина в крови, доходившее иногда до 10—15%, обнаруживалось неоднократно после бега на разные дистанции, спортивных игр, гребли и др.

Возрастание количества гемоглобина после спортивных нагрузок часто идет параллельно росту числа эритроцитов. Такая связь понятна: чем больше эритроцитов в крови, тем больше в ней гемоглобина. Однако это происходит лишь в том случае, если среднее содержание гемоглобина во всех эритроцитах остается неизменным, что не всегда бывает. Наблюдались случаи, когда количество гемоглобина после работы возрастало в большей степени, чем число эритроцитов, что говорит о поступлении в кровь эритроцитов с большим содержанием гемоглобина. И, наоборот, нередки такие случаи, когда наряду с увеличением числа эритро-

цитов количество гемоглобина не только не увеличивается, но даже снижается.

Подобные случаи наблюдал Крестовников у 80 участников сборной команды при 50-километровом лыжном пробеге. В то время как число эритроцитов возросло в среднем с 4,6 млн. (до соревнования) до 5,8 млн. (после соревнования), содержание гемоглобина в крови упало в среднем с 90 до 71%. Такие случаи не единичны и наблюдались также при других длительных нагрузках (VELO, бег). Крестовников объясняет это выходом в кровяное русло молодых эритроцитов с низким содержанием гемоглобина.

Вообще же понижение количества гемоглобина в крови особенно часто наблюдается при длительных спортивных напряжениях. Такие случаи описаны, например, при изучении велогонки на 144 км, бега на 28 км, лыжных гонок на 50 км. Даже при относительно меньшей длительности напряжений, как бег на 5 000 м, который обычно сопровождается повышением количества гемоглобина, обнаруживалось падение гемоглобина крови у бегунов, с трудом преодолевших дистанцию.

Так же, как и число эритроцитов, количество гемоглобина в крови возрастает при длительном пребывании человека на горных высотах. Увеличение количества гемоглобина в этом случае есть явное следствие усиленной деятельности кроветворных органов, причем деятельность эта сказывается не только в усиленной выработке эритроцитов, но и в увеличении среднего содержания гемоглобина в них.

ПЛАЗМА КРОВИ

Состав плазмы. Больше всего в плазме воды — 90%. В ней растворены как неорганические, так и органические соединения.

Неорганические соединения представлены в плазме в виде солей (0,9%). Всего больше в плазме поваренной соли (до 0,6%), далее — двууглекислого натрия и калия и фосфорнокислых солей натрия и калия.

Органические соединения представлены в плазме крови главным образом в виде белков (7%) трех видов: сывороточного альбумина, сывороточного глобулина и фибриногена.

Далее в плазме имеются вещества, идущие на питание и построение клеток. Сюда относятся аминокислоты, жиры и жироподобные вещества (приблизительно 0,6%) и углеводы (главным образом глюкоза — 0,1%). Наконец, из продуктов распада клеток и их промежуточного обмена в крови главным образом встречаются следующие органические соединения: продукт распада углеводов — молочная кислота (0,01%) и продукты распада белков — азотистые соединения: мочевина (0,02%), мочевая кислота (0,003%) и креатинин (0,001%). Большая часть этих продуктов (главным образом последних трех) удаляется из организма с выделениями.

Значение постоянства концентрации солей плазмы. У человека, равно как и у других теплокровных животных, концентрация солей в плазме крови отличается при нормальных условиях большим постоянством и равна в среднем 0,95%, т. е. 1 л крови содержит 9,5 г соли.

Для понимания значения постоянства концентрации солей в крови необходимо ознакомиться с механизмами, определяющими

перемещения воды в организме. Дело в том, что оболочки клеток представляют собой перепонки (мембраны), сквозь которые происходит переход различных веществ из клеток в окружающую их жидкость и из жидкости в клетки. Если бы эти мембраны свободно пропускали через себя все вещества, то переход их сквозь мембраны осуществлялся бы из области более высокой концентрации веществ в область более низкой концентрации до тех пор, пока концентрация вещества по обе стороны мембраны не сравняется. Иными словами, происходило бы явление, известное под названием *диффузии*.

Однако мембраны клеток *полупроницаемы*: через них может свободно проникать растворитель, но не все растворенные в нем вещества. В этом случае растворитель (вода) будет проникать через мембрану из области более низкой концентрации раствора в область более высокой его концентрации. Такое явление известно в физике под названием *осмоса*.

Рассмотрим явление осмоса, происходящего между плазмой и эритроцитами, оболочка которых *полупроницаема*: она пропускает через себя молекулы воды, но не пропускает молекул солей. Если концентрация солей в плазме ниже, чем в эритроците, то вода будет переходить через оболочку в эритроцит. Вследствие этого объем эритроцита возрастет, и если вода устремляется в него с большей силой, эритроцит может разрушиться и содержащийся в нем гемоглобин поступит в плазму, окрасив ее в красный цвет.

Разрушение эритроцитов с выходом гемоглобина в плазму называется *гемолизом*.

Итак, понижение концентрации солей в плазме вызывает проникновение воды в эритроциты и их набухание или даже гемолиз; наоборот, повышение концентрации в плазме является причиной выхода воды из эритроцитов и сморщивания их.

Изменение концентрации солей в плазме может происходить под влиянием многих причин. Не говоря уже о ряде патологических (болезненных) обстоятельствах, временное нарушение постоянства концентрации солей плазмы происходит и в обычных, нормальных условиях.

Понижение концентрации солей в плазме крови происходит в основном при питье пресной воды.

Однако в большинстве случаев это понижение незначительное и недлительное. Как только всосавшаяся из кишечника вода начинает поступать в кровь и снижать тем самым концентрацию солей в ней, тотчас же начинается переход воды из крови в омываемые ею ткани. Вследствие этого вода распределяется по всему телу, и в самой же крови увеличение количества воды незначительно. Но и это небольшое нарушение водно-солевого равновесия крови длится недолго. Избыток воды, поступившей из крови, начинает выделяться почками. Вследствие этого возникает некоторое повышение концентрации солей в крови, что вызывает обратное поступление

воды из тканей в кровь. В конечном итоге водно-солевое равновесие почти восстанавливается, если не считать того количества солей, которое вместе с мочой выделено почками.

На повышение концентрации солей в плазме влияет в основном следующее:

1) потребление с пищей большого количества солей. Однако благодаря деятельности почек избыток солей довольно быстро выводится из тела;

2) длительное потение. Пот хотя и содержит соли, но в значительно меньшей концентрации, чем кровь. С потом выводится воды больше, чем солей, отчего концентрация последних в плазме возрастает. Однако при сравнительно небольшом потоотделении резких сдвигов в концентрации солей крови не происходит благодаря поступлению в нее воды из тканей; если же потери воды с потом восполняются питьем пресной воды, то, наоборот, происходит уменьшение содержания солей в крови;

3) мышечная работа. При распаде в тканях крупных молекул на множество мелких концентрация веществ в мышцах возрастает. Поэтому вода из крови поступает в мышцы, вследствие чего концентрация солей в крови увеличивается. Табл. 8 иллюстрирует повышение молекулярной концентрации в крови после напряженной мышечной работы.

Таблица 8

Изменение концентрации солей в плазме после напряженной работы
(из Хилла)

Работа	Испытуемый	Через сколько времени ввела кровь на исследование	Концентрация солей в плазме (в %)
Покой			0,945
Бег на месте со средней скоростью в течение 1 мин.	Маргарита Хилл	60 сек.	0,989
То же с максимальной скоростью	Хукуда	45 »	1,028
То же с максимальной скоростью в течение 1 1/2 мин.		2 1/2 мин.	0,996
		4 1/2 »	0,982
Стиль-чез (бег на 2 мили с препятствиями).	Участник соревнований	75 сек.	1,048

Хилл предполагает, что повышение концентрации примерно до 1,15% является тем пределом, который может быть достигнут при беге первоклассного спортсмена на среднюю дистанцию.

Резкие изменения концентрации солей крови при спортивных напряжениях могут являться одной из причин утомления, препятствующего сохранению высокой скорости бега на более длинных дистанциях.

Взаимотношение солей в плазме. Между концентрациями отдельных солей существуют определенные отношения; например, на 100 молекул соли на-

трия в плазме нормально приходится 3,7 молекулы солей калия и 1,4 соли кальция. Нарушение постоянства соотношения между солями плазмы изменяет деятельность ряда органов, например сердца: при относительном возрастании концентрации кальция или уменьшении калия деятельность сердца усиливается; наоборот, возрастание калия или уменьшение кальция вызывает замедление работы сердца. Изменение соотношений между солями имеет значение и в регуляции дыхания.

КИСЛОТНО-ЩЕЛОЧНОЕ РАВНОВЕСИЕ В КРОВИ

Помимо сохранения водно-солевого постоянства крови, чрезвычайно большую роль в нормальной жизнедеятельности тканей играет сохранение кислотно-щелочного равновесия в крови, выражающегося в постоянстве концентрации водородных ионов в ней.

Реакция крови. Кислотами называются такие соединения, которые дают в растворе свободные ионы водорода H , а щелочами, или основаниями, — такие, в растворе которых имеются свободные ионы гидроксила OH . В нейтральном растворе концентрация гидроксильных ионов равна концентрации ионов водорода. Так дело обстоит в чистой воде, в которой 0,0000001 часть молекул разложена (диссоциирована) на ионы H и OH . Иначе говоря, концентрация ионов водорода в чистой воде равна одной десятиллионной, и также одной десятиллионной равна концентрация ионов гидроксила. Если к воде прилить кислоту, то увеличится концентрация ионов водорода, но зато в точно такой же мере уменьшится концентрация гидроксильных ионов. А если прилить к воде щелочь, то концентрация ионов водорода уменьшится в строгом соответствии с увеличением концентрации ионов гидроксила. Поэтому для характеристики реакции раствора (степени его кислотности или щелочности) вовсе не нужно указывать, какова в нем концентрация и водородных и гидроксильных ионов, а достаточно знать одну из них.

Если известно, что в нейтральном растворе концентрация водородных ионов равна 0,0000001, то ясно, что если в каком-нибудь растворе обнаружена концентрация водородных ионов, равная 0,000001, то этот раствор кислый, потому что концентрация водородных ионов в нем в 10 раз выше, чем в нейтральном, и в 10 же раз ниже в нем концентрация гидроксильных ионов. Поэтому для обозначения реакции раствора указывают только концентрацию его водородных ионов. При этом для простоты не пишут полностью цифровое обозначение этой концентрации, а указывают только показатель степени этой величины. Например, для обозначения нейтрального раствора нет нужды писать, что концентрация водородных ионов в нем равна 0,0000001 или 10^{-7} , а достаточно указать цифру 7 — показатель степени. Эту величину называют водородным показателем и изображают значком pH .

Более точно pH нейтрального раствора при 18° равен 7,07, а при 37° — 6,78. Понятно, что если pH какого-нибудь раствора ра-

вен 6, то этот раствор кислый, потому что концентрация водородных ионов в нем выше, чем в нейтральном, и равна 10^{-6} , т. е. одной миллионной. А если $pH = 8$, то этот раствор щелочной, потому что концентрация водородных ионов в нем ниже, чем в нейтральном, и равна 10^{-8} , т. е. одной стомиллионной.

Вообще уменьшение pH обозначает увеличение концентрации водородных ионов, т. е. сдвиг в кислотную сторону, а увеличение pH обозначает уменьшение концентрации водородных ионов, т. е. сдвиг в щелочную сторону.

Реакция крови человека при нормальных условиях характеризуется величиной pH , равной в среднем 7,36. Концентрация водородных ионов в ней ниже, чем в нейтральном растворе (у которого pH при 37° равен 6,78), а гидроксильных ионов в ней больше. Следовательно, реакция крови слабощелочная.

Регуляция постоянства реакции крови. Изменение реакции крови, любой ее сдвиг в сторону кислотности или щелочности нарушает нормальную деятельность клеток и тканей. Поэтому значение кислотно-щелочного равновесия в крови (иначе говоря, постоянства ее реакции) очень велико.

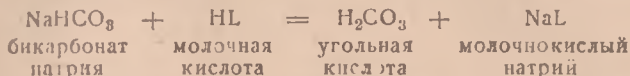
Поступление в организм кислот или щелочей может нарушить это равновесие и сдвинуть реакцию крови в ту или другую сторону. То же самое может произойти при поступлении в кровь кислых продуктов, образующихся в мышцах при их работе. Кислые продукты поступают в кровь подчас в значительных количествах; при этом, казалось бы, должно произойти резкое изменение реакции. Между тем реакция крови при этом изменяется лишь в малой степени благодаря ряду регуляторных механизмов, обеспечивающих ее большое постоянство.

Большую роль в этой регуляции играют легкие, почки и отчасти потовые железы. Через легкие выводится углекислота, которая постоянно образуется в тканях, поступает в кровь и при накоплении в ней сдвигает ее реакцию в кислотную сторону. Через почки выводится избыток как кислых продуктов (например молочной кислоты, фосфорной кислоты, мочевой кислоты и др.), поступающих в кровь при обмене веществ в мышцах, так и щелочных (аммиака). Помимо почек, выделение кислот и щелочей происходит также через потовые железы, хотя и в меньшей степени.

Однако деятельность указанных органов не обеспечивает полной и своевременной регуляции кислотно-щелочного равновесия крови, и кровь имеет свои собственные регуляторные механизмы, так называемые буферные вещества крови. Значение буферных веществ состоит в том, что они, вступая в реакцию с кислотами и щелочами, поступившими в кровь, отчасти их нейтрализуют, тем самым предохраняя кровь от резкого сдвига ее реакции.

Буферным, т. е. уменьшающим сдвиг реакции, действием обладают слабые кислоты и их соли. К числу таких «буферных пар» принадлежит в первую очередь угольная кислота (H_2CO_3) и двууглекислая соль натрия, или, иначе,

бикарбонат натрия (NaHCO_3), в больших количествах содержащийся в плазме крови. Если к раствору такой соли прилить более сильную кислоту, например молочную, то образуется слабая кислота — угольная кислота и соль молочной кислоты. Для краткости остаток молочной кислоты обозначают буквой L.



Концентрация водородных ионов угольной кислоты намного меньше концентрации водородных ионов молочной кислоты, поэтому реакция раствора изменится сравнительно мало. К тому же избыток образовавшейся угольной кислоты не надолго задержится в крови. Угольная кислота разлагается на воду и углекислый газ: $\text{H}_2\text{CO}_3 = \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$, а последний выводится через легкие. В конечном итоге реакция крови вновь возвращается к первоначальной.

Аналогичный процесс происходит при поступлении в кровь избытка щелочей. С ними вступает в реакцию угольная кислота, образуя двууглекислую соль, имеющую лишь слабощелочную реакцию, значительно меньшую, чем поступившее в кровь основание.

Бикарбонаты — не единственное вещество в крови, обладающее буферным действием. Таким же действием обладают и фосфаты (NaH_2PO_4 и Na_2HPO_4) и некоторые белки, обладающие свойством так называемой амфотерности. Амфотерными называются вещества, которые в кислой среде ведут себя как основания, а в щелочной — как кислоты.

Если в раствор, содержащий амфотерный белок, прилить кислоты, то он освабуждает свой гидроксильный радикал и реагирует, следовательно, с кислотой, как щелочь, нейтрализуя кислоту. Если же прилить к этому раствору щелочь, то он нейтрализует и ее, отщепляя свой водородный ион.

При мышечной работе в кровь из мышц преимущественно поступают кислоты. Поэтому особенно большое значение имеют те буферные вещества, которые предохраняют кровь от резкого усиления ее кислотности. Чем более богата кровь буферными веществами, тем легче организм может справиться с кислыми продуктами, в избытке поступающими в кровь при мощной мышечной работе. Общее количество буферных веществ крови, способных нейтрализовать кислоты, принято называть щелочными резервами крови.

Они измеряются по тому количеству углекислоты, которое кровь может связать.

В нормальных условиях количество щелочных резервов плазмы выражается цифрой 60 (в среднем). Это значит, что 100 см³ плазмы могут связать 60 см³ CO_2 . Бикарбонаты содержатся не только в плазме, но и в эритроцитах, однако, в меньшем количестве. Поэтому щелочные резервы цельной крови выражаются более низкой цифрой, чем плазмы в отдельности, и равны в среднем 50% CO_2 .

Весьма важным является тот факт, что щелочные резервы крови увеличиваются под влиянием тренировки. Рядом исследователей было обнаружено, что при тренировке щелочные резервы могут увеличиться на 10 и даже на 20%. Это значит, что кровь тренированного организма обладает более сильным буферным действием, чем кровь нетренированного, и при большой спортивной нагрузке легче справляется с тем количеством кислых продуктов, которые поступают из мышц и могут вызвать резкое повышение ее кислотности.

ГЛАВА III

ДЫХАНИЕ

Неоднократно упоминавшиеся в предыдущем изложении процессы окисления, тесно связанные с обменом веществ и энергии, могут совершаться лишь при условии непрерывной доставки кислорода в ткани и непрерывном же удалении продукта окисления—углекислого газа CO_2 . Обмен этими газами между организмом и окружающей его средой и составляет процесс дыхания.

Процессы окисления в нашем организме совершаются в его клетках. Именно в них происходит потребление кислорода и образование углекислого газа. Средой, окружающей клетки, являются тканевая жидкость и кровь. Обмен газов между тканями и внутренней средой организма — кровью — составляет сущность внутреннего, или тканевого, дыхания. Сама же кровь является лишь переносчиком кислорода и углекислого газа между тканями и легкими. В этом транспорте газов заключается дыхательная функция крови. Поступление кислорода в кровь извне и удаление избытка углекислоты из крови наружу осуществляется через легкие. Такой обмен газов в дыхательных органах — легких — между атмосферным воздухом и кровью составляет сущность наружного, или легочного, дыхания (у некоторых животных в наружном дыхании участвует, кроме легких, в большой мере и кожа; у человека же кожное дыхание сравнительно с легочным столь ничтожно, что практически им можно пренебречь). Дыхание человека, разделяемое на отдельные упомянутые звенья, есть целостный процесс, в котором каждое звено его неразрывно связано с другим. Рассмотрим сначала деятельность самого дыхательного аппарата, а затем уже перейдем к собственно легочному газообмену, т. е. обмену газов между легкими и кровью.

ДЫХАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ И ДЫХАТЕЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ

Дыхательный аппарат человека представляет собой сложную систему органов, которые можно разделить на три группы.

1. Воздухоносные пути: верхние — от ротового и носовых

отверстий до голосовых связок и нижние — трахея, бронхи и бронхиолы (разветвления бронхов). Эта часть дыхательного аппарата служит для сообщения легких с внешней атмосферой и является в сущности лишь системой трубок, через которые движется воздух снаружи к легким или из легких наружу. Газообмена в воздухоносных путях не происходит; воздух, находящийся в них, не входит в непосредственное соприкосновение с кровью, поэтому содержание кислорода и углекислого газа в нем остается неизменным. Поэтому пространство, заключенное в воздухоносных путях, называют вредным пространством; оно при спокойном дыхании составляет около 140 см^3 , при усиленном — несколько больше.

2. Собственно легкие. Легкие состоят из многочисленных альвеол — тонкостенных пузырьков, представляющих собой слепые окончания альвеолярных ходов, которые составляют продолжение бронхиол. Альвеолы оплетены густой сетью капиллярных кровеносных сосудов. Именно здесь, между воздухом альвеол (и альвеолярным воздухом) и кровью, происходит собственно легочное дыхание — обмен газов между легкими и кровью. Громадная поверхность альвеол ($50\text{--}100 \text{ см}^2$) обеспечивает величину и скорость этого обмена. Легкие обладают большой эластичностью, позволяющей им сильно растягиваться и вмещать большое количество воздуха.

3. Третьей частью дыхательной системы является ее двигательный аппарат — костно-мышечная система грудной клетки: ребра и дыхательная мускулатура. Сюда же относят и плевру, представляющую собой футляр, в котором помещаются легкие. Плевральный мешок двустеночный: один листок его непосредственно примыкает к легким; другой, отделенный от первого узкой капиллярной щелью (плевральной полостью), выстилает внутреннюю стенку грудной клетки. Плевральная полость заполнена жидкостью. К дыхательной мускулатуре относится в первую очередь диафрагма — широкая плоская мышца, отделяющая грудную полость от брюшной, и межреберные мышцы.

Рассмотрим работу аппарата, обеспечивающего дыхательные движения.

Изменение объема грудной клетки. Увеличение объема грудной клетки при вдохе происходит благодаря сокращению дыхательной мускулатуры. Сокращение диафрагмальных мышц вызывает уплощение, опускание диафрагмы, а сокращение наружных межреберных мышц — поднятие ребер. Спокойный выдох происходит почти пассивно, при расслабленных мышцах. Купол диафрагмы при этом вновь выпячивается вверх, вследствие эластичной тяги хрящей, принимают исходное положение. При усиленных вдохах и выдохах в работу включается, кроме того, вспомогательная дыхательная мускулатура: грудные, шейные мышцы, внутренние межреберные (при вдохе) и мышцы брюшного пресса (при выдохе).

Механизм легочного дыхания

Для того, чтобы отчетливо представить себе механизм расширения и сжатия легких при дыхании, обратимся к рис. 11. Здесь схематически изображено изменение давления в плевральной поло-

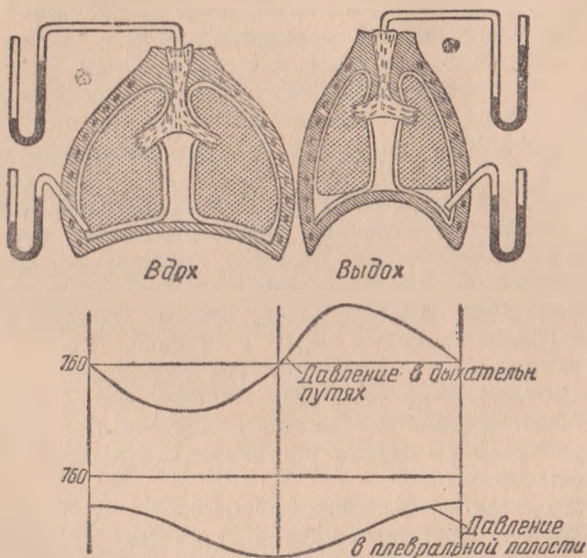


Рис. 11. Схема изменений давления в плевральной полости и дыхательных путях.

сти и в дыхательных путях во время вдоха и выдоха. Если осторожно ввести в плевральную полость полую иглу, соединенную с манометром, то мы увидим, что во время вдоха ртуть в свободном колене манометра окажется ниже, чем в том колене, которое сообщается с иглой. Иначе говоря, мы убедимся в наличии отрицательного давления (т. е. ниже атмосферного) в плевральной полости. При увеличении объема грудной клетки под действием дыхательной мускулатуры легкие пассивно растягиваются: однако каждое эластичное тело, каким и являются легкие, сопротивляется растяжению, стремясь вернуться к прежнему состоянию. Чем больше действует внешняя растягивающая сила (в данном случае — чем больше расширяется грудная клетка, т. е. чем глубже вдох), тем больше действуют в противоположном направлении эластические силы легочной ткани. Понятно поэтому, что в узкой щели между двумя плевральными листками, на которые действуют противоположно направленные силы, давление должно стать отрицательным. При нормальном вдохе оно у человека ниже атмосферного на 6—8 мм ртутного столба, при очень глубоком — может

падать на 30 мм. Напомним, что атмосферное давление равно 760 мм ртутного столба.

Воздух, находящийся в легких, при их расширении, естественно, разрежается. Это является причиной поступления снаружи воздуха, заполняющего всю внутреннюю полость легких. При спокойном вдохе отрицательное давление в легких невелико, оно всего на 1 мм ртутного столба ниже атмосферного. При очень сильном вдохе, в особенности когда вдыхаемый воздух с трудом проникает через суженную голосовую щель, давление в воздухоносных путях может снизиться на 50—60 мм.

Когда вдох закончился, давление в плевральной полости наиболее отрицательное. В легких же и воздухоносных путях в этот момент давление уже вновь стало равным атмосферному. Воздух в этот момент в легкие больше не поступает, заполнив всю их внутреннюю полость.

Нормальный выдох, как уже говорилось, происходит почти пассивно. Это значит, что сокращение дыхательных мышц прекратилось, они расслабились и их растягивающая сила стала меньше эластической тяги легких, стремящихся спастись. Давление в плевральной полости делается уже не столь отрицательным, как на вершине вдоха, однако даже в самом конце выдоха оно остается примерно на 3 мм ртутного столба ниже атмосферного. Это значит, что даже при самом глубоком выдохе легкие все же остаются несколько растянутыми и стремятся занять еще меньший объем, чем объем грудной клетки при максимальном выдохе. Если на глубине выдоха сделать отверстие в грудной клетке, сообщив таким образом плевральную полость с внешней атмосферой, то легкие спались бы, а воздух извне поступил бы в плевральную полость.

При уменьшении объема полости легкого под давлением грудной клетки воздух в легких сжимается, давление его становится выше атмосферного, в силу чего он выталкивается через дыхательные пути наружу. При спокойном выдохе давление в легких и воздухоносных путях выше атмосферного на 2—3 мм ртутного столба, при максимальной же силе выдоха, затрудненного суженной голосовой щелью, это давление может превышать атмосферное на 80—90 мм.

Когда выдох заканчивается, разность между давлением в легких и наружным уменьшается, и в конце выдоха, перед вдохом, эти давления равны друг другу.

Рассмотрим теперь, как изменяется при дыхании давление в брюшной полости.

Во время вдоха диафрагма, как уже указывалось, уплощается и опускается к низу. При этом она давит на брюшные органы, которые в свою очередь производят давление на брюшную стенку. Давление в брюшной полости повышается. Мышцы брюшного пресса при вдохе расслаблены и, легко поддаваясь давлению со стороны брюшных органов, не препятствуют выпячиванию брюшной стенки,

столь заметному у лиц с резко выраженным диафрагмальным типом дыхания. У лиц же с преимущественно грудным типом дыхания (что чаще встречается у женщин) опускание диафрагмы невелико, в силу чего незначительно и выпячивание брюшной стенки.

При выдохе диафрагма расслабляется, одновременно сокращаются брюшные мышцы; купол диафрагмы поднимается. При сильном напряженном выдохе мышцы брюшного пресса, сокращаясь с большой силой, могут значительно повысить давление в брюшной полости. Следует иметь в виду, что сокращение мышц брюшного пресса может активно помогать только выдоху, при входе же эти мышцы ведут себя пассивно, оставаясь расслабленными. В этом отношении действие их противоположно действию основных дыхательных мышц грудной клетки, которые активно сокращаются при входе, при выдохе же расслабляются.

Колебания давления в грудной и брюшной полостях играют громадную роль в кровообращении.

Сила дыхательных мышц измеряется ртутным манометром (пневмометром), сообщенным с носовыми отверстиями или ртом. Величина давления, которая может быть создана при максимальном напряжении выдыхателей, составляет примерно 150 мм ртутного столба, а при напряжении вдыхателей — 100 мм, что свидетельствует о большей силе вдыхательной мускулатуры. Нужно, однако, иметь в виду, что вдыхательной мускулатуре, помимо этого, приходится преодолевать сопротивление грудной клетки, при выдохе же ее эластические силы складываются с силой выдыхательных мышц.

При нормальном дыхании в состоянии покоя сила дыхательной мускулатуры используется в малой степени. Зато при усиленном дыхании, например при выполнении физических упражнений, требуются уже большие размахи дыхательных движений, совершаемых к тому же с большой частотой. В этих случаях дыхательная мускулатура сокращается с большой силой. Поэтому физические упражнения развивают силу дыхательных мышц.

С особенно большой силой происходит сокращение дыхательной мускулатуры при физических упражнениях, совершающихся в условиях затрудненного дыхания. Это наблюдается, например, при плавании, при борьбе и некоторых других упражнениях. Подробнее — см. вторую часть книги.

Жизненная емкость легких

Жизненной емкостью легких называется объем воздуха, который может выдохнуть человек, предварительно набравший в легкие как можно больше воздуха. Измеряется жизненная емкость легких спирометром (рис. 12) или газовыми часами.

Измерением жизненной емкости легких определяется, однако, еще не весь объем воздуха, который они вмещают. Некоторое его количество (около 1 л), так называемый остаточный воздух, еще остается в легких даже после самого глубокого выдоха. Происходит это потому, что, как выше было указано, легкие даже на глубине выдоха остаются еще в несколько растянутом состоянии, т. е. не спадаются полностью. Полное же спадение легких и выдох из них остаточного воздуха происходит лишь в том случае, если превральная полость сообщается через искусственное отверстие в грудной клетке с наружной атмосферой. Однако и после этого в альвеолах легких остается некоторое количество воздуха (минимальный воздух).

Жизненная емкость легких, как показывает рис. 13, с возрастом увеличивается, что связано в первую очередь с увеличением размеров тела, его ростом. У взрослых (с 18 до 40 лет) величина жизненной емкости легких довольно постоянна, составляя в среднем 3500 см³ у мужчин и 2500 см³ у женщин. Однако и у взрослых жизненная емкость легких различна в зависимости от роста, достигая, например, при росте 180 см 5500 см³. В отдельных случаях жизненная емкость легких достигает до 7000 см³. В среднем разнице в росте на 5 см соответствует разница в жизненной емкости легких в 400—500 см³.

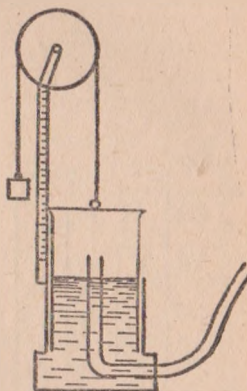


Рис. 12. Схема спирометра.



Рис. 13. Изменение жизненной емкости легких с возрастом (по данным Миллера и др.).

Спортивная деятельность, развивая дыхательный аппарат, способствует увеличению жизненной емкости легких. Это видно из того, что у спортсменов жизненная емкость легких в среднем на 500—1000 см³ выше, чем у лиц, не совершающих регулярной, ин-

тенсивной мышечной работы. При этом у спортсменов жизненная емкость легких повышается различно, в связи со специализацией в различных видах спорта.

На рис. 14 приведены средние величины жизненной емкости легких у спортсменов одинакового роста.

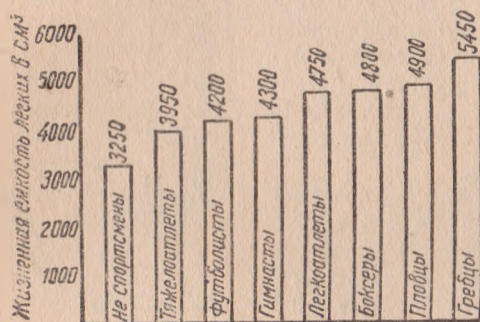


Рис. 14. Жизненная емкость легких у представителей разных видов спорта (по Воррингену).

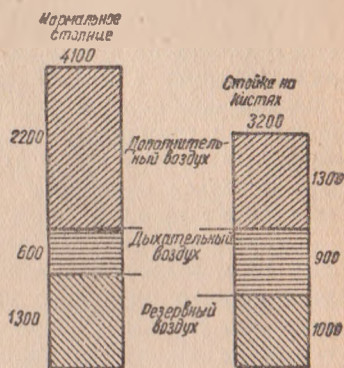


Рис. 15. Жизненная емкость легких при нормальном стоянии и стойке на кистях (по Украпу).

При дыхании используется лишь часть жизненной емкости легких. Если дыхание совершается в состоянии покоя, то при каждом вдохе в легкие поступает около 500 см³ воздуха, так называемый дыхательный воздух. То количество воздуха, которое можно вдохнуть сверх дыхательного воздуха, составляет дополнительный воздух, равный в среднем 1500—2000 см³. С другой стороны, после нормального выдоха можно выдохнуть еще 1000—1500 см³ резервного воздуха. Следовательно, жизненная емкость легких складывается из дыхательного, дополнительного и резервного воздуха.

Измерение составных частей жизненной емкости легких представляет интерес в тех случаях, когда нужно выяснить влияние спортивных напряжений на дыхательную мускулатуру. Например, гимнаст в течение некоторого времени поддерживает с большим или меньшим напряжением определенную позу—упор, угол, стойку на кистях, «крест», на кольцах и т. п. Такие «статические усилия» совершаются зачастую при напряжении мышц, прямо или косвенно участвующих в дыхательных движениях грудной клетки; это может уменьшать амплитуду этих движений и, таким образом, уменьшать жизненную емкость легких во время поддержания позы. Раздельное изучение дыхательного, дополнительного и резервного объемов воздуха, определяемых в условиях сохранения указанных статических поз, позволяет уточнить влияние этих поз на дыхание.

Для иллюстрации приводим рис. 15, на котором показано различие в жизненной емкости легких и ее составляющих при нормальном стоянии и при стойке на кистях.

Вентиляция легких

Как уже указывалось, взрослый человек в состоянии относительного покоя вдыхает и выдыхает при каждом дыхании в среднем 500 см³, или 0,5 л воздуха. Эта цифра определяет глубину дыхания. Число дыханий в среднем — 16 в минуту. Из этих цифр нетрудно рассчитать количество воздуха, проходящего через легкие в одну минуту. В данном случае минутный объем дыхания, или, иначе, величина легочной вентиляции, являющаяся произведением глубины дыхания на число дыханий в минуту, равна $0,5 \times 16 = 8$ л воздуха. Чаще наблюдаются, в особенности среди спортсменов, более высокие цифры (5—6 л), что связывается с более редким дыханием. Частота дыхания при возможно полном покое, когда испытуемый старается лежать расслабленно, составляет у мужчин 10—12 в минуту, а иногда падает до 7—6. Встречаются лица с частотой дыхания, равной 4—5 в минуту; при этом глубина дыхания составляет 1 л, откуда легочная вентиляция равна 4 л в минуту.

Частота дыхания зависит от ряда условий. Значительное влияние оказывает поза. Так, например, наблюдалось, что у лиц, у которых при лежании частота дыхания равнялась в среднем 13 в минуту, при сидении она достигала 19, а при стоянии — 23 в минуту. Оказывают влияние также пол и возраст. У женщин частота дыхания (около 20 в минуту) выше, чем у мужчин, у детей выше, чем у взрослых. Последнее иллюстрируется табл. 9, в которой приведены средние цифры, зарегистрированные у многих сотен лиц обоего пола.

Таблица 9
Средняя частота дыхания в связи с возрастом (по Кетле)

Возраст (в годах)	Количество дыханий в 1 мин.
1	44
5	26
15—20	20
20—25	18
25—30	16
30—50	18

Перебьем теперь к рассмотрению дыхания при физических упражнениях.

Величина легочной вентиляции при мышечной работе возрастает с мощностью совершаемой работы, хотя и не строго пропорционально последней (рис. 16). Легочная вентиляция может у некоторых лиц достигать при работе 120 и даже 140 л в минуту. В большинстве же случаев при таких упражнениях, как бег, плавание, гребля, бег на коньках и на лыжах, езда на велосипеде, легочная вентиляция возрастает (при соответствующей интенсив-

ности работы) до 60—100 л. Естественно, что столь значительное увеличение вентиляции (до 20 раз по отношению к цифрам покоя) возможно при возрастании как частоты, так и глубины дыхания. При этом, как показывает рис. 16, вначале, при увеличении мощ-

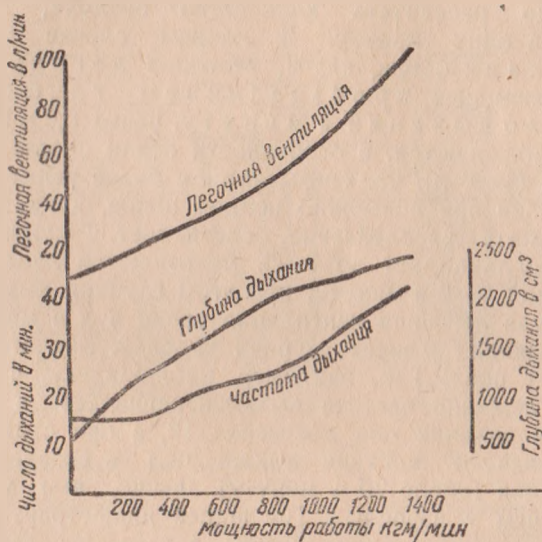


Рис. 16. Зависимость дыхания от мощности работы (по данным Шнейдера).

ности работы, глубина дыхания возрастает больше, чем частота; далее же, когда глубина дыхания достигает 2 л, ее дальнейший рост замедляется, и легочная вентиляция растет преимущественно за счет значительного учащения дыхательных движений. Предельная величина глубины дыхания определяется жизненной емкостью легких; понятно, что больше последней она быть не может. Однако в полную жизненную емкость легких частое дыхание не совершается, и максимальная глубина дыхания примерно на 1 л не достигает жизненной емкости легких. Естественно, что лица с большой жизненной емкостью легких имеют в этом отношении значительное преимущество: у них выше и предельная глубина дыхания. Тренированность и здесь играет большую роль: при одной и той же жизненной емкости легких и при одной и той же частоте дыхания тренированный спортсмен по сравнению с нетренированным способен совершать при физических упражнениях более глубокие дыхания, благодаря чему его легочная вентиляция может достигать большей величины.

Предел частоты дыхания не так четко ограничен, как предел глубины дыхания. При большинстве физических упражнений частота дыхания редко превышает 40 в минуту, доходя, однако,

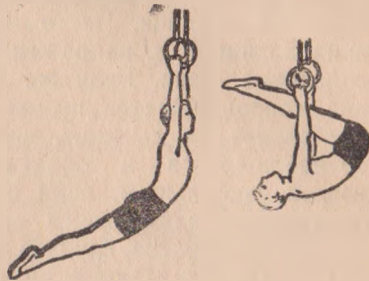
иногда до 60 и больше дыханий в минуту. При чрезмерном учащении дыхания глубина его уже не увеличивается, а уменьшается.

Частота дыхания — ритм его неразрывно связан с ритмом движений. При некоторых физических упражнениях эта связь настолько тесна, что несоответствие первого ритма второму становится почти невозможным. Сочетание дыхания с движением особенно четко выражено при плавании, в котором одно дыхание приходится точно на один цикл движений пловца. То же наблюдается при гребле, где число дыханий точно соответствует числу гребков. Отчасти вынужденный ритм дыхания имеет место и при ходьбе на лыжах, особенно при одновременном стиле ходьбы.

Связь ритма дыхания с ритмом движений наблюдается не только при упражнениях с принудительным ритмом дыхания. При беге, например, нет принудительной частоты дыхания, потому что поза бегуна не препятствует совершению вдоха или выдоха в любой момент движения. Тем не менее опытный бегун совершает (в особенности при беге на длинные дистанции) всегда определенное число шагов на каждый дыхательный цикл: по 2, 3 или 4 шага на каждый вдох и каждый выдох в зависимости от скорости бега. При беге на коньках, на лыжах не только одновременным ходом, но и другими стилями, при велоезде — в общем при всех ритмических движениях устанавливается определенное соотношение между числом дыханий и числом движений. Резкое нарушение установившегося ритма дыхания вызывает несоответствие между размером легочной вентиляции и потребностью в ней, что затрудняет дальнейшее длительное выполнение физического упражнения.

Важную роль в правильной постановке дыхания играет также определенное соотношение фаз дыхания с фазами движений в упражнениях гимнастического типа. В этих, а также и в ряде других упражнений совпадение вдоха или выдоха с определенным движением связано со следующими двумя обстоятельствами.

Первое — это условие анатомического благоприятствования дыхательному движению. Это значит, что вдох должен совпадать с таким движением или позой, при которых создаются наиболее благоприятные анатомические условия для расширения грудной клетки. Такие условия создаются при выпрямлении туловища и разведении рук. Наоборот, для выдоха анатомически наиболее благоприятные условия создаются при опускании рук и сгибании туловища или притягивании ног к туловищу (рис. 17).



Вдох Выдох
Рис. 17. Соотношение фаз дыхания с фазами движения.

Вторым немаловажным обстоятельством является связь фаз дыхания с величиной мышечного напряжения. Если движение совершается без напряжения, дыхание происходит без затруднения. Если же движение требует большого усилия, то напряжение распространяется и на дыхательную мускулатуру, что влияет на характер дыхания. Часто при этом происходит явление *натуживания*, т. е. напряжение выдыхательных мышц при закрытой голосовой щели. Если же голосовая щель открыта, то напряжение сопровождается выдохом. Обнаружено, что силовое движение влияет на дыхание, способствуя больше выдоху, чем вдоху, но наблюдается и обратное влияние: напряжение мышц оказывается наибольшим, если оно сопровождается натуживанием или выдохом, и наименьшим — при вдохе.

В большинстве случаев моменты наибольших мышечных напряжений совпадают с анатомически более выгодными условиями для выдоха. Часто, однако, этого совпадения нет; в то время как анатомически целесообразнее сделать вдох, большое мышечное напряжение, вовлекающее дыхательную мускулатуру, побуждает совершить в этот момент выдох.

В качестве примера приведем условия дыхания при академической гребле. Казалось бы, в тот момент, когда совершается гребок, т. е. когда туловище и ноги выпрямляются, а локти отходят в стороны и назад, мы имеем анатомически наиболее благоприятные условия для вдоха, а при проносе весел над водой, когда плечи сближаются, туловище наклоняется вперед и ноги к нему подтягиваются, условия более благоприятны для выдоха. На самом же деле натуживание и выдох совершаются именно во время гребка, потому что в это время мышцы максимально напряжены, а при проносе весел над водой, когда мышцы расслаблены, совершается вдох.

ОБМЕН ГАЗОВ В ЛЕГКИХ И ТРАНСПОРТ ГАЗОВ КРОВЬЮ

Состав воздуха в легких. Состав вдыхаемого воздуха отличается от состава выдыхаемого воздуха вследствие поглощения организмом кислорода и выделения углекислоты. В чистом наружном воздухе содержится: кислорода — 20,93%, углекислого газа — 0,03%, азота — 79,04%.

В выдыхаемом же воздухе кислорода меньше (16—17%), а углекислоты больше (4—5%). Количество азота остается неизменным, так как он не участвует в окислительных процессах и по отношению к нашему организму является индифферентным газом.

Обмен газов происходит только в альвеолах, из которых кислород поступает в кровь и в которые из крови поступает углекислый газ. В воздухоносных же путях (вредном пространстве) состав воздуха при дыхании не изменяется. Упомянутые выше

количества кислорода и углекислоты в выдыхаемом воздухе относятся к смешанному воздуху, т. е. выдохнутому как из альвеол, так и из воздухоносных путей. Состав же собственно альвеолярного воздуха отличается тем, что в нем меньше кислорода (14—15%) и больше углекислого газа (5—6%), чем в смешанном выдыхаемом воздухе.

Переход газов из альвеол в кровь и обратно происходит благодаря диффузии газов через стенки альвеол.

Направление этой диффузии определяется разностью парциального давления газа. От величины парциального давления газа зависит поглощение его кровью.

Парциальное, или частичное, давление газа (латинское «парс» — означает часть) есть давление данного газа, находящегося в смеси газов. Рассмотрим парциальное давление кислорода воздуха. Нормальное содержание кислорода в воздухе, как было сказано, составляет почти 21%. Поэтому парциальное давление кислорода также должно составить примерно 21% давления воздуха. Если давление воздуха нормально, т. е. измеряется высотой ртутного столба в 760 мм, то парциальное давление кислорода равно 21% от 760, т. е. 159 мм ртутного столба. Понятно, что парциальное давление кислорода при понижении атмосферного давления (например, при подъеме на высоты) или при более низком его процентном содержании в воздухе (например, в выдыхаемом воздухе) окажется более низким, чем указанная цифра. Понятно также, что при повышенном атмосферном давлении (например, в кессонах или в скафандре водолаза, опускающегося под воду) или при повышенном содержании кислорода в воздухе (например, при вдыхании воздуха из «кислородной подушки») парциальное давление кислорода окажется также повышенным по сравнению с указанной нормой.

Парциальное давление газов — важнейший фактор их растворимости в жидкостях. Каждый газ растворяется в жидкости тем больше, чем выше его парциальное давление в смеси газов над жидкостью. Если повысить парциальное давление какого-либо газа, находящегося над жидкостью, то часть его перейдет в жидкость. Если же понизить парциальное давление газа над жидкостью, то часть этого газа, находившегося в жидкости в растворенном состоянии, выйдет из раствора наружу. Первое положение поясняет поступление кислорода из легких в кровь, так как в легких парциальное давление кислорода выше, чем в притекающей к легким крови. Второе положение поясняет нам выход углекислого газа из крови в легкие, где этот газ имеет более низкое парциальное давление, чем в притекающей к легким крови.

Поглощение кислорода. Кислород способен как физически раствориться в крови, так и вступать в непрочную химическую связь с гемоглобином. Физическое растворение кислорода в крови очень невелико; главную массу кислорода крови

составляет кислород, химически связанный с гемоглобином. Степень насыщения крови кислородом зависит прежде всего от парциального давления кислорода в альвеолярном воздухе.

В альвеолярном воздухе парциальное давление кислорода ниже нормального парциального давления его в наружном воздухе и лишь немногим превышает 100 мм ртутного столба.

Указывалось, что в покое альвеолярный воздух содержит приблизительно 14—15% кислорода, остальные 85% приходятся на долю азота и углекислого газа. Кроме того, следует принять во внимание, что альвеолярный воздух насыщен водяными парами, давление которых при температуре тела равно приблизительно 47 мм ртутного столба. Поэтому парциальное давление кислорода в альвеолах составляет 14—15% от 713 мм (760—47), что составит приблизительно 100—105 мм ртутного столба, т. е. почти в 7 раз меньше одной атмосферной.

Найдем, что при этом парциальном давлении в 100 см³ плазмы растворится едва 0,3 см³ кислорода. На самом же деле в 100 см³ крови может содержаться до 20 см³ кислорода. Все это количество кислорода, за вычетом физически растворенного (количеством которого можно практически пренебречь), находится в химической связи с гемоглобином. Связывание кислорода гемоглобином также зависит от парциального давления кислорода.

Точная зависимость насыщения гемоглобина кислородом от его парциального давления довольно сложна, но может быть уяснена из следующего примера.

Предположим, что перед нами 100 г гемоглобина, который помещается в атмосферу чистого кислорода (т. е. когда парциальное давление его равно 760 мм ртутного столба). Мы заметим тогда, что гемоглобин полностью насытился кислородом и превратился в оксигемоглобин. Теперь будем вытеснять кислород, находящийся над гемоглобином, каким-нибудь другим газом, например азотом. Когда образуется смесь, половину состоящая из азота и половину из кислорода, парциальное давление последнего будет равняться уже $760 : 2 = 380$ мм ртутного столба. Оказывается, и в этих условиях все 100 частей гемоглобина практически еще полностью насыщены кислородом. Лишь когда мы создадим смесь, на $\frac{2}{7}$ состоящую из азота и лишь на $\frac{1}{7}$ из кислорода, то заметим, что ничтожная часть оксигемоглобина диссоциировала, т. е. отщепила свой кислород, превратившись, таким образом, в неокисленный, восстановленный гемоглобин. Далее, при все большем замещении кислорода азотом, т. е. при дальнейшем падении парциального давления кислорода, диссоциация оксигемоглобина будет возрастать, и все большая часть его, освобождаясь от кислорода, будет превращаться в гемоглобин.

Следующие цифры показывают этот процесс:

При давлении кислорода, равном	На 100 г гемоглобина приходится оксигемоглобина (в граммах)
100 мм ртутного столба	92
40 » » »	84
20 » » »	72
10 » » »	55
0 » » »	0

Графически эта связь представлена на рис. 18, в котором по горизонтали (ось абсцисс) отложены величины парциального давления кислорода, а по вер-

показали (ось ординат) степень насыщенности кислородом 100 г гемоглобина. Из рассмотрения этой кривой, называемой кривой диссоциации оксигемоглобина, мы можем сделать следующий важный вывод: парциальное давление кислорода, которое существует в альвеолах (100—110 мм ртутного столба), достаточно велико, чтобы почти полностью насытить гемоглобин кислородом.

Если кровь достаточно богата гемоглобином, то при полном его насыщении кислородом общее количество последнего в крови, называемое кислородной емкостью крови, составляет примерно 20%, т. е. 200 см³ на 1 л крови.

Кривая диссоциации оксигемоглобина указывает на высокую приспособляемость организма к недостатку кислорода в наружном воздухе. Проявляется это на примере подъема на горные высоты. Чем выше поднимемся от уровня моря, тем разреженнее делается воздух, тем ниже становится атмосферное давление. Содержание кислорода в воздухе на разных уровнях атмосферы сохраняется постоянным — около 21%. Парциальное же его давление падает в точном соответствии с падением атмосферного давления. В табл. 10 показано, как уменьшается атмосферное и парциальное давление кислорода в наружном и альвеолярном воздухе при пребывании на разных высотах. Сопоставляя цифры таблицы с кривой на рис. 18, легко убедиться в том, что даже на высоте 4000 м, когда парциальное давление кислорода в альвеолярном воздухе снижается со 100 до 70 мм, кровь еще относительно хорошо насыщена кислородом. Поэтому на таких высотах организм еще не ощущает явного недостатка в кислороде.

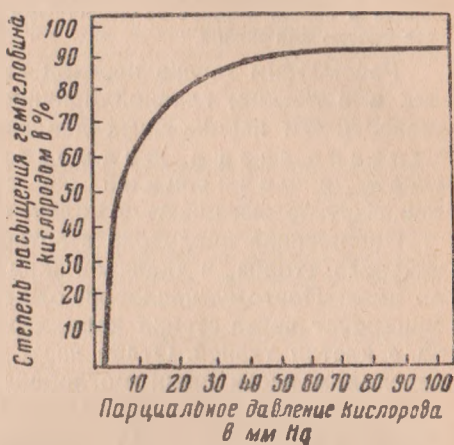


Рис. 18. Кривая диссоциации оксигемоглобина.

Таблица 10

Сопоставление между высотой, барометрическим давлением и парциальным давлением кислорода в наружном и альвеолярном воздухе

Высота над уровнем моря (в м)	Барометрическое давление (в мм рт. столба)	Парциальное давление кислорода (в мм рт. столба)		% насыщения гемоглобина кислородом
		в наружном воздухе	в альвеолярном воздухе	
0	760	159	102	96
1 500	633	132	85	93
3 000	530	111	69	90
4 500	430	90	52	80
6 500	330	69	36	68

Однако чем выше совершается подъем, тем круче падает кривая диссоциации оксигемоглобина, тем становится беднее кислородом артериальная кровь. Кривая диссоциации показывает, что относительно неплохое насыщение гемо-

глубина кислородом удерживается еще при давлении кислорода в альвеолах, достигающем даже половины обычного, т. е. 50 мм ртутного столба, что соответствует подъему на высоту 4,5—5 км. Не удивительно, поэтому, что на большой высоте проживают годами горные жители; к тому же низкая насыщенность гемоглобина кислородом компенсируется увеличенным количеством гемоглобина в крови. Дальнейшее падение давления кислорода при подъеме на еще большие высоты сопровождается все более прогрессирующим снижением содержания кислорода в крови, которое за известными пределами, индивидуально различными, уже опасно для жизни.

Рассмотрим теперь переход кислорода из крови в ткань. Здесь, как и в легких, главной причиной диффузии кислорода является разность его парциальных давлений или, точнее, напряжений (состояние газа в жидкости именуется обычно напряжением, в воздушной же среде—давлением; как то, так и другое выражают в миллиметрах ртутного столба).

Напряжение кислорода в артериальной крови равно 95—100 мм ртутного столба, в тканевой жидкости 10—20 мм, а в клетках — до нуля. Поэтому кислород, отщепляясь от оксигемоглобина, диффундирует через стенки капилляров в тканевую жидкость, а оттуда в клетки тканей. Отдав часть своего кислорода (что связано с переходом части оксигемоглобина в восстановленный гемоглобин), кровь меняет и свой цвет из яркоалого (артериальная кровь) в фиолетово-красный (венозная кровь). В венозной крови напряжение кислорода, естественно, значительно ниже, чем в артериальной, составляя 40—60 мм ртутного столба.

Как велико количество кислорода, поступающего из артериальной крови в ткани?

Выше уже указывалось, что кислородная емкость артериальной крови равна около 20%. Если организм находится в состоянии покоя, то в венозной крови находится примерно 15% кислорода. Таким образом, артериально-венозная разность по кислороду составляет 5%; это значит, что каждые 100 см³ крови, протекая через ткань, отдают ей 5 см³ кислорода. Если в притекающей артериальной крови кислорода было 20%, то, следовательно, она отдала тканям $\frac{5}{20}$, т. е. одну четверть своего кислорода. Такое отношение артериально-венозной разности кислорода к кислородной емкости артериальной крови называется коэффициентом утилизации кислорода. При мышечной работе этот коэффициент возрастает, и притом тем больше, чем интенсивнее работа (табл. 11).

Таблица 11

Зависимость коэффициента утилизации кислорода от мощности работы (по Дугласу и Холдену)

Мощность работы на велоэргометре	Покой	103 кгм/мин.	264 кгм/мин.	512 кгм/мин.	752 кгм/мин.
Коэффициент утилизации кислорода	0,20	0,43	0,50	0,61	0,64

Кровь может при работе мышц отдавать им уже не 5% своего кислорода, а подчас даже 15%, что по отношению к 20% кислорода артериальной крови дает коэффициент утилизации около 0,75 вместо 0,2—0,3 в покое.

Кроме рассмотренного нами парциального давления кислорода, на сродство гемоглобина к кислороду влияет ряд факторов: степень кислотности крови, содержание в ней углекислого газа, температура и солевой состав. Поэтому фактическая кривая диссоциации оксигемоглобина в цельной крови отличается от кривой диссоциации чистого раствора оксигемоглобина.

Чем выше содержание углекислого газа в крови, чем кислее ее реакция, чем выше температура, тем легче диссоциирует оксигемоглобин, тем меньше кислорода связывает гемоглобин.

Дебете всех этих факторов при интенсивной мышечной работе усиливается. В кровь поступают всё большие количества углекислого газа; кислотность крови вследствие поступления в нее молочной кислоты повышается; от усиленного образования тепла в мышцах возрастает температура крови. Все это понижает прочность связи гемоглобина с кислородом в крови капилляров работающих мышц; оттекающая от них венозная кровь делается значительно беднее кислородом, иначе говоря, коэффициент утилизации кислорода возрастает.

Выделение углекислого газа. Кислород, поглощенный тканями, идет на окисление органических веществ. Образующийся при этом углекислый газ CO_2 выходит из тканей в тканевую жидкость, оттуда в кровь, из крови в легкие, откуда и выталкивается наружу. Переход CO_2 из одной среды в другую есть процесс диффузии через перепонки-мембраны. Из клеток CO_2 диффундирует в лимфу через оболочку клеток, из лимфы в кровь — через стенки капилляров, из крови в легкие — через стенки капилляров легкого и стенки альвеол. Силой же, заставляющей CO_2 диффундировать через все эти перепонки, является разность парциальных давлений (напряжений). Из области с более высоким напряжением CO_2 диффундирует в области более низкого напряжения.

Выше всего напряжение CO_2 в месте ее образования — в тканях. Там оно равно 60—70 мм ртутного столба. В лимфе напряжение CO_2 несколько ниже — 45—46 мм. В артериальной крови, притекающей к тканевым капиллярам, напряжение CO_2 значительно ниже — 40—45 мм. Поэтому CO_2 диффундирует в кровь, и оттекающая венозная кровь имеет уже более высокое, чем артериальная, напряжение углекислого газа — 50—55 мм. В альвеолах легких парциальное давление CO_2 равно 40 мм; поэтому из венозной крови легочных капилляров CO_2 диффундирует в легкие, и оттекающая артериальная кровь имеет почти то же напряжение CO_2 , что и в альвеолах, т. е. 40—45 мм ртутного столба. Схематически перемещение углекислого газа и кислорода в связи с их парциальными давлениями представлены на рис. 19.

Так же, как и кислород, углекислый газ находится в крови как в физическом растворенном, так и в химически связанном состоянии. Физическое растворение CO_2 хотя и больше, чем кислорода, но все же сравнительно невелико: на 100 см³ крови приходится при температуре тела всего около 3 см³ растворенной CO_2 . Общее же количество CO_2 в крови достигает 55—60 см³ на 100 см³ крови (50%) для венозной и 45—50 см³ для артериальной крови. Следовательно, почти вся CO_2 находится в химически связанном состоянии, главным образом в виде H_2CO_3 и NaHCO_3 .

Точнее, CO_2 помимо физически растворенной своей части, находится в химической связи в виде следующих соединений: угольной кислоты H_2CO_3 , натриевых и калиевых кислых углекислых солей NaHCO_3 и KHCO_3 и некоторое количество связано с гемоглобином в виде карбаминогемоглобина.

Более подробно процесс связывания CO_2 представляется в следующем виде: поступившая в тканевые капилляры растворенная CO_2 проникает в эритроциты,

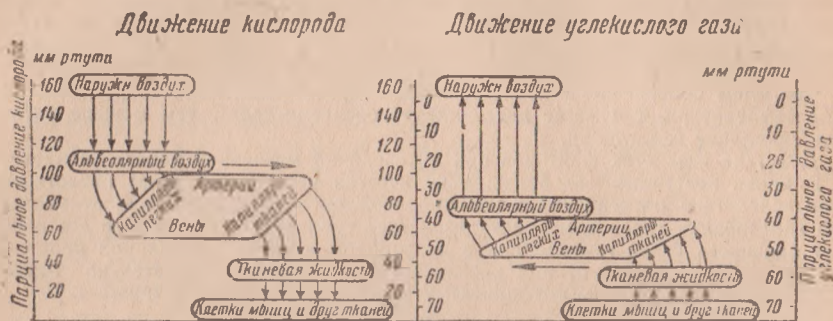


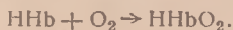
Рис. 19. Схема движения газов и их парциальных давлений.

где под действием фермента соединяется с водой, образуя угольную кислоту ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$). Последняя вступает в реакцию с калиевой солью восстановленного гемоглобина (Hb). Как кислота более сильная, чем восстановленный гемоглобин, она отнимает у него ион калия, превращаясь в калий бикарбонат:



В легочных капиллярах, в которых вследствие разности парциальных давлений большая часть CO_2 переходит из крови в альвеолы, откуда в кровь поступает O_2 , реакция развивается в обратном направлении.

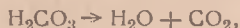
Кислород, поступая в эритроцит, соединяется с гемоглобином, образуя оксигемоглобин:



Оксигемоглобин является сильной кислотой — в десятки раз более сильной, чем восстановленный гемоглобин и угольная кислота. Поэтому он вытесняет из соли последней ее металлический ион, превращаясь в соль оксигемоглобина

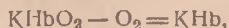


Образующаяся при этом угольная кислота под действием фермента (карбоангидразы) легко распадается на воду и летучий углекислый газ



последний же диффундирует в легкие, откуда и выталкивается.

Если теперь опять проследим за ходом артериальной крови, то в тканевых капиллярах увидим, что KHbO_2 отдает свой кислород



превращаясь в соль восстановленного гемоглобина, опять очень слабой кислоты. Последняя реагирует с угольной кислотой, и весь круговой процесс вновь повторяется.

РЕГУЛЯЦИЯ ДЫХАНИЯ

Дыхательные движения совершаются дыхательной мускулатурой. Дыхательные мышцы сокращаются под влиянием импульсов, поступающих к ним по нервам из определенных групп нервных клеток спинного мозга. К межреберным мышцам нервы отходят от грудной части спинного мозга, а к диафрагме — от шейной его части (рис. 20). Однако и нервные клетки спинного мозга, посылающие свои отростки-нервы к дыхательной мускулатуре, не функционируют самостоятельно, а находятся под влиянием головного мозга. Это доказывается экспериментом, в котором оперативным путем отделяют у животного головной мозг от спинного. Дыхание в этом случае немедленно прекращается. Иногда удавалось наблюдать и у такого «спинномозгового» животного дыхательные движения, но они были очень слабыми и нерегулярными. Если же оставить спинной мозг в соединении с продолговатым, но отделить последний от всех вышележащих отделов головного мозга, то сохраняется ритмическое дыхание.

Отсюда следует, что дыхательные импульсы поступают в спинной мозг (а оттуда к мышцам) из продолговатого мозга, в котором находится дыхательный центр — скопление нервных клеток, которые подвержены ритмической деятельности, т. е. обладают способностью периодически возбуждаться и передавать это возбуждение нижележащим отделам мозга.

Хотя дыхательный центр работает автоматически, но он находится в то же время под влиянием ряда факторов, изменяющих и регулирующих его деятельность. Эти влияния могут передаваться на дыхательный центр по нервным путям (нервная регуляция) и через кровь (гуморальная регуляция).

Нервная регуляция дыхания. Этот вид регуляции весьма разнообразен. Во-первых, надо указать на влияния, оказываемые со стороны высшего отдела головного мозга — коры его больших полушарий. Именно отсюда передаются импульсы произвольного изменения дыхания — сознательного усиления, ослабления или задержки дыхания.

Далее отметим рефлекторные влияния, передающиеся от органов чувств. Сюда относятся: рефлекторный вдох при погруже-

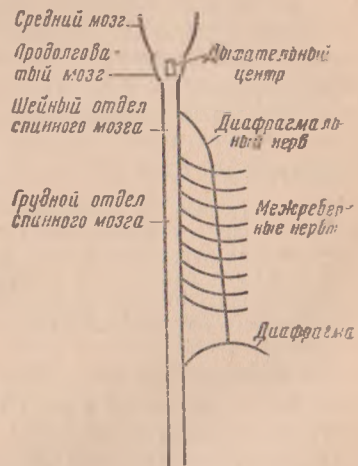


Рис. 20. Схема расположения дыхательного центра и нервов дыхательной мускулатуры

нии в холодную воду (воздействие холода на кожу, а отсюда по чувствующим нервам на головной мозг и дыхательный центр), внезапное изменение дыхания при болевых раздражениях, рефлекс чихания, кашля, вызываемые раздражением слизистой оболочки носа и дыхательных путей, и т. п.

Укажем также на изменения дыхания, наступающие при различных эмоциях: страхе, радости, гневе. В этих случаях происходит возбуждение вегетативной нервной системы и, в частности, симпатической, которая в свою очередь влияет на дыхательный центр.

Помимо указанных непостоянных воздействий, существуют еще нервные импульсы, поступающие из легких и из дыхательных мышц, постоянно влияющие на дыхательный центр и поддерживающие его автоматическую деятельность.

В стенках легких заложены окончания чувствительных веточек блуждающего нерва, отходящего от продолговатого мозга. Когда при вдохе легкие растягиваются, возникает возбуждение этих нервов, которое передается в дыхательный центр и вызывает торможение, временное прекращение его деятельности. Импульсы от дыхательного центра уже не поступают в спинной мозг, а оттуда в дыхательные мышцы; последние расслабляются, грудная клетка и легкие спадаются, наступает выдох. На глубине же выдоха новые импульсы возникают в чувствующих нервах легких, но на этот раз эти импульсы уже не тормозят, а побуждают дыхательный центр к новым потокам импульсов, идущих через спинной мозг к мышцам, что вызывает сокращение последних и расширение грудной клетки, т. е. вдох.

Аналогичные регуляторные импульсы поступают и из дыхательных мышц. От последних в спинной мозг направляются чувствующие нервы, имеющие свои специальные чувствительные (проприорецептивные) окончания в мышцах. При сокращении и растяжении дыхательной мускулатуры происходит раздражение чувствительных окончаний, от которых возбуждение передается в нервные центры, вызывая рефлекторно-противоположное действие дыхательных мышц.

В результате импульсов, поступающих от легких и от дыхательных мышц, вдох рефлекторно вызывает выдох, а выдох вызывает вдох.

Гуморальная регуляция дыхания. Гуморальная регуляция заключается в воздействии на дыхательный центр газового и химического состава крови и ее температуры.

Основным раздражителем дыхательного центра является углекислый газ крови. При повышении напряжения углекислого газа в крови дыхание усиливается. В этом, в частности, убеждает опыт с перекрестным кровообращением: У двух собак (рис. 21) перерезают сонные артерии, соединяя их затем наперекрест. Вследствие этого голова одной собаки питается кровью другой, голова же второй — кровью первой. Если теперь давать одной из собак вдыхать воздух с высоким содержанием

углекислого газа, то у второй появляется сильная одышка, первая же продолжает дышать нормально. Происходит это потому, что в крови первой собаки концентрация углекислого газа повышается, кровь же эта не попадает в мозг первой собаки, а омывает мозг второй и возбуждает при этом ее дыхательный центр.

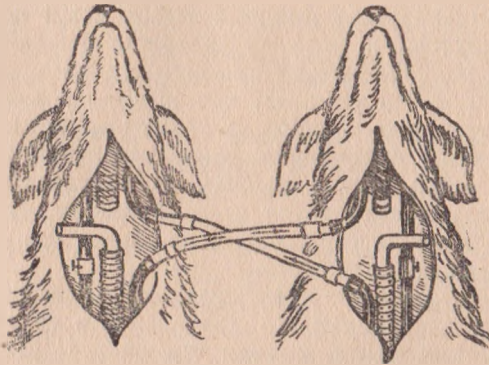


Рис. 21. Опыт с перекрестным кровообращением Фредерика.

Помимо углекислоты, возбудителем дыхательного центра (менее интенсивным) является недостаток кислорода в крови.

Кроме того, дыхательный центр возбуждается при увеличении кислотности крови, при повышении ее температуры и под влиянием ряда других факторов.

Воздействие газового состава крови на дыхательный центр осуществляется двумя путями. С одной стороны, эти влияния сказываются при непосредственном омывании кровью той области продолговатого мозга, в которой помещается дыхательный центр. С другой стороны, газы крови воздействуют на дыхательный центр через посредство нервов, идущих к дыхательному центру от кровеносных сосудов. В сонных артериях в месте их разветвления на внутренние и наружные сонные артерии, а также в дуге аорты имеются нервные окончания, которые раздражаются при избытке CO_2 или недостатке кислорода в крови. Возникшее в этих окончаниях возбуждение передается по нервам в дыхательный центр, в результате чего дыхание усиливается. В частности, при недостатке кислорода усиление дыхания происходит именно в результате подобных воздействий крови на сосудистые нервные окончания. При избытке углекислоты дыхательный центр возбуждается таким же путем, а также и при непосредственном омывании его кровью. Все эти регуляторные механизмы делают понятными причины изменения дыхания в разных условиях.

Задержка дыхания. Произвольная задержка дыхания происходит благодаря импульсам, идущим от коры головного мозга к спинному и вызывающим прекращение деятельности дыхательных мышц. Но поглощение кислорода и выделение углекислоты в тканях продолжается, хотя бы организм в это время находился в состоянии покоя.

Ясно, что при задержке дыхания ткани могут поглощать лишь тот кислород, который к моменту задержки дыхания находился в крови и альвеолах. Поскольку свежего притока кислорода нет, количество его в крови убывает, что вызывает все большее возбуждение дыхательного центра. К этому присоединяется и действие углекислоты, непрерывно накапливающейся в крови и не выбрасываемой через легкие наружу. В результате возбуждение дыхательного центра становится столь большим, что торможение, сказываемое со стороны коры мозга, не может его преодолеть, и задержка дыхания прекращается.

Если задержка дыхания происходит во время работы (например ныряние на дистанцию), то длительность ее не может быть так велика, как при покое, потому что работающие мышцы потребляют больше кислорода и выделяют больше углекислоты: кровь гораздо скорее теряет кислород и обогащается углекислотой.

Длительность задержки дыхания индивидуально различна; она зависит главным образом от степени волевого усилия — от успешности борьбы произвольных тормозящих влияний коры мозга с усиливающимся возбуждением дыхательного центра. Нужно к этому прибавить, что сами нервные клетки мозга и в особенности вышних его отделов (коры) крайне чувствительны к недостатку кислорода в крови, и нарушение их собственного нормального дыхания также, вероятно, побуждает к прекращению задержки дыхания. Прогрессирующий недостаток кислорода может вызвать прекращение деятельности клеток коры мозга, в результате чего произойдет обморок — человек впадает в бессознательное состояние и прекращает борьбу за дальнейшую задержку дыхания.

Дыхание возобновляется, восстанавливается и сознание. Если задержка дыхания происходит при нырянии и при этом она настолько длительна, что вызывает обморочное состояние, то возобновившиеся дыхательные движения поведут лишь к проникновению воды в легкие, что при отсутствии немедленной помощи приведет к смерти от удушья.

Длительность задержки дыхания во многом зависит от того, в какой момент дыхание остановлено, ибо это определяет количество воздуха, остающегося в легких. Опытами показано, что после умеренного вдоха дыхание возможно было задержать на 30—105 сек., а после глубокого вдоха — на 45—123 сек. Ясно также, что если еще больше увеличить запасы кислорода в легких, вдыхая чистый кислород, то дыхание можно задержать еще на более длительный срок. Как показывают исследования, задержка дыхания может

в таких случаях продолжаться 130—340 сек., т. е. почти 6 мин., и доходить до 8 мин. 13 сек.

Увеличение длительности задержки дыхания возможно и без вдыхания чистого кислорода, но после предварительных глубоких и частых дыханий, так называемой гипервентиляции (избыточной вентиляции) легких.

Этот прием, приводящий к удалению из крови значительных количеств углекислоты и тем самым к понижению возбуждения дыхательного центра, употребляется обычно перед длительным нырянием (см. плавание).

Регуляция дыхания при мышечной деятельности. В мышцах при работе происходит усиление окислительных процессов — поглощения кислорода и образования углекислоты. В крови вследствие этого количество углекислоты увеличивается. Дыхательный центр возбуждается, дыхание усиливается, в результате чего избыток углекислоты удаляется из крови. Однако при продолжающейся работе в кровь поступают все новые количества CO_2 , поддерживающие возбужденное состояние дыхательного центра на высоком уровне и вызывающие, таким образом, усиленное дыхание. Следовательно, чем напряженнее работа, тем больше углекислоты поступает из мышц в кровь и тем соответственно больше должна быть вентиляция легких. Если работа очень интенсивна, то вследствие энергичного поглощения кислорода из крови содержание его в крови понижается; кроме того, вследствие недостаточного окисления в мышцах в кровь поступают неокисленные продукты распада, в первую очередь молочная кислота, сдвигающая реакцию крови в кислотную сторону; наконец, вследствие усиленного теплообразования в работающих мышцах повышается температура крови. Все это вместе взятое, в дополнение к действию углекислоты, сильно возбуждает дыхательный центр и является причиной усиленной легочной вентиляции при работе большой интенсивности.

ОБЩИЙ ГАЗООБМЕН И ЭНЕРГЕТИКА

Измерение газообмена. Наиболее доступным методом изучения газообмена при спортивных упражнениях является метод Дугласа-Холдена. Заключается он в следующем. Испытуемый дышит через мундштук с клапанами или маску, сходную по своей конструкции с противогазом, но имеющую меньшее сопротивление и меньшее вредное пространство. Посредством клапанов выдыхаемый воздух, не смешиваясь с вдыхаемым, поступает через резиновый шланг в мешок из прорезиненной материи, так называемый мешок Дугласа (рис. 22). Собрав воздух, который испытуемый выдохнул за известный промежуток времени, мешок отключают от шланга; одновременно можно приключить к шлангу следующий мешок, затем третий и т. д., продолжая, таким образом, непрерывно выбирать выдыхаемый воздух.

Количество воздуха измеряется путем выжимания его из мешка в газовые часы, одновременно небольшое количество воздуха берется для анализа. В специальном газо-аналитическом приборе измеряется количество кислорода, углекислого газа и азота в выдохнутом воздухе. Нормальный же состав вдыхаемого воздуха известен и подвергается обычно лишь ничтожным колебаниям.



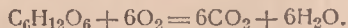
Рис. 22. Забор выдыхаемого лыжником воздуха в мешок Дугласа.

Дыхательный коэффициент

Из анализа газов выдыхаемого воздуха можно получить представление о том, какие вещества в организме подвергаются окислению. Мы судим об этом по величине дыхательного коэффициента. Дыхательным коэффициентом называют отношение количества выдохнутой углекислоты к количеству потребленного кислорода.

Приведем примеры анализа выдыхаемого воздуха. Состав наружного воздуха в круглых цифрах: кислорода 21%, углекислоты 0%, азота 79%.

Если в организме подвергались окислению углеводы, то состав выдыхаемого воздуха может быть таким: кислорода 17%, углекислоты 4%, азота 79%. Количество поглощенного кислорода равно 4% (21—17), и столько же выделилось углекислоты. Приведем формулу:



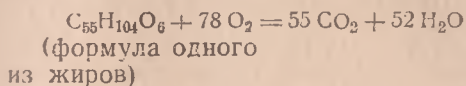
На окисление молекулы сахара пошло 6 молекул кислорода, и в результате окисления получилось тоже 6 молекул углекислоты. Одинаковое же количество молекул любого газа занимает одинаковый объем. Следовательно, объем углекислого газа, образовавшегося при окислении углевода, равен объему кислорода, затраченного на это окисление.

Из приведенного примера видно, что

$$\frac{CO_2}{O_2} = \frac{6}{6} = 1,$$

т. е. при окислении углеводов дыхательный коэффициент равен 1.

При окислении жиров мы не имеем такого соответствия между количеством кислорода, затраченного на окисление, и количеством получившегося углекислого газа, например:



При затрате 78 молекул кислорода на окисление одной молекулы жира мы получаем в выдохнутом воздухе не 78, а лишь 55 молекул CO_2 , т. е. объем углекислого газа, образовавшегося при окислении жира, меньше объема кислорода, затраченного на окисление. Отношение объема углекислоты к объему кислорода в этом случае выразится так: $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = \frac{55}{78} = 0,7$, т. е. дыхательный коэффициент при окислении жиров равен 0,7. При окислении белков дыхательный коэффициент равен 0,8.

Величина дыхательного коэффициента, измеренная у человека в состоянии покоя, колеблется между этими крайними цифрами — 0,7 и 1,0 в зависимости от режима питания. При чисто углеводной диете он равен 1, при чисто жировой — 0,7, при смешанной он колеблется между 0,8 и 0,9.

Судить о характере окисляемых веществ по величине дыхательного коэффициента во время работы можно лишь тогда, когда работа совершается длительно, с постоянной интенсивностью, при установившемся ритме дыхания.

В качестве примера укажем на изменение дыхательного коэффициента во время лыжного пробега натошак на 35 км. Дыхательный коэффициент, вначале близкий к единице, постепенно снижается, доходя к концу дистанции до 0,7. Отсюда, естественно, можно было заключить, что в начале бега окислялись главным образом углеводы, к концу же бега, по мере истощения запасов углеводов, сжигались преимущественно жиры.

При кратковременной работе большой интенсивности дыхательный коэффициент не может служить показателем природы окисляемых веществ, потому что, помимо углекислоты, образующейся при окислении в тканях, может «вымываться» углекислота крови.

Дыхательный коэффициент при такой работе косвенно позволяет судить о процессах в реакции крови. Так, например, если в результате интенсивной мышечной работы в кровь выходит избыток молочной кислоты, то эта кислота, как более сильная, вытеснит из бикарбонатов более слабую угольную кислоту. Последняя выводится через легкие. Эта углекислота выводится сверх той, которая образуется в данный момент в результате окисления. Поэтому отношение $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ резко возрастает, часто превышая единицу. Подобное увеличение дыхательного коэффициента выше единицы наблюдается, как правило, после бега на короткие и средние дистанции, после напряженной «статической работы» и ряда других физических упражнений. В этих случаях величина дыхательного коэффициента, превышающая единицу, является показателем того, что молочная кислота, поступив в кровь, вытеснила из нее углекислоту.

Резкое увеличение дыхательного коэффициента свыше единицы бывает также следствием гипервентиляции легких. В этом случае углекислота «вымывается» из крови вследствие резкого падения ее парциального давления в легких.

Через некоторое время по окончании напряженной работы или по прекращении гипервентиляции дыхательный коэффициент не только возвращается к исходной своей величине, но, как правило, опускается на некоторое время ниже ее. Происходит это по следующей причине. Молочная кислота начинает поступать обратно в мышцы, где и окисляется. Образующаяся при этом углекислота не вся выдыхается через легкие, а связывается освобождающимися от молочной кислоты основаниями (щелочными резервами) крови. Совершается это до тех пор, пока в крови не восстановится вновь прежнее, бывшее до работы, нормальное напряжение углекислоты.

Следовательно, если причиной резкого подъема дыхательного коэффициента являлось вытеснение, или «вымывание», углекислоты из крови, то глубокое снижение дыхательного коэффициента вызывается обратным процессом—задержкой углекислоты кровью.

Потребление кислорода и расход энергии

Зная количество потребленного кислорода и выделенной углекислоты, можно рассчитать количество израсходованной организмом энергии в единицах тепла — калориях. Тем самым исследование газообмена приобретает значение метода измерения энергетических, т. е. тепловых затрат. В отличие от метода непосредственного измерения энергетической продукции организма в единицах тепла в специальной калориметрической камере (метод прямой калориметрии), исследование газообмена называют также методом непрямой (косвенной) калориметрии. По своей точности этот метод не уступает методу прямого определения, особенно в тех случаях, когда измерение расхода энергии производится в состоянии покоя или при длительной работе; оба случая характеризуются тем, что интенсивность дыхания более или менее стойко держится на определенной высоте. Благодаря широкой возможности проведения исследований в самых разнообразных условиях мышечной работы и, в частности, при спортивной деятельности метод газообмена имеет несравненные преимущества перед методом прямой калориметрии.

Для расчета количества израсходованной организмом энергии недостаточно знать только объем потребленного кислорода; нужно знать также, какое количество энергии (калорий тепла) освобождается при окислении единицей объема кислорода различных энергетических веществ. Эти данные получены как путем непосредственных измерений, так и путем расчетов: обнаружилось, что при окислении одним литром кислорода углеводов освобождается 5,05 б. кал., при окислении белков — 4,80 б. кал. и при окислении жиров — 4,69 б. кал.

Итак, дыхательный коэффициент дает нам представление о том, какие вещества подверглись окислению и какое количество больших калорий освобождается при окислении различных веществ 1 л кислорода, иными словами, мы по дыхательному коэффициенту мо-

жем судить о калорической стоимости 1 л кислорода, справляясь по цифрам табл. 12.

Таблица 12
Количество энергии (в больших калориях), освобождаемое при погреблении каждого литра кислорода при различной величине дыхательного коэффициента

Дыхательный коэффициент	Большие калории	Дыхательный коэффициент	Большие калории	Дыхательный коэффициент	Большие калории
0,70	4,676	0,80	4,801	0,90	4,924
0,71	4,690	0,81	4,814	0,91	4,936
0,72	4,702	0,82	4,826	0,92	4,948
0,73	4,714	0,83	4,838	0,93	4,960
0,74	4,727	0,84	4,850	0,94	4,973
0,75	4,739	0,85	4,863	0,95	4,985
0,76	4,751	0,86	4,875	0,96	4,997
0,77	4,764	0,87	4,887	0,97	5,010
0,78	4,776	0,88	4,900	0,98	5,022
0,79	4,789	0,89	4,912	0,99	5,035
				1,00	5,047

Приведем пример полного расчета газообмена.

Предположим, что исследованием количества и состава выдыхаемого в состоянии покоя воздуха получены следующие цифры: легочная вентиляция 6 л в минуту. В составе выдыхаемого воздуха O_2 — 17%, CO_2 — 4%. Спрашивается сколько энергии (в калориях) израсходовано в 1 мин.

Известно, что во вдыхаемом воздухе содержится (округляя) 21% кислорода. Следовательно, потреблено $21 - 17 = 4\%$ кислорода. Общее количество погребленного в минуту кислорода составляет 4% от 6 л, т. е. 240 см³, и столько же за это время выделено углекислого газа. Следовательно, дыхательный коэффициент равен единице.

Зная, что при дыхательном коэффициенте, равном единице, т. е. при окислении углеводов, потребление 1 л кислорода освобождает 5 б. кал., нетрудно вычислить количество энергии, освобождающейся при окислении 240 см³ кислорода. Оно равно: $5 : 1000 \times 240 = 1,2$ б. кал. Итак, в нашем опыте испытуемый расходует в покое в 1 мин. 1,2 б. кал.

Другой пример: количество потребленного кислорода равно 300 см³, количество же выделенной углекислоты — 240 см³, дыхательный коэффициент здесь равен 0,8.

При этом дыхательном коэффициенте калорическая стоимость 1 л кислорода равна (согласно табл. 12) 4,8 б. кал. Следовательно, потребление 300 см³ кислорода должно соответствовать расходу энергии, равному 1,44 б. кал.

Потребление кислорода во время и после работы

Во время мышечной работы кислорода потребляется больше, чем при покое. В состоянии покоя человек потребляет в одну минуту 200 — 300 см³ кислорода, а во время работы, например бега, 2 — 3 л и больше. Потребленный кислород идет на окисление веществ (углеводного, жирового или белкового происхождения), образующихся в мышцах. При работе в мышцах образуется большее количество этих веществ, чем при покое. Усиленное потребление

ние кислорода не прекращается с окончанием работы, а продолжается еще некоторое время. Между тем после того, как работа закончилась, усиленного образования веществ, подлежащих окислению, не происходит. На что же используется кислород, потребляемый после работы?

Исследования показали, что при очень интенсивной работе в мышцах образуется значительно больше подлежащих окислению веществ, чем то их количество, которое может быть окислено во время самой работы. Эти вещества, не окисленные во время работы, накапливаются в организме, а окисляются уже тем кислородом, который потребляется после работы. По образному выражению английского физиолога Хилла, кислород, который потребляется после работы, является кислородным долгом организма. Не будучи в силах поставить мышцам все потребное во время работы количество кислорода, организм работает как бы в долг, уплачивая его после работы.

Количество кислорода, необходимое для полного окисления всех образовавшихся в мышцах веществ, Хилл назвал кислородным запросом. Кислородный запрос равен сумме кислорода, потребленного во время работы и по окончании ее (сверх того количества кислорода, который потребляется при покое, т. е. сверх основного обмена).

Более подробно о том, из чего образуются в мышцах окисляемые вещества, будет сказано в главе об энергетике и химизме мышечного сокращения. Сейчас укажем лишь, что вещества, служащие источниками энергии для мышечной работы, распадаются в мышцах при их сокращении без участия кислорода. При этом распаде и освобождается та энергия, которая используется для работы мышц. Кислород же необходим для окисления тех продуктов, которые образовались при упомянутом распаде энергетических веществ. Это объясняет, почему во время самой работы может потребляться лишь часть необходимого кислорода (кислородного запроса), а остальная часть может потребляться после работы, в уплату кислородного долга. Таким образом, величина кислородного запроса является мерой количества распавшихся при работе энергетических веществ, а величина кислородного долга — мерой количества накопившихся продуктов их распада.

Между кислородным запросом, кислородным долгом и фактическим потреблением кислорода на протяжении самой работы возможны четыре вида отношений.

В первом случае почти вся мышечная работа совершается без потребления кислорода. Кислородный запрос настолько велик, что организм не в состоянии удовлетворить даже малую его часть. Почти весь необходимый кислород потребляется после работы, т. е. кислородный долг почти равен кислородному запросу. Такое явление наблюдается, например, при беге на короткую дистанцию (100 м). За время этого бега (10—12 сек.) дыхание и кровообращение еще настолько мало успели приспособиться к новым условиям работы, что к мышцам поступает лишь ничтожная доля того кислорода, который мог бы окислить все то громадное количество веществ, которое образуется в них при этой са-

мой мощной работе. Почти все эти вещества поэтому окисляются после работы (рис. 23 а).

Другое явление наблюдается при не столь интенсивной работе, которая может длиться не десяток-другой секунд, а несколько (3—5) минут. Здесь дыхание и кровообращение уси-

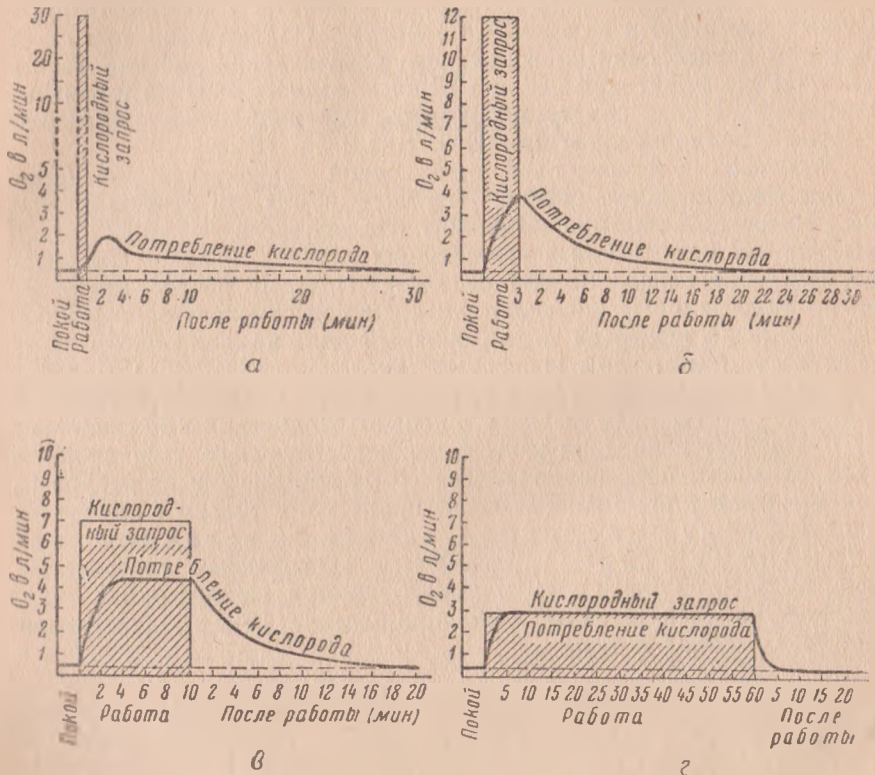


Рис. 23. Схема кислородного запроса, потребления кислорода и кислородного долга при работах различной мощности и длительности. Подробные пояснения — в тексте.

ливаются значительно, к концу работы их деятельность становится максимальной, однако все же недостаточной для полного удовлетворения кислородного запроса. Поэтому кислородный долг еще очень велик. Потребление кислорода во время такой работы непрерывно растет (рис. 23 б). Такая кривая потребления кислорода наблюдается, например, при беге на средние дистанции (400—1500 м).

Третий тип кривой потребления кислорода наблюдается при еще менее мощной, но зато еще более длительной работе (от 5 до 20—30 мин.). В начале такой работы потребление кислорода

вследствие усиления дыхания и кровообращения возрастает, достигая через несколько минут своего максимума, на котором удерживается до конца работы (рис. 23 в). Этот максимум потребления кислорода («кислородный потолок») различен у разных людей и зависит от степени их тренированности. У мало тренированных он равен 2—3 л кислорода в минуту, у хорошо тренированных достигает 4 и даже 5 л в минуту. Однако даже при столь большом потреблении кислорода его величина при работах такого типа все же лежит ниже величины кислородного запроса и поэтому кислородный долг образуется и здесь. Описанная кривая потребления кислорода наблюдается при беге на 2, 5 и 10 км.

Наконец, четвертый тип кривой характерен для таких работ, которые могут совершаться часами или, во всяком случае, не меньше 30—40 мин. Величина кислородного запроса здесь уже не так велика, как в предыдущих случаях, и лежит на уровне или ниже «кислородного потолка». Поэтому потребляемый во время такой работы кислород своевременно окисляет образующиеся в мышцах вещества и кислородный долг не должен бы здесь возникать. Между тем небольшой кислородный долг имеется и в этом случае. Образование его частично объясняется тем, что в начале работы, пока дыхание и кровообращение еще не усилились до нужной степени, окисление было недостаточным. Кислородный долг, следовательно, накапливался не на протяжении всей работы, как это было в разобранных выше примерах, а только в начале ее. Потребление кислорода, равное по величине кислородному запросу, называется «устойчивым состоянием» (рис. 23 г). Устойчивое состояние наблюдается, например, при ходьбе, беге на сверхдлинные дистанции (свыше 10 км), длительной ходьбе на лыжах и т. п.

ГЛАВА IV

КРОВООБРАЩЕНИЕ

Схема кровообращения. Только благодаря непрерывному движению крови могут совершаться нормальный обмен веществ, питание, дыхание, выделение и прочие функции человеческого тела. Достаточно на некоторое время прекратить это движение, чтобы прекратилась жизнь человека.

Эта простая истина была известна людям очень давно, однако до XVII в. не было еще точных представлений обо всем процессе кровообращения. Лишь после открытия великого ученого Гарвея, впервые давшего точное описание того, как и по каким причинам обращается кровь в нашем теле, стали ясны законы кровообращения. Значение открытия Гарвея и примененных им принципов экспериментального изучения жизненных процессов в организме было столь велико, что дата опубликования законов кровообращения (1628) заслуженно считается датой начала современной экспериментальной физиологии.

Схематически процесс кровообращения показан на рис. 24.

Двигателем, проталкивающим кровь по сосудам, является сердце. Напомним вкратце его строение. Сердце человека состоит из четырех полостей (камер): двух предсердий и двух желудочков. Правое предсердие и правый желудочек отделены от левого предсердия и левого желудочка перегородкой, благодаря которой кровь правых камер («правого сердца») не смешивается в сердце с кровью, прсходящей через левые камеры («левого сердца»). В предсердия впадают вены: в левое предсердие — легочные, а в правое — полые: от желудочков же отходят артерии: от левого — аорта, от правого — легочная. Кровь вливается в сердце из вен при расслаблении сердца, а при сокращении его выжимается в артерии. Благодаря наличию клапанов между предсердиями и желудочками и между желудочками и артериями, а также благодаря определенной последовательности в сокращении мышц сердца, кровь в нем перемещается всегда в одном направлении: из вен в предсердия, из предсердий в желудочки, а из последних — в артерии.

Рассмотрим теперь весь кругооборот крови

Начнем с левого желудочка сердца—начала большого круга кровообращения. Кровь из левого желудочка устремляется в аорту. Отсюда кровь растекается по крупным артериям во все части тела: к голове (по сонным артериям), в верхние

конечности (по подключичным и плечевым), к мышцам и внутренним органам туловища (например, к самому сердцу — по венечной артерии, к брюшным внутренностям — по брыжжечным, печеночной, почечным и другим артериям), наконец, к нижним конечностям (по подвздошным, бедренным и далее). Из крупных артериальных стволов кровь переходит во всё более мелкие артерии, наконец, в мельчайшие артериолы, откуда поступает в тончайшие сосудистые ходы — капилляры, в которых и происходит обмен веществ между кровью и тканями (точнее, тканевой жидкостью).

Здесь кровь из артериальной уже делается венозной, и капилляры являются анастомозами (местом стыка) между артериальными и венозными сосудами.

Из капилляров кровь переходит сначала в тончайшие вены — венулы, оттуда в более крупные вены. Вены, несущие кровь из нижних конечностей и внутренних органов, сливаются в одну общую нижнюю полую вену. Но не вся венозная кровь движется таким путем. Исключение составляет венозная кровь, поступающая из кишечника: эта кровь попадает сначала через воротную вену в печень, а оттуда уже по печеночной вене — в нижнюю полую (см. рис. 24). Кровь же, собирающаяся из головы по яремным венам и из верхних конечностей, поступает в верхнюю полую вену.

Туда же попадает и лимфа, впадающая через лимфатический грудной проток в подключичные вены. Лимфа движется не по замкнутому кругу, а только от тканей к сердцу. От межтканевых щелей и ворсинок кишечника она течет

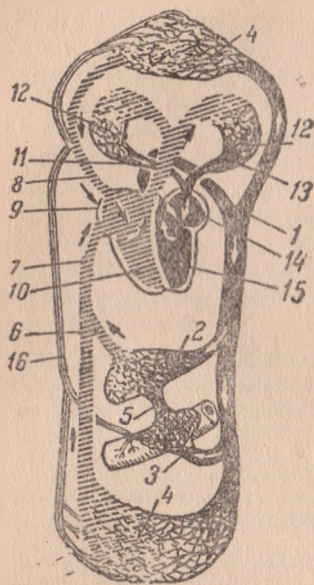


Рис. 24. Схема кровообращения:

1—аорта, 2—печеночная артерия, 3—кишечная артерия, 4—капиллярная сеть большого круга кровообращения, 5—воротная вена, 6—печеночная вена, 7—нижняя полая вена, 8—верхняя полая вена, 9—правое предсердие, 10—правый желудочек, 11—легочная артерия, 12—капиллярная сеть малого круга кровообращения, 13—легочные вены, 14—левое предсердие, 15—левый желудочек, 16—лимфатические сосуды.

по все более крупным лимфатическим сосудам, впадающим в грудной проток. Верхняя же и нижняя полая вены впадают в правое предсердие, в которое вливается, следовательно, венозная кровь, смешанная с лимфой. Большой круг кровообращения закончен.

Из правого предсердия венозная кровь попадает в правый желудочек, откуда начинается малый (легочный) круг кровообращения. Кровь из правого желудочка поступает в легочную артерию, ветвящуюся сразу на две; по этим артериям кровь течет к правому и левому легким (легочные артерии несут венозную

кровь). Через разветвления легочных артерий кровь попадает в легочные капилляры, густой сетью оплетающие альвеолы легких. Здесь между кровью капилляров и воздухом альвеол происходит обмен газов и превращение венозной крови в артериальную (артериализация крови). Артериальная кровь из легочных капилляров вливается через все более крупные сосуды в легочные вены (легочные вены несут артериальную кровь), которые по две от каждого легкого (т. е. всего четыре) впадают в левое предсердие.

На этом заканчивается второй, малый круг кровообращения. Далее кровь, пройдя через левое предсердие и левый желудочек, вновь циркулирует по большому кругу.

СЕРДЦЕ

Центром всего этого движения крови является сердце. Если провести аналогию с машинами, то естественнее всего напрашивается сравнение сердца с насосом, перекачивающим жидкости через системы трубок.

Сердце-насос обладает, однако, замечательным свойством — самостоятельностью, автоматичностью действия, что исключает необходимость наличия дополнительного мотора, приводящего насос в движение. Сердце само является, следовательно, и мотором, и насосом в одно и то же время. Прекрасной иллюстрацией двигательной и нагнетательной функции сердца послужил следующий опыт. У собаки сердце было заменено серебряным насосом, который приводился в движение мотором и поддерживал жизнь животного.

Автоматия сердца. Сердце, вынутое из тела животного, в течение значительного времени продолжает совершать ритмические сокращения. На холоднокровном животном, например лягушке, этот опыт произвести очень легко; сердце, вынутое из тела лягушки и положенное хотя бы на ладонь, долго еще работает. Если же обеспечить нормальное питание этому сердцу, то оно окажется способным работать многие часы. С сердцем теплокровного животного такой опыт произвести несколько сложнее, однако при соблюдении необходимых условий изолированное сердце теплокровного работает длительно. Русский ученый Кулябко показал работу изолированного человеческого сердца, вынутого из трупа и оживленного через 20 часов после смерти.

Так как сердце, лишенное всех связей с телом, продолжает самостоятельно функционировать, то причины сердечных сокращений следует искать не вне сердца, а в нем самом.

Сердечная мышца, так же как и все другие мышцы, при ее раздражении (электрическим током или механическим путем) способна возбуждаться. Возбуждением называют сложные физи-

ко-химические процессы, возникающие в ткани при каких-либо воздействиях на нее. В результате возбуждения мышца, например, сокращается. Сердечная же мышца способна сокращаться даже при отсутствии внешних воздействий, внешних раздражений. Следовательно, возбуждение возникает в самом сердце.

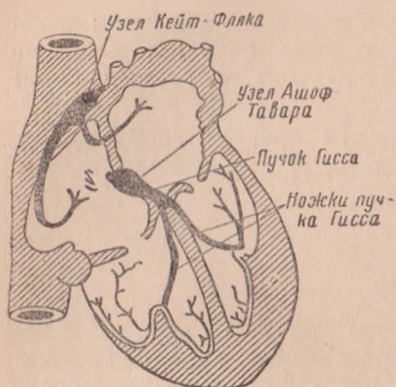


Рис. 25. Проводящая система сердца.

(мышечной протоплазмы) и меньшим количеством миофибрилл (сократительных элементов). Эти клетки, пронизывая мышечную ткань сердца в разных направлениях, связаны друг с другом и представляют собой как бы отдельную систему — так называемую систему, проводящую возбуждение, или специфическую мускулатуру сердца (рис. 25).

В некоторых участках сердца имеется скопление этих клеток как бы в виде узлов. Первый узел находится в месте впадения вен в правое предсердие, там, где полые вены образуют так называемый венозный синус. Поэтому и узел этот называется синусным узлом, или узлом Кейт-Фляка. В этом узле первично возникают импульсы, которые распространяются далее по системе, проводящей возбуждение по всему сердцу. Возбуждение возникает в синусном узле автоматически. Оно ритмично, т. е. возникает регулярно через известные промежутки времени, как бы отбивая такт и определяя тем самым ритм работы сердца.

На перегородке, отделяющей предсердия от желудочков, ближе к правой ее части, лежит второй узел системы, проводящей возбуждение. Это — атрио-вентрикулярный (предсердно-желудочковый) узел Ашоф-Тавара. От него идет мощный пучок Гисса, пробивающий атрио-вентрикулярную перегородку и делящийся затем на ножки пучка Гисса — правую и левую. Правая направляется к правому желудочку, а левая — к левому, где разветвляется на мелкие волокна. Узел Ашоф-Тавара и пучок Гисса служат как бы промежуточными звеньями для импульсов, поступающих к ним от узла Кейт-Фляка. Однако в случае поражения последнего или нарушения проводимости импульса от него узел Ашоф-Тавара (равно как и пучок Гисса) способен и к самостоятельной автоматической деятельности, как бы выполняя функцию узла Кейт-Фляка. Согласованная деятельность всех отделов сердца возможна, од-

нако, лишь при сохранности всех отделов системы, проводящей возбуждение, среди которых узел Кейт-Фляка является ведущей частью.

Реакция сердечной мышцы на раздражение. Для более точного представления о свойствах сердечной мышцы, ее способности возбуждаться и сокращаться производят следующий опыт. На изолированное сердце, как продолжающее автоматически работать, так и нарочито остановленное, наносят раздражения и наблюдают реакцию на эти раздражения сердечной мышцы. Раздражения обычно наносят электрическим током, силу, продолжительность и частоту действия которого можно варьировать в широких пределах. Рассмотрим некоторые реакции сердца на эти раздражения, позволяющие понять свойства сердечной мышцы, схожие или различные от свойств скелетных мышц.

Распространение возбуждения по сердцу. На какую бы точку сердца ни было нанесено раздражение, возбуждение от этой точки (если только раздражение имеет достаточную силу) распространится по всем мышечным волокнам сердца, и сердце сократится все целиком. В скелетной же мышце возбуждение охватывает только те мышечные волокна, которые подверглись непосредственному раздражению или к которым возбуждение пришло по нервному волокну. Такое различие в характере распространения возбуждения в скелетных мышцах и в сердечной мышце обусловлено различными способами соединения мышечных волокон друг с другом. В отличие от волокон скелетных мышц, которые покрыты оболочкой (сарколеммой) и не имеют друг с другом непосредственной внутренней связи, клетки сердечной мышцы сообщаются друг с другом посредством так называемых протоплазматических мостиков. Благодаря этому клетки сердечной мышцы образуют как бы непрерывную сеть. Такое строение называется синцитием. Оно-то и обеспечивает разлитие возбуждения по всей сети, по всей мышечной ткани сердца, где бы оно ни возникло.

Закон «все или ничего». Если наносить на сердце раздражения слишком слабые, то сердце может не ответить на них сокращением. Необходимо, чтобы раздражение достигло известной силы, для того, чтобы вызвать сокращение. Минимальная сила раздражения, которая в состоянии вызвать сокращение, называется пороговой силой, или порогом раздражения.

Сердечная мышца обладает тем характерным для нее свойством, что в ответ на пороговое раздражение она отвечает полным, максимальным своим сокращением. Как бы мы дальше ни увеличивали силу раздражения, сердце будет сокращаться так же, как если бы его раздражали пороговой силой, т. е. всегда одинаково и всегда полностью. Это свойство сердечной мышцы либо совсем не отвечать на раздражение сокращением (если сила раздражителя ниже порога), либо отвечать на него

полностью (когда сила раздражителя пороговая или выше порога) называется законом «все или ничего». Некоторые исследователи полагают, что закону «все или ничего» подчинены все возбудимые ткани (мышечная, нервная, секреторная), другие считают, что этот закон имеет абсолютное значение только в отношении сердца.

Рефрактерность. Сокращение сердца, наступающее вследствие внешнего раздражения или в результате импульса, поступившего от синусного узла, называется систолой сердца. Длительность систолы составляет приблизительно 0,3—0,4 сек. Затем наступает фаза расслабления, или диастола, длительностью 0,4—0,5 сек.

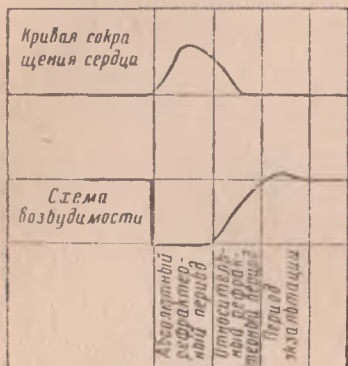


Рис. 26. Рефрактерность сердца

Если сразу вслед за первым раздражением, в то время как сердце еще только сокращается, нанести второе раздражение, то оно не вызовет никакого эффекта и будет безрезультатным. Сердце в этом случае даст сокращение в ответ на первое раздражение так, как будто второго вовсе не было. Подобная как бы не-

впечатлительность, невозбудимость ткани в ответ на повторное раздражение, если оно слишком быстро следует за первым, называется рефрактерностью. После нанесения первого раздражения должен пройти известный промежуток времени, так называемый рефрактерный период, в течение которого ткань не отвечает на раздражения, и лишь после этого периода возбудимость ткани восстанавливается. У сердца рефрактерный период длится на протяжении всей систолы и захватывает даже начало диастолы. Вследствие этого сокращение сердечной мышцы является всегда одиночным сокращением, т. е. сокращением определенной длительности, за которым следует расслабление. Скелетные же мышцы могут в ответ на частые раздражения давать не только одиночные, кратковременные сокращения, но и более длительные, так называемые тетанические, являющиеся результатом накладывания одного сокращения на другое. Сердечная мышца тетанически сокращаться не может именно вследствие большой длительности ее рефрактерного периода.

Рефрактерный период, длящийся на протяжении всей систолы, называют абсолютным рефрактерным периодом; в это время даже самые сильные раздражения не могут вызвать дополнительного сокращения сердца. По окончании же абсолютной рефрактерности в сердце начинает восстанавливаться его возбудимость. В начале диастолы она еще очень мала, и дополнительное сокращение можно вызвать лишь очень сильным раздражением. Однако чем позже по ходу диастолы наносится раздражение, тем все меньшая

сила его требуется для вызова повторного сокращения. Наконец, к концу диастолы, когда возбудимость сердца уже полностью восстановилась, оно отвечает сокращением на раздражение нормальной пороговой силы. Весь этот период постепенного восстановления возбудимости сердца носит название периода относительной рефрактерности. Вслед за ним наступает еще короткий период повышенной возбудимости, или экзальтации, в течение которого сокращения могут быть вызваны еще более низкими, чем при обычном, порогом, раздражениями (рис. 26).

Дополнительное сокращение сердца, происшедшее во время диастолы, называется экстрасистолой. Если сердце работает автоматически, подчиняясь тем ритмическим импульсам, которые поступают из узла Кейт-Фляка, то, дав экстрасистолу в ответ на раздражение, нанесенное во время диастолы, сердце на некоторое время останавливается, и в ритме его работы наступает

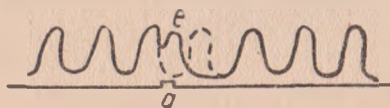


Рис. 27. Экстрасистола (e) и компенсаторная пауза:

а — момент нанесения раздражения.

пауза, называемая компенсаторной паузой. Эта пауза длится все то время, в течение которого должна была своевременно осуществиться очередная систола; дав «экстренную», внеочередную систолу, сердце пропускает одно сокращение, с тем чтобы со следующего раза опять войти в свой ритм работы (рис. 27).

Происходит это по следующей причине. В то время, когда сердце дает экстрасистолу или сразу после нее, приходит очередной импульс от узла Кейт-Фляка. После экстрасистолы же сердце еще находится в состоянии рефрактерности. Поэтому на пришедший импульс оно не отвечает сокращением. Получается компенсаторная пауза. К тому же времени, когда поступает от синусового узла следующий импульс, рефрактерный период сердца уже кончился, и оно вновь способно дать свое нормальное сокращение.

Экстрасистолия наблюдается и у человека и ощущается как «перебои» сердца, когда вслед за внезапными, быстро следующими друг за другом двумя сокращениями пауза увеличена.

Электрические явления. Если соединить сердце с чувствительным гальванометром, то можно обнаружить, что при сокращении сердца в нем развиваются электрические явления, так называемые токи действия сердца. Ввиду того, что эти токи распространяются и на прилежащие ткани, они могут быть обнаружены и при присоединении гальванометра не обязательно к сердцу, а к различным частям тела животного. Для регистрации токов действия сердца у человека соединяют чувствительный гальванометр, например, с кистями рук. Записанные фотографическим путем показания гальванометра представляют собой сложную кривую — электрокардиограмму. Рисунок этой кривой для нормаль-

ного сердца всегда постоянен (рис. 28). Зубцы этой кривой имеют определенные буквенные обозначения: *P*, *Q*, *R*, *S*, *T*. Зубец *P* связан с систолой предсердий, а остальные зубцы — с систолой желудочков. Патологические нарушения работы сердца дают изменение в рисунке электрокардиограммы. Некоторые изменения во взаимоотношении частей ее обнаруживаются и при физической работе.

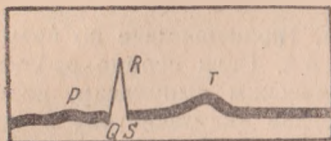


Рис. 28. Электрокардиограмма. Пояснение обозначений в тексте.

отделов сердца и наличие клапанов (клапаны сердца изображены на рис. 29).

Клапаны открываются и закрываются пассивно, благодаря изменению давления крови. Изменение же давления крови вызывается сжатием ее мышечными слоями стенок сердца (повышение давления) или, наоборот, расслаблением этих стенок (понижение давления). Мышечные слои желудочков значительно толще слоев предсердий; вследствие этого кровь из

желудочков * изгоняется под большим давлением, чем из предсердий. Изменение полостей сердца при систоле и диастоле видно на рис. 30.

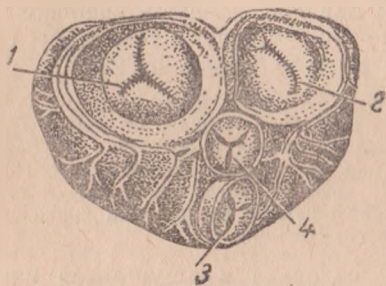


Рис. 29. Клапаны сердца:
1—трехстворчатый, 2—двухстворчатый, 3—карманный клапан легочной артерии, 4—карманный клапан аорты.

Во время диастолы предсердий кровь поступает в них из вен (в правое предсердие из полых вен, в левое — из легочных вен). Во время систолы предсердий (желудочки в это время расслаблены) кровь перекачивается в желудочки. Створчатые (атриовентрикулярные) клапаны в это время открыты. Несмотря на отсутствие клапанов между венами и предсердиями, кровь при систоле предсердий не выжимается обратно по той причине, что устья вен закрываются вследствие сокращения предсердий в самом начале их систолы. Вслед за тем наступает систола желудочков.

Как только мышцы желудочков начинают сокращаться, кровь в желудочках сдавливается; это давление передается на створчатые клапаны. Они закрываются, препятствуя, таким образом, об-

Передвижение крови в сердце

Перекачивание крови совершается в сердце всегда в одном направлении — от вен к артериям. Это происходит благодаря двум обстоятельствам: последовательности сокращений

ратному передвижению крови в предсердия. При этом сосочковые мышцы, заложенные в стенки желудочков и соединенные сухожильными нитями со створчатыми клапанами, препятствуют выворачиванию последних в полость предсердия.

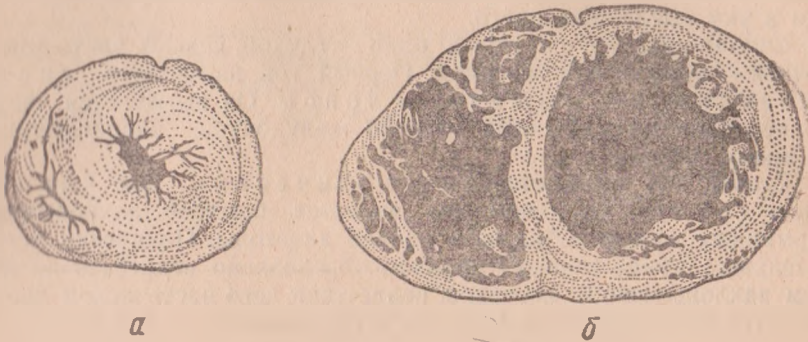


Рис. 30. Полости сердца:
а—при систоле, б—при диастоле.

Когда сжимающиеся стенки желудочков повысят давление крови в них настолько, что это давление станет большим, чем давление в аорте и легочной артерии, открываются карманные (полулунные) клапаны, и кровь выжимается из желудочков в аорту и легочные артерии.

Следовательно, между моментами закрытия створчатых и открытия полулунных клапанов проходит небольшой отрезок времени (0,05 сек.). В это время мышцы желудочков напрягаются, сдвигая кровь, но еще не сокращаются, поскольку кровь, заполняющая желудочки, еще не имеет выхода из них; это — фаза напряжения. Следующий период, когда происходит выжимание крови под силой сокращения мышц, называется фазой изгнания.

Как только закончится систола желудочков и начнется их диастола, карманные клапаны мгновенно захлопываются вследствие того, что теперь кровь давит на них со стороны сосудов с большей силой, нежели со стороны желудочков. В это же время открываются створчатые клапаны, и в желудочки из предсердий поступают новые порции крови.

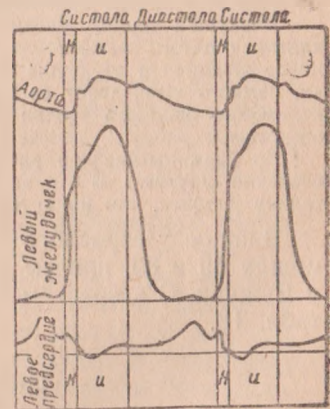


Рис. 31. Изменение давления в сердце при разных фазах его деятельности:

Н — фаза напряжения, И — фаза изгнания.

Рис. 31 иллюстрирует сказанное об изменении давления в полостях сердца.

Тоны сердца. Работа сердца сопровождается тонами его, которые могут быть выслушаны трубкой (стетоскопом или фонендоскопом), прикладываемой одним концом к грудной клетке, другим к уху выслушивающего.

Сердце издает два тона: один — глухой, низкий, протяжный и другой — отрывистый, высокий. Первый тон называется систолическим, или мышечным тоном. Он вызывается частыми колебаниями мышечных волокон желудочков, напрягающихся во время систолы.

Второй тон называется диастолическим, или клапанным тоном. Причиной его является быстрое захлопывание карманных клапанов в самом начале диастолы. Появление дополнительных шумов главным образом обусловлено недостаточно полным захлопыванием клапанов, вследствие чего часть крови выдавливается из желудочков обратно в предсердия.

Частота сердечных сокращений

Частоту сокращений сердца можно определять путем выслушивания сердца, подсчета сердечных толчков или счетом артериального пульса.

Поясним кратко происхождение сердечного толчка.

Верхушка сердца довольно плотно прилегает к передней стенке грудной клетки у пятого межреберья. Во время систолы желудочков сердце несколько поворачивается и верхушка его, более плотно упираясь в стенку грудной клетки, немного выпячивает ее наружу. Поэтому, приложив руку к грудной клетке, можно ощущать толчки сердца. При лежачем положении тела они более ощутимы.

Во время мышечной работы и некоторое время спустя сердечные толчки особенно ощутимы. В это время подсчитывать число сердечных сокращений по толчку удобнее, чем по артериальному пульсу.

В покое у взрослого человека частота пульса колеблется обычно между 60 и 80, причем у женщин она на 5—10 ударов выше, чем у мужчин. С возрастом частота пульса снижается, как это видно из табл. 13.

Таблица 13

Средние изменения частоты пульса с возрастом

Возраст (в годах)	Количество ударов в 1 мин.
До 1	130—140
5	100
10	90
15	80
20	70—75

В различное время суток у одного и того же субъекта, находящегося в покое, обнаруживается разная частота пульса. Например, если утром в постели частота пульса равнялась 60, то днем в этих же условиях она может подняться примерно до 73, а вечером снизиться до 63.

Частота пульса зависит также от того, в какой позе находится человек, у которого измеряют пульс. Ниже всего частота пульса при лежании; при сидении уже обнаруживается увеличение на 4—5 ударов в минуту, а при стоянии — на 10 и даже 15 ударов.

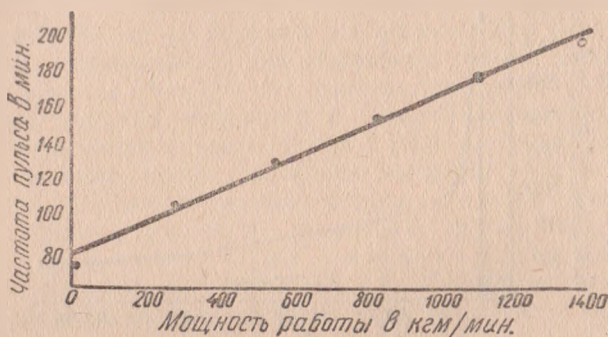


Рис. 32. Частота пульса при работах разной мощности на велоэргометре (по Шнейдеру).

Для суждения о частоте пульса в покое не следует измерять его перед соревнованием, хотя бы в это время человек не совершал никаких движений. Волнение, естественное перед соревнованием, вызывает учащение пульса; на старте нередко частота пульса доходит до 100 ударов в минуту.

Большой интерес представляют изменения цифр пульса в покое в процессе тренировки.

Многочисленные наблюдения свидетельствуют о том, что под влиянием тренировки частота пульса в покое снижается, поэтому у тренированных спортсменов отмечается более редкий пульс, чем у лиц, не занимающихся систематически спортом. В отдельных случаях частота пульса у спортсменов снижается до 50 и даже до 40 в минуту.

При работе частота сердечных сокращений повышена, и тем значительнее, чем интенсивнее работа, т. е. чем большее количество работы совершается в единицу времени.

На рис. 32 представлены результаты измерений частоты пульса, произведенных при работе разной мощности, совершаемой на велоэргометре.

Во время больших спортивных напряжений частота сердечных сокращений значительно увеличивается, доходя до 200 ударов в минуту и выше.

Нужно при этом отметить, что высокие цифры пульса (на финише) встречаются часто у исключительно хорошо тренированных спортсменов.

Обычно сразу же по окончании физического напряжения частота сердечных сокращений начинает снижаться, и скорость снижения вначале очень велика. Поэтому получить представление о том, какова была частота пульса во время работы, на основе подсчета его уже после того как работа окончилась, очень трудно. Во всяком случае, если подсчитывать пульс на протяжении всей первой

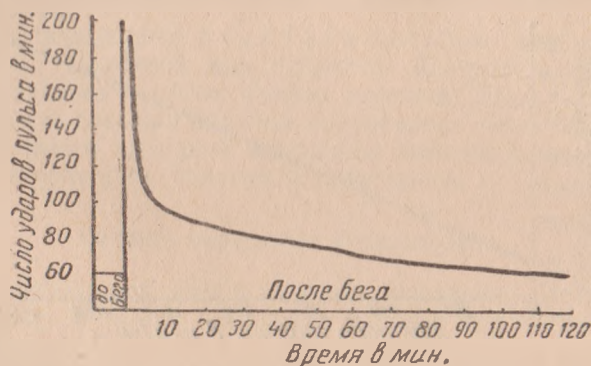


Рис. 33. Изменение частоты пульса после бега на 1000 м (по Раскину).

минуты послерабочего периода, то получаются явно преуменьшенные цифры, потому что частота сердцебиений, высокая в начале этой минуты, успевает значительно снизиться к концу минуты.

Вот пример подсчета пульса после бега на 1 000 м:

первые 10 секунд	31 удар (186 в мин.)
11—20	» 30 » (180 »)
21—30	» 28 » (168 »)
31—40	» 27 » (162 »)
41—50	» 26 » (156 »)
51—60	» 24 » (144 »)

Поэтому, для того чтобы приблизиться к цифрам частоты пульса при работе (если нет возможности подсчитать их во время самой работы), производят обычно подсчет за первые 5—10 сек. тотчас же по окончании работы.

Падение частоты пульса, крутое вначале, сменяется затем более пологим, пока частота пульсаций не возвратится к первоначальной, бывшей при покое испытуемого (рис. 33).

Часто замечается, однако, падение частоты пульса ниже исходных цифр с последующим вторичным возвращением к ним.

Время, необходимое для полного восстановления частоты пульса, различно и зависит от мощности и длительности упражнения. Например, после соревновательного бега на средние и длинные дистанции проходит обычно 2—3 часа, пока частота пульса не вернется к норме покоя.

Количество крови, выбрасываемой сердцем

Количество крови, выбрасываемой сердцем при каждом его сокращении, называют ударным, или систолическим, объемом. У человека в покое ударный объем составляет приблизительно 60—70 см³ на каждый желудочек. Эта величина может значительно увеличиваться при мышечной работе, доходя в некоторых случаях до 180—200 см³. Количество крови, выбрасываемой нормальным сердцем, находится в строгой зависимости от количества притекающей к нему крови. Если из полых вен в сердце вливается больше крови, то сердце во время диастолы больше расширяется, мышечные волокна сердца сильнее растягиваются. Старлинг доказал, что чем больше предварительное растяжение сердечных мышц, тем больше и сильнее они затем сокращаются. Иначе говоря, чем больше венозный приток крови к сердцу, тем больше и систолическое опорожнение его. Эта зависимость носит название закона сердца Старлинга.

Систолический объем сердца, умноженный на число сердечных сокращений в минуту, дает нам минутный объем сердца. У человека в покое он равен 3—4 л, при работе же увеличивается в общем тем сильнее, чем выше мощность совершаемой работы, чем большее число мышц участвует в ней, чем чаще и сильнее они сокращаются.

Увеличение минутного объема происходит за счет увеличения как частоты сердечных сокращений, так и объема каждого сокращения. Доля участия в этом каждого из сомножителей различна в зависимости от тренированности. У нетренированных лиц увеличение ударного объема обычно невелико, поэтому увеличение минутного объема происходит главным образом за счет учащения систол.

У тренированных же людей минутный объем вырастает при значительном увеличении ударного, при меньшем учащении систол, чем у нетренированных.

Сказанное может быть иллюстрировано табл. 14, в которой сопоставлены результаты двух наблюдений — одного на тренированном, другого на нетренированном человеке. Выполнявшаяся ими работа потребовала примерно одинакового увеличения минутного объема сердца, однако у тренированного это увеличение произошло преимущественно за счет роста систолического объема, в то время как у нетренированного — за счет увеличения частоты пульса.

Таблица 14

Минутный и ударный объем сердца (по Кристенсену)

Испытуемые	Минутный объем (в л)		Систолический объем (в см ³)		Частота пульса	
	Покой	Работа	Покой	Работа	Покой	Работа
Тренированный . .	4,2	16,5	60	140	70	118
Нетренированный .	4,4	16,7	69	95	64	176

Достижение максимальных цифр минутного объема поэтому легче осуществимо тренированным сердцем. Если представить себе мощное сердце, способное увеличить свой ударный объем до 200 см³, сокращаясь к тому же 200 раз в минуту, то мы получим громадную цифру минутного объема — 40 л. Цифры, близкие к указанной, действительно иногда обнаруживались исследователями у исключительно тренированных спортсменов. Чаще же максимальные цифры минутного объема не превышают 30—35 л.

Измерение минутного и систолического объема в сердца у человека можно осуществить только косвенным образом. Существуют различные способы таких косвенных измерений, однако все они основываются на одном принципе — на принципе определения обмена газов между легкими и кровью.

Опишем вкратце один из таких способов: измерение минутного объема сердца по выделяемому легкими углекислому газу.

Предположим, что в собранном в течение минуты выдохнутом воздухе мы обнаружили 240 см³ углекислого газа. Спрашивается, сколько крови должно было пройти в течение этой минуты через легкие, чтобы отдать такое количество углекислоты. Это можно узнать, определив процентное содержание углекислого газа в венозной крови, притекающей к легким, и в артериальной, оттекающей от легких. Для этого можно не брать кровь непосредственно из легочных сосудов, а найти нужные цифры из определения СО₂ в альвеолярном воздухе. Известно, что парциальное давление СО₂ в альвеолярном воздухе почти равно давлению этого газа в артериальной крови. Для того же, чтобы найти давление СО₂ в венозной крови, повышают концентрацию этого газа в легких (например, задержав дыхание), пока не наступит равенство давлений его в крови и в легких. Предположим, что венозная кровь содержала 56% СО₂, а артериальная — 50%, т. е. что кровь, пройдя через легкие, обеднела на 6% СО₂. Это значит, что каждые 100 см³ крови отдали в легкие 6 см³ СО₂. Всего же в минуту, как указывалось, выделилось 240 см³ СО₂. Следовательно, в минуту через легкие прошло $\frac{100 \cdot 240}{6} = 4000$ см³, т. е. 4 л крови. Если 4 л

крови прошло в минуту через легкие, то такое же количество крови должно было пройти в тот же отрезок времени и через каждый желудочек сердца. Таким образом, мы определяем минутный объем сердца. Если же во время определения было подсчитано число сердечных сокращений в минуту, то, разделив полученную цифру минутного объема на число систол, мы получим величину систолического или, иначе, ударного объема сердца.

Размеры и вес сердца

Суждение о размерах сердца получают обычно путем перкуссии (выстукивания) грудной клетки. По изменению звука при выстукивании узнают границы сердца. Более точные сведения о размерах сердца получают при просвечивании грудной клетки рентгеновыми лучами.

Сравнение размеров сердца до спортивного напряжения и после него показало, что после очень длительных, утомительных напряжений наблюдается увеличение сердца (рис. 34). Однако в норме эти изменения недолговременны, и через некоторый промежуток времени сердце вновь принимает свои прежние размеры. При систематическом же многолетнем занятии спортом наблюдается иногда увеличение размеров сердца, длительно удерживающееся (рис. 35).

Увеличение размеров сердца у спортсменов не может быть признано патологическим, болезненным расширением ослабленного сердца, а является нормальным, здоровым увеличением его вследствие систематической тренировки.

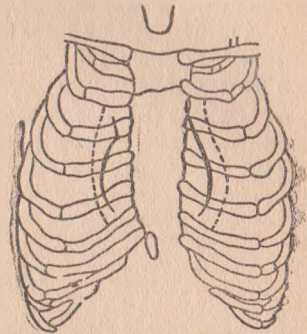


Рис. 34. Контуры сердца марафонского бегуна до состязания (сплошная линия) и после состязания (пунктир) (по Мак-Кензи).

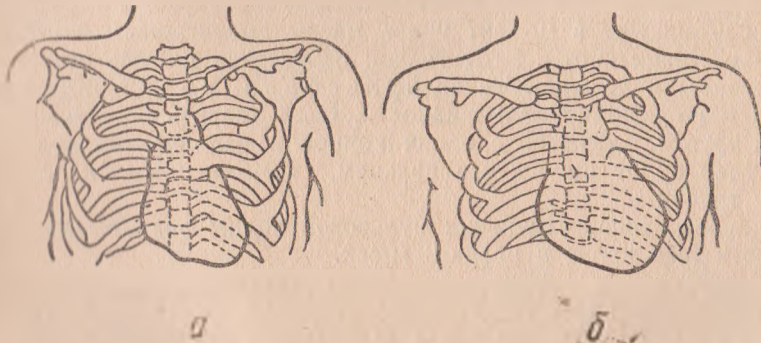


Рис. 35. Влияние тренировки на размеры сердца:
а — спортсмен, ведущий сидячий образ жизни, б — активный футболист с семилетним стажем (по Мак-Кензи).

СОСУДЫ

Скорость тока крови. Сердце, выбросив при своем сокращении массу крови в сосуды, сообщает движению этой крови известную скорость. Выше всего скорость кровотока в аорте — 0,5 м/сек. в покое и до 2,5 м/сек. при работе. По мере разветвления сосудов скорость тока крови в каждой дальнейшей ветви уменьшается.

достигая своего минимума в капиллярах — 0,0005 м/сек. Далее, по мере образования все более крупных венозных стволов, скорость тока крови в них возрастает, однако и в самых крупных венах не достигает той величины, что в аорте, потому что на каждую крупную артерию приходится по две вены и их общий диаметр больше диаметра артерии.

Общее время прохождения крови по всему кругу составляет при покое около 20 сек. В среднем считается, что у всех животных, в том числе и у человека, время полного кругооборота происходит в течение 27 сокращений сердца. При работе время кровообращения сокращается в зависимости от мощности работы, но не больше чем до 9—10 сек.

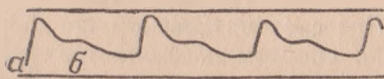


Рис. 36. Сфигмограмма:
а—основная пульсовая волна, б—вторичная (дикротическая) волна.

Пульсовая волна. Колебания стенок артерии, которые мы ощущаем, приложив к ней палец при прощупывании пульса, не являются следствием расширения в данном месте сосуда проходящей в нем волной крови. Эластические колебания сосудистых стенок возникают в момент удара массы выбрасываемой сердцем крови о стенки аорты. Этот толчок передается дальше по крови—от частицы к частице. Такая пульсовая волна может пробегать и по неподвижной жидкости. Если ударить по стенке резиновой трубки, закрытой с обоих концов и наполненной водой, то этот удар будет ощущаться пальцем, приложенным к любому месту трубки.

Скорость распространения пульсовой волны значительно выше скорости тока крови и равна 9 м/сек.

Запись пульсовой волны, производимой приборчиком, устанавливаемым над лучевой артерией (сфигмографом), показывает, что вслед за основной пульсовой волной следует еще вторая, на спаде основной волны (рис. 36). Эта вторичная (так называемая дикротическая) волна пробегает по стенке артерии в момент захлопывания полулунных клапанов аорты.

Кровяное давление

Выталкиваемая сердцем кровь оказывает на стенки сосудов давление. Оно может быть измерено весом столба крови, поднимающейся по отвесной трубке, вставленной в кровеносный сосуд. Кровяное давление больше всего в аорте (150 мм ртутного столба); постепенно убывая по направлению от сердца, оно резко снижается у капилляров (до 30 мм) и продолжает убывать в венах (рис. 37).

Принцип измерения кровяного давления у человека состоит в том, что измеряют то давление, которому надо подвергнуть стенку данного сосуда, чтобы прекратить ток крови по нему.

Кровяное давление измеряется следующим образом (рис. 38). На руку выше локтя надевается резиновая манжета, надуваемая воздухом. При этом манжета сдавливает руку, пока не прекратится ток крови в сосудах ниже места перетяжки, о чем судят по прекращению пульса в этой части руки. В этот момент, следовательно, давление воздуха на артерию снаружи уравновесило давление крови внутри. Вследствие того, что манжета соединена с манометром, величина давления может быть точно измерена. Таким путем узнается максимальное, или систолическое, давление, потому что исчезновение пульса свидетельствует о том, что даже при систоле кровь не в состоянии пробиться сквозь сжатый сосуд.

Для того же, чтобы узнать, с какой силой давит кровь на стенки сосуда во время диастолы, поступают следующим образом. К артерии, проходящей у локтевого сгиба, приставляют фонендоскоп. В это время не слышны никакие тоны, потому что кровь через несжатую артерию течет бесшумно. В манжету нагнетается воздух, пока давление не станет заведомо выше систолического, т. е. пока не исчезнет пульс. Затем воздух осторожно выпускают, снижая тем самым давление. В тот момент, когда появится первый удар пульса, станут слышны тоны сосуда. Манометр прибора фиксирует в этот момент систолическое давление. Воздух продолжают выпускать, причем в течение некоторого времени еще слышны тоны. Та величина давления, при которой обнаружится исчезновение тонов, и будет соответствовать минимальному, или диастолическому, кровяному давлению, потому что в этот момент кровь даже при диастоле протекает через артерию беспрепятственно.

У взрослого человека систолическое давление равно обычно 100—120 мм, а диастолическое 60—80 мм. Зависимость кровяного давления от возраста представлена на рис. 39. Разность между систолическим и диастолическим кровяным давлением обозначается как амплитуда, или пульсовое давление.

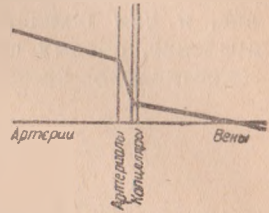


Рис. 37. Изменение кровяного давления по ходу сосудистого русла.

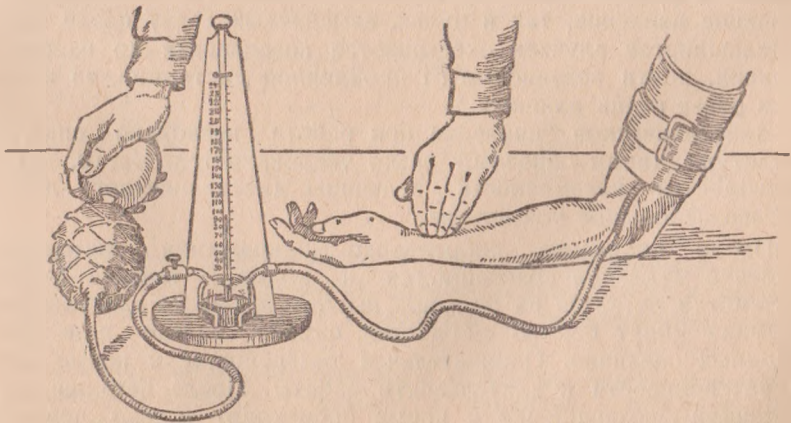


Рис. 38. Измерение кровяного давления.

Величина кровяного давления зависит главным образом от количества крови, выбрасываемой сердцем в единицу времени, от силы сердечных сокращений и от просвета сосудов. Чем больше сила сердечных сокращений, тем выше кровяное давление, и чем больше расширяются сосуды, тем меньше кровяное давление, потому что более широкие сосуды оказывают меньшее сопротивление кровотоку, чем узкие.

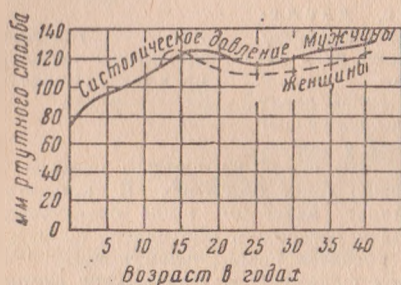


Рис. 39. Кровяное давление в зависимости от возраста и пола.

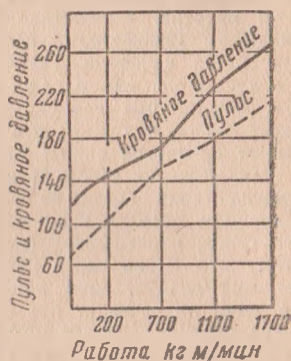


Рис. 40. Кровяное давление и пульс при работах различной мощности (по Эльдалю).

Под влиянием мышечной работы систолическое кровяное давление обычно повышается. При работе в лабораторных условиях это повышение (как и учащение пульса) тем больше, чем больше мощность работы (рис. 40). При спортивных же напряжениях как кровяное давление, так и пульс, измеренные сразу после финиша, в большинстве случаев оказываются возросшими до наибольших величин, почти независимо от пройденной дистанции, за исключением разве очень длинных.

Диастолическое давление при работе несколько снижается; амплитуда, таким образом, резко увеличивается. Часто, однако, наблюдается неизменность величины диастолического давления или его небольшое повышение.

После окончания спортивного напряжения систолическое давление медленно возвращается к норме. В течение 1—2 мин. оно иногда остается на большей высоте, затем на протяжении нескольких минут быстро снижается, однако далеко еще не до исходных величин. Окончательное возвращение к норме зависит от интенсивности и длительности работы. После бега на средние дистанции возвращение к норме происходит только через 1—2 часа, после чего систолическое давление опускается еще ниже

и лишь в дальнейшем окончательно возвращается к исходной величине (рис. 41).

После очень изнурительной работы (например после марафонского бега) иногда наблюдается долго удерживающееся снижение

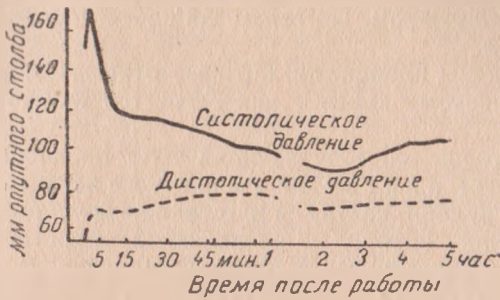


Рис. 41. Кровяное давление после 5-минутного бега на месте

кровяного давления. Это снижение хорошо видно из табл. 15, в которой приведены средние данные измерений, проведенных на большом числе лиц через несколько минут после финиша.

Таблица 15

Изменения кровяного давления после очень длительных спортивных напряжений (по Крестовникову)

Время и объект наблюдений	Систолическое кровяное давление	
	до соревнования	через 3—8 мин. после финиша
1925 г. Пробег им. «Красной газеты» в Ленинграде на 32 км	127	103
1926 г. То же на 21 км	122	104
1927 г. » на 28 км	126	116
1928 г. » на 29 км	120	109
1933 г. Лыжные гонки на 50 км	102	95

У тренированных спортсменов иногда обнаруживается при этом более низкое, чем в норме, кровяное давление (так называемая гипотония в отличие от гипертонии — повышенного давления).

Это, конечно, свидетельствует не о слабости сердца (которое у тренированных, наоборот, сильнее), а, вероятно, о большой податливости сосудистых стенок.

Движение крови по венам

Той энергии, которая сообщается сердцем выталкиваемой им массе крови, хватает на то, чтобы сообщить крови движение по артериям, но она почти полностью теряется при прохождении крови по узким капиллярам. По венам же кровь движется под небольшим давлением.

Вены снабжены клапанами, которые открываются только в сторону сердца, поэтому кровь в них движется только от капилляров к сердцу.

Среди факторов, способствующих току крови по венам, большую роль играет присасывающее действие грудной клетки. В грудной клетке в норме всегда существует отрицательное давление, которое с плевральной полости передается на все органы, расположенные в грудной полости. В частности, растягивающая сила этого давления особенно сказывается на податливых эластичных стенках крупных венозных стволов — впадающих в сердце нижней и верхней полых вен. Благодаря этому облегчается приток крови к сердцу.

Присасывающее действие грудной клетки сильнее сказывается при вдохе, нежели при выдохе. Во время вдоха давление в плевральной полости падает всего сильнее, стенки крупных вен под действием этой внешней силы растягиваются. В то же время увеличившееся давление в брюшной полости распространяется и на стенки венозных сосудов, расположенных в этой полости. Следовательно, во время вдоха движению крови в нижней полой вене способствуют две силы, действующие в одном и том же направлении: положительное внутрибрюшное давление способствует выжиманию крови из брюшной части полой вены в грудную ее часть, а отрицательное внутригрудное давление способствует поступлению крови в грудную часть полой вены из брюшной.

При выдохе все эти силы действуют в меньшей степени, однако присасывающее действие грудной клетки на приток крови сохраняется, поскольку давление в плевральной полости остается и при выдохе отрицательным. Аналогичный механизм, хотя не так резко выраженный, способствует передвижению крови и в других крупных венах.

Большое значение в движении крови по венам при мышечной работе имеет и чередование сокращения и расслабления мышц.

Сокращаясь, мышцы выжимают кровь в вены, а при расслаблении снова впитывают ее в себя. Такое нагнетающее действие мышц называют мышечным насосом, работающим как бы в помощь сердечному насосу. При длительной неподвижности тела мышечный насос не действует, и кровь может застаиваться в тканях. Если к тому же тело сохраняет при этом вертикальное положение, кровь в силу своей тяжести может скапливаться в нижних конечностях.

Движение лимфы

Как уже указывалось, снабжение клеток тканей питательными веществами и кислородом из крови происходит через посредство тканевой жидкости (лимфы), заполняющей узкие щели между группами клеток. Через эту же тканевую жидкость поступают в кровь продукты обмена, непрерывно образующиеся в тканях: Тканевые, или лимфатические щели, соединяясь, образуют лимфатические капилляры, а затем и более крупные сосуды. К ним присоединяются лимфатические сосуды, берущие свое начало в ворсинках кишечника и несущие млечный сок— продукты пищеварения, всосанные из кишечника. Млечный сок соединяется с тканевой жидкостью в крупных лимфатических сосудах и вливается через грудной лимфатический проток в кровеносную систему. На своем пути лимфатические сосуды прерываются лимфатическими узлами, в которых происходит образование лимфоцитов.

Движение лимфы в лимфатической системе совершается только в одном направлении—от тканей к сердцу. Это происходит потому, что клапаны в лимфатических сосудах открываются только в одном направлении. Причиной движения лимфы являются слабые сокращения стенок лимфатических сосудов и присасывающее действие грудной клетки. Движение лимфы, так же как и венозной крови, усиливается при мышечной работе, массаже и глубоких дыханиях.

РЕГУЛЯЦИЯ КРОВООБРАЩЕНИЯ

Регуляция сердца

Сокращения сердца происходят автоматически. Однако если бы сердце-автомат ничем не регулировалось, оно выбрасывало бы всегда постоянное количество крови, в то время как в разные моменты деятельности организма интенсивность кровообращения должна меняться.

Сердце, как и другие органы, имеет двойную регуляцию: нервную и гуморальную.

Нервная регуляция сердца. Нервная регуляция осуществляется двумя парами нервов, приходящих к сердцу из центральной нервной системы: блуждающими и симпатическими. Блуждающий нерв берет свое начало в продолговатом мозге, а симпатический—в шейном симпатическом узле, который связан с грудным отделом спинного мозга. Возбуждение блуждающего нерва вызывает замедление, торможение работы сердца, а возбуждение симпатического—учащение и усиление сердечных сокращений.

Блуждающие и симпатические нервы сердца являются только проводниками тех импульсов, которые возникают в их центрах. В центрах же возбуждение поддерживается и изменяется под влиянием

янием ряда факторов. Укажем сначала на влияния, оказываемые на эти центры регулирования сердечной деятельности со стороны других нервных центров.

Как правило, ритм работы сердца не зависит от нашей воли. Это значит, что произвольные импульсы, отправляемые из коры мозга, не поступают к сердечным нервам (в то время как произвольное изменение дыхания, несмотря на его автоматическую регуляцию, вполне осуществимо).

Непроизвольное же влияние высших центров коры на сердечную ритмику имеется постоянно. Оно резко сказывается при различных эмоциональных состояниях; например, внезапный испуг, радость и т. п. сопровождаются учащением или замедлением работы сердца. Эти влияния передаются на сердце через вегетативную нервную систему — блуждающие и симпатические нервы.

Многочисленны и разнообразны влияния на деятельность сердца, вызываемые при раздражении периферических окончаний различных чувствующих нервов. Болевые раздражения, резкие температурные раздражения, подчас резкий звук или внезапный яркий свет — в общем различные внезапные раздражения наших органов чувств рефлекторно вызывают изменение числа сердечных сокращений. Это значит, что возбуждение, возникшее в окончании чувствующего нерва, распространяется по нерву до его центров, от которых передается к центрам блуждающего или симпатического нервов, усиливая или ослабляя идущие по ним к сердцу потоки нервных импульсов.

Очень ярким примером резкого рефлекторного воздействия на сердце является рефлекс Гольца. При ударе по животу лягушки наблюдается замедление работы сердца или временная его остановка. Происходит это потому, что при ударе производится резкое раздражение нервных сплетений, находящихся в брюшной полости. Сильное возбуждение поступает по этим нервам в центральную нервную систему, в частности в продолговатый мозг. Происходит резкое усиление возбуждения центра блуждающего нерва и как следствие этого — глубокое торможение сердечной деятельности. Этот опыт раскрывает нам механизм нокаута в боксе при ударе в живот, в область солнечного сплетения.

Рассмотренные рефлекторные влияния на сердце в большинстве случаев имеют случайный, временный характер и вызываются преимущественно раздражителями, действующими на наше тело извне. Наряду с этим существуют рефлекторные влияния, действующие более постоянно и возникающие внутри организма — в пределах кровеносной системы. Рассмотрим эти рефлексы на сердце со стороны сосудов.

Если повысить кровяное давление в аорте, то можно заметить, что частота сердечных сокращений уменьшается и через некоторое время кровяное давление возвратится к прежней величине. Механизм этого явления следующий. У корня аорты, в стенках ее, име-

ются окончания депрессорного нерва Циона-Людвига. При растяжении стенок аорты вследствие повышенного давления крови происходит раздражение нерва. Возникает нервное возбуждение, которое распространяется по нерву-депрессору к продолговатому мозгу. Это возбуждение передается на блуждающий нерв, который тормаживает работу сердца. Таким образом, осуществляется рефлекторная саморегуляция кровяного давления.

Подобные же механизмы заложены и в других сосудах. От места разветвления общей сонной артерии на наружную и внутреннюю (так называемого каротидного синуса) направляется в продолговатый мозг нерв Геринга. Чувствующие окончания этого нерва раздражаются при растяжении стенок, наступающем от повышения кровяного давления. Так же как и в случае раздражения депрессорного нерва, возбуждение нерва Геринга вызывает рефлекторное возбуждение блуждающего нерва, в связи с чем происходит торможение работы сердца и снижение кровяного давления.

Противоположное рефлекторное действие на сердце оказывает повышение давления в венозном синусе — месте впадения полых вен в правое предсердие. Повышенное давление в венах, как показал Бейнбридж, вызывает рефлекторно усиление деятельности сердца; в данном случае ослабляется влияние блуждающего нерва и, наоборот, усиливается влияние симпатических нервов, возбуждение которых ускоряет работу сердца (ветви симпатических нервов, идущие к сердцу, называются поэтому ускорителями).

Укажем также на влияние дыхания на сердечную ритмику. Во время вдоха частота сердечных сокращений несколько выше, чем во время выдоха. В некоторых случаях такая дыхательная аритмия сердца весьма заметна. Влияние дыхательной ритмики на сердечную обуславливается взаимодействием находящихся в продолговатом мозге двух центров — дыхательного и центра блуждающего нерва.

Схема нервной регуляции сердца представлена на рис. 42.

Гуморальная регуляция сердца. Деятельность сердца зависит от состава и температуры крови. Как правило, повышение температуры действует на сердце возбуждающим образом, усиливая прежде всего частоту его сокращений. Температура тела (а следовательно, и крови) при мышечной работе повышается, в особенности, если высока температура окружающего воздуха. Чем больше повышается температура, тем чаще пульс.

На рис. 43 видно, что при более высокой внешней температуре пульс при работе учащен значительно больше, чем при низкой температуре.

Влияние химических сдвигов в крови на работу сердца разнообразно: замечено, что при увеличении содержания кальция работа сердца усиливается, при уменьшении — замедляется, при уменьшении содержания калия работа сердца усиливается, при увеличении — замедляется.

Возбуждает сердце, ускоряет, усиливает его работу адреналин — гормон, вырабатываемый надпочечными железами. Усиленная выработка этого вещества происходит при мышечной работе и при различных эмоциональных состояниях (волнение, радость, гнев, страх), вызывающих возбуждение симпатической нервной системы, ветви которой поступают в надпочечники.

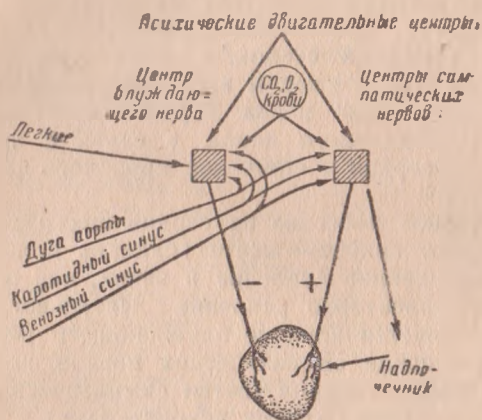


Рис. 42. Схема нервной регуляции сердца (по Геймансу, сокращ.).

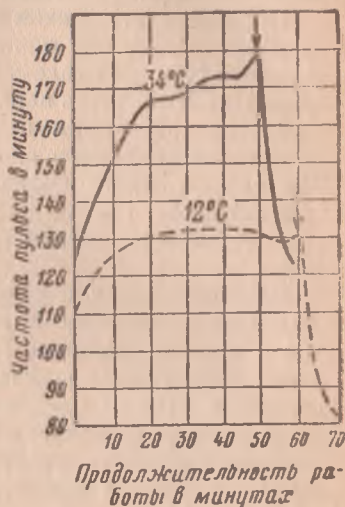


Рис. 43. Влияние температуры на частоту пульса при работе одинаковой мощности (по Диллу).

Противоположно адреналину действует на сердце ряд других гормонов: инсулин, ацетилхолин и др.

Нервные и гуморальные влияния на сердце тесно друг с другом связаны. Эта связь особенно четко обнаружилась следующим опытом австрийского ученого Леви. Он раздражал блуждающий нерв, что вызывало замедление работы сердца (нервное влияние). Одновременно через сердце пропускался физиологический раствор. Этот же раствор пропускался затем через другое, изолированное, т. е. лишенное всех нервных связей сердце, и это второе сердце также замедляло свою деятельность (гуморальное влияние). Противоположный эффект получался при воздействии на изолированное сердце раствора, омывающего первое в то время, когда оно учащало свои сокращения вследствие раздражения симпатического нерва. Отсюда было сделано заключение, подтвержденное затем рядом исследователей, что в окончаниях блуждающего нерва вырабатывается вещество, тормозящее работу сердца, а в окончаниях симпатического нерва — вещество, усиливающее работу сердца. Последнее было названо с и м п а т и н о м, или

симпатикус-веществом, сходным по действию с адреналином. Вещество же, выделяемое блуждающим нервом, — вагус-вещество (вагус по-латински — блуждающий нерв), по своему составу оказалось уксуснокислым холином (ацетилхолин).

Вещества, выделяемые нервами и воздействующие на органы, к которым эти нервы подходят, названы медиаторами (посредниками). К ним мы еще вернемся при описании общей нервно-гуморальной регуляции.

Регуляция сосудов

Ширина сосудов (иначе, просвет сосудов), в особенности мелких артерий (артериол), непостоянна. Она может меняться вследствие сокращения и расслабления сосудистых мышечных волокон, расположенных кольцеобразно в стенках сосудов. Так же как и относительно сердца, существуют два способа регуляции степени напряжения (тонуса) сосудистых стенок — гуморальный и нервный.

Среди гуморальных веществ, действующих на сосуды мышц в сторону их расширения, большую роль играют химические продукты распада веществ, образующиеся при мышечном сокращении (угольная кислота, молочная кислота и др.). Сужение большинства сосудов происходит под влиянием адреналина.

Нервная регуляция тонуса сосудов осуществляется двумя видами нервов — сосудосуживающими и сосудорасширяющими. Они отходят от спинного мозга: первые — от боковых, а вторые — от задних его рогов. Сосудосуживающие нервы относятся к симпатической нервной системе, а сосудорасширяющие — к парасимпатической. Действие всех сосудодвигательных нервов регулируется сосудодвигательными центрами, расположенными в продолговатом мозге.

Регуляция тонуса сосудов, так же как и регуляция сердца, осуществляется произвольно. Однако это не означает, что процессы, в которые включаются и высшие центры головного мозга, не оказывают влияния на сосуды. Всем известное внезапное покраснение или побледнение кожи лица при различных эмоциональных состояниях указывает на связь высших нервных центров с сосудодвигательными центрами.

Из внешних влияний, оказывающих рефлекторное действие на сосуды, наибольший интерес представляют тепловые и холодовые раздражения кожи. Возбуждение, возникшее при этом в чувствующих окончаниях в коже, передается по нервам в центростремительном направлении, переключаясь затем на сосудосуживающие нервы (при действии холода) или сосудорасширяющие (при действии тепла). При кратковременных местных температурных воздействиях рефлекторное изменение просвета кожных сосудов охватывает небольшую кожную поверхность. При более же длительных и обширных влияниях внешней температуры возбуждение разливается по

большой массе кожных сосудодвигателей, вызывая общее побледнение или покраснение тела. Последнее происходит также при усиленной выработке тепла в организме (например при мышечной работе).

Возбуждение такого большого количества сосудодвигательных нервов регулируется обычно сосудодвигательными центрами продолговатого мозга, в то время как в местных реакциях они могут и не участвовать. Изменение просвета кожных сосудов имеет большое значение для регуляции отдачи тепла с поверхности тела.

Сосудодвигательный центр продолговатого мозга играет большую роль в регуляции кровяного давления. Выше уже говорилось, что при повышении кровяного давления в аорте и сонной артерии сердце рефлекторно уменьшает интенсивность своей работы, что способствует снижению кровяного давления. Одновременно импульсы, поступающие по депрессорному нерву и нерву Геринга, вызывают через посредство сосудодвигательного центра продолговатого мозга расширение сосудов (главным образом внутренних), что также вызывает падение кровяного давления. Возникшее низкое кровяное давление рефлекторно вызывает сужение сосудов и усиление работы сердца, что ведет к повышению давления.

Таким образом, деятельность сосудодвигательных центров протекает в тесном взаимодействии с центрами регуляции сердечной деятельности. Работа сердечно-сосудистой системы — это неразрозненная работа сосудов и сердца, а деятельность системы целостной и единой.

Указанные сосудистые зоны — аорты и сонных артерий, являющиеся источниками рефлекторных изменений (иначе — рефлексогенные зоны), чувствительны не только к изменениям кровяного давления, но и к изменениям газового состава крови.

При повышении концентрации углекислого газа в крови возбуждаются окончания депрессорного и, главным образом, нерва Геринга. Помимо того, что эти возбуждения, поступая в продолговатый мозг, усиливают деятельность заложенного в нем дыхательного центра, они влияют и на сосудодвигательный центр, вызывая сужение сосудов и повышение кровяного давления. Такой же эффект, но в меньшей степени, наблюдается при пониженном давлении кислорода в крови. Пониженное же давление углекислого газа (например, при гипервентиляции) вызывает противоположный эффект, т. е. расширение сосудов и падение кровяного давления.

Тесное взаимодействие между деятельностью сердечно-сосудистой системы и дыханием очевидно.

В последнее время в лабораториях академика Быкова показано, что рефлекторная регуляция сосудов значительно многообразнее, чем это представлялось ранее: обнаружено, что во всей сосудистой системе имеются воспринимающие нервные окончания, возбуждающиеся при разнообразных изменениях химизма и давления крови.

Регуляция количества крови. Регуляция сосудов имеет прямое отношение к регуляции количества крови. Как уже указывалось (стр. 31), в сосудах организма, находящегося в состоянии покоя, циркулирует не вся имеющаяся в теле кровь. Некоторое количество крови находится в запасе. Роль кровяных депо выполняют печень, селезенка и кожа. У собак селезенка может содержать до 16% всей крови, печень до 20%, кожа 10%. Следовательно, почти половина всей крови может быть у этих и ряда других животных депонированной. У человека, как предполагают, количество депонированной крови меньше, однако оно может равняться 1—2 л при общей массе крови 5—6 л.

Выбрасывание крови из депо происходит под влиянием нервных и гуморальных факторов, вызывающих сокращение селезенки и просвета сосудов. Нервы, возбуждение которых вызывает опорожнение кровяных депо, относятся к симпатической нервной системе. Среди гуморальных факторов большую роль в мобилизации крови играет адреналин, в увеличенных количествах поступающий из надпочечных желез в кровь при мышечной работе и некоторых эмоциях. Вообще мобилизация депонированной крови обусловлена теми же факторами, которые вызывают усиление кровообращения и дыхания. Кроме того, поступление крови из депо происходит под влиянием механических воздействий (массажи, движений), при которых кровь, как, например, из кожи, выжимается в общее сосудистое русло.

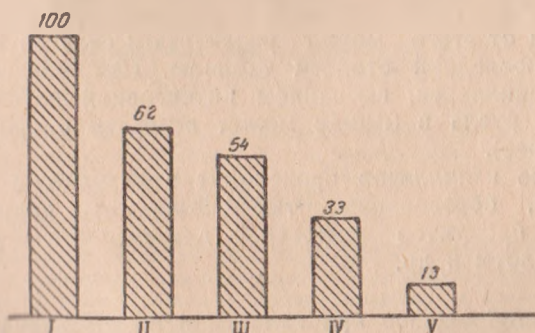


Рис. 44. Относительный объем селезенки собаки:

I—в покое, II—собака ощущает запах кошки, III—собака слышит кошку, IV—собака видит кошку, V—погоня за кошкой (по данным Баркрофта).

Следующий опыт Баркрофта иллюстрирует роль эмоций и мышечной деятельности в мобилизации кровяных депо. В этом опыте Баркрофт наблюдал за размерами селезенки у собаки, которую дразнили кошкой. Рис. 44 показывает, что у возбужденнейшей при этом собаки происходило уменьшение размеров селезенки, вследствие чего находившаяся в ней кровь выжималась в общее кровяное русло. Это уменьшение было тем более значительным, чем большей силой достигало эмоциональное возбуждение животного; наибольшее сокращение селезенки было достигнуто при энергичных движениях собаки, гнавшейся за кошкой.

Раскрытие капилляров. При покое не все капилляры мышц раскрыты. Во время работы число раскрытых капилляров резко увеличивается, вследствие чего кровоснабжение мышц сильно возрастает.

Степень этого усиления кровообращения, как показали исследования Крога на мышцах морской свинки, может быть очень велика. Сказанное иллюстрируется табл. 16.

Таблица 16

Изменение числа раскрытых капилляров в мышце (по Крогу)

Условия опыта	Число раскрытых капилляров на 1 мм ² поперечного сечения мышц	Диаметр капилляров (в микронах)	Общая поверхность капилляров в 1 см ³ мышцы (в см ²)	Общая емкость капилляров по отношению к объему ткани
Покой	31—270	3—3,8	3—32	0,02—0,3
Массаж	1400	4,6	200	2,8
Работа	2500	5,0	390	5,5
Максимальное кровоснабжение	3000	8,0	750	15,0

Как видно из табл. 16, число раскрытых капилляров и ширина их сильно возрастают уже под влиянием массажа. Кровоснабжение мышц от этого может увеличиться от 9 до 140 раз, как показывает последний столбец таблицы. При максимальном же раскрытии капилляров, вызванном интенсивной работой, емкость капиллярного русла в мышце может возрасти в громадной степени (в 750 раз).

Расширение капилляров происходит в результате воздействия на стенки их, образованные так называемыми клетками Руже, химических продуктов мышечной деятельности — углекислоты, молочной кислоты и др.

Кровообращение при изменении положения тела

Разбирая те силы, которые побуждают кровь обращаться в теле, надо иметь в виду, что им прогивостоят подчас не только силы инерции массы крови и силы трения частиц ее, но и сила тяжести. Кровь стремится вниз. В этом нетрудно убедиться, посмотрев на кисти опущенных рук. Если поднять одну руку, подержать ее так несколько секунд и снова опустить, то ясно видна разница в цвете рук: рука, которая была поднята, окажется много бледнее опущенной, и вены на ней будут менее заметны, потому что у опущенной руки кровь скопилась в сосудах кисти, у поднятой же отлила к туловищу. Весьма значительны бывают иногда застои крови в ногах при длительном сидении или стоянии.

Бывает, что человек, внезапно вставший с постели, ощущает головокружение, а иногда даже падает в обморок. Происходит это оттого, что кровь, до этого равномерно распределенная в теле, устремилась при вставании вниз и отлила от головы. Анемия же (уменьшение кровоснабжения) мозга может привести к обморочному состоянию. При возвращении к горизонтальному положению кровь вновь приливает к голове и все явления анемии мозга исчезают.

Такие случаи происходят, однако, лишь при недостаточности регуляции кровообращения. В норме же в ответ на отлив крови вниз, т. е. на падение давления в сонной артерии, происходит рефлекторное сужение сосудов внутренностей и учащение сердцебиений, что вновь поднимает кровяное давление. У лиц с удовлетворительной регуляцией сосудистого тонуса выравнивание кровяного давления происходит с высоким совершенством; у тех же, у кого сосудистый тонус плохо регулируется, кровяное давление при стоянии остается несколько пониженным сравнительно с величинами его, регистрируемыми при горизонтальном положении тела.

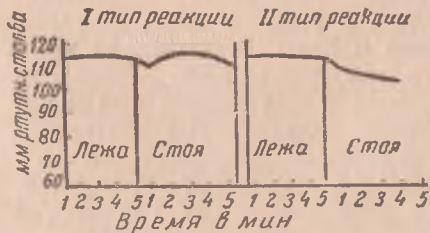


Рис. 45. Два типа реакции кровяного давления на переход из горизонтального положения в вертикальное (по Люблиной).

На рис. 45 приведены примеры двух таких типов реакции кровяного давления на переход из горизонтального положения в вертикальное. На первой кривой видно, как после за незначительным, кратковременным падением кровяного давления оно вновь быстро достигает исходной величины. Вторая же кривая, зарегистрированная на лицах с пониженным тонусом сосудов, показывает длительное сохранение пониженных цифр кровяного давления после вставания.

Кровообращение при мышечной работе

Обычно еще перед началом работы вступают в действие регуляторные механизмы, усиливающие кровообращение. В особенно яркой степени это наблюдается перед соревнованием на старте, перед выходом на игровую площадку и т. п. Уже само ожидание интенсивной работы, в особенности если оно связано с волнением (эмоциональным возбуждением), вызывает ряд «подготовитель-

ных» изменений в состоянии организма спортсмена, еще находящегося внешне в состоянии мышечного покоя.

Предстартовое состояние сказывается, в частности, в возбуждении симпатической нервной системы и в усиленном поступлении адреналина в кровь. Вследствие этого происходит учащение сердцебиений и сокращение чревных сосудов. Последнее приводит к выжиманию крови из ее депо (селезенки) и к перераспределению крови в теле; уменьшается кровоснабжение органов брюшной полости, зато больше крови может поступать в мышцы. Таким образом, создаются известные предпосылки к усилению кровообращения при работе.

С момента же начала работы описанные механизмы усиливают свою деятельность. К этому присоединяется еще ряд факторов, возникающих при самой работе и сильно способствующих увеличению интенсивности кровообращения. Вследствие образования в мышцах химических продуктов распада и ряда специфически действующих на капилляры веществ (например, гистамина) происходит раскрытие капилляров мышц, в результате чего в мышцы устремляются большие массы крови. Они, однако, не застаиваются в мышцах; энергично действующий «мышечный насос», т. е. попеременное сокращение и расслабление мышц, гонит кровь из капилляров в вены. В последних кровь также ускоряет свое течение благодаря увеличению присасывающей силы грудной клетки, увеличившей при работе амплитуду и частоту своих размахов. Возросший вследствие этого приток крови к сердцу вызывает большее наполнение кровью его камер при диастоле, что в свою очередь, согласно закону Старлинга, усиливает и систолическое опорожнение камер, т. е. увеличивает ударный объем. Кроме того, возросший приток крови к сердцу, повышая давление во впадающих в сердце венах, тем самым вызывает рефлекторно (рефлекс Бейбриджа) учащение сердцебиений; последнее, как сказано, является также результатом действия повышенного возбуждения симпатической нервной системы и влияния продолжающегося усиленного поступления в кровь адреналина. Вследствие увеличения ударного объема сердца и возросшей частоты сердечных сокращений сильно увеличивается минутный объем сердца. Давление крови и скорость ее течения по сосудам увеличиваются. В самом сердце, работающем усиленно, происходит расширение сосудов, вследствие чего увеличивается кровоснабжение сердечной мускулатуры. В результате — увеличение общего кровообращения в скелетных мышцах и других органах (например, в сердце), деятельность которых возрастает при мышечной работе.

ГЛАВА V

ПИЩЕВАРЕНИЕ

Пищеварением называется физическая и химическая переработка, которой подвергается пища в пищеварительном аппарате. Процесс пищеварения заключается в расщеплении (переваривании) входящих в состав пищи сложных молекул белков, жиров и углеводов на более простые молекулы. Последние, всосавшись из пищеварительной системы в кровь, разносятся по клеткам тела, где вновь соединяются в более сложные молекулы. При пищеварении пищевые вещества переходят в растворимое состояние, так как только в виде водного раствора они могут быть всосаны из пищеварительного аппарата в кровь.

Ознакомимся сначала с общей картиной переработки пищи при ее последовательном прохождении по пищеварительному тракту:

Пищеварение начинается во рту. Поступившая в рот пища подвергается механической обработке — измельчению и растиранию, а также смачиванию слюной. Частично во рту происходит также химическое расщепление углеводов. Увлажненный пищевой комок проталкивается глотательным движением в пищевод, а оттуда в желудок. Желудок является главным резервуаром для проглоченных больших пищевых масс. Переваривание их в желудке, однако, неполное; по преимуществу в нем перевариваются белки. Мелкими порциями пищевая кашица (химус) поступает из желудка в двенадцатиперстную кишку, орган наиболее интенсивного пищеварения. Помимо пищеварительных соков, выделяемых железами этой кишки, в нее вливаются соки из протока поджелудочной железы и желчного протока. В двенадцатиперстной кишке происходит энергичное переваривание всех пищевых веществ — белков, жиров и углеводов. Это переваривание продолжается и в процессе дальнейшего следования пищевой кашицы вдоль тонких кишок.

Всасывание продуктов пищеварения, начавшееся уже в желудке, наибольшей интенсивности достигает в тонких кишках. В толстых кишках происходит уплотнение каловых масс вследствие всасывания воды.

Из толстых кишок каловые массы вводятся через заднепроходное отверстие наружу.

ДЕЙСТВИЕ СОКОВ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗ НА ПИЩУ

Пища переваривается под влиянием соков, вырабатываемых железами, расположенными по всему ходу пищеварительного тракта. Железы построены из эпителиальных железистых клеток, обильно опутанных сетью капилляров. В этих клетках вырабатывается сок (так называемый «секрет»), составные части которого образуются из веществ,

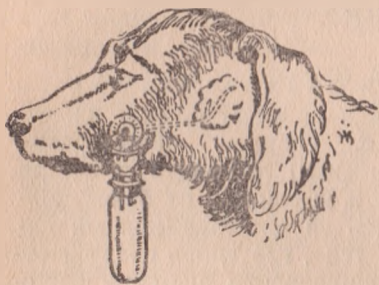


Рис. 46. Фистула слюнной железы.

приносимых кровью. Сок этот изливается через выводные протоки желез наружу — в полость желудка и кишок. Количество пищеварительных желез очень велико. Больше всего имеется мелких железок, расположенных по большой поверхности слизистых оболочек, выстилающих полости пищеварительных органов. Кроме того, в отдельных участках пищеварительной системы расположены крупные железы.

Нашими знаниями о механизме деятельности пищеварительных желез и действии их соков на пищу мы обязаны в значительной мере трудам великого русского ученого, академика Ивана Петровича Павлова. Им, в частности, разработан до совершенства так называемый фистульный метод изучения пищеварительных желез. Этот метод заключается в том, что выводной проток железы оперативным путем выводится на поверхность тела животного. Через отверстие, фистулу (рис. 46), можно легко собирать пищеварительный сок, не смешанный с пищей.

Основной составной частью пищеварительного сока (не по количеству, а по своему значению) являются ферменты. Именно благодаря ферментам происходит расщепление (переваривание) сложных пищевых веществ на более простые. Пищеварительные ферменты относятся к разряду гидролитических, т. е. способствующих быстрому протеканию реакции гидролиза — расщепления веществ, происходящего с присоединением частицы воды (гидор по-гречески — вода).

По отношению к пищевым веществам все пищеварительные ферменты могут быть разбиты на три большие группы: 1) ферменты, способствующие расщеплению белков (протеолитические ферменты, или протеазы), 2) ферменты, способствующие расщеплению жиров (липолитические ферменты, или липазы) и 3) ферменты, способствующие расщеплению углеводов (амилолитические ферменты, или амилазы).

Пищеварение во рту. Пища, поступившая в рот, подвергается

В желудочном соке, кроме того, предполагается наличие фермента, створаживающего молоко.

Ферментов, переваривающих углеводы, желудочные железы не вырабатывают. Углеводы частично перевариваются в желудке ферментами слюны, попавшей в желудок вместе с пищей. Переваривающее действие слюны длится, однако, сравнительно недолго: как только пища в желудке пропитается соляной кислотой, действие слюны прекращается, потому что кислая среда неблагоприятна для действия амилалитических ферментов.

Пищеварение в двенадцатиперстной и тонких кишках. Переваривание пищи в двенадцатиперстной и в следующих отделах тонких кишок происходит под действием: 1) сока поджелудочной железы, 2) кишечного сока и 3) желчи. В двенадцатиперстной кишке и далее на протяжении тонких кишок процессы пищеварения наиболее интенсивны и всеобъемлющи. Здесь до конца расщепляются и углеводы, и жиры, и белки. Благодаря присутствию бикарбонатов (двууглекислых солей) смешанный сок двенадцатиперстной кишки имеет щелочную реакцию.

Расщепление углеводов происходит под влиянием разнообразных ферментов: амилазы, расщепляющей крахмал (подобно птйалину слюны), инвертазы, расщепляющей тростниковый сахар, мальтазы, расщепляющей солодовый сахар, лактазы, расщепляющей молочный сахар. В результате действия этих ферментов все сложные углеводы (за исключением клетчатки) превращаются в моносахариды.

Расщепление белков происходит под действием двух ферментов: трипсина и эрепсина. Эрепсин не действует на целые белки, он расщепляет уже альбумозы и пептоны, доводя их расщепление до аминокислот. Трипсин же способен расщеплять и целые белки, не расщепленные пепсином во время их пребывания в желудке.

Трипсин происходит из трипсиногена, вырабатываемого поджелудочной железой. Выйдя с соком поджелудочной железы в двенадцатиперстную кишку, трипсиноген подвергается здесь действию фермента энтерокиназы и превращается в деятельный трипсин.

В результате пищеварения в тонких кишках белки расщепляются до аминокислот.

Расщепление жиров происходит следующим образом. Жир, поступивший в двенадцатиперстную кишку, под действием бикарбоната и желчи превращается в эмульсию, т. е. разбивается на громадное количество мельчайших капелек. Это увеличивает поверхность жира в десятки тысяч раз. Благодаря увеличенной поверхности чрезвычайно облегчается и ускоряется расщепление жира под влиянием липазы (или стеапсина), которая выделяется поджелудочной железой и расщепляет жиры на глицерин и жирные кислоты. Из образовавшихся продуктов расщепления лишь глицерин растворим в воде, жирные же кислоты не растворимы. Под влиянием бикарбонатов и желчи происходит омы-

ление жирных кислот. Мыла же, представляющие собою соли жирных кислот, в воде растворимы и вследствие этого могут быть всосаны через стенки кишечника. Следовательно, процесс переваривания жира идет в двенадцатиперстной кишке через стадии: 1) эмульгирования, 2) расщепления, 3) омыления. Конечными растворимыми продуктами являются глицерин и мыла.

Описанные процессы происходят, однако, с малой интенсивностью и полнотой, если в соке двенадцатиперстной кишки отсутствует желчь. Только при наличии желчи переваривание жиров достаточно полно.

Желчь вырабатывается в печени, откуда по печеночным протокам попадает в желчный пузырь. Там она собирается, концентрируется и во время пищеварения поступает через желчный проток в двенадцатиперстную кишку.

Желчь состоит главным образом из желчных пигментов и желчных кислот. Желчные пигменты — зеленый биливердин и красноватый билирубин — являются производными пигмента крови гемоглобина (из разрушившихся красных кровяных телец). В пищеварении желчные пигменты не участвуют. Они частично удаляются с каловыми массами, частично же всасываются из кишечника в кровь и выводятся с мочой, придавая как калу, так и моче их характерный цвет.

Желчные кислоты (производные холевых кислот) играют в пищеварении большую роль. Во-первых, они способствуют эмульгированию жира. Во-вторых, они активизируют ферменты поджелудочной железы; липаза, например, в присутствии желчи расщепляет жир во много раз интенсивнее, чем без нее. В-третьих, желчные кислоты омыляют жирные кислоты, переводя их из нерастворимого состояния в растворимое. Следовательно, значение желчи для переваривания жиров очень велико. В отсутствии желчи жиры перевариваются весьма незначительно и, не всасываясь, выводятся наружу.

Пищеварение в толстых кишках. Переваривание пищи в толстых кишках происходит в очень малой степени. Благодаря наличию в толстых кишках большого количества бактерий происходит сбраживание некоторых углеводов, не расщепляемых ферментами. К числу таких углеводов относится, в частности, клетчатка. Под влиянием бактерий происходит также гниение белковых веществ. Продукты гниения, однако, не являются полезными продуктами пищеварения и выводятся преимущественно наружу.

О судьбе всосавшихся продуктов гниения будет сказано особо.

РЕГУЛЯЦИЯ СОКОТДЕЛЕНИЯ

Отделение пищеварительных соков происходит рефлекторным путем или под влиянием химических раздражителей, действующих через кровь (гуморально).

Рефлекторные воздействия на пищеварительные железы осуществляются через посредство вегетативной нервной системы — ее симпатических и парасимпатических разделов.

Работа слюнных желез регулируется преимущественно нервно-рефлекторным путем. Слюноотделительный рефлекс имеет следующий путь. Попавшая в рот пища раздражает (механически

или химически) окончания чувствующих нервов, заложенных в слизистой рта; возникшее в нервах возбуждение направляется центrostремительно к продолговатому мозгу, а оттуда по центробежным секреторным нервам — к железе. Отделение слюны может, однако, происходить по типу условного рефлекса (см. главу XI), например при виде или запахе пищи.

Рефлекторное слюноотделение отличается чрезвычайно тонкой приспособленностью к различным пищевым веществам. По своему количеству и по составу отделяемая слюна различна в зависимости от характера раздражения чувствующих нервных окончаний. Например, если сравнить количество слюны, отделяемой при введении в рот сухарей, хлеба или мяса, то обнаруживается, что больше всего слюны отделяется на сухари, меньше на хлеб и еще меньше на мясо. Следовательно, больше слюны отделяется на вещества наиболее сухие, которые слюна смачивает. Кроме того, слюна, выделяемая на эти вещества, содержит много муцина, что способствует склеиванию пищи в комок и делает его скользким. Между тем на отвергаемые вещества (песок, кислоты и т. п.) отделяется много жидкой, водянистой слюны, способствующей удалению этих веществ изо рта, разбавлению кислот, споласкиванию полости рта.

Отделение желудочного сока происходит также рефлекторно, причем началом этого рефлекса является раздражение не самого желудка, а слизистой рта. Подробно желудочное сокоотделение изучалось Павловым на собаке с перерезанным пищеводом и с фистулой желудка (рис. 47). Если собаке ввести незаметно пищу через фистулу, то сокоотделения не происходит



Рис. 47. Опыт с мнимым кормлением.

или развивается оно не скоро и в малой степени. Если же дать пищу в рот, то, несмотря на то, что пища в желудок не попадает, а вываливается через перерезанный пищевод наружу, отделение желудочного сока происходит энергично.

Секреторным нервом желудка является блуждающий нерв. Если его перерезать, то в описываемых условиях опыта сокоотделения не наступит. Желудочный сок также отделяется в порядке условного рефлекса, т. е. под действием тех внешних

раздражителей, которые обычно сопровождают еду. Сок, отделяемый в порядке условного рефлекса, Павлов назвал аппетитным соком. Значение его очень велико, ибо пища сразу подвергается перевариванию обильно и заблаговременно выделяющимся желудочным соком. Состояние раздражения, гнев и тому подобные эмоции затормаживают отделение пищеварительных соков.

Рефлекторное желудочное сокоотделение длится, однако, недолго, сменяясь гуморальным. Оно заключается в возбуждении желез желудка начальными продуктами переваривания белков, мясными и овощными наварами и рядом других веществ, всасывающихся в кровь и приносимых последней к железам.

Рефлекторная, или психическая фаза отделения желудочного сока служит для начала переваривания пищи в желудке, она же побуждает следующую — гуморальную, или химическую фазу, которая продолжает и доводит до конца пищеварение в желудке.

Так же происходит регуляция деятельности поджелудочной железы. Блуждающий нерв передает ей рефлекторные воздействия. На смену же начальному, рефлекторному сокоотделению поджелудочной железы приходит гуморальное ее раздражение посредством вещества секретина. Секретин образуется в стенках двенадцатиперстной кишки и верхнего отдела тонких кишок, откуда всасывается в кровь и кровью приносится к поджелудочной железе. Образование активного секретина начинается лишь тогда, когда кислое желудочное содержимое поступает в двенадцатиперстную кишку.

Отделение желчи происходит вначале также рефлекторно, затем поддерживается гуморально, когда кровь начинает приносить в печень всасывающуюся вместе с продуктами пищеварения желчь. Следовательно, химическим возбудителем желчеотделения является сама желчь.

Кишечный сок отделяется преимущественно вследствие механических и химических раздражений кишечной стенки перевариваемой пищей.

ДВИЖЕНИЯ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Пищеварительный тракт на всем своем протяжении выстлан мышечной тканью, слой которой лежит непосредственно под слизистым эпителиальным слоем. Жевательная мускулатура, мышцы языка, глотки и верхней части пищевода состоят из поперечнополосатых мышечных волокон. Далее весь пищеварительный тракт выстлан уже только гладкими мышцами, а поперечнополосатые мышцы встречаются лишь в самом конце пищевой трубки — в сфинктере (сжимателе) заднего прохода.

Во рту пища разрывается и перемалывается зубами благодаря движениям нижней челюсти, которую перемещает жеватель-

ная мускулатура. Сокращения жевательной мускулатуры произвольны, точно так же как и сокращения мышц языка, при помощи которых пища переворачивается во рту и приближается к глотке.

В пищевод пища попадает благодаря глотанию, которое происходит в результате сокращения мышц языка и глотки. Глотание— акт чисто рефлекторный. Как только пища подойдет к верхней части пищевода, сокращаются мышцы глотки и пищевода и проталкивают пищу в желудок. При отсутствии пищи, воды или слюны во рту осуществить глотание невозможно, потому что ничто не раздражает окончания чувствующих нервов, заложенные в слизистой глотки и передающие по нервам через продолговатый мозг импульсы к глотательной мускулатуре. Сокращение мышц в начале пищевода рефлекторно вызывает сокращение следующих за ними мышечных пучков, т. е. происходит так называемый целый рефлекс, благодаря которому осуществляются перистальтические движения пищевода, проталкивающие пищу в желудок. Твердый пищевой комок проходит по пищеводу в 8—9 сек., жидкости же проходят скорее — около 1 сек.

В желудке пища перемешивается и передвигается благодаря сокращениям желудочных мышц, расположенных в разных направлениях. Сокращения начинаются у входа и распространяются по направлению к привратнику.

Длительность пребывания пищи в желудке зависит от ее состава и колеблется от 2 до 8 и даже до 10 часов. Плохо прожеванная пища задерживается в желудке дольше, хорошо измельченная покидает его скорее. Наименьшее время задерживается углеводная пища, дольше — белковая и дольше всего — пища, богатая жирами. Этот факт следует учитывать при выборе диеты накануне интенсивной тренировки или соревнований.

Переход пищи из желудка в двенадцатиперстную кишку регулируется попеременным закрыванием и открыванием привратника. Движения сфинктера привратника являются рефлекторными. Когда пища в желудке приближается к привратнику, он открывается и пропускает первую порцию пищи из желудка в двенадцатиперстную кишку. Но как только в последней скопилось некоторое количество пищевой кашицы, привратник закрывается.

По мере того как пища продвигается по двенадцатиперстной кишке в тонкие кишки, привратник расслабляется, чтобы пропустить в двенадцатиперстную кишку новую порцию пищи, проталкиваемой через него сокращениями желудка.

В тонких кишках пища перемешивается вследствие маятниковообразных движений кишечника и передвигается в результате перистальтических его движений. Маятниковообразные движения заключаются в том, что отдельные участки кишки попеременно удлиняются, укорачиваются и сжимаются. Перистальтическое же движение в тонкой кишке представляет собой волну сжатия кишки, пробегающую от желудка к толстой кишке.

В толстой кишке пища передвигается также перистальтически-ми движениями, толкающими пищу к заднему проходу, однако в начальной части толстой кишки имеются также движения, направленные обратно: в сторону тонкой кишки. Эти антиперистальтические движения загоняют химус (пищевую кашу) в слепую кишку. Там происходит уплотнение каловых масс в результате всасывания воды. Движения толстой кишки более вялые, чем тонкой, поэтому каловые массы могут в толстой кишке задерживаться подолгу.

Регуляция движений пищеварительного аппарата. Движения кишечника автоматичны; кишка, извлеченная из тела и помещенная в физиологический раствор, продолжает свои маятниковообразные и перистальтические движения. Нервная регуляция этих автоматизированных движений осуществляется через посредство вегетативных нервов: возбуждение парасимпатических нервов усиливает перистальтику, возбуждение симпатических — задерживает ее. Все те химические вещества, которые действуют подобно симпатическому нерву (например адреналин), тормозят движение кишок, а вещества, действие которых подобно влияниям парасимпатического нерва (холин), усиливают движение.

Таким образом, нервные и гуморальные воздействия на движения пищеварительного аппарата и на его секреторную функцию обратны тем влияниям, которые указанные нервы и химические вещества оказывают на работу сердца. Противоположно их влияние и на работу мышц. Поэтому при интенсивной мышечной деятельности задерживается (затормаживается) работа пищеварительного аппарата, и, наоборот, во время интенсивного пищеварения затруднена энергичная мышечная работа. К этому присоединяются еще и изменения в распределении крови в теле. Во время физических упражнений кровь устремляется преимущественно в мышечные и кожные сосуды, сосуды же пищеварительного аппарата сужены, снабжение его кровью уменьшено, что затрудняет пищеварение. Отсюда понятно, почему интенсивными физическими упражнениями не следует заниматься непосредственно после приема пищи: и пищеварение пострадает при этом, и мышечная работа будет затруднена. Сильное утомление также тормозит работу пищеварительного аппарата; поэтому принимать пищу следует отдохнувши.

ВСАСЫВАНИЕ

Всасывание продуктов пищеварения начинается еще в желудке, однако в незначительной степени. Главным местом всасывания являются тонкие кишки.

Внутренняя поверхность кишок покрыта многочисленными выпуклостями — ворсинками, во много раз увеличивающими поверхность кишок. Ворсинки покрыты эпителиальными клетками и содержат кровеносные и лимфатические сосуды (рис. 48). Всасывание

содержимого кишечника происходит через эпителиальный слой ворсинок. Продукты всасывания поступают в лимфу и в кровь.

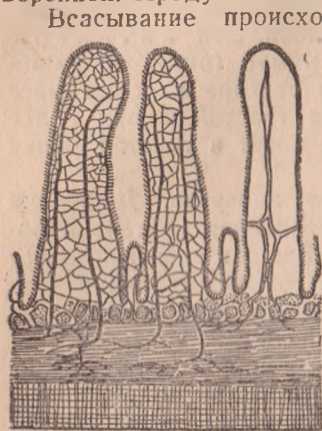


Рис. 48. Строение ворсинки кишечника. В двух ворсинках видны кровеносные сосуды, в третьей — лимфатический сосуд.

Всасывание происходит при участии физических процессов: фильтрации, диффузии, осмоса. Помимо этого, имеет место и активная деятельность ворсиночных клеток, способствующая переходу всасываемых веществ из кишок в лимфу и кровь. Непосредственно в кровь всасываются моносахариды и аминокислоты. Жиры же, точнее — глицерин и растворимые жирные кислоты (соединения жирных кислот с щелочами — мыла), всасываются в лимфу. При этом в лимфе мы уже не обнаружим ни глицерина, ни мыла, потому что, перейдя сквозь эпителиальную стенку ворсинок, они немедленно вновь синтезируются в жир. Расщепление жира в кишечнике имеет то значение, что молекула жира крупна и не проходит сквозь стенку ворсинки. В толстых кишках всасывается преимущественно вода.

Проследим вкратце дальнейшие пути всосанных веществ.

Жир направляется вместе с потоком лимфы (млечный сок) по лимфатическим сосудам и из грудного лимфатического протока вливается в кровь подключичной вены. Далее он разносится кровью по всему телу, откладываясь в запас в некоторых участках его и образуя жировые прослойки.

Аминокислоты направляются потоком крови через воротную вену в печень и далее через полую вену в сердце, а оттуда по артериальной системе разносятся ко всем клеткам, где синтезируются в белки.

Моносахариды, приносимые током крови в печень, синтезируются там в полисахарид гликоген, являющийся основным запасом сахара в организме.

Вследствие того, что вся кровь, оттекающая от пищеварительного аппарата, поступает в печень, туда же попадают и продукты гниения белков, всосавшиеся в кровь из толстых кишок. В печени они обезвреживаются и в таком виде уже поступают в общий кровоток, разносятся по организму с током крови и попадают в почки, откуда и выводятся мочой. К числу таких вредных продуктов всасывания относится, например, аммиак. В печени он синтезируется в безвредную мочевины. Ряд ядов, образующихся в результате гниения в толстых кишках, как, например, индол, фенол и скатол, соединяется в печени с вырабатываемой в ней серной кислотой, образуя уже безвредные соединения. В этом заключается так называемая барьерная функция печени.

ГЛАВА VI ВЫДЕЛЕНИЕ

СТРОЕНИЕ ПОЧЕК И МОЧЕОБРАЗОВАНИЕ

В почке различают два слоя: наружный — корковый и внутренний — мозговой (рис. 49). Последний включает в себе полость — почечную лоханку, являющуюся устьем мочеточника, в который через выводные протоки мочевых канальцев поступает моча.

Мочевые канальцы начинаются в корковом слое расширениями, называемыми капсулами Боумена (рис. 50). К каждой капсуле подходит веточка почечной артерии, которая в самой капсуле разветвляется, образуя клубочек Мальпиги. Кровь, протекающая через этот клубочек, профильтровывается сквозь его стенки и попадает в боуменову капсулу и далее в отходящий от нее каналец.

Сквозь этот фильтр проходят не все составные части крови. Форменные элементы и белки крови через него не проходят, а профильтровывается лишь небелковая часть плазмы. Это есть первая фаза образования мочи, и моча, находящаяся в канальцах, отходящих от боуменовой капсулы, называется первичной мочой. Первичная моча — это плазма крови без белков.

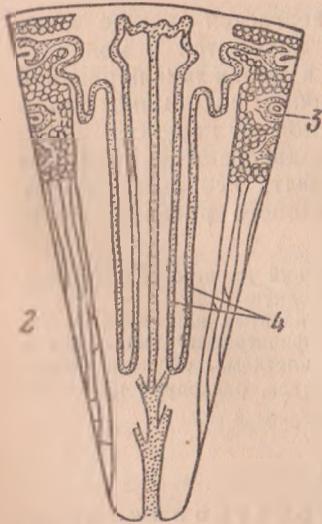


Рис. 49. Схема почечной доли:
1 — корковый слой, 2 — мозговой
слой, 3 — боуменова капсула, 4 —
мочевые канальцы.

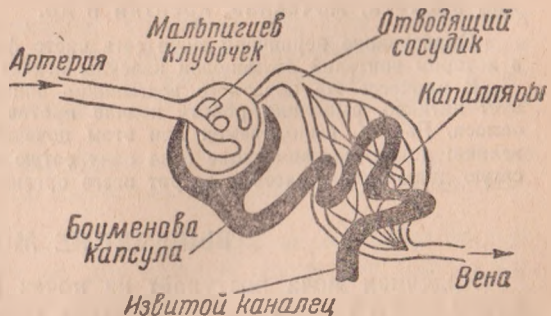


Рис. 50. Схема боуменовой капсулы и извитого канальца.

Кроме конечных продуктов распада, она содержит и другие вещества, необходимые организму (сахар, соли, воду). Эти вещества (некоторые полностью, а иные частично) поступают обратно в кровь. Процесс обратного всасывания происходит в извитых канальцах (см. рис. 50), служащих продолжением тех канальцев, которые начались в боуеновой капсуле. Извитые канальцы опутаны богатой сетью капилляров, которые являются разветвлениями сосуда, отходящего от мальпигиева клубочка.

Обратное всасывание есть избирательный процесс. Это значит, что не все вещества подвергаются обратному всасыванию в одинаковой степени. Те вещества, которые еще могут быть использованы в организме, всасываются обратно в кровь в больших количествах. Сахар, например, всасывается обратно в кровь в обычных условиях полностью, поэтому в выделяемой конечной моче он не содержится. Неполное его всасывание происходит лишь тогда, когда концентрация его в крови чрезмерно высока (0,16—0,2%) и выше известного «порога». Сахар называется поэтому «пороговым» веществом, так как степень обратного всасывания зависит от процентного содержания его в крови. При сахарной болезни — диабете, при котором в крови образуется повышенное содержание сахара, он появляется в моче. Появление сахара в моче наблюдается и после однократного приема большого количества сахара (например, свыше 200 г свекловичного сахара), что вызывает повышенную концентрацию его в крови. К «пороговым» веществам, помимо сахара, относятся некоторые кислоты и соли.

Сильному обратному всасыванию подвергается также вода, отчего не всосавшиеся обратно вещества находятся в конечной моче в более концентрированном виде, чем в крови или первичной моче. Количество всасываемой воды различно, но обычно оно в 60 раз превосходит количество воды, выводимой наружу.

Наименьшему обратному всасыванию подвергаются продукты конечного распада, которые уже не могут быть использованы организмом; это прежде всего продукты белкового распада: мочевая кислота, мочевина, креатин и др.

Образование первичной мочи есть чисто физический процесс фильтрации, в котором эпителий боуеновой капсулы играет пассивную роль.

В процессе же обратного всасывания эпителий извитых капилляров участвует активно, выполняя работу подчас против сил фильтрации, диффузии и осмоса. Работа, выполняемая при этом почечными клетками, очевидно, очень велика: почки, составляющие едва одну сотую веса тела, расходуют почти десятую долю энергетических затрат всего организма.

ВЫВЕДЕНИЕ МОЧИ

Конечная моча поступает из почек в мочеточник, оттуда в мочевой пузырь. Движение мочи по мочеточникам происходит вследствие перистальтических сокращений гладкой мускулатуры мочеточника.

Гладкими мышцами выстлан и мочевой пузырь. Увеличение объема мочевого пузыря при наполнении его мочой не является пассивным растяжением под влиянием напора жидкости, а происходит рефлекторно. Гладкая мускулатура мочевого пузыря при наполнении его жидкостью расслабляется, что ведет к увеличению его объема. Таким образом, моча поступает в расслабленный мочевой пузырь. При этом напрягаются мышцы сфинктера мочевого пузыря, препятствующие вытеканию мочи в мочеспускательный канал. Наполнение мочевого пузыря вызывает рефлекс мочеотделения, под действием которого происходит сокращение стенок мочевого пузыря и расслабление его сфинктера. Кроме того, раскрывается сфинктер самого мочеспускательного канала, выстланный поперечнополосатыми мышцами. Эти мышцы иннервируются двигательным нервом, и напряжение их может регулироваться произвольно (позыв к опорожнению может быть задержан). Вся же остальная гладкая мускулатура мочевыводящей системы иннервируется вегетативными (симпатическими и парасимпатическими) нервами.

Позывы к опорожнению мочевого пузыря наступают чаще при действии холода на тело и при некоторых психических (эмоциональных) состояниях. Известны частые позывы к мочеиспусканию на старте (при так называемой стартовой лихорадке) и при плавании.

КОЛИЧЕСТВО И СОСТАВ МОЧИ

Человек, не выполняющий большой физической работы, ведущий нормальный водно-солевой и пищевой режим и находящийся в удовлетворительных метеорологических условиях, выделяет в сутки приблизительно 1,5 л мочи. Это количество, однако, может резко изменяться в ту или другую сторону в зависимости от ряда условий. Естественно, что введение большого количества жидкости увеличит эту цифру, недостаток в питье ее уменьшит. При интенсивной мышечной работе количество выделяемой мочи уменьшается.

Уменьшение мочеобразования (главным образом выведения воды почками) при мышечных напряжениях происходит в основном вследствие: 1) поступления воды из крови в мышцы, 2) усиленного потоотделения, 3) уменьшения кровоснабжения внутренних органов и, в частности, почек.

Состав мочи весьма разнообразен и может сильно изменяться при мышечной работе. Остановимся на некоторых составных элементах мочи.

Азотистые вещества. Белок в моче при нормальном состоянии организма отсутствует, но при сильной мышечной работе появляется. Его почти всегда обнаруживают, например, после бега на средние дистанции и вообще после спортивных напряжений средней длительности. Появление белка в моче есть следствие понижения фильтрационной способности почек, которое происхо-

дит под влиянием значительного сдвига реакции крови в кислотно-щелочную сторону, что и имеет место при средних по длительности, но больших по мощности нагрузках. Белок в моче наблюдается в течение первых часов после работы, потом он исчезает.

Аммиак постоянно содержится в моче, являясь конечным продуктом белкового распада. Он поступает в кровь из толстых кишок, где происходит гниение белков с образованием аммиака. Аммиак частично образуется также и в мышцах в результате распада азотистых соединений.

Аммиак выделяется в мочу и из самой почечной ткани, что играет большую роль в регуляции кислотно-щелочного равновесия в крови.

Дело в том, что поступающие в кровь кислоты (например молочная) соединяются с основаниями, образуя соли (например натриевые). При выведении этих солей почками вместе с кислотным остатком солей удаляются также и катионы (натрий), что уменьшает количество щелочных резервов. Однако в почках натрия замещается аммиаком, благодаря чему щелочные резервы в крови все-таки сохраняются.

В мочу переходит лишь часть аммиака, поступающего в кровь из толстых кишок и других органов. Главная часть его, приносимая кровью к печени, синтезируется там в мочевины, которая и выделяется почками. Мочевая кислота есть результат распада ядерного вещества клеток. Она образуется главным образом в кишечнике. Мочевая кислота вредна для организма и выводится мочой почти полностью.

Креатин и креатинин являются продуктами распада, образующимися в мышцах при деятельности последних. Содержание указанных веществ в моче при мышечной работе увеличивается.

Безазотистые соединения. Из числа безазотистых соединений укажем на молочную и фосфорную кислоты. И та, и другая всегда присутствуют в небольших количествах в крови и, постоянно проходя через почечный фильтр, обнаруживаются также в моче. Во время мышечной работы и после нее их количества в моче значительно увеличиваются. В особенности это относится к молочной кислоте, выведение которой при большой мышечной работе может очень сильно возрастать.

Количество молочной кислоты, выводимой с мочой, естественно, зависит от концентрации ее в крови. Накопление же молочной кислоты в крови велико лишь при мощных, но сравнительно кратковременных спортивных напряжениях, и относительно невелико при длительных. Поэтому выделение молочной кислоты с мочой значительно при работах большой интенсивности и мало при менее мощных, хотя бы и более длительных работах.

В моче, кроме того, содержатся разнообразные соли, количество которых сильно колеблется в зависимости от различных условий. Моча содержит также пигменты — уробилин и урохром, происходящие из желчных пигментов, которые в свою очередь происходят из пигмента крови.

Реакция мочи — кислая. В отличие от реакции крови она непостоянна, так же как непостоянен и вообще состав мочи. Боль-

шая изменчивость реакции мочи является одним из факторов, обеспечивающих постоянство реакции крови. Колебания реакции мочи происходят обычно в пределах рН от 5 до 7. При мышечной работе реакция мочи резко сдвигается в сторону кислотности. Усиленное выведение с мочой кислых продуктов распада при мышечной деятельности предохраняет кровь от резкого сдвига ее реакции в кислотную сторону.

ПОТООТДЕЛЕНИЕ

Пот выделяется потовыми железами, распределенными в коже неравномерно. Большее количество пота отделяется с поверхностей ладоней, подошв, лба, подмышечных впадин, очень мало — с тыльных поверхностей конечностей.

Потоотделение происходит рефлекторно. Потовые железы иннервируются симпатическим отделом вегетативной нервной системы. Причиной повышенного потоотделения является тепловое раздражение поверхности тела и повышение температуры тела вследствие усиленного теплообразования или уменьшенной теплоотдачи. Однако пот может отделяться и независимо от температуры (например отделение «холодного пота» при некоторых эмоциональных состояниях).

Состав пота сравнительно мало отличается от состава мочи, лишь концентрация содержащихся в нем веществ значительно ниже, чем в моче. Поэтому пот часто называют разведенной мочой.

Из неорганических соединений в поте больше всего поваренной соли (0,3%). Поэтому при очень интенсивном потоотделении выводится с потом большое количество солей.

Из органических соединений в поте больше всего мочевины. При мышечной работе, связанной с сильным потением, значительно возрастает в поте количество молочной кислоты. При большой работе (дальние походы, пробеги) через пот может выделиться несколько граммов молочной кислоты.

Общее количество отделяемого пота колеблется в весьма больших пределах в зависимости от многих причин. При мышечной работе в жаркие дни потери пота могут доходить до нескольких литров. Примерное представление о размерах потоотделения при разных спортивных напряжениях дает табл. I в гл. I (о потерях веса). Естественно, что столь значительные потери воды должны восполняться питьем ее.

Работа потовых желез происходит в соответствии с работой почек: при сильном потении мочеотделение уменьшается.

Потовые железы имеют значение для организма не только как выделительная система, удаляющая из тела конечные продукты распада. Процесс потоотделения играет также очень большую роль в регуляции тепла в организме.

ГЛАВА VII

РЕГУЛЯЦИЯ ТЕПЛА

Нормальная жизнедеятельность человеческого организма возможна лишь в том случае, если тело имеет определенную и постоянную температуру. В среднем температура тела равна приблизительно 37°C , колеблясь около этой цифры в течение суток: в небольших пределах. Если температура тела длительно удерживается на $3\text{--}4^{\circ}$ выше или ниже указанной, то человек погибает. В то же время температура окружающей среды колеблется в значительно больших пределах. Отчего же зависит постоянство температуры тела? Температура тела остается постоянной лишь в том случае, если образование тепла в теле равняется отдаче тепла телом. Следовательно, температура тела зависит от двух факторов: теплопродукции и теплоотдачи.

Теплопродукция. Тепло образуется в теле непрерывно как конечный результат всей массы химических реакций, происходящих в организме в процессе обмена веществ.

Количество тепловой энергии, вырабатываемой при покое (основной обмен), более или менее постоянно. Интенсивность обмена связана с колебаниями температуры. При небольших колебаниях (от 15 до 25°) он держится приблизительно на одном уровне, находясь в так называемой зоне безразличия. При дальнейшем подъеме температуры (до 35°) обмен снижается, вступая в зону терморегуляторного снижения. При повышении температуры свыше 35° наступает резкое повышение обмена, связанное с перегреванием тела (рис. 51).

При понижении же внешней температуры основной обмен возрастает незначительно, и основным способом борьбы с переохлаждением тела является повышение обмена путем мышечной работы. При этом усиление работы мышц может начаться произвольно, в виде дрожаний, постепенно охватывающих все тело.

В соответствии с изменением интенсивности обмена веществ происходит и изменение теплопродукции тела. Подобная регуляция тепла путем изменения теплопродукции есть химическая терморегуляция, поскольку она сводится к влияниям на интенсивность химических процессов. Следует, однако, отметить, что химическая терморегуляция у человека, находящегося в состоянии покоя, развита слабо. У животных же, тело которых покрыто

хорошим теплоизолирующим покровом (шерсть, перья), препятствующим большой теплоотдаче с поверхности тела, химическая регуляция является основным видом терморегуляции.

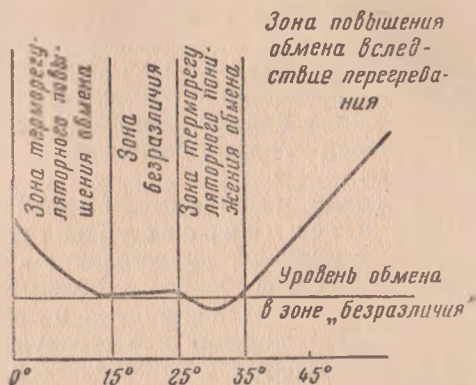


Рис. 51. Схема изменения обмена при различной температуре (по Маршаку).

Процесс химической терморегуляции в основном протекает следующим образом. При охлаждении наружных покровов тела раздражаются специализированные в отношении действия холода окончания чувствующих нервов кожи (холодовые рецепторы). Возникшее в них возбуждение передается по чувствующим нервам к промежуточному мозгу, а от него через вегетативную нервную систему — к тканям, вызывая в них усиленный обмен веществ. Кроме того, в случае очень низкой температуры возбуждение промежуточного мозга может быть вызвано охлажденной кровью, притекающей от охлаждаемых участков кожи. Влияния со стороны промежуточного мозга относятся не только непосредственно к мышечной ткани, но и к железам внутренней секреции (например щитовидной). Происходит усиленная выработка гормонов, в свою очередь повышающих обмен в тканях.

Теплоотдача. Значение теплоотдачи и размеры ее могут быть пояснены следующим примером. При покое, как мы знаем, основной обмен равняется за сутки примерно 1 500 б. кал. Таким количеством тепла, вырабатываемого человеческим телом за 24 часа, можно нагреть 15 л ледяной воды до точки кипения. Если бы все это количество тепла, образующегося в теле, не отдавалось наружу, то человек за сутки нагрелся бы примерно на 20°, т. е. температура его поднялась бы до 60°. Достаточно исключить теплоотдачу всего на 3 часа, чтобы поднять температуру тела до 40°. При работе же необходимость в теплоотдаче еще выше. Мы видели, что потребление кислорода может иногда достигать 4 л в минуту. Калорическая ценность 1 л кислорода — около 5 б. кал. Следовательно, теплопродукция в 1 мин. составит 20 б. кал. Отсюда можно рассчитать, что при отсутствии теплоотдачи тело в этих условиях нагреется до 40° за 10 мин. Достаточно всего 3 часов такой теплопродукции, чтобы тело весом 60 кг нагреть до точки кипения.

Мы видим, таким образом, что теплоотдача должна быть равной теплопродукции: только тогда температура тела может оставаться постоянной. Как только теплопродукция превысит теплоотдачу, — неизбежно повышение температуры тела, и так же неизбежно охлаждение его, если теплоотдача превысит теплопродукцию.

Регуляция отдачи тепла есть физическая терморегуляция. Отдача тепла происходит с поверхности тела, и при прочих равных условиях она тем больше, чем больше поверхность тела. Поэтому животные в холод лежат свернувшись клубком, а при жаре — распластавшись.

Тепло с поверхности тела отдается путем лучеиспускания (большая часть тепла) и теплопроводности, т. е. непосредственной отдачи тепла с кожи на прилегающие к ней материальные частицы. Отдача тепла в особенности облегчается конвекцией этих частиц, т. е. удалением нагретых и заменой их новыми, более холодными. Окружающий нас воздух (или вода при плавании) сильно конвекционирует; ближайшие к телу слои, нагреваясь, поднимаются вверх, а на их место притекают следующие слои. Движения воздуха (ветер) и воды (течение) еще больше усиливают конвекцию и, следовательно, лучше охлаждают тело.

Величина теплоотдачи зависит от разности температур тела и окружающей среды: чем ниже температура окружающей среды, тем больше тело отдает тепла, а при высокой температуре окружающей среды отдача тепла уменьшается. Следовательно, для сохранения температуры тела необходимо, чтобы при повышении наружной температуры теплоотдача увеличивалась, а при понижении — уменьшалась. Происходит это двумя путями: изменением кровоснабжения кожи и потоотделением.

Кровоснабжение кожи осуществляется кожными кровеносными сосудами. Просвет кровеносных сосудов меняется в зависимости от степени сокращения гладких мышц сосудов. Сокращение же сосудистой мускулатуры регулируется импульсами, приходящими к ней по сосудодвигательным нервам. При нагревании кожи извне раздражаются окончания кожных чувствующих нервов, которые передают это возбуждение центробежным сосудорасширяющим нервам; последние вызывают уменьшение напряжения сосудистых мышц и отсюда — расширение сосудов. По расширенным сосудам к коже притекает большее количество крови, тепло от которой отдается окружающей среде.

Обратное описанному рефлекторное уменьшение просвета кожных сосудов происходит при понижении температуры окружающей среды. Охлаждение кожи вызывает возбуждение кожных чувствующих нервов, передающих это возбуждение теперь уже сосудосуживающим нервам. Уменьшение просвета сосудов кожи сопровождается уменьшением отдачи тепла крови наружу, что сохраняет тепло тела. Изменение просвета кожных сосудов хорошо видно, потому что при их расширении кожа краснеет, а при сужении бледнеет.

В понижении температуры кожи большую роль играет пототделение. Испарение жидкости связано с поглощением тепла. Пот, испаряясь с поверхности тела, отнимает тепло от кожи, т. е. охлаждает ее.

Понятно, что испарение может происходить только в сухом воздухе; в воздухе же, насыщенном влагой, испарения не происходит. Мы именно потому сравнительно легко переносим жару в сухом воздухе, что пот в нем испаряется, охлаждая кожу. Во влажном воздухе уменьшается возможность испарения пота — этого важнейшего фактора терморегуляции, уменьшается теплоотдача, и температура тела повышается сильнее. Движение воздуха способствует более быстрому испарению пота, чем объясняется освежающее действие ветра.

Следовательно, не одна только внешняя температура определяет условия терморегуляции, но комбинация всех трех факторов — температуры, влажности и движения воздуха. Например, при большой скорости движения сухого воздуха, имеющего сравнительно высокую температуру, условия теплоотдачи могут оказаться такими же, как при более низкой температуре, но большей влажности, или при более медленном движении воздуха.

Возможны самые различные сочетания этих трех факторов, вызывающие одинаковый эффект теплоотдачи. Такие комбинации, обладающие одинаковым влиянием, выражаются в виде условных единиц — в градусах так называемых эффективных температур. Те сочетания температуры, скорости и влажности воздуха, которые вызывают одинаково хорошее субъективное ощущение, называют зоной комфорта. Например, неподвижный воздух с 100-процентной влажностью может создать ощущение комфорта только при температуре не ниже 17 и не выше 22°. При неподвижном сухом воздухе то же самое ощущение создается уже при температуре от 20 до 27°. Когда же сухой воздух движется со скоростью, например, 60 м в минуту, то его зона комфорта лежит между 23 и 29°.

РЕГУЛЯЦИЯ ТЕПЛА ПРИ МЫШЕЧНОЙ РАБОТЕ

При работе, в особенности совершаемой в условиях повышенной температуры окружающей среды, к механизму терморегуляции предъявляются повышенные требования. С одной стороны, вследствие высокой температуры воздуха ухудшаются условия отдачи, с другой стороны, благодаря производимой работе повышается теплопродукция. Следовательно, оба фактора действуют в одном направлении — в сторону повышения температуры тела (рис. 52).

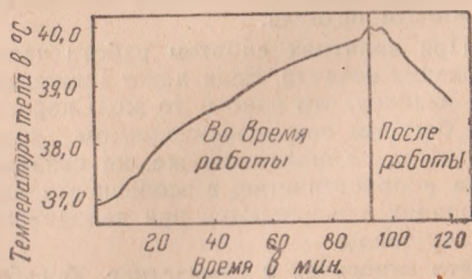


Рис. 52. Изменение температуры тела во время работы (по Кристенсену).

Изменения теплоотдачи с кожи вследствие сосудистых реакций не всегда могут быть достаточными для регулирования температуры тела.

Температура кожи изменяется не в точном соответствии с изменением температуры воздуха. Например, когда температура воздуха равна 18° , температура кожи — около 30° . Разница в 12° обеспечивает достаточно быстрый переход тепла от тела в окружающую среду. Если же температура воздуха достигает 30° , температура кожи равна всего 33° . Разница составляет уже только 3° . При повышении же температуры воздуха до 36° температура кожи возрастает всего до 35° , т. е. оказывается холоднее, чем воздух; ясно, что теплоотдача с кожи невозможна, а наоборот, происходит ее нагревание извне. Если к тому же совершается мышечная работа и нагретая мышцами кровь усиленно приливает к поверхности тела, то условия теплоотдачи еще больше ухудшаются, и опасность перегревания организма возрастает.

Температура тела при спортивных напряжениях может достигать до $39-39,5^{\circ}$ и даже выше.

Потоотделение достигает в таких случаях наибольшей интенсивности. Однако потоотделение полезно лишь постольку, поскольку оно способствует отдаче тепла телом. Чрезмерное потоотделение, когда пот стекает с тела струями, вредно, так как приводит к большим потерям воды и солей.

Длительное пребывание в высокой температуре, а в особенности напряженная работа в этих условиях, может привести к тепловому удару, который вызывается глубоким нарушением теплорегуляции и водно-солевого баланса.

Тепловой удар—тяжелое общее состояние, сопровождающееся сильным повышением температуры, рвотой, значительным учащением дыхания и пульса, падением кровяного давления, обеднением крови водой и солями. Тяжелые случаи теплового удара протекают с потерей сознания.

В связи с этим спортивные соревнования, в особенности требующие длительной напряженной работы (например марафонский бег), опасно проводить в жаркое время года.

Перегревание тела особенно легко может наступить в условиях высокой влажности. Потоотделение здесь не может иметь большого терморегуляторного значения, потому что затруднено испарение пота, совершенно отсутствующее при 100-процентной влажности воздуха.

При занятиях спортом работа часто производится в условиях движения воздуха. Если даже движения воздуха нет, то двигается сам человек, что одно и то же. Скорость передвижения, развиваемая бегуном или велосипедистом, равна обычно средней скорости ветра. Упражнения же, не связанные с быстрым передвижением в пространстве, в особенности выполняемые в закрытых помещениях, совершаются при неподвижном воздухе, что затрудняет отдачу тепла.

Это относится к гимнастике, борьбе, боксу, фехтованию. Последнее, совершаемое в защитной одежде, затрудняющей возможность испарения пота с поверхности тела, может вести к значитель-

ному нагреванию тела, несмотря на меньшую мощность работы сравнительно с другими видами спорта.

Все вышесказанное не означает, однако, что повышение температуры тела при физических упражнениях происходит только при высокой температуре воздуха или высокой влажности, или неподвижности его, при ухудшении условий испарения пота и т. п. Даже при самых благоприятных условиях, при нормальной комнатной температуре, при движении воздуха малой влажности температура тела при интенсивной и длительной работе повышается.

Физиологами были поставлены опыты над тренированными спортсменами, совершавшими на велсэргометре мощную длительную работу. Несмотря на то, что температура воздуха была невелика и испытуемые находились в потоках воздуха, подаваемых сильными вентиляторами, температура тела у одного испытуемого достигла $38,7^{\circ}$, у другого — $39,1^{\circ}$, а у третьего — $39,7^{\circ}$. Это говорит о том, что даже в благоприятных условиях теплоотдача все же отстает от интенсивной теплопродукции.

ВНУТРЕННЯЯ СЕКРЕЦИЯ

На протяжении всех предыдущих глав, в которых рассматривалась деятельность различных органов, мы неоднократно встречались с действием механизмов, благодаря которым деятельность какого-либо органа не оставалась оторванной от деятельности другого.

Отдельные органы под действием этих механизмов сливались в функциональную взаимосвязи в большие физиологические системы органов — сердечно-сосудистую, дыхательную, пищеварительную и др. Эти системы в свою очередь также не функционировали отдельно, а действовали совместно, образуя сложную и слаженную систему — организм.

Мы уже знаем, что под этим механизмом, который обеспечивает взаимосвязь отдельных органов и систем и слаженность в их работе, разумеется регуляция, разделяемая на два вида — гуморальную и нервную.

Мы видели, что даже такие простые продукты обмена веществ клеток, как, например, CO_2 , могут регулировать работу целых систем (дыхательной, сердечно-сосудистой). Углекислота, равно как и другие продукты обмена веществ, образуется во всех тканях, и в этом смысле все органы, помимо их специальных функций, являются в то же время и органами взаимной регуляции. Наряду с этим, однако, в сложном организме существуют органы, специальное назначение которых заключается в выработке гуморальных регуляторов. Такими органами являются железы внутренней секреции. Регуляторной системой является также определенный раздел нервной системы — вегетативная нервная система, посредством которой осуществляется нервная регуляция функций. Подробнее о вегетативной нервной системе будет сказано ниже (см. главу XI). С значением продуктов некоторых желез внутренней секреции мы уже ознакомились в предыдущих главах, поэтому описание деятельности желез внутренней секреции явится здесь в известной мере подытоживанием полученных прежде сведений.

Пищеварительные железы, потовые, сальные и другие имеют выводные протоки, через которые выводятся в полости тела или на его поверхность продукты этих желез, их секрет. Такие железы называются железами с внешней секрецией.

В организме, однако, имеется еще множество других желез, не имеющих выводных протоков и не выносящих поэтому вырабатываемые ими продукты непосредственно на поверхность тела или в его полости. Вещества, вырабатываемые такими железами, называются гормонами, а сами железы — железами с внутренней секрецией, или эндокринными железами. Гормоны, вырабатываемые эндокринными железами, всасываются в кровь, которая и разносит их по всему телу. Гормоны воздействуют на клетки, ткани, органы, усиливая, затормаживая, видоизменяя их деятельность. Согласованная работа различных желез внутренней секреции обеспечивает регулярную работу всего организма.

Разберем здесь функции некоторых желез с внутренней секрецией, с частью которых нам приходилось уже встречаться в предыдущих главах (рис. 53).

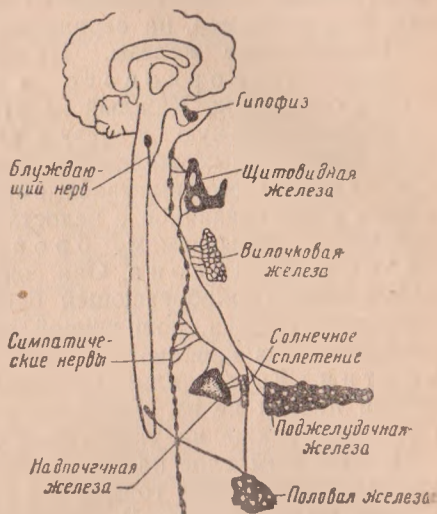


Рис. 53. Схема расположения желез внутренней секреции и их иннервации (по Пенде, сокращ.).

О значении гормонов, регулирующих деятельность пищеварительных желез, уже говорилось. Такое вещество, как, например секретин, является гормоном, хотя анатомически четко очертить железы, в которых он вырабатывается, трудно. Разбросанные в стенках двенадцатиперстной кишки железистые клетки вырабатывают это вещество, которое, всасываясь в кровь, оказывает стимулирующее влияние на работу поджелудочной железы.

Поджелудочная железа. Поджелудочная железа является смешанной железой как внешней, так и внутренней секреции. О внешней ее секреции говорилось в главе о пищеварении. Среди массы клеток поджелудочной железы, в которых происходит выработка пищеварительных соков, имеются, однако, скопления других клеток, не выводящих свой секрет через выводной проток. Эти скопления клеток, названные островками Лангерганса, вырабатывают всасывающееся непосредственно в кровь вещество — инсулин (инсула — по-латински остров).

Инсулин по преимуществу действует на клетки печени, способствуя откладыванию в печени запасов гликогена. При заболевании поджелудочной железы, когда нарушается выработка инсулина, развивается сахарная болезнь — диабет. Сахар при этом не откладывается в виде гликогена, и количество его в крови настолько увеличивается, что он в значительных количествах поступает в мочу. Углеводный обмен резко нарушается, и только введение инсулина в кровь спасает больных от смерти, наступающей при яв-

лениях крайнего истощения. Инсулин, следовательно, является одним из важнейших регуляторов углеводного обмена.

На другие органы и ткани инсулин также действует, причем действие его сходно с влиянием парасимпатической нервной системы. Так, например, на сердце он действует тормозящим образом.

Надпочечные железы. Надпочечные железы состоят из наружного — коркового и внутреннего — мозгового слоя клеток. Каждый из этих слоев представляет собой как бы самостоятельную железу с внутренней секрецией. Корковый слой надпочечных желез совершенно необходим для жизни, так как удаление его вызывает смерть животного. Поражение коркового слоя, связанное с недостаточной его функцией, ведет к заболеванию, называемому бронзовой болезнью, или болезнью Аддисона. Она сопровождается изменением пигментации кожи, приобретающей бронзовый оттенок, нарушением углеводного обмена, пониженной работоспособностью, резкой утомляемостью. Из коркового слоя надпочечников выделен препарат кортин. Кортин влияет главным образом на образование гликогена печени не из углеводов, а из белков и, возможно, жиров. Он влияет также на углеводный обмен в мышцах.

В мозговом слое надпочечников вырабатывается неоднократно уже упоминавшийся гормон адреналин. Действие адреналина весьма многообразно. В особенности необходимо оттенить значение адреналина при мышечной работе.

На углеводный обмен адреналин влияет противоположно инсулину. Он способствует превращению гликогена печени в моносахарид, отчего содержание сахара в крови увеличивается. Поступая в кровь в начале работы, а иногда, при соответствующем эмоциональном состоянии, и до работы, адреналин обеспечивает своим влиянием на печень доставку сахара к работающим мышцам.

Адреналин действует также и на кровяные депо, в частности на селезенку, способствуя выходу депоирированной крови в общее кровяное русло. Этот момент играет немаловажную роль в усилении транспортной функции крови при мышечной работе.

Сердце под влиянием адреналина работает чаще и сильнее, пропускает большее количество крови. Сосуды внутренних органов под действием адреналина суживаются, что благоприятствует оттоку крови от внутренних органов к мышцам и усиленному снабжению кровью работающих мышц. Сосуды же самого сердца расширяются.

Деятельность пищеварительного аппарата под влиянием адреналина затормаживается. Это относится главным образом к двигательной функции пищеварительного аппарата и в меньшей степени к работе пищеварительных желез.

Адреналин влияет также на работоспособность мышц. Обнаружено, что утомленные мышцы, уже переставшие отвечать сокращениями на приходящие к ним раздражения, вновь начинали сокращаться, если на них действовали адреналином.

Надпочечные железы иннервируются симпатической нервной системой. Усиленная выработка адреналина и выход его в кровь происходят тогда, когда импульсы по симпатическому (чревному) нерву приходят к надпочечникам.

О связи между симпатической нервной системой и адреналином скажем ниже.

Щитовидная железа. Эта железа вырабатывает гормон тироксин, в состав которого входит йод. Тироксин стимулирует обмен веществ в тканях, в частности окислительные процессы. Чрезмерно усиленная функция (гиперфункция) щитовидной железы, вызывая большое усиление окислительных процессов, сопровождается повышением основного обмена, уменьшением углеводных запасов вследствие быстрого сгорания сахара и общим истощением организма. Болезнь, связанная с гиперфункцией щитовидной железы, называется базедовой болезнью. Наиболее частыми внешними признаками ее являются пучеглазие и увеличение размеров железы.

Недостаточная деятельность щитовидной железы (ее гипofункция) сопровождается заболеванием — микседемой, характеризующейся пониженным обменом веществ, отечностью, вялостью кишечника, нарушением кожных покровов.

Гормон щитовидной железы влияет и на частоту сердечных сокращений, увеличивая ее. Особо следует отметить влияние щитовидной железы на нервную систему. При гиперфункции щитовидной железы отмечается повышенная возбудимость нервных центров, обилие и порывистость движений, при гипofункции, наоборот, понижение возбудимости, вялость движений. Гипofункция щитовидной железы вызывает также задержку психического развития, ведущую к слабоумию (кретинизму). Щитовидная железа иногда сильно разрастается, образуя зоб. Наличие зоба обозначает, однако, не гиперфункцию, а гипofункцию щитовидной железы: ее железистые клетки замещаются сильно разрастающейся соединительной тканью.

Зоб и кретинизм встречаются по преимуществу в местностях, в которых вода не содержит йода, необходимого для образования тироксина. Гипofункция щитовидной железы в детском возрасте означает задержку роста.

Околощитовидные (паращитовидные) железы. Это небольшие железы, лежащие поблизости от щитовидной железы. Они играют большую роль в нормальной жизнедеятельности организма: удаление их вызывает смерть. Гормон паращитовидных желез влияет преимущественно на кальциевый обмен.

Вилочковая железа. Она особенно развита в детском возрасте. После достижения половой зрелости размеры этой железы уменьшаются.

Деятельность вилочковой железы связана с половой железой и играет роль в развитии детского организма при переходе его во взрослое состояние.

Гипофиз, или мозговой придаток. Делится на переднюю, среднюю и заднюю доли. Каждая из них имеет самостоятельное значение и является как бы отдельной железой. Передняя доля гипофиза влияет на рост. Ее гиперфункция в детском возрасте обуславливает гигантизм — высокий рост с большим, но пропорциональным развитием всех частей тела. Если же разрастание передней доли происходит у взрослого, то увеличиваются размеры тех частей тела, которые еще способны к росту: хрящевых образований, лицевых костей, мягких соединительных тканей. Рост получается непропорциональный, уродливый. У такого человека увеличивается нижняя челюсть, разрастаются губы и язык, увеличиваются кисти и ступни, разрастаются также внутренние органы. Болезнь эта носит название акромегалии. Акромегалики, имея подчас большую мышечную массу, не обладают, однако, большой мышечной силой.

Гипофункция передней доли, наоборот, связана с задержкой роста. Разрушение передней доли, происшедшее в раннем детстве, ведет к карликовому росту. Передняя доля гипофиза оказывает влияние также на половое развитие. При гиперфункции ее наблюдается ранняя половая зрелость, гипофункция же сопровождается недоразвитием половых органов.

Задняя доля гипофиза оказывает влияние на обмен веществ. Поражение задней доли сопровождается понижением основного обмена, сильным увеличением мочеотделения, нарушением водного обмена, резким ожирением.

Гипофиз выделяет несколько гормонов, влияющих на разные функции. Наиболее изученными являются: гормон задней доли — **литутрин** и гормоны передней доли — **гормон роста** и **пролактин** — гормон, влияющий на половую функцию. Следует отметить также чрезвычайно разностороннее влияние, оказываемое гипофизом на остальные железы внутренней секреции. По преимуществу это влияние стимулирующего характера.

Половые железы. Семенники и яичники, помимо выработки половых продуктов, являются также железами внутренней секреции. От их деятельности зависит развитие вторичных половых признаков, выработка половых продуктов, развитие беременности и лактации (образования и отделения молока). Каждый из этих процессов обуславливается влиянием различных гормонов.

В промежуточных клетках семенников и яичников вырабатывается гормон, действие которого способствует развитию вторичных половых признаков (характерные формы мужского и женского тела, развитие грудных желез, волос на половых органах, мужского или женского голоса и др.). Удаление семенников и яичников (кастрация) в раннем возрасте влечет к недоразвитию вторичных половых признаков. В фолликулах, где происходит образование яйцеклетки, вырабатывается также гормон, вызывающий течку у самок и подготавливающий их к оплодотворению. Развитие флора, секреция грудных желез обеспечиваются действием гор-

мона, содержащегося в так называемом желтом теле (оно развивается из остатков тех клеток, из которых развивалась яйцеклетка).

Половые гормоны влияют не только на половую функцию, они действуют также и на общее состояние организма. Введение половых гормонов и пересадка половых желез лицам с пониженной деятельностью последних временно повышает возбудимость нервной системы, увеличивает работоспособность мускулатуры, повышает дееспособность остальных органов и систем.

Железы с внутренней секрецией оказывают непрерывное влияние друг на друга, и их регуляторная роль в организме есть следствие не изолированного действия одной какой-нибудь железы, а взаимодействия всех желез.

Нормальное, согласованное функционирование всех элементов человеческого тела есть результат нормального, согласованного действия всех желез с внутренней секрецией.

ГЛАВА IX

РАЗМНОЖЕНИЕ

Размножение совершается путем оплодотворения женской половой клетки — яйца мужской половой клеткой — сперматозоидом. Сперматозоиды образуются в находящихся в мошонке яичках, откуда сперматозоиды поступают по семенным протокам в мочеполовой канал. В последний открываются также протоки особых желез—предстательной и купферовских; сперматозоиды, смешанные с секретом этих желез, образуют семенную жидкость, или сперму. Во время полового акта происходит извержение этого семени (эякуляция). В изверженном семени содержится много миллионов сперматозоидов. Каждый сперматозоид представляет собой клеточное образование, состоящее из головки, шейки и длинного нитевидного хвоста. Благодаря движениям хвоста сперматозоид передвигается по половым путям женщины со скоростью 3 — 4 мм в минуту. Дойдя до яйцеклетки, головка сперматозоида внедряется в нее и сливается с ядром яйцеклетки. Этот момент и является актом оплодотворения.

Женские половые клетки — яйца развиваются в яичнике. Яйцо помещается внутри так называемого граафова пузырька. Когда происходит созревание яйца, граафов пузырек лопается и яйцо узлекается находившейся в пузырьке жидкостью в яйцевод, или фаллопиеву трубу, соединяющую яичник с маткой. Такое выбрасывание созревшего яйца происходит через каждые четыре недели. В связи с этим процессом извержения яйца, называемом овуляцией, находится другой, также регулярно с четырехнедельным интервалом повторяющийся процесс менструации. Менструация — кровотечение из половых органов происходит вследствие того, что слизистая оболочка матки набухает и разрывается, ее кровоснабжение усиливается; затем происходит отделение слизистой оболочки в виде отдельных лоскутков, что сопровождается кровотечением. По окончании менструального периода происходит восстановление слизистой, разрастание эпителиальной оболочки, в результате чего раневая поверхность закрывается.

Оплодотворение яйца происходит в фаллопиевой трубе. Оплодотворенное яйцо поступает в полость матки и прикрепляется к ее стенке. Здесь происходит развитие плода — период беременности, длящийся примерно 280 дней, после чего наступает изгнание плода — роды.

ГЛАВА X

МЫШЦЫ

Ткань скелетной мышцы, рассматриваемая под микроскопом, оказывается состоящей из большого числа отдельных мышечных волокон. Каждое волокно (мышечная клетка) состоит из протоплазмы, оболочки и ядер, лежащих вдоль оболочки.

Протоплазма содержит большое количество тонких, тесно прилегающих друг к другу нитей, расположенных по длине мышечного волокна. Нити эти, называемые миофибриллами, неоднородны. Каждая миофибрилла состоит из чередующихся дисков, обладающих различными физическими свойствами, в частности, различной способностью преломлять свет. Поэтому при рассматривании под микроскопом одни диски кажутся более темными, другие — более светлыми. Ввиду того, что каждая миофибрилла прилегает к соседней таким образом, что рядом с каждым темным диском одной миофибриллы находится темный диск другой миофибриллы, а рядом со светлым — светлый, то все мышечное волокно кажется состоящим из чередующихся поперечных темных и светлых полос. Поэтому такие мышцы называются поперечнополосатыми (рис. 54).

Из поперечнополосатых мышечных волокон состоят все те мышцы, которые выстилают наш скелет. Из поперечнополосатых волокон состоит также сердечная мышца, отличающаяся, однако, по своим свойствам от скелетных мышц.

Другие внутренние органы также содержат мышечную ткань, однако в них эта ткань имеет уже иное строение. Во-первых, ее волокна (клетки) значительно короче. В то время как волокно поперечнополосатой мышцы в некоторых случаях достигает в длину нескольких десятков сантиметров, длина мышечных волокон внутренних органов измеряется миллиметрами. Они веретенообразной формы и содержат одно ядро. Их протоплазма не содержит ни темных, ни светлых дисков, она более однородна. Поэтому эти мышцы в отличие от поперечнополосатых называются гладкими.

В последующем изложении речь будет идти только о поперечнополосатых скелетных мышцах.

Отметим некоторые свойства, отличающие гладкие мышцы от поперечнополосатых. 1. Гладкие мышцы сокращаются значительно медленнее поперечнополосатых: в то время как скорость сокращения последних составляет всего

лишь доли секунды, гладкие развивают свое укорочение на протяжении многих секунд. Большинство поперечнополосатых (скелетных) мышц мы можем сокращать произвольно; сокращения же гладких мышц не зависят от нашей воли. 3. Гладкие мышцы менее утомляемы и при работе своей тратят меньше энергии, чем поперечнополосатые.

В соединении с мышцами находятся нервы. Нервы являются скоплениями большого количества нервных волокон, каждое из которых представляет собой длинный отросток нервной

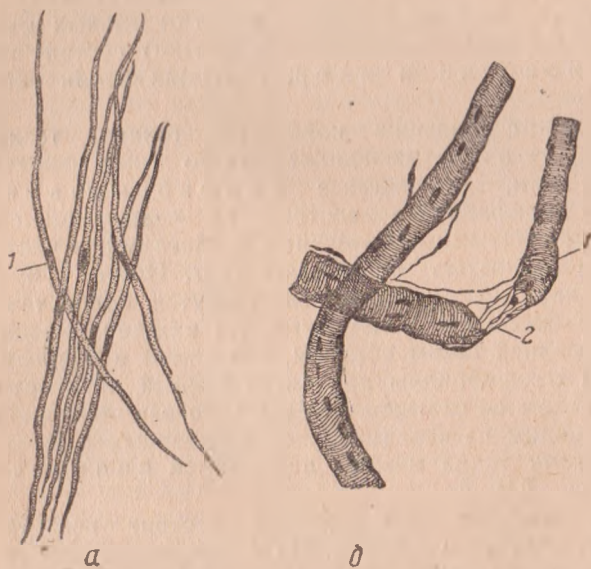


Рис. 54. Мышечные волокна:
а—гладкие, б—поперечнополосатые: 1—ядра, 2—миофибриллы.

клетки. Нервное волокно состоит из осевого цилиндра, покрытого мягкой оболочкой. (некоторые нервы лишены этой оболочки: это нервы, относящиеся не к двигательной, а к вегетативной нервной системе).

Двигательный нерв, оканчивающийся в мышцах туловища и конечностей, берет свое начало от двигательной нервной клетки, находящейся в спинном мозгу. К мышцам головы (лица, языка и пр.) нервы идут из головного мозга. Отросток двигательной нервной клетки — нерв разветвляется у самой мышцы на несколько (иногда на десятки) нервных волоконцев, каждое из которых входит в отдельное мышечное волокно. Таким образом, одна дви-

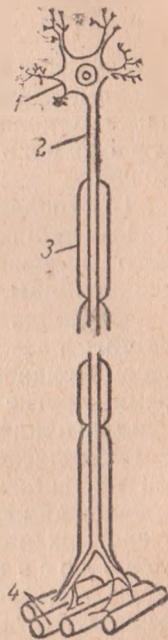


Рис. 55. Схема нейрона: двига-
тельная единица.

1—двигательная нервная клетка, 2—нервное волокно, 3—оболочка нервного волокна, 4—мышечные волокна.

двигательная нервная клетка иннервирует (снабжает нервом) не одно мышечное волокно, а целый ряд их.

Нервное волокно оканчивается в мышечном волокне в виде специального передаточного звена (мионевральной передачи) — двигательной пластинки. Двигательная нервная клетка, ее длинный отросток и иннервируемые им (точнее, его ветками) посредством двигательных пластинок мышечные волокна — все это вместе составляет одну двигательную единицу (рис. 55).

ВОЗБУЖДЕНИЕ

Волокна мышечной ткани в отличие от всех других тканей могут менять свою длину, т. е. обладают сократимостью.

Если вырезать из тела животного (например лягушки) мышцу вместе с ее нервом и произвести раздражение мышцы или нерва, то мышца сократится. Раздражителем могут служить различные виды энергии: механической, тепловой, химической электрической. Мышца сократится, если пропустить через нее или ее нерв электрический ток, если ударить по нерву, внезапно нагреть его или подействовать кислотой. В том месте ткани, на которое наносится раздражение, развивается сложный физико-химический процесс, характеризующий возбуждение ткани. В известных пределах чем сильнее наносимое раздражение, тем больше возбудится мышца. А чем больше мышца возбуждена, тем сильнее она сократится. Если нет возбуждения, нет и сокращения. Следовательно, сокращение мышцы есть следствие ее возбуждения.

Однако от действия одного и того же раздражителя одна мышца может возбудиться и сократиться сильнее другой. Одна и та же мышца, в зависимости от того, утомленная она или не утомленная, может ответить различной величиной возбуждения на действие одного и того же раздражителя. Мышцы обладают, следовательно, различной способностью возбуждаться, или различной возбудимостью.

Электрические явления. Возбуждение есть сложный процесс, сопровождающийся электрохимическими явлениями. Они характеризуются тем, что в месте раздражения нерва (или мышцы) происходит скопление частиц (ионов), имеющих отрицательный электрический заряд. Если соединить такую точку нерва с другой, нераздраженной, проводом, на пути которого включен чувствительный гальванометр, то стрелка последнего отклонится. Это говорит о том, что по проводу пошел электрический ток. Подобные слабые токи можно обнаружить во всех возбудимых тканях во время их возбуждения. Токи эти называются токами действия. При всех измерениях токи действия обнаруживаются всегда при наличии возбуждения.

Это доказывает, что между возбужденным и невозбужденным участком ткани возникает разность электрических по-

тенциалов (напряжение тока), причем возбужденный участок всегда электроотрицателен по отношению к невозбужденному.

Величина электрического заряда при этом очень мала, разность электрических потенциалов измеряется в возбужденной клетке долями милливольта (тысячной части вольта) и может быть зарегистрирована лишь высокочувствительными приборами. В ткани, находящейся в покое, электрические явления не обнаруживаются. Они возникают, однако, если повредить (поранить) ткань. Отводимый от поврежденной ткани электрический ток называется током покоя; но нужно помнить, что фактически он является током повреждения.

Электроотрицательность возникает в ткани не тотчас же, как только нанесено раздражение. Между моментом нанесения раздражения и моментом возникновения электрических явлений проходит некоторое время, называемое скрытым (латентным) периодом возбуждения.

Длительность его обычно измеряется в сигмах¹.

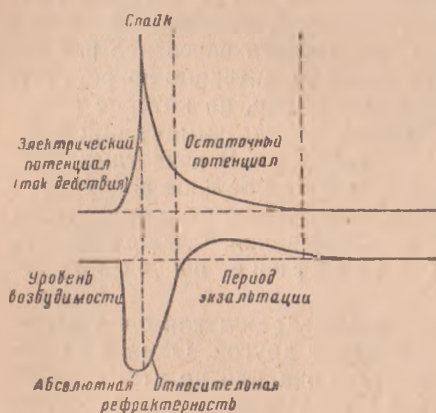


Рис. 56. Соотношение фаз токов действия и рефрактерности (схема).

пись до $\frac{1}{10}$ своей величины, он затем еще сравнительно долго (до 300 σ в нерве и 700 σ в мышце) продолжает дальнейшее медленное снижение. Этот период сохранения слабой электроотрицательности называется следовым, или остаточным, потенциалом. Обнаружено, что резкая вспышка электроотрицательности — «спайк» характеризует собой вспышку возбуждения, а остаточная, слабая электроотрицательность — тот след, в виде повышенной возбудимости, который оставил за собой внезапный процесс возбуждения.

Распространение возбуждения. Процесс возбуждения, возникший в какой-либо точке нерва или мышцы, распространяется вдоль по нервному или мышечному волокну. Вспышки электроотрицательности последовательно охватывают все точки волокна; воз-

¹ σ (греческая буква сигма) обозначает $\frac{1}{1000}$ секунды.

буждение пробегает в нем наподобие морской волны (волна возбуждения). Если зарегистрировать электрические явления, возникшие в двух далеко отстоящих друг от друга точках нерва или мышцы во время пробега волны возбуждения, то можно измерить скорость распространения волны возбуждения по ткани. Оказалось, что по двигательному нерву возбуждение распространяется со скоростью около 100 м в секунду, а по мышце — около 6 м в секунду.

В чувствующих и вегетативных нервах возбуждение пробегает медленнее, чем в двигательных (до 3 м в секунду). Чем тоньше нервное волокно, тем с меньшей скоростью распространяется в нем возбуждение.

Возникшее в какой-либо точке нерва возбуждение распространяется от нее в обе стороны (закон двустороннего проведения). Распространяющееся по одному какому-нибудь нервному волокну возбуждение не переходит на соседние волокна, находящиеся в том же общем нервном стволе (закон изолированного проведения).

Пороги раздражения и измерение возбудимости. Не при всяком раздражении возникает возбуждение. Для этого нужно, чтобы раздражение достигло известной силы. Наименьшая величина раздражения, которая способна вызвать процесс возбуждения (проявляющийся хотя бы в самом малом сокращении мышцы), называется порогом раздражения. Порог раздражения является мерилем возбудимости. Менее возбудимая ткань обладает более высоким порогом (для того, чтобы вызвать ее возбуждение, нужна большая сила раздражения), чем более возбудимая.

Для возникновения возбуждения нужно не только, чтобы раздражение достигло известной силы, а необходимо, чтобы сила раздражителя увеличилась с достаточной скоростью. Если увеличивать силу раздражителя от нуля до какой-то большей величины очень постепенно, медленно, то вспышки возбуждения может не получиться. Такое отсутствие эффекта может быть при постепенном увеличении силы постоянного тока, пропускаемого через нерв, при осторожном нагревании или очень медленном сдавливании нерва. Но если внезапно включить постоянный ток или внезапно нагреть или ударить нерв, то возбуждение возникнет и быстро распространится по нерву. Следовательно, раздражающим действием обладает быстрое изменение силы раздражения (закон Дюбуа-Реймонда).

Для возникновения возбуждения нужно еще третье условие — длительность действия раздражителя. Если сила раздражения достаточно велика (выше пороговой силы) и если раздражение нанесено внезапно, то все же возбуждение может не возникнуть, если длительность действия раздражителя слишком ничтожна. Необходимо какое-то время, в течение которого раздражитель, например ток данной силы, должен действовать, чтобы возникло

возбуждение мышцы и ее сокращение. Чем больше сила раздражителя, тем меньше время он должен действовать, чтобы вызвать возбуждение. Зависимость необходимой минимальной длительности раздражения от силы раздражителя видна на кривой рис. 57. Она показывает, что при каждой силе раздражителя (если она только выше пороговой силы) существует свой порог времени раздражения. Обычно это пороговое время измеряют при силе раздражения, вдвое превышающей пороговую силу. Наименьшее время,

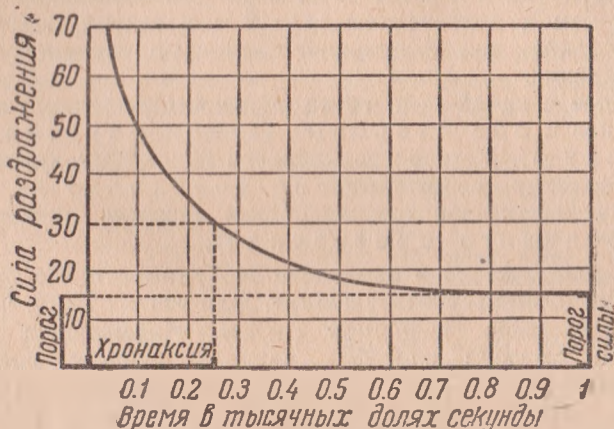


Рис. 57. Соотношение между силой и длительностью раздражения.

в течение которого раздражитель удвоенной пороговой силы должен действовать, чтобы вызвать возбуждение (сокращение) мышцы, называется хронаксией.

Хронаксия — универсальный измеритель возбудимости. Чем возбудимость мышцы меньше, тем больше ее хронаксия, т. е. тем дольше должен действовать ток удвоенный пороговой силы, чтобы вызвать сокращение этой мышцы. И, наоборот высокая возбудимость характеризуется малой величиной хронаксии.

Измерять возбудимость хронаксиметрией удобнее, чем величиной пороговой силы, потому что величины хронаксии суть величины времени, т. е. секунды и доли секунды (обычно хронаксия измеряется в сигмах). Порог же силы приходится выражать в величинах, качественно различных для разных раздражителей: механического, электрического, теплового и т. д.

Приборами для измерения хронаксии — хронаксиметрами можно измерять возбудимость и мышц, и нервов, и нервных центров, и органов чувств. Исследования хронаксии различных мышечных групп показали, что хронаксия сгибателей меньше, чем разгибателей (например 0,08—0,16 σ у первых и 0,16—0,32 σ у вторых). Нервы, медленно проводящие возбуждение, имеют большую хронаксию, чем быстро проводящие. Обычно хронаксии мышцы и приходящего к ней двигательного нерва одинаковы или во всяком случае близки по величине. Это равенство хронаксий (так называемый изохронизм) обеспечивает переход возбуждения с нерва на мышцу. Наоборот, большие различия в хронаксиях (так называемый гетерохронизм), например,

когда хронаксия мышцы больше чем в 2 раза превышает хронаксию нерва, препятствуют переходу возбуждения с нерва на мышцу.

Закон «все или ничего». Как было сказано, для вызова волны возбуждения необходимо, чтобы сила раздражителя была не ниже его пороговой силы. Спрашивается, будет ли возрастать величина возбуждения, если сила раздражителя будет все больше превышать пороговую величину? Исследования показали, что для одиночного нервного волокна действителен закон «все или ничего», о котором уже было сказано по поводу сердца.

При любой силе раздражения, лишь бы она превышала пороговую или равнялась ей, величина возбуждения одиночного нервного волокна, а следовательно, и величина сокращения иннервируемой им мышцы остается одинаковой. Ткань либо вовсе не отвечает на раздражение (когда оно ниже порога), либо отвечает на него с полной силой (когда раздражение пороговое или на любую величину выше порога).

Если раздражается не одиночное нервное волокно, а целый нерв, состоящий из множества волокон, то сокращение мышцы тем больше, чем сильнее раздражение. Происходит это оттого, что пороги раздражения отдельных нервных волокон различны и при увеличении силы раздражения возбуждается все большее число нервных волокон, вследствие чего в сокращение вовлекается все большее число мышечных элементов.

Рефрактерность и изменение возбудимости. Способность нерва и мышцы возбуждаться, т. е. их возбудимость, не постоянна, а сильно меняется, особенно в периоды, следующие после нанесения раздражения. Если нанести одно раздражение и сразу вслед за ним второе, то возбуждение может возникнуть только в ответ на первое раздражение, а второе уже не вызовет возбуждения. Подобное состояние невозбудимости, возникающее сразу после вспышки возбуждения, называется рефрактерностью. Различают абсолютную рефрактерность, т. е. полную потерю возбудимости, от следующей за ней относительной рефрактерности — частичного восстановления прежней возбудимости. После того как возбудимость дошла до нормы, она еще продолжает увеличиваться — это период экзальтации (или супернормальная фаза).

Последовательность во времени перечисленных фаз изменения возбудимости совпадает с последовательностью изменения степени электроотрицательности в возбужденном участке. Как показывает схема на рис. 56, период абсолютной рефрактерности совпадает с восходящей частью кривой «спайка», т. е. периодом роста отрицательного электрического заряда. Период относительной рефрактерности приходится на крутую часть ниспадающей кривой «спайка», т. е. на период быстрого уменьшения отрицательного электрического заряда. Наконец, фаза экзальтации совпадает с периодом следовой электроотрицательности — сохранения в возбужденном участке очень слабого электрического заряда.

Из знания рефрактерности вытекает важный вывод: возбуждение в нерве не бывает постоянным, оно всегда прерывисто. Вслед за вспышкой возбуждения всегда должен пройти какой-то, пусть очень малый, промежуток времени, для того чтобы могла возникнуть новая вспышка возбуждения, которая в виде новой волны распространится вдоль по нерву до мышцы. Должна также существовать какая-то предельная частота этих вспышек возбуждения, определяемая длительностью рефрактерного периода. Такая предельная частота приступов возбуждения служит мерилom функ-

циональной подвижности, или лабильности ткани (Введенский). Нерв, например, может возбуждаться свыше 500 раз в секунду, а мышца — всего около 200 раз. Значит лабильность нерва выше, чем лабильность мышцы.

Одиночное сокращение и тетанус. Выше речь шла главным образом об отдельной, одиночной вспышке возбуждения. Такое одиночное возбуждение, возникшее в нерве, доходит в виде отдельной волны возбуждения до мышцы, вызывая ее одиночное сокращение (вздрагивание).

Начало сокращения мышцы не совпадает с началом ее возбуждения. Измерения показали, что электроотрицательный заряд в данной точке мышечного волокна возникает раньше, чем это волокно начнет сокращаться. Следовательно, процесс возбуждения предшествует процессу сокращения. Возбуждение и сопутствующие ему физико-химические изменения являются толчком к тому, чтобы в мышце могли развиться сложные процессы

перехода (трансформации) химической энергии в механическую энергию движения в работу, в сокращение.

Укорачивание мышцы, вызванное одиночным возбуждением, быстро заканчивается и переходит в расслабление. Длительность этих обеих фаз не велика. Укорачивание длится приблизительно

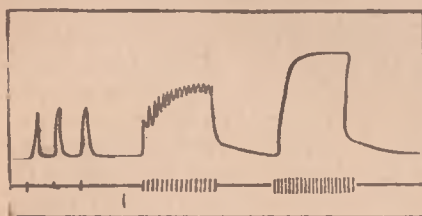


Рис. 58. Образование тетануса.

20—30 с, а расслабление — 30—40 с. Следовательно, все одиночное сокращение продолжается всего только 0,05—0,07 сек.

Если по окончании всех фаз одиночного сокращения нанести раздражение вновь, то получится второе одиночное сокращение. Но предположим, что второе раздражение наносится на мышцу в тот момент, когда мышца находится еще в фазе расслабления. Тогда, не успев еще до конца расслабиться, мышца начнет новое сокращение, которое будет выше, чем прежде. Будем повторять раздражения, притом через такие интервалы, чтобы каждое последующее раздражение заставляло мышцу в фазе расслабления от предыдущего раздражения.

Мышца сократится в конце концов до какой-то определенной величины, но не остановится на ней, а будет дрожать, потому что, как только она начнет расслабляться, новое раздражение заставит ее вновь сократиться до предела. Записанная на кимографе, эта кривая будет представлять собой ряд зубцов. Такое длительное дрожательное сокращение мышцы называется **зубчатым тетанусом** (рис. 58).

Будем наносить теперь раздражение с еще большей частотой, так чтобы каждое последующее раздражение падало на мышцу еще в фазе сокращения. Образуется **сплошной тетанус**

(столбняк) Мы уже не различим зубцов в кривой мышечного сокращения, потому что мышца, не закончив одного сокращения, начинает другое, как бы продолжая предыдущее. Достигнув в конце концов известной степени укорочения, мышца как бы застывает в этом состоянии, пока не прекратятся раздражения. Когда мышца находится в сплошном тетанусе, мы не обнаруживаем видимого дрожания ее; кажется, что это просто длительное сокращение. На самом же деле в основе такого сокращения лежит колебательный процесс. Если воткнуть в мышцу электроды и соединить их с телефоном, то слышен тон, высота которого соответствует частоте колебаний.

Тетаническое сокращение больше по величине, чем одиночное. Объясняется это тем, что при тетанусе повторные раздражения приходятся в период, когда после предшествовавшей вспышки возбуждения еще остался след в виде остаточной электроотрицательности, т. е. когда мышца находится в фазе повышенной возбудимости (экзальтации). При повторных раздражениях все большее число мышечных элементов приходит в возбуждение и вследствие этого все увеличивается высота сокращения. Ясно, что должна быть какая-то частота раздражений, при которой в возбуждение будут впадать уже все элементы мышцы. Сокращение при этом окажется максимальным. Частота раздражений, которая дает наибольший тетанус, называется оптимальной. Если еще больше увеличивать частоту раздражений, то наступит такой момент, когда раздражения будут падать на мышцу в момент ее рефрактерности; в этом случае высота тетануса не только не будет увеличиваться, но даже уменьшится. Слишком большая частота раздражений, вызывающая снижение высоты тетануса, называется пессимальной.

Произвольное сокращение мышц есть всегда сокращение тетаническое, потому что при произвольном сокращении к мышцам от нервных центров приходит не один импульс, а серия импульсов, следующих друг за другом с такой частотой, что каждый последующий импульс застает мышцы еще в стадии сокращения. Частота импульсов произвольного сокращения равна приблизительно 60 в секунду.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В МЫШЦЕ

Мышца при своем сокращении совершает работу, т. е. расходует энергию. Эта энергия черпается из содержащихся в мышце энергетических веществ. Раньше предполагали, что энергия этих веществ освобождается путем их окисления (сгорания). Оказалось же, что освобождение энергии, идущей на мышечную работу, совершается путем бескислородного (так называемого анаэробного) распада энергетических веществ. Распад крупной молекулы (например гликогена) на более мелкие молекулы есть процесс, сопровождающийся освобождением энергии. Эта-то энергия бескислородного распада и превращается в мышце в механическую ее энергию. Толчком же к тому, чтобы энергетические вещества, содержащиеся в мышце, распались на

более мелкие молекулы, является возбуждение мышцы, вызванное ее раздражением или пришедшим по нервной системе импульсом.

В настоящее время изучены пути распада трех энергетических веществ, содержащихся в мышце: гликогена, креатинфосфорной кислоты (фосфагена) и аденозинтрифосфорной кислоты.

Гликоген распадается с освобождением энергии до моносахаридов (гексоз). На пути этого расщепления к частице сахара — гексозе присоединяется фосфорная кислота, в результате чего образуется гексозофосфат. При дальнейшем расщеплении от гексозофосфата вновь отделяется фосфорная кислота, а из молекулы углевода получаются две молекулы молочной кислоты.

Следовательно, углеводы в наших мышцах распадаются в конечном итоге до молочной кислоты, причем этот распад сопровождается освобождением энергии и не связан с присоединением кислорода.

Следующим соединением, распад которого совершается в мышце в отсутствии кислорода и сопровождается освобождением энергии, является фосфаген, или креатинфосфат. Фосфаген распадается при этом на фосфорную кислоту и азотсодержащее соединение — креатин.

Третьим веществом, являющимся источником энергии для мышечной работы, является азотистое соединение — аденозинтрифосфат. Это соединение распадается с освобождением энергии на адениловую и фосфорную кислоты. Характерным для аденозинтрифосфорной кислоты является ее способность легко отщеплять фосфорную кислоту; последняя присоединяется к креатину, образуя креатинфосфорную кислоту, и к гексозе, образуя гексозофосфорную кислоту.

Присоединение к органическим азотистым или безазотистым соединениям или отдача фосфорной кислоты имеет то значение, что этот ферментативный процесс обеспечивает большую подвижность реакций, большую скорость и легкость протекания их.

Поскольку мышцы могут сокращаться без кислорода, используя энергию бескислородного распада содержащихся в них веществ, напрашивается вывод о том, что кислород как будто и вовсе не нужен мышцам. Вывод этот, однако, будет поспешен и неверен, потому что для нормальной работы мышц кислород совершенно необходим, но только роль его иная, чем та, которая приписывалась ему прежде.

Дело в том, что в мышце происходит не только распад веществ, но и их обратное восстановление из продуктов распада, их ресинтез (обратный синтез). Обнаружилось, что ресинтез осуществляется при участии кислорода, при участии окислительных процессов. Энергетические и химические процессы в мышцах проходят, следовательно, через две фазы. Первая, анаэробная, фаза — это фаза бескислородного распада; вторая, аэробная, — фаза окислительного ресинтеза.

Разберем это на примере распада и ресинтеза углеводов.

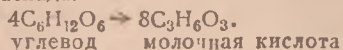
Углевод $C_6H_{12}O_6$, предварительно соединенный с фосфорной кислотой, распадается, отщепив последнюю и пройдя ряд промежуточных стадий, до молочной кислоты $C_3H_6O_3$. Этот распад и связанное с ним освобождение энергии происходят без участия кислорода (анаэробная фаза). В следующую же, аэробную, фазу кислород окисляет молочную кислоту с образованием углекислоты и воды.

При этом окисляется не вся та молочная кислота, которая образовалась как продукт распада углеводов, а только часть ее. Остальные же молекулы молочной кислоты снова превращаются обратно в углевод. Однако, если распад связан с освобождением энергии, то синтез связан с поглощением ее. Энергия, необходимая для синтеза молекул углевода из молекул молочной

кислоты, берется из той энергии, которая освобождается при окислении других молекул молочной кислоты. При этом энергия, получающаяся от окисления некоего количества молочной кислоты, может обеспечить синтез значительно большего ее количества, превышающего первоначальное в 3—5 раз.

Весь ход реакции схематически предстанет тогда в следующем виде.

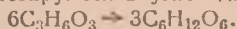
Фаза бескислородного распада:



Из восьми молекул молочной кислоты окисляются, предположим, две молекулы (фаза окисления):



За счет освободившейся при этом энергии остальные шесть молекул молочной кислоты вновь ресинтезируются в углевод:



Следовательно, в данном случае мышца использовала для своего сокращения энергию распада четырех молекул углевода, но потеряла при этом лишь одну молекулу; остальные три вновь воссоздались за счет той энергии, которая освободилась при окислении одной. Мы видим, следовательно, высокую экономичность этих процессов, напоминающих нам разрядку и зарядку аккумуляторов.

Степень экономичности процессов синтеза зависит от состояния мышцы. В неутомленном состоянии в ней за счет окисления одной части молочной кислоты может ресинтезироваться до шести частей. При утомлении мышцы синтез ухудшается, и за счет окисления одной части могут ресинтезироваться подчас только три части молочной кислоты.

Ресинтезируются не только углеводы. Два других вышеупомянутых вещества — фосфаген и аденозинтрифосфат — также подвергаются синтезу. Так, например, адениловая кислота, соединяясь с фосфорной, вновь образует аденозинтрифосфат. Точно так же при соединении с фосфорной кислотой креатин образуется креатинфосфат, или фосфаген. Однако в отличие от синтеза углеводов, происходящего обязательно в окислительной фазе, т. е. совершающегося за счет энергии окисления, синтез двух других указанных веществ осуществляется еще в фазу анаэробную, бескислородную. Откуда же берется энергия для этого синтеза? Энергия, необходимая для восстановления указанных азотистых веществ, черпается главным образом из той энергии, которая освобождается при распаде углеводов. Если, например, исключить возможность образования молочной кислоты из углеводов, то фосфаген только распадается, но не ресинтезируется. Отсюда следует, что углеводы играют важную роль в мышцах как источник энергии для восстановления прочих энергетических мышечных ресурсов. Сами же углеводные энергетические ресурсы восстанавливаются за счет энергии окисления молочной кислоты.

Та энергия, которая освобождается при окислении, как выяснилось, полностью покрывает всю энергию, затраченную при распаде. Следует, однако, иметь в виду, что энергия бескислородного распада используется на самый акт сокращения мышц, т. е. непосредственно на мышечную работу, в то время как энергия окисления развивается уже после мышечного сокращения и используется на восстановление энергетических ресурсов. Энергией окисления мы, следовательно, можем измерить энергетику мышечной деятельности, но мы будем помнить, что энергия окисления не является первичным источником этой деятельности.

Все сказанное делает понятным особенности потребления кислорода при мышечной работе, изложенное в главе III. При очень интенсивной работе скорость бескислородного распада энергетических веществ превышает скорость их окислительного синтеза. Отсюда — накопление неокисленных продуктов распада и образование «кислородного долга». При умеренной же работе процесс

окислительного ресинтеза поспевает за процессом бескислородного распада. Это и есть «устойчивое состояние», при котором не накапливаются продукты распада и не возникает вследствие этого кислородного долга.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЫШЦ

Упругость мышц. Мышца является упругим телом. Это значит, что под действием внешних сил она может менять свою форму (деформироваться), но по прекращении действия этих сил она возвращается к прежней своей длине (это происходит, однако, лишь в том случае, если она находится в нормальных условиях кровоснабжения и питания и если растяжение не было чрезмерным). Поэтому упругость мышцы характеризуют как почти совершенную. Упругие свойства мышцы измеряются по степени ее растяжения внешней силой. Оказалось, что мышцы по сравнению с другими упругими телами обладают малой упругостью; это значит, что для растяжения мышцы требуется по сравнению с другими телами употребить относительно небольшую растягивающую силу. В отношении своих упругих свойств мышца стоит довольно близко к каучуку.

Упругость мышцы непостоянна: для ее растяжения на одну и ту же длину требуется разная сила в зависимости от состояния мышцы (ее свежести, наличия возбуждения и т. п.). В частности, при своем возбуждении мышца делается более упругой, т. е. более трудно растяжимой.

Вязкость. Помимо упругости, мышца обладает вязкостью. Вязкость мышцы сказывается, в частности, в том, что после растяжения мышца не мгновенно возвращается к исходной длине, а постепенно. Из этого ясно, что вязкость играет большую роль в скорости укорочения или удлинения мышцы. Чем вязкость больше, тем при прочих равных условиях медленнее, с меньшей скоростью происходят изменения длины мышцы.

При сокращении мышцы часть развиваемой ею энергии затрачивается на преодоление внутреннего трения ее частиц. Величина этого внутреннего трения зависит от вязкости: оно тем больше, чем больше вязкость. Следовательно, при повышении вязких свойств мышцы ей приходится при своем сокращении затрачивать больше силы на преодоление этой вязкости.

Изменения вязкости мышцы происходят, в частности, от изменений температуры. При понижении температуры мышечная вязкость увеличивается, при повышении — уменьшается. Отсюда понятно, что при низкой температуре преодоление внешних сопротивлений мышцей будет снижено, потому что значительную часть развиваемой силы ей придется тратить на преодоление внутреннего трения. Ясна поэтому и целесообразность предварительного разогрева мышц, когда требуется использовать всю силу ее на преодоление внешних сопротивлений.

При медленном сокращении мышцы вязкость преодолевается легче, нежели при быстром. Сокращаясь медленно, мышца в единицу времени затрачивает меньше энергии на преодоление внутреннего трения ее частиц, чем при быстром сокращении.

Сила мышц

Измерение силы. Сила у изолированной мышцы измеряется следующим образом. Мышца закрепляется на штативе за один конец, а к другому (к сухожилию) подвешивают грузы возрастающего веса. При этом мышца предохраняется от растяжения. Мышца раз-

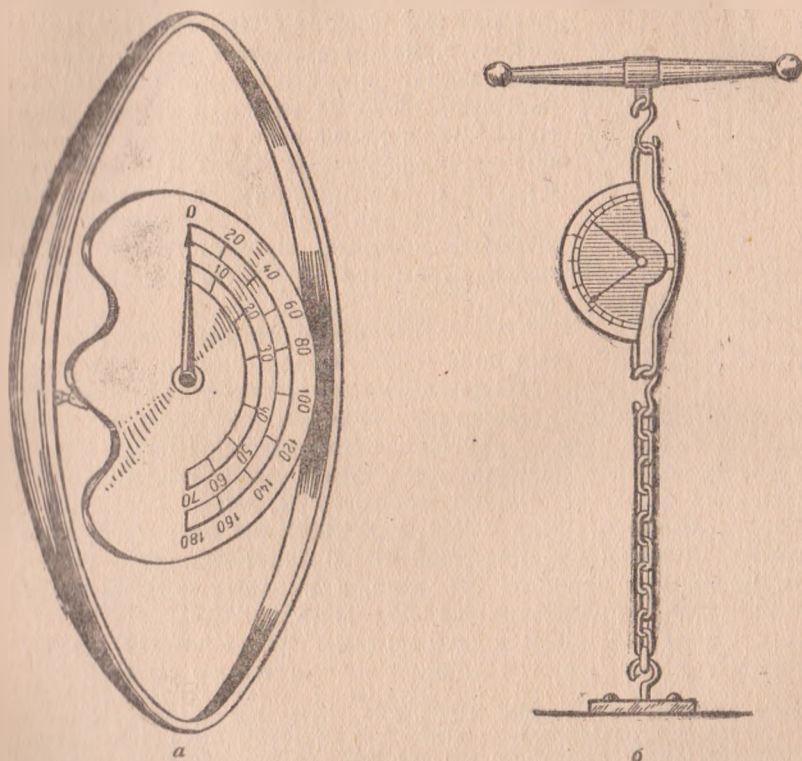


Рис. 59. Динамометры:
а—ручной, б—становой.

драживается электрическим током оптимальной силы и частоты. Постепенно увеличивая груз, достигают в конце концов такой величины его, когда он уже не может быть приподнят мышцей, несмотря на максимальное ее возбуждение. Измерив величину этого груза, мы тем самым измерим максимальную силу мышцы.

Из сказанного явствует, что максимальная сила мышцы измеряется не при ее максимальном сокращении, а при максимальной ее напряженности.

Для измерения мышечной силы человека применяются динамометры — ручной и становой (рис. 59). Динамометры представляют собой весьма упругие пружины, изменение напряжения которых почти не связано с изменением их длины. Поэтому при дина-

мометрических исследованиях мышцы человека, сжимающие или растягивающие динамометр, не сокращаются, а только напрягаются (имеющийся наибольший сокращением можно пренебречь).

Зависимость силы мышцы от ее поперечника. Если одним из описанных выше способов измерить силу двух мышц, из которых одна толще, а другая тоньше, то обнаружится, что толстая мышца обладает большей силой, т. е. может развить большее напряжение, может противодействовать большим растягивающим ее внешним силам. Иначе говоря, максимальная сила мышцы при прочих равных условиях пропорциональна поперечному сечению ее.

Это правило хорошо известно тяжелоатлетам, которые, систематически упражняясь, стремятся увеличить толщину своих мышц.



Рис. 60. Различия в строении мышц. Расположение волокон:

а—параллельное, б—перистообразное, в—перистое.

Физиологический поперечник. Абсолютная сила мышц. Сравним теперь максимальную силу двух мышц, имеющих разное строение. В одной, например, волокна расположены продольно, параллельно длинной оси мышцы, в другой же — перистообразно. Предположим, что поперечное сечение обеих этих мышц одинаково. При измерении их силы мы, однако, обнаружим, что, несмотря на одинаковую толщину обеих мышц, максимальная сила их будет неодинакова. Большею максимальной силой будет обладать та мышца, которая имеет перистое строение, а меньшею — та, у которой мышечные волокна расположены продольно (рис. 60).

Итак, сила мышцы зависит не только от ее толщины, но и от расположения ее волокон.

Чтобы сравнить силу разных мышц, нам теперь нужно проводить поперечное сечение не перпендикулярно продольной оси мышцы, а перпендикулярно всем волокнам. Такое поперечное сечение, которое пересекает все мышечные волокна, называется физиологическим поперечником. От него отличается физический поперечник, который представляет собой плоскость, перпендикулярную продольной оси мышцы. В том случае, когда мышечные волокна расположены вдоль длинника мышцы, площадь физиологического поперечника, очевидно, должна точно совпадать с площадью физического поперечника. Когда же волокна в мышце расположены перистообразно, физиологический поперечник мышцы будет больше физического.

Из того факта, что перистая мышца сильнее одинаково толстой мышцы с продольным расположением волокон, следует вывод, что сила мышцы пропорциональна физиологическому ее поперечнику (правило Вебера). Когда же мы сравниваем две мышцы одинакового строения, мы вправе относить их силы к их физическому поперечнику, потому что физический поперечник мышц разной толщины, но одинакового строения, пропорционален их физиологическому поперечнику.

Для сравнения силы разных мышц измеряют не максимальную, а абсолютную силу их. Абсолютная сила мышцы есть отношение величины ее максимальной силы, выраженной в килограммах, к величине ее физиологического поперечника, выраженной в квадратных сантиметрах.

Или, иначе, под абсолютной мышечной силой следует понимать такую, которую может развить каждый квадратный сантиметр физиологического сечения данной мышцы.

Приводим значения абсолютной силы некоторых мышц человека:

Икроножная мышца	около	6 кг/см ²
Разгибатели шеи	»	9 »
Жевательная мышца	»	10 »
Двуглавая мышца плеча	»	11 »
Плечевая	»	12 »
Трехглавая	»	16 »

Мы видим, что икроножная мышца имеет сравнительно небольшую величину абсолютной силы. А между тем хорошо известно, что это одна из самых сильных мышц. Противоречия здесь, однако, никакого нет. При сравнительно небольшой толщине икроножной мышцы физиологический поперечник ее, вследствие перистого расположения волокон, очень велик. Умноженный даже на несколько сниженную величину абсолютной силы, он дает очень большую величину максимальной силы.

Факторы, увеличивающие поперечник мышцы. Величина поперечников разных мышц у человека зависит от возраста и конституции (телосложения). По мере роста человека происходит увеличение его мышечной массы, а следовательно, и силы (рис. 61), причем размеры мышц увеличиваются как в длину, так и в ширину. Люди одинакового возраста и роста могут в зависимости от конституции иметь более или менее толстые мышцы. Увеличение поперечника мышцы происходит, однако, не только при росте человека, но может происходить и при остановившемся уже росте под влиянием систематической мышечной работы. Физические упражнения, в особенности силового типа, способствуют увеличению мышечной массы, сводящемуся к утолщению мышц. Увеличение толщины мышц при тренировке не есть результат увеличения числа волокон. Увеличение числа мышечных волокон, мышечных клеток возможно лишь путем клеточного деления, которое в этих клетках у взрослого организма уже не происходит. Увеличение же мышечной массы есть следствие увеличения толщины каждого отдельного волокна, что в совокупности приводит к увеличению поперечника всей мышцы.

Значение длины мышцы для ее силы. Выяснено, что сила двух мышц, имеющих одинаковое поперечное сечение, но разную длину,

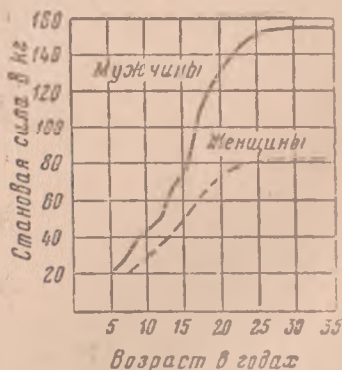


Рис. 61. Изменение мышечной силы (измеренной станovým динамометром) с возрастом.

одинакова. Следовательно, сила мышц, завися от поперечного сечения, не зависит от длины мышц. Длина зато играет большую роль в высоте сокращения.

Отсутствие зависимости между длиной мышцы и ее силой относится, однако, лишь к тем случаям, когда мы сравниваем силу

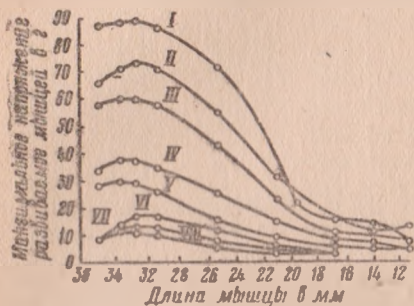


Рис. 62. Соотношение между максимальной напряженностью и длиной портвиги ягюшки. Кривые I-VIII записаны через различные промежутки времени (0—29 час.) после удаления мышцы из тела (по Машимо, из Хилла).

мышц, напрягающихся при своей естественной длине, когда мы просто сравниваем мышцу длинную с мышцей короткой. Иное дело, когда измеряется сила одной и той же мышцы, напрягающейся при разной исходной длине ее.

Выше уже указывалось, что для измерения максимальной силы мышцы мы предохраняли ее от растяжения грузом, предоставляя ей при разных нагрузках начинать свое сокращение от всегда одинаковой, естественной своей длины, которую она имеет в полном покое, без отягощения.

Если же предоставить мышце растягиваться под влиянием подвешиваемого к ней груза, то отношения будут уже иными. Мы обнаружим, что максимальное напряжение, которое развивает при своем максимальном возбуждении несколько растянутая мышца, оказывается большим, чем напряжение мышцы нерастянутой. Иначе говоря, сила мышцы зависит от исходной длины ее, причем при растяжении мышцы сила ее увеличивается.

Однако это растяжение не должно быть слишком большим. При чрезмерном растяжении сила мышцы опять понизится. Следовательно, наибольшей силой обладает мышца, несколько растянутая. Значение длины мышцы в развиваемой ею силе (напряжении) и высоте сокращения видно на рис. 62.

Значение состояния мышцы для ее силы. Определим силу мышцы, находящейся в нормальных условиях кровообращения. Затем пережмем артерию, питающую мышцу, и через некоторое время снова измерим силу этой мышцы. Мы обнаружим во втором случае падение мышечной силы. Это свидетельствует о том, что сила мышцы зависит также от состояния ее. Прекращение кровообращения — это значит прекращение доставки кислорода и питательных продуктов к мышце. Это указывает далее на то, что из мышцы не удаляются продукты ее распада — угольная кислота, молочная кислота и т. д. Это обозначает, наконец, отсутствие процессов ресинтеза и сильное накопление продуктов бескислородного расщепления.

Кроме того, в этих условиях понижается возбудимость мышц.

Понятно, почему мышца с нарушенным кровоснабжением не в состоянии развить той силы, которую может развить мышца в условиях нормального кровоснабжения.

То же происходит с утомленной мышцей. Сила сокращения утомленной мышцы значительно снижена по сравнению с силой мышцы свежей, неутомленной.

Наоборот, небольшая предварительная работа, «разминка» усиливает кровообращение мышцы, повышает ее возбудимость, способствует возрастанию силы сокращения.

Значение нервного импульса для силы мышц. Измерения высоты сокращения и величины напряжения, развиваемых изолированной мышцей при раздражении ее электрическим током, показали, что сила мышцы зависит от силы тока и частоты электрических раздражений. Очень слабое или очень редко наносимое электрическое раздражение вызывает слабое мышечное сокращение. Увеличение же силы и частоты раздражения до известного предела вызывает увеличение силы мышечного сокращения. Максимум силы сокращения требует определенной, значительной силы и частоты раздражения.

В естественных условиях мышца сокращается не вследствие внешнего ее раздражения, а вследствие нервного импульса, приходящего к ней по двигательному нерву из нервных центров. Каждому хорошо известно, что силу сокращения своих мышц можно произвольно менять от очень малой до большой. Это зависит от величины возбуждения, создаваемого в нервных центрах, ведающих произвольными мышечными сокращениями. От степени же возбуждения в нервных центрах зависит и частота нервных импульсов, проводимых по нервам к мускулатуре. При большей частоте тетанизирующих импульсов возрастает и величина тетанического сокращения или величина тетанического напряжения мышцы, т. е. развиваемая мышцей сила.

Многое зависит также от того, какие именно группы мышц вовлекаются в возбуждение. Лишь тогда сила мышцы будет приближаться к максимальной, когда нервный импульс направлен по назначению, т. е. именно к тем мышцам, которые должны непосредственно участвовать в данном силовом акте. Подобная целенаправленность, координированность нервных импульсов, вовлекающих в возбуждение максимальное число мышечных волокон, непосредственно осуществляющих требуемое силовое движение, возникает не сразу, а развивается в процессе тренировки.

Изотоническая и изометрическая деятельность мышц

При описании методики измерения мышечной силы указывалось, что регистрация силы происходит в условиях, когда мышца, возбуждаясь, не укорачивается, а только напрягается. Такая форма мышечной деятельности, при которой отсутствует изменение в дли-

не мышцы и имеется только изменение ее напряжения, называется *изометрической*.

От изометрической формы мышечной деятельности отличают ее *изотоническую* форму. Изотонической называют такую мышечную деятельность, которая сопровождается изменением длины мышцы (ее укорочением) при постоянной величине ее напряжения. Идеальным случаем изотонического сокращения было бы сокращение абсолютно неотягощенной мышцы. Ей не приходится в этих условиях преодолевать внешнего сопротивления и поэтому, укорачиваясь, она не напрягается.

В практике мышечной деятельности человека с чисто изотоническим сокращением встречаться почти не приходится, потому что мышцам, перемещающим звенья тела, приходится напрягаться для преодоления инерции массы звена, не говоря уже о преодолении силы тяжести, действующей на эту массу. Изометрическая же форма мышечной деятельности встречается часто в виде так называемых *статических усилий*.

Статическое усилие заключается в более или менее длительном произвольном напряжении мышц, сохраняющих при этом неизменной приданную им длину. В статическое усилие вовлекаются мышцы, удерживающие в неподвижном состоянии звенья тела и противодействующие при этом внешним силам, стремящимся вывести звено из состояния неподвижности. Статические усилия могут быть различными по величине, с чем связана и их различная предельная длительность. Небольшие усилия, связанные с поддержанием привычных положений (поз) частей тела, могут поддерживаться неопределенно долго без активного контроля сознания, т. е. *непроизвольно*. Такого рода усилия мышц именуется *тонусом*. Большие же статические усилия, связанные с поддержанием значительных тяжестей или трудных, искусственно создаваемых поз тела, протекают под непрерывным контролем сознания и продолжают, вследствие их утомительности, более короткое время. Таковы, например, различные гимнастические позы: упор, вис, угол, стойка на руках и т. п.

Большинство движений человека представляет собой промежуточные формы между изотонической и изометрической деятельностью. Всякое движение связано с изменением длины мышц, которые в то же время напрягаются, противодействуя внешним силам. Если движение очень медленное, а внешнее сопротивление велико, например, при «жиме» гири, то такое движение ближе к изометрической форме. Движения же неотягощенной конечности приближаются уже к изотонической форме.

Работа мышц

Мышца, только напрягающаяся, но не сокращающаяся, т. е. находящаяся в изометрических условиях, развивает усилие, но внешнюю работу при этом не выполняет. Работа, как известно,

измеряется произведением силы на путь, который проходит в направлении действующей силы перемещаемая ею масса. Следовательно, работу может выполнять мышца только в том случае, если она не только удерживает груз, но и перемещает, поднимает его. Количество работы, очевидно, будет зависеть от веса груза и высоты его поднятия и будет измеряться произведением этих двух величин.

В опытах с изолированной мышцей было обнаружено, что при увеличении подвешиваемого к мышце груза высота сокращения мышцы уменьшается. Однако уменьшение высоты поднятия не пропорционально увеличению веса груза, и поэтому количество работы, совершаемой при подъеме грузов разной величины, неодинаково. Это иллюстрируется табл. 17, показывающей, как изменяется величина работы при различной величине поднимаемого груза.

Таблица 17

Работа, совершаемая мышцей при поднимании различного груза

Вес груза (в г)	Высота сокращения мышцы (в мм)	Работа мышцы (в гмм)
0	15	0
50	9	450
100	7	700
150	5	750
200	2	400
250	0	0

Внешняя работа равна нулю как в том случае, когда мышца сокращается, не поднимая груза, так и в том случае, когда она лишь напрягается, но не в состоянии поднять груз. При возрастании веса груза от нуля до 250 г высота сокращения убывает. Максимальная работа совершается при подъеме среднего груза весом 150 г.

В приведенном примере именно этот груз обеспечил мышце возможность выполнить максимум работы, в других случаях величина груза может оказаться другой, но в каждом случае можно найти ту среднюю нагрузку, при которой работа на одно сокращение окажется максимальной.

УТОМЛЕНИЕ МЫШЦ

При длительной работе развивается утомление, понижение способности мышц выполнять работу (понижение работоспособности). Утомление может проявляться в разных формах, в зависимости от характера мышечного сокращения.

Анализ одиночного сокращения мышцы показывает влияние утомления на соотношение длительностей фаз сокращения и расслабления. Если сравнить кривые одиночного сокращения утомленной и неутомленной мышцы (рис. 63), то обнаружатся явные различия: несколько увеличенной окажется длительность сокращения и сильно увеличенной — длительность расслабления утомленной мыш-

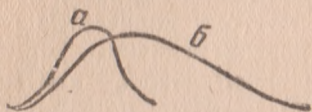


Рис. 63. Кривые одиночного сокращения:
а—неутомленной мышцы,
б—утомленной мышцы

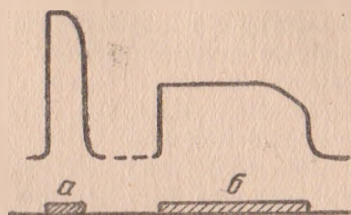


Рис. 64. Зависимость длительности тетанического сокращения от его высоты:
а—большая частота раздражений;
б—более редкие раздражения.

цы по сравнению с неутомленной. Замедленное расслабление утомленной мышцы связано также с уменьшением ее растяжимости.

При тетаническом раздражении мышцы можно наблюдать, что большая частота раздражения, сопровождающаяся (до известного предела) более сильным тетаническим сокращением, вызывает в то же время и более быстрое снижение достигнутой вначале высоты сокращения (рис. 64). При очень сильном тетанусе умень-

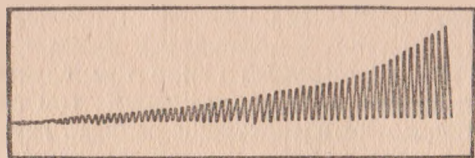


Рис. 65. Кривая утомления мышцы при ряде последовательных сокращений.

шение сокращения начинается почти тотчас же по достижении высшей его точки. Если тетанизирующие раздражения наносятся на мышцу, находящуюся в изометрических условиях, т. е. если они вызывают не сокращение, а только напряжение мышцы, то степень этого напряжения (развиваемого усилия) также не остается постоянной в течение всего времени раздражения, а в какой-то момент начинает снижаться. Начало падения напряжения также зависит от частоты тетанизирующих раздражений. Чем эта частота выше, чем больше напряжение мышцы, тем раньше начнется падение напряжения. Все это говорит о том, что утомление характеризуется снижением мышеч-

ной силы и что это снижение наступает тем скорее, чем больше достигнутое вначале усилие.

При нанесении на мышцу серии раздражений, вызывающих последовательный ряд ее сокращений, легко наблюдать утомление мышцы, сказывающееся в уменьшении высот сокращений и в снижении количества выполняемой в единицу времени работы (рис. 65). В конце концов утомление достигает такой степени, что мышца совсем перестает сокращаться в ответ на раздражение.

В этом случае часто наблюдается неполное расслабление мышцы. С каждым последующим сокращением мышца все в меньшей степени возвращается к своей исходной длине, и к тому моменту, когда она под влиянием утомления прекращает работу, она может оказаться укороченной. Такое остаточное сокращение—контрактура

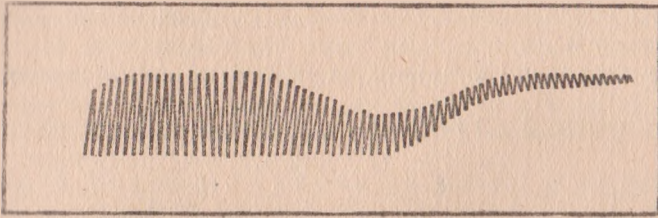


Рис. 66. Контрактура при утомлении.

тура (рис. 66) может длиться после работы долгое время и служит показателем того, что утомление вызвало глубокие изменения в физико-химической структуре мышцы.

Все эти различные формы мышечного утомления сопровождаются изменениями возбудимости мышц. При утомлении наблюдается повышение порогов раздражения. Хронаксия утомленной мышцы возрастает. Следовательно, утомление мышцы связано с понижением ее возбудимости.

Все изложенное касается утомления отдельно взятой мышцы. Об утомлении целого организма и о причинах утомления будет подробнее сказано в главе XVI.

ГЛАВА XI

НЕРВНАЯ СИСТЕМА

Сравнительно с другими системами организма нервная система отличается наибольшей сложностью. Она обеспечивает взаимосвязь между различными органами тела, благодаря этой связи осуществляется регуляция функций, их взаимная согласованность.

ОБЩЕЕ СТРОЕНИЕ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

Нервная ткань состоит из нервных клеток с их отростками. Нервные клетки сосредоточены преимущественно в канале позвоночного столба (спинной мозг) и в полости черепа (головной мозг), образуя центральную нервную систему.

Длинные отростки нервных клеток — нервы (нейриты или аксоны), помимо того, что они имеются и в центральной нервной системе, образуя проводящие пути между ее отделами, выходят на периферию ко всем тканям тела. Широко разветвленная сеть нервов, пронизывающая тело и служащая соединительным звеном между тканями тела и центральной нервной системой, составляет периферическую нервную систему.

Периферические нервы могут быть разделены на три группы: нервы чувствующие, двигательные и вегетативные.

Чувствующие нервы имеют на периферии чувствительные окончания, специализированные к восприятию различных раздражений, возникающих в теле и поступающих извне. Эти окончания, подчас весьма сложно устроенные и обрастающие специальными аппаратами, облегчающими восприятие раздражений, представляют собой органы чувств.

Чувствующие нервы являются, таким образом, передатчиками возбуждений, возникших в органах чувств, в центральную нервную систему, т. е. передают возбуждение в центростремительном направлении (от периферии к центру).

Двигательные нервы являются посредниками между центральной нервной системой и органами движений — скелетными мышцами.

Двигательные нервы служат проводниками импульсов, име-

ющих центробежное направление, т. е. от центральной нервной системы к мышцам. Поступающие по двигательным нервам к мышцам импульсы и являются причиной напряжения и сокращения мышц.

Вегетативные нервы проводят возбуждение преимущественно в центробежном направлении (но есть нервы и центростремительные), однако не только к мышцам, как двигательные, но и ко всем другим органам. Даже те вегетативные нервы, которые поступают в мышцы, не являются двигательными, т. е. их возбуждение не вызывает движения мышц, а только изменение их состояния (возбудимость, обмен веществ и пр.).

Подробнее о вегетативных нервах будет сказано ниже (стр. 163).

Центральная нервная система человека имеет следующие основные разделы: спинной мозг, продолговатый мозг (и варолиев мост), средний мозг, промежуточный мозг, мозжечок и большие полушария. Все они представляют собой скопление нервных клеток с их короткими отростками (серое вещество мозга); длинные же отростки в виде проводящих путей (белое вещество мозга) служат средством сообщения друг с другом различных участков нервной системы.

Центральная нервная система обладает целым рядом свойств, одинаково присущих всем ее разделам. Наряду с этим значение каждого отдела в двигательных и других процессах не одинаково: чем выше мы поднимаемся по центральной нервной системе от спинного мозга к головному концу, тем все сложнее оказывается роль вышележащих отделов. Деятельность нижележащих отделов подчинена и находится под контролем вышележащих; такие отношения называются субординационными.

Прежде чем переходить к ознакомлению с функцией отдельных разделов мозга нужно учесть также следующее обстоятельство. Сведения о работе мозга физиология черпает в основном из данных, получаемых в эксперименте над животным, когда искусственным путем вычленяется тот или иной раздел нервной системы. Естественно, что опыты на животных позволяют делать заключения, относящиеся главным образом к данному виду животных, и заставляют быть осторожными в широком толковании данных эксперимента относительно других видов животных. Сравнительные исследования над разными животными позволили все же установить следующее правило. Чем выше организовано животное, тем выше оно стоит на лестнице эволюции животного царства, тем более подчиненную роль в двигательных процессах играют нижележащие отделы центральной нервной системы, тем все в большей степени перемещается управление движением к головному концу мозга.

В этом заключается эволюционный процесс кортикализации нервных функций (кортекс — кора, в данном случае подразумевается кора больших полушарий головного мозга).

РЕФЛЕКТОРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Основным, характерным для центральной нервной системы видом деятельности является ее обязательное участие в рефлекссах. Поясним это понятие. Мы знаем, что существуют ткани, которые при действии на них какого-либо раздражителя способны возбуж-

даться. Возбуждается, например, железистая ткань, причем это возбуждение сказывается в усиленной выработке ее секрета. Возбуждается и изолированная мышца, отвечая сокращением на нанесенное на нее раздражение. Ответ ткани на раздражение, нанесенное на нее непосредственно, есть реакция ткани на раздражение. Рефлексом же называется такая реакция, которая осуществляется при участии центральной нервной системы. Для рефлекторного ответа ткани характерно, что раздражение не обязательно должно падать на нее же, но может быть нанесено на какой-нибудь другой чувствующий прибор, связанный с центральной нервной системой, откуда возбуждение будет передано на данную ткань.

Мы уже неоднократно встречались с многочисленными вегетативными рефлексами и убеждались в том, что регуляторная функция нервной системы осуществляется именно по принципу рефлекса. Рефлекторный механизм обеспечивает не только взаимосвязь внутренних органов, но необходим для взаимоотношений организма с внешней средой, для его реагирования на внешние раздражения, для приспособления к бесконечно меняющимся внешним условиям его существования.

Рефлекторная дуга. Для осуществления рефлекса необходима целостность ряда элементов, представляющих собой в совокупности рефлекторную дугу (рис. 67). Элементы эти следующие:

- 1) рецептор (или, иначе, приемник) — видоизмененное окончание чувствующих нервов, воспринимающее раздражение;
- 2) афферентный (иначе, чувствующий), или центростремительный, нерв. По чувствующему нерву возбуждение, родившееся в рецепторе в результате его раздражения, передается к центру, т. е. в центростремительном направлении;
- 3) нервные центры — нервные клетки, на которые передается возбуждение, пришедшее по чувствующему пути;
- 4) эффлекторный (иначе, двигательный, или секретор-

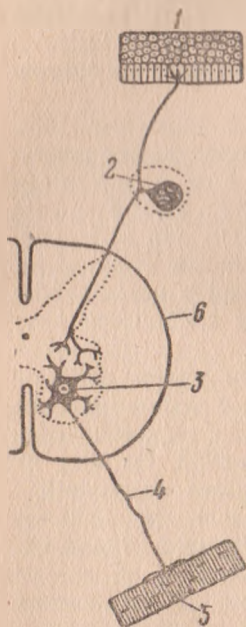


Рис. 67. Схема дуги кожнодвигательного рефлекса:

1—чувствительное окончание нерва в коже, 2—афферентный нерв и его клетка, 3—двигательная нервная клетка, 4—двигательный нерв, 5—мышца, 6—контур спинного мозга.

ный), или центробежный, нерв, начинающийся от нервной клетки и проводящий возбуждение от нее в центробежном направлении на периферию;

5) эффектор (исполнитель) — мышца или железа, представляющие собой конечное звено рефлекторной дуги.

Рецепторы. Рецепторы, или аппараты, воспринимающие раздражения, представляют собой видоизмененные окончания чувствующих нервов, расположенных по всей поверхности тела, во внутренних органах, мышцах и т. д. Более подробно о рецепторах будет сказано в главе об органах чувств. Здесь же укажем основную классификацию рецепторов (по Шеррингтону), которая необходима будет в дальнейшем при разборе рефлексов.

Шеррингтон делит все виды рецепторов на три основные группы.

1) экстерорецепторы, расположенные на поверхности тела, воспринимающие внешние раздражения. Сюда относятся почти все основные органы чувств: сетчатка глаза, воспринимающая световые раздражения, кортиев орган внутреннего уха, воспринимающий звуковые раздражения; окончания обонятельного нерва; вкусовые сосочки; окончания чувствительных нервов кожи, воспринимающие температурные, болевые и тактильные (осознательные) раздражения;

2) интерорецепторы — рецепторы, расположенные в поверхностях внутренних полостей тела, главным образом в пищеварительной полости, а также в кровеносных сосудах;

3) проприорецепторы — органы глубокой чувствительности. Сюда относятся мышечные веретена и сухожильные веретена, представляющие собой окончания чувствующих нервов в мышцах и сухожилиях (рис. 68). Они раздражаются при изменении в степени натяжения или при сокращениях мышц и являются источником так называемого мышечно-суставного чувства. Благодаря проприорецепторам центральная нервная система постоянно «в курсе» того, в каком состоянии находится вся мускулатура тела. К проприорецепторам принадлежит и вестибулярный аппарат внутреннего уха: преддверие лабиринта с отолитами и полукружные каналы. В них начинается вестибулярный нерв. Эти проприорецептивные приборы воспринимают изменения в положении головы в пространстве. Сигнализируя центральной нервной системе об изменениях головы в пространстве, они способствуют четкой ориентации всего тела в пространстве. Эта группа рецепторов будет еще подробно рассмотрена (стр. 178).

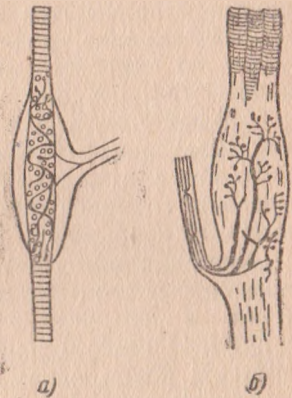


Рис. 68. Проприорецепторы:

а — мышечно-мышечные веретена, *б* — сухожильные веретена.

Афферентный, чувствующий нерв начинается от рецептора и тянется до центральной нервной системы — головного или спинного мозга. Нерв, как указывалось, является длинным отростком нервной клетки. Большинство нервных клеток находится в самом спинном или головном мозге. Исключение представляют нервные клетки чувствующих нервов, подходящих к спинному мозгу.

Нервная клетка, которой принадлежит афферентный нерв, находится не в самом веществе спинного мозга, а вынесена за пределы его. Собрания клеток афферентных нервов образуют межпозвоночные узлы — ганглии. Отросток нервной клетки, входящей в состав межпозвоночного узла, разветвляется Т-образно. Одна ветвь отходит на периферию, оканчиваясь рецептором, другая направляется в задние рога спинного мозга. Следовательно, возбужденное, родившееся при раздражении в рецепторе, приходит по афферентному нерву в спинной мозг через межпозвоночный ганглий (см. рис. 67).

Эффекторный, двигательный нерв воспринимает возбуждение от двигательной клетки, которая находится в передних рогах спинного мозга, а не вынесена, подобно клетке чувствующего нерва, за пределы спинного мозга. Отходящий от нее двигательный нерв тянется, не прерываясь, до самой мышцы.

Передача возбуждения в нервных центрах. Синапс. Окончания короткой ветви афферентного нерва вступают в сером веществе мозга в соединение с новой нервной клеткой. Последняя воспринимает возбуждение от окончаний центрального отрезка афферентного нерва через свои дендриты (короткие древовидно разветвленные отростки), в непосредственное соприкосновение с которыми вступает афферентный нерв. Место соединения окончаний центрального отрезка афферентного нерва с дендритами новой нервной клетки называется синапсом.

Возбуждение с афферентного нерва лишь в редких случаях передается непосредственно на эффекторную двигательную клетку. Обычно между афферентной и эффекторной частями рефлекторной дуги вклинены одна или несколько нервных клеток с их отростками — один или несколько вставочных, или контактных нейронов. Следовательно, рефлекторная дуга состоит в большинстве случаев минимум из трех нейронов — афферентного, вставочного (контактного) и эффекторного.

Ясно, что и число синаптических связей зависит от числа вставочных нейронов; трехнейронная дуга имеет два синапса, четырехнейронная — три.

ОБЩИЕ СВОЙСТВА НЕРВНЫХ ЦЕНТРОВ

Односторонность проведения возбуждения в центрах. Выше уже указывалось, что возбуждение может распространяться по нерву в обоих направлениях. Проведение же возбуждения в рефлекторной дуге идет всегда в одном направлении: воз-

возбуждение возникает только в рецепторе и достигает эффектора через нервные центры.

Эта односторонность проведения рефлекторного нервного импульса складывается в нервных центрах, точнее — в синапсах. Синапсом, как указывалось выше, обозначается место соединения окончаний нерва с другой нервной клеткой. В этой паре — окончание нерва и нервная клетка — возбуждение может переходить только от первого ко второму, но никак не от второго к первому. Чувствующие нервы вступают в задние рога спинного мозга, а двигательные отходят от передних его рогов (закон Белла-Мажанди). Таким образом, возбуждение в спинном мозге передается только от задних рогов к передним, но не наоборот.

Время рефлекса. С момента нанесения раздражения на рецептор до момента рефлекторного ответа проходит известное время, необходимое для прохождения возбуждения по всем звеньям рефлекторной дуги. Если принять во внимание, что по нервам возбуждение распространяется со скоростью около 100 м в секунду, то даже при условии, что длина чувствующего и двигательного нервов достигает 1 м, время, потребное на передачу возбуждения по этим нервам, составит всего 0,01 сек. А между тем самое короткое время рефлекса не меньше 0,02 сек., в большинстве же случаев оно выше 0,1 сек. Разница между общим временем рефлекса и тем временем, которое необходимо для проведения возбуждения по нервам, зависит от того, что значительная часть его тратится на передачу возбуждения от одного нейрона к другому, т. е. на переход возбуждения в синапсе. При этом, естественно, чем больше количество синаптических нейронов, т. е. чем большее число синапсов встречается на пути прохождения возбуждения, тем продолжительнее время рефлекса. Время распространения возбуждения по нервной системе особенно велико в тех случаях, когда совершается сложное действие с участием высших отделов головного мозга.

Суммация возбуждений. Известно, что для вызова реакции раздражаемого объекта необходимо, чтобы раздражение обладало достаточной силой, т. е. было выше порога. Раздражение ниже пороговой величины не вызывает эффекта.

Так же обстоит дело и с рефлекторной дугой, однако лишь в том случае, если подпороговое раздражение наносится однократно. При повторных нанесениях подпороговых раздражений на afferентную часть рефлекторной дуги рефлекс все-таки может получиться.

Слишком слабое подпороговое возбуждение, идущее по afferентному нерву, не в силах возбудить эффекторный центр, однако оставляет свой след в нем в виде повышенного его возбудимости. Следующее слабое возбуждение еще больше повысит возбудимость первого центра, пока, наконец, она не достигнет такой степени, что клетка отреагирует активным возбуждением на пришедший к ней очередной слабый импульс. Возбуждение достаточной силы, возникшее в двигательной клетке спинного мозга, распространится по ее аксону, достигнет мышцы и вызовет сокращение. Этот процесс, совершающийся в нервных центрах, носит название **суммации возбуждений**.

Примеры суммации возбуждений легко взять из обыденной жизни. Возьмем акт чихания. Раздражитель — пылинка, попавшая в нос, раздражает чувствующие окончания тройничного нерва, заложенные в слизистой носа. Однако эти раздражения подпороговые; они недостаточны для того, чтобы сразу же, в самом начале раздражения, вызвать рефлекс чихания. Продолжающееся раздражение, однако, вызывает непрерывный поток возбуждающих импульсов, идущих к центру, пока, наконец, возбуждение в последних не суммируется до такой степени, что вызовет акт чихания.

Трансформация ритма возбуждения. В условиях нервно-мышечного препарата число волн возбуждения соответствует количеству нанесенных раздражений.

В условиях же рефлекторной дуги дело обстоит иначе. Если нанести на афферентный нерв раздражения с данной частотой, то на эффекторном нерве обнаружится уже иная частота. Отсюда мы делаем заключение, что частота волн возбуждения, пришедших к нервным центрам, трансформируется здесь в другие частоты. Даже однократно нанесенное раздражение, породившее в афферентной части рефлекторной дуги одну волну возбуждения, трансформируется в нервных центрах в целый ряд импульсов тетанического типа; поэтому то мышечные сокращения, наступающие рефлекторно, являются (за некоторыми лишь исключениями) всегда тетаническими, даже когда рефлекс вызывается одиночным раздражением. Произвольные же сокращения, как указывалось, всегда тетанические.

Торможение. Все элементы центральной нервной системы друг с другом связаны. Вследствие этого возбуждение, пришедшее по чувствующему нерву к какой-либо клетке центральной нервной системы, может распространиться (иррадиировать) по всей нервной сети, вызвать разлитое всеобщее ее возбуждение. Подобное широкое разлитие возбуждения, захватывающего всю центральную нервную систему и вызывающего не какое-либо строго определенное движение, а хаотическое движение и напряжение всех мышц, наблюдается в ряде случаев, например при отравлении стрихнином, при очень сильных раздражениях, а у эмбрионов животных даже при раздражениях умеренной силы.

Чем же объяснить, что в нормальных условиях возбуждение, поступившее от какого-либо рецептора, не разливается по всей нервной системе, а течет по определенному руслу, захватывая ограниченную группу нервных элементов и вызывая четкое рефлекторное движение?

Объясняется это явлением торможения, в которое вовлекаются нервные элементы, не относящиеся к основному, наиболее целесообразному в данный момент пути протекания возбуждения. Торможение не дает возбуждению разливаться, оно концентрирует его, заставляя течь по определенному руслу.

На значение торможения в деятельности центральной нервной системы впервые указал в 1862 г. русский физиолог Сеченов. В дальнейшем, в результате исследований ряда ученых — Введенского, Шеррингтона, Павлова, Ухтомского и др., было установлено, что торможение является постоянным спутником возбуждения, что координированное движение возможно лишь при непрерывном взаимодействии процессов возбуждения и торможения.

С торможением нам неоднократно придется встречаться при последующем изложении роли центральной нервной системы в двигательных актах, сейчас же упомянем о некоторых формах, в которых оно проявляется.

Одна из таких форм была описана Сеченовым. Он показал, что рефлекторное движение, совершаемое при участии спинного мозга, может быть заторможено при возбуждении вышележащих центров. Этот факт свидетельствует о том, что контроль вышележащих нервных центров над нижележащими сводится в значительной мере к тормозящим влияниям.

Однако тормозящее влияние одних нервных центров на другие может проявляться не только в виде субординации (подчинения) нижних этажей вышним, но и в пределах одного и того же этажа, и даже со стороны нижних этажей на вышние. Например, у спинномозгового животного (т. е. у животного у которого оперативным путем головной мозг отделен от спинного) не трудно вызвать защитный сгибательный рефлекс конечности в ответ на ее раздражение. Если же одновременно с достаточной силой раздражать какой-либо другой участок, то ожидаемого первого рефлекса не получится. Центр этого рефлекса взаимодействует со стороны другого, сильно возбужденного нервного центра.

Торможение может сказываться не только при воздействии одних нервных центров на другие (такие воздействия называются индукцией А), но и в пределах одного и того же нервного центра. Мы можем вызвать рефлекс, раздражая рецептор умеренными по силе раздражениями, но рефлекс может не осуществиться при чрезмерно сильном раздражении того же рецептора. В данном случае чрезмерное раздражение вызвало торможение в самом раздражаемом нервном центре, что послужило препятствием дальнейшему следованию возбуждения на эффектор (паработическое торможение).

Подобное торможение вследствие перевозбуждения нервных центров может произойти как при очень сильных, так и при чрезмерно частых и длительных раздражениях.

Конфликт возбуждений. Практически не бывает случая, чтобы возбуждение возникло в чувствующих окончаниях отдельного нервного волокна и направилось также к какому-нибудь одному нервному центру. Громадное количество рецепторов рассеяно по всему телу человека, причем массы их могут одновременно возбуждаться в результате обильных раздражений, непрерывно возникающих как из внешней среды, так и в самом теле. При этом далеко не всегда возбуждение от каждого афферентного нерва направляется к строго определенному эффекторному центру; в одном и тому же центру могут направляться потоки импульсов от самых различных афферентных путей.

Шеррингтоном с учениками было подсчитано, что количество чувствующих нервных волокон не равно количеству двигательных. На 200 000 двигательных нервов приходится 600 000 чувствующих. Следовательно, к каждой двигательной клетке подходит в среднем три чувствующих нервных волокна, идущих от трех разных участков тела. Иначе говоря, в пределах каждого узкого сегмента спинного мозга происходит замыкание в среднем трех рефлекторных дуг, идущих в разные афферентные части, но одну общую эффекторную. Это далеко превосходит Шеррингтону сравнить нервную систему с воронкой, широкий раструб которой соответствует афферентной части, а узкое отверстие — эффекторной. Надо, далее, принять во внимание, что к одному и тому же эффекторному пути могут устремляться импульсы от афферентных нервов, впадающих в другие сегменты мозга, если учесть, что через промежуточные нейроны к любому эффекторному центру могут притекать возбуждения из любой точки центральной нервной системы, то станет ясным, что «раструб воронки» может достигать громадных размеров.

Каждый эффекторный центр с его длинным отростком, тянущимся к мышце, может, по определению Шеррингтона, являться общим конечным путем для импульсов, приходящих из самых разнообразных участков нервной системы.

Понятно, что при одновременном поступлении ряда импульсов к началу общего конечного пути должен произойти конфликт, столкновение возбуждений. Исход «борьбы» за общий конечный путь зависит от ряда обстоятельств: от соотношения сил конфликтующих возбуждений, от состояния возбудимости самого нервного центра, являющегося местом столкновения возбуждений, от длительности действия возбуждающих импульсов и т. п.

Разберем некоторые случаи подобных конфликтов. Один из них был уже указан выше. Это случай, когда сталкиваются импульсы, из которых один отличается своей исключительной силой. В этом случае развиваются явления торможения: сильное возбуждение препятствует прохождению как сильных, так и слабых импульсов по эффекторному пути. Представим себе, однако, противоположный случай, когда к общему конечному пути устремляются два или несколько слабых импульсов, причем сила каждого из них лежит ниже порога, т. е. не вызывает рефлекса. Здесь эти импульсы оказывают друг на друга уже не тормозящее, а, наоборот, усиливающее влияние, в результате чего возбуждение достигает достаточной (надпороговой) силы, и рефлекс осуществляется. Это явление в несколько иной форме иллюстрирует вам уже знакомый процесс суммации возбуждений. С ним сходно явление проторможения, или облегчения. Оно заключается в том, что вслед за импульсами, направленными к данному эффекторному центру, но недостаточными для вызова рефлекса, действие других импульсов оказывается усиленным. Предшествовавшие слабые импульсы повысили возбудимость эффекторного центра, чем как бы облегчили прохождение на конечный эффекторный путь последующим, совсем другим импульсам.

Представим себе теперь, что к какому-либо эффекторному центру поступает непрерывный поток импульсов умеренной силы, в результате чего в этом центре устанавливается достаточно стойкое и значительное возбуждение. Если при наличии такого стойкого очага возбуждения в каком-либо участке нервной системы начнут поступать импульсы к другому ее участку, то в этом последнем возникнет торможение, возбуждение же первого еще больше усилится. Тот участок центральной нервной системы, который развился в стойкий очаг возбуждения, приобретает значение господствующего нервного центра среди других нервных центров; процессы, совершающиеся в нем, доминируют над другими процессами, протекающими в данный момент в организме. Так, например, если во время еды животного нанести раздражение на какую-нибудь конечность, то ожидаемого отдергивания конечности может не произойти, глотательные же движения животного усилятся. В данном случае господствующим (доминантным) очагом возбуждения является центр глотательного рефлекса, который подавляет другие рефлексы, в то же время усиливая за их счет. Здесь перед нами тоже конфликт возбуждений, разрешаемый, однако, всегда определенным образом — в пользу того возбуждения, которое в данный момент доминирует. Такой принцип деятельности нервных центров академик Ухтомский назвал принципом доминанты. Он обеспечивает организованность, подчиненность возбуждений, возникающих в различных отделах нервной системы, основному, доминантному процессу вместо хаотических столкновений и конфликтов. Принцип доминанты позволяет понять, как вместо разлитого возбуждения в центральной нервной системе возникают и закрепляются четкие рефлексы, он помогает нам уяснить, как создается сосредоточение возбуждений в определенных участках центральной нервной системы. Этот прин-

нии, в широком его понимании, подчеркивает, как велико значение в повседневной деятельности человека его сосредоточения на определенном действии. Если вместо «разбросанности» создается определенная доминанта, то уже не так страшны сторонние, отвлекающие раздражения; ответа на них не последует, сам же доминантный процесс может усилиться. Все это, несомненно, следует учитывать и при обучении движению.

ВЕГЕТАТИВНАЯ НЕРВНАЯ СИСТЕМА

Нервная регуляция функций различных систем организма осуществляется посредством вегетативной нервной системы. Последняя состоит

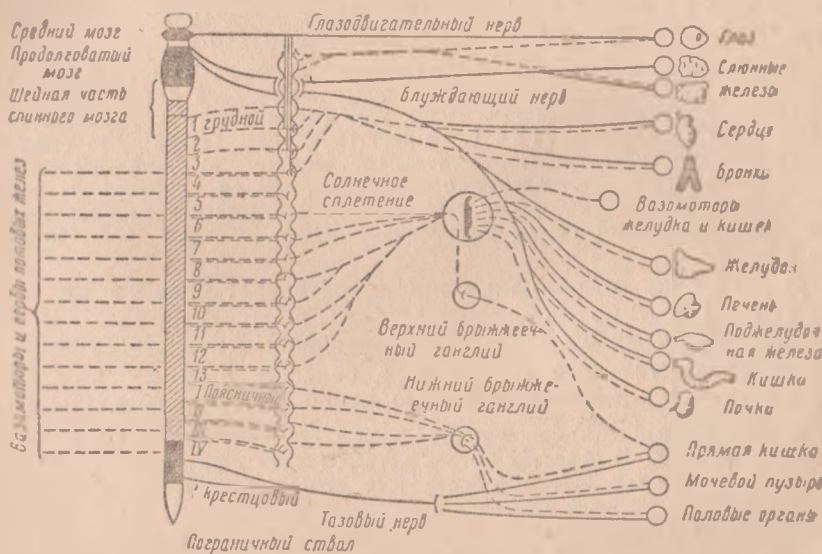


Рис. 69. Схема строения вегетативной нервной системы. Сплошные линии — парасимпатические нервы, пунктирные линии — симпатические нервы.

из широко разветвленной сети нервов (значительно более тонких, чем двигательные нервы), являющихся отростками нервных клеток, расположенных не только в спинном и головном мозге, но и за их пределами, в различных участках тела. Посредством этих отростков нервные клетки связаны друг с другом и со всеми тканями тела. Таким образом, вегетативная нервная система представляет собой сложную нервную сеть, охватывающую весь организм. Скопления нервных клеток называются ганглиями или узлами.

Рассмотрим основные отделы вегетативной нервной системы и ее функции (рис. 69).

Ряд важнейших вегетативных процессов регулируется деятельностью нервных центров, расположенных в районе промежуточного мозга, в частности, в сером бугре. В промежуточном мозге находятся высшие центры обмена. Многочисленными опытами было показано, что при разрушении этой области головного мозга происходят самые разнообразные расстройства процессов обмена. Нарушается белковый, жировой, углеводный и водно-солевой обмен, расстраивается точная регуляция сосудистого тонуса и выделительных процессов, — потоотделения и мочеотделения, нарушается нормальная деятельность кишечника, изменяется также эндокринная функция, в частности, деятельность надпочечников. В промежуточном же мозге находятся центры терморегуляции. Если удалить у животного промежуточный мозг, температура тела быстро снижается.

Влияние промежуточного мозга на процессы обмена во всех тканях тела сказывается также в том, что при нарушении нормальной деятельности этого отдела мозга могут в различных частях тела наступать так называемые трофические расстройства (расстройства питания тканей). Это было доказано опытами академика Сперанского, показавшего, что длительное механическое раздражение промежуточного мозга, вызываемое помещением около него стеклянной бусинки, может стать причиной нарушения кожных покровов, костей, мышечной ткани, внутренних органов (в форме язв, опухлей и т. п.).

В регуляции вегетативных процессов играет роль также мозжечок. Работами академика Орбели и др. показано, что при разрушении мозжечка происходят нарушения в двигательной функции пищеварительного аппарата, в солевом и углеводном обмене, некоторые изменения в кровообращении и дыхании.

К вегетативным центрам относится также частично средний мозг — его четверохолмие. В передних буграх четверохолмия берет свое начало глазодвигательный нерв. Влияние этого нерва сказывается в том, что хрусталик изменяет свою кривизну (аккомодация), а зрачок — свой диаметр. Обвершается это произвольно, рефлекторно, в результате зрительных раздражений, передающихся в средний мозг через чувствительный зрительный нерв.

Весьма большое значение в регуляции функций имеет продолговатый мозг. Здесь находятся, кроме прочих, центры лицевого, языкоглоточного и блуждающего нервов.

В состав лицевого нерва входят как двигательные ветви, так и относящиеся к вегетативной нервной системе секреторные ветви. Последние подходят к слезным железам и к слонным — подчелюстной и подъязычной. При раздражении окончаний чувствующих нервов, например роговицы глаза или слизистой рта, происходит рефлекторное, произвольное слезо- или слюноотделение. В состав языкоглоточного нерва также входят как двигательные, так и вегетативные секреторные волокна, направляющиеся к окологлоточным слюнным железам.

Рефлекторное возбуждение этого нерва вызывает секрецию слюны из окологлоточных желез.

Регуляторное влияние блуждающего нерва по объему и значению не подлежит сравнению с влиянием всех других веге-

тативных нервов. Его роль чрезвычайно многообразна. Он посылает свои ветви к легким: импульсы, поступающие по этим ветвям, как мы видели, играют значительную роль в поддержании ритма дыхательных движений.

Ветви, идущие к сердцу, оказывают на него регулирующее влияние, тормозя его деятельность.

Велико значение блуждающего нерва и в пищеварении: возбуждение этого нерва усиливает секрецию желудочных и поджелудочной желез, возбуждает желчеотделение, усиливает движения тонких кишок. Почки также иннервируются блуждающим нервом.

Такое распространение ветвей блуждающего нерва (имеющего в своем составе свыше 400 волокон) обеспечивает его влияние на дыхание, кровообращение, пищеварение и выделение, т. е. на все важнейшие функции организма.

Помимо связи с перечисленными внутренними органами, продолговатый мозг связан через спинной мозг также и с органами движения, сосудами и многочисленными разнообразными окончаниями чувствующих нервов тела. Все это обеспечивает участие продолговатого мозга в разнообразных рефлекторных актах, охватывающих одновременно многочисленные системы. Так, например, в продолговатом мозге помещены такие важные центры, как дыхательный и сосудодвигательный. Рефлексы глотания, рвоты, чихания, кашля также происходят при обязательном участии продолговатого мозга.

Все перечисленные вегетативные нервы, начинающиеся в клетках среднего и продолговатого мозга, не оканчиваются непосредственно в иннервируемых ими органах. Поблизости от них нервные волокна прерываются у новой нервной клетки, посылающей свой отросток к органу.

Как уже указывалось, скопления нервных клеток называются узлами или ганглиями. Нервы, идущие от мозговой клетки к ганглию, называются преганглионарными, или предузловыми, а нервы, идущие от ганглия к органу, — постганглионарными, или послеузловыми.

Нервы, исходящие из клеток среднего и продолговатого мозга, и в первую очередь блуждающий нерв, относятся к парасимпатическому разделу вегетативной нервной системы. К парасимпатической нервной системе относятся также нервы, начинающиеся в крестцовом отделе спинного мозга. Входя в состав тазового нерва, они после ганглиозного перерыва оканчиваются в толстых кишках и мочеполовой системе. Рефлекторное возбуждение этих парасимпатических волокон, в частности, побуждает к опорожнению кишечника и мочевого пузыря.

Другой раздел вегетативной нервной системы — симпатическая система берет свое начало в спинном мозге, в грудном и поясничном его отделах.

Симпатические нервы, выйдя из спинного мозга, где помещены их нервные клетки, прерываются в большинстве своем уже поблизости от позвоночника (см. рис. 69), у так называемого пограничного ствола. Последний представляет собой цепочку ганглиев, посылающих свои постганглионарные волокна ко всем

гжаням тела. Некоторая часть преганглионарных волокон распространяется, однако, минуя пограничный ствол, далее на периферию, где прерывается все же в других ганглиях (например солнечное сплетение). Последние посылают свои постганглионарные волокна непосредственно к органам.

По характеру воздействий на органы симпатические нервы обычно противоположны (антагонистичны) парасимпатическим. В особенности четко этот антагонизм действия виден на примере сердца, сокращения которого под влиянием симпатических нервов учащаются, а под влиянием парасимпатических (блуждающих) урежаются. Диаметральное противоположное влияние этих нервов на движение кишечника, которое усиливается при возбуждении парасимпатической и затормаживается при возбуждении симпатической нервной системы. Антагонистично влияние нервов и на сосуды: сосудосуживающие нервы относятся к симпатической, а сосудорасширяющие — к парасимпатической нервной системе.

Не только на внутренних органах, но и на двигательном аппарате — скелетных мышцах — сказывается влияние симпатической нервной системы. Возбуждение симпатического нерва, оканчивающегося в скелетной мышце, может восстановить ее работоспособность, снизившуюся под влиянием частых раздражений двигательного нерва (Орбели, Гинецкий).

Таким образом, вегетативная нервная система (как симпатический, так и парасимпатический ее разделы) является регулятором самых разнообразных процессов, развивающихся в организме.

Нервная регуляция, однако, не действует автономно от гуморальной регуляции. Тесная связь обоих механизмов регуляции может быть показана на ряде примеров. Железы внутренней секреции снабжаются вегетативными нервами, и интенсивность выделения ими гормонов зависит от степени возбуждения этих нервов. Например, надпочечная железа усиливает выработку адреналина при возбуждении подходящего к ней чревного нерва, относящегося к симпатической нервной системе. Если же перерезать этот нерв, то образование адреналина резко уменьшится. С другой стороны, центры вегетативной нервной системы сами чувствительны к воздействиям гормонов, приносимых к ним с кровью. Самый процесс передачи возбуждения с предузлового волокна на послеузловое и с последнего на орган связан с химическими влияниями. Обнаружено, например, что в окончаниях предузлового волокна при прохождении по нему нервного импульса вырабатываются химические вещества (ацетилхолин), возбуждающие нервный ганглий; в последнем в свою очередь возникает нервный импульс, который распространяется по послеузловому волокну по направлению к органу. Влияние же этого волокна на орган происходит также через посредство химических веществ, образующихся в окончании волокна. С образованием подобных гуморальных посредников (медиаторов) а передаче нервного импульса мы познакомились уже в главе, посвященной регуляции сердца. Нужно отметить, однако, что этот механизм гуморальной передачи нервного импульса относится не только к нервам сердца, но является механизмом, присущим вообще всем нервам.

Деятельность вегетативной нервной системы зависит также от психического, эмоционального состояния человека. В спортивной практике, например, часто можно наблюдать изменения в ряде физиологических функций спортсмена, происходящие под влиянием различных эмоциональных его состояний.

ПРОВОДЯЩИЕ ПУТИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЕ

Все органы тела связаны посредством нервов с центральной нервной системой, и все отделы центральной нервной системы связаны посредством длинных отростков своих клеток друг с другом. Пучки этих отростков (нервов), связывающих отделы центральной нервной системы, называются проводящими путями. Они легко различимы от скоплений самих нервных клеток (собственно нервных центров). Последние представляют собой серое вещество мозга, в то время как проводящие пути составляют белое вещество мозга. На поперечном срезе спинного мозга хорошо видно серое вещество, по форме напоминающее крылья бабочки; между этими крыльями (задними и передними рогами) расположены белые столбы (передние, задние и боковые), представляющие собой проводящие пути спинного мозга.

Различают восходящие и нисходящие пути спинного мозга.

Восходящие пути (рис. 70) проводят нервные импульсы, возникающие в рецепторах тела. Эти импульсы проводятся чувствующими нервами — периферическими отростками межпозвоночных ганглиев (клеточного узла). Другой, центральный отросток, направляется от ганглия в спинной мозг, где вступает в состав задних или боковых столбов.

Одна группа восходящих путей направляется в составе задних столбов (Голя и Бурдаха) по спинному мозгу к продолговатому. Эти пути проводят импульсы, возникающие в мышцах, сухожилиях и в рецепторах кожи, т. е. являются путями проведения проприорецептивной и кожной (осозательной) чувствительности. От продолговатого мозга эти импульсы передаются далее к промежуточному (зрительному бугру), а от последнего — в кору больших полушарий — в ее заднюю центральную извилину. Кроме того, от промежуточного мозга идут пути к подкорковым ядрам — так называемому полусатому и бледному телу.

Другая группа восходящих путей в составе боковых столбов спинного мозга (Флексига и Говерса) несет главным образом проприорецептивную чувствительность. Пройдя продолговатый мозг, эти восходящие пути поворачивают к мозжечку, заканчиваясь в его коре. От мозжечка, в свою очередь, идут пути к среднему мозгу (четверохолмие, красные ядра) и к промежуточному.

Третья группа восходящих путей спинного мозга несет главным обра-

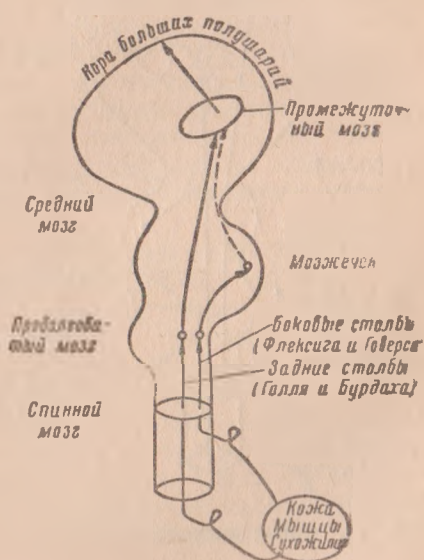


Рис. 70. Схема восходящих нервных путей.

вом болевую чувствительность. Закачиваются эти пути в промежуточном мозге.

Все восходящие пути проходят из спинного мозга в головной. Они проводят те импульсы, которые зарождаются в рецепторах туловища и конечностей, и определяют собою глубокую (мышечно-суставную) чувствительность, температурную чувствительность, чувство прикосновения и давления (осязание) и болевую чувствительность.

Однако наряду с этими видами чувствительности имеются и другие (зрение, слух, обоняние, вкус, чувство равновесия тела), относящиеся к органам чувств, расположенным в голове. От них также направляются афферентные нервы, но уже не в спинной мозг, а прямо в головной. Чувствующие нервы, начинающиеся в рецепторах внутреннего уха (в котором расположены орган слуха и орган равновесия — вестибулярный аппарат), вступают сначала в продолговатый мозг; отсюда направляются проводящие пути в промежуточный мозг, а от последнего — в кору головного мозга. Таков же путь и в вкусовой чувствительности.

Остальные чувствующие нервы вступают в промежуточный мозг, из которого направляются непосредственно в кору больших полушарий.

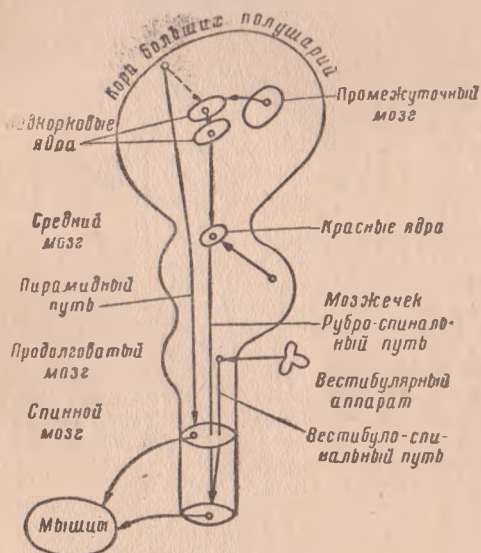


Рис. 71. Схема нисходящих нервных путей.

произвольные, автоматические. Одним из главных таких путей является путь, берущий свое начало из области среднего мозга (от красных ядер), который направляется к двигательным клеткам спинного мозга. Это так называемый рубро-спинальный путь. По нему идут импульсы, главным образом вызывающие ту или иную позу тела. К красным ядрам направляются также проводящие пути от более высоко лежащего подкоркового ядра — бледного тела, а к последнему от еще выше лежащего — полосатого тела. Импульсы от этих ядер вызывают автоматические ритмические движения мышц тела, необходимые для передвижения последнего в пространстве, а также ряд других автоматических и, в частности, содружественных движений конечностей и так называемых мимических движений.

Нисходящие пути (рис. 71) проводят нервные импульсы от клеток головного мозга к двигательным клеткам спинного мозга, расположенным в передних рогах его серого вещества. Отсюда двигательные импульсы направляются по нервам на периферию — к мышцам туловища и конечностей. Нисходящие пути идут главным образом по передним столбам белого вещества спинного мозга.

Один из нисходящих путей начинается в гигантских пирамидных клетках коры больших полушарий. Отростки этих клеток тянутся без перерыва до двигательных клеток спинного мозга. По этому пути, называемому пирамидным путем, идут импульсы, относящиеся к произвольным движениям.

По другим нисходящим путям направляются импульсы, вызывающие движения непроизвольные, автоматические. Одним из главных таких путей является путь, берущий свое начало из области среднего мозга (от красных ядер), который направляется к двигательным клеткам спинного мозга. Это так называемый рубро-спинальный путь. По нему идут импульсы, главным образом вызывающие ту или иную позу тела. К красным ядрам направляются также проводящие пути от более высоко лежащего подкоркового ядра — бледного тела, а к последнему от еще выше лежащего — полосатого тела. Импульсы от этих ядер вызывают автоматические ритмические движения мышц тела, необходимые для передвижения последнего в пространстве, а также ряд других автоматических и, в частности, содружественных движений конечностей и так называемых мимических движений.

Имеется также нисходящий путь, начинающийся от ядер вестибулярного нерва, расположенных в продолговатом мозгу. Импульсы, идущие по этому пути, вызывают рефлекторные движения при изменении положения тела в пространстве (вестибулярные рефлексы); этот путь называется вестибуло-спинальным.

ДВИГАТЕЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

Все движения человеческого тела совершаются при участии центральной нервной системы.

Известно, что центральная нервная система делится на ряд отделов (спинной мозг, продолговатый, средний, промежуточный, мозжечок, большие полушария), причем каждый из них играет в движениях свою роль.

При наблюдении движений различных животных и человека бросается в глаза, что чем ниже организовано животное, тем проще, примитивнее его движения. Наиболее богаты и разнообразны формы движений у человека, стоящего на вершине развития животного мира. У человека наблюдается и наибольшее развитие центральной нервной системы, в частности, ее высших отделов. Вместе с тем, во всем многообразии движений человека легко усмотреть движения различной сложности — от элементарного движения отдергивания руки, коснувшейся огня свечи, до чрезвычайно тонких и сложных движений выдающегося скрипача.

Естественно предположить, что не все движения управляются одними и теми же отделами центральной нервной системы и что чем сложнее движение, тем все более высокие отделы мозга им управляют. Это предположение подтверждается экспериментами на животных. У животных удаляли последовательно различные отделы мозга и наблюдали при этом выпадение различных форм движения, в первую очередь наиболее сложных. То же самое наблюдалось на человеке при заболевании или ранении различных отделов мозга. Таким путем была распознана роль, которую играют в движениях отдельные части центральной нервной системы. У разных животных она не одинакова.

У низкоорганизованных позвоночных самостоятельная роль в ряде простых движений присуща, например, даже спинному мозгу, в то время как у высокоорганизованных (например у человека) этот отдел мозга имеет лишь подчиненное значение. Вообще чем выше организовано животное, чем выше оно стоит на лестнице эволюции животного царства, тем больше развиты у него более высоко расположенные отделы центральной нервной системы и тем более подчиненную роль в двигательных процессах играют нижележащие отделы мозга.

ПРОСТЕЙШИЕ ДВИГАТЕЛЬНЫЕ РЕФЛЕКСЫ

Тонус. Если удалить у лягушки головной мозг и подвесить ее на штативе, то можно видеть, что задние лапки лягушки не висят совершенно расслабленно, а немного подтянуты, чуть согнуты в суставах. Это происходит оттого, что мышцы животного,

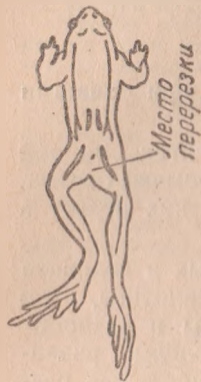


Рис. 72. Выпадение тонуса при перерезке нерва.

пребывая, казалось бы, в полном покое, на самом деле находятся в состоянии небольшого возбуждения. Это длительное состояние непроизвольного слабого напряжения называется **тонусом** мышц.

Нетрудно убедиться в том, что мышечный тонус есть следствие возбуждения нервных центров, передающегося к мышцам по нервам. Если перерезать нерв, отходящий от спинного мозга к одной из лапок, например к правой, то эта лапка расслабится вполне и станет длиннее левой (рис. 72): перерезав нерв, мы тем самым исключили возможность передачи по нему к мышцам импульсов от нервных центров.

Следовательно, мышечный тонус не есть свойство самих мышц, а является следствием постоянного слабого возбуждения нервных центров.

Тоническое возбуждение нервных центров поддерживается в свою очередь афферентными импульсами, поступающими от проприорецепторов. В свободно висящей конечности сила тяжести стремится растянуть мышцы-сгибатели. Растяжение сгибателей вызывает раздражение проприорецепторов в них. Возбуждение же, родившееся в проприорецепторах, направляется по чувствующим нервам в спинной мозг, переключается на двигательные клетки, а от них по двигательному нерву устремляется опять к той же мышце, усиливая ее напряжение. В течение всего времени, пока на мышцу действует сила тяжести, мышца противодействует ей своим напряжением, что поддерживает конечность в положении небольшого сгибания в суставах. Следовательно, поддержание мышечного тонуса есть рефлекторный акт, причем начало этого рефлекса лежит в самой мышце.

Как увидим далее, в поддержании и особенно в распределении мышечного тонуса играют большую роль различные отделы головного мозга. Тонус является общим свойством нервных центров, он необходим для сохранения определенного взаиморасположения частей тела, т. е. для придания телу определенных поз, и является тем общим фоном, на котором сочетаются разнообразные движения. Тонические напряжения мышц являются наименее утомительным видом мышечной деятельности и могут поддерживаться чрезвычайно длительное время.

Кожно-двигательные рефлексы. При нанесении болевого раздражения на кожу конечности спинномозгового животного происходит отдергивание (сгибание) этой конечности. Такой сгибательный рефлекс имеет защитный характер — отдаление конечности от раздражителя. Дуга этого рефлекса проста: начинаясь от кожных рецепторов, возбуждение поступает в спинной мозг, откуда направляется к сгибательным мышцам конечности.

Совершенно противоположное рефлекторное движение может получиться при нанесении очень слабого раздражения на подошвенную поверхность конечности животного. При слабом надавливании на подошву может произойти не сгибание, а разгибание, вытягивание конечности. Конечность не отдалается, а приближается к раздражителю, как бы ощупывая его. Если при этом сила раздражения увеличивается, то конечность отдергивается. Таким образом, раздражения, наносимые на один и тот же участок кожи, могут явиться причиной совершенно противоположных рефлекторных двигательных актов в зависимости от величины и характера раздражения. Примеры подобных рефлексов можно наблюдать на ребенке. Слабое прикосновение каким-нибудь предметом к ладони вызывает вытягивание руки и хватание предмета кистью, сильное же раздражение вызывает отдергивание руки.

Проприорецептивный местный рефлекс. Нанесем насильный удар по сухожилию четырехглавой мышцы человека, сидящего свободно, свесив ноги. В ответ на это раздражение нога в колене разогнется, т. е. четырехглавая мышца бедра сократится.

Что это за рефлекс? Есть ли это защитный рефлекс, обычно получающийся при раздражениях кожи? Для выяснения вопроса лишим чувствительности кожу над сухожилием (впрыснув в нее, например, раствор кокаина) и теперь вновь нанесем удар. Рефлекс все равно получится, несмотря на то, что вкосторецепторы кожи были лишены чувствительности.

Исследования показали, что при ударе по сухожилию наносится раздражение на проприорецепторы, заложенные в мышце и сухожилии. Ударяя по сухожилию, мы растягиваем на короткое время четырехглавую мышцу с ее сухожилием. При растяжении же мышцы раздражаются заложенные в ней окончания чувствительных нервов — проприорецепторы. Возбуждение, возникшее в проприорецепторах, распространяется по чувствующему нерву к спинному мозгу, а оттуда по двигательному нерву в ту же мышцу, заставляя ее сократиться (рис. 73).



Рис. 73. Схема рефлекторного кольца местного проприорецептивного рефлекса.

Описанный проприорецептивный рефлекс (рефлекторное кольцо), когда рефлекторная дуга имеет свое начало и конец в одной и той же мышце, называется собственным, или местным проприорецептивным (сухожильным) рефлексом.

Реципрокная иннервация антагонистов. При рефлекторном или произвольном сгибании конечности акт сгибания происходит вследствие того, что сокращаются мышцы-сгибатели. Сокращение же сгибателей в свою очередь происходит вследствие возбуждения, возникшего в тех нервных центрах, от которых отходят нервы к этим мышцам, т. е. в центрах сгибателей.

В то же время разгибатели удлиняются.

Это удлинение разгибателей происходит не вследствие их пассивного растягивания, а вследствие их активного расслабления. Шеррингтон доказал это опытом. Если отделить сухожилия мышц-антагонистов от управляемого ими звена (например отделить сгибатель и разгибатель коленного сустава от голени), то будет исключаться возможность пассивного растягивания одного из антагонистов при сокращении другого. Тем не менее при раздражении сгибателя, вызывающем его сокращение, разгибатель удлиняется.

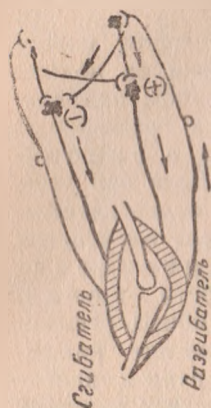


Рис. 74. Схема реципрокной иннервации.

Активное расслабление разгибателей при сокращении сгибателей или, наоборот, активное расслабление сгибателей при сокращении разгибателей является следствием процессов возбуждения и торможения, происходящих в нервных центрах (рис. 74).

Когда конечность находилась в покое, мышцы имели тонус вследствие некоторого постоянного возбуждения их нервных центров. Когда же усилилось возбуждение в центрах сгибателей, одновременно центры разгибателей испытали торможение. Тонус разгибателей снизился, и разгибатели расслабились.

Взаимодействие центров мышц-антагонистов было названо Шеррингтоном реципрокностью (взаимнообратным отношением).

Рефлекс отдачи. Если путем раздражения соответствующего рецептора вызвать длительное рефлекторное сгибание конечности и затем внезапно прекратить действие раздражителя, то конечность разогнется не до прежнего положения, а несколько больше. Такое усиленное разгибание, следующее за рефлекторным сгибанием, называется рефлексом отдачи. Механизм его заключается в следующем: во время рефлекторного сгибания центры сгибателей возбуждены, а центры разгибателей реципрокно заторможены. Прекращение же действия раздражителя вызывает противоположный процесс: в возбужденном участке возникает торможение, а в заторможенном — возбуждение. То-

перь уже возбужденным оказывается центр разгибателей, а заторможенным — центр сгибателей, вследствие чего происходит активное разгибание. Подобный процесс последовательной смены возбуждения на торможение (и наоборот) в одних и тех же нервных центрах носит название последовательной индукции в отличие от одновременной индукции, которая лежит в основе процесса реципрокности.

Ритмические рефлекторные движения. На примере рефлекса отдачи мы видели, как сгибательный рефлекс может переходить в разгибательный. Однако и разгибание в свою очередь может в порядке последовательной индукции породить сгибание, за которым опять последует разгибание и т. д.

Иначе говоря, одно какое-нибудь движение может явиться причиной серии попеременных ритмических чередований сгибательных и разгибательных движений. В основе таких ритмических движений лежат процессы последовательной и одновременной индукции, поддерживаемые проприорецептивными дифферентными импульсами, поочередно поступающими от сокращающихся и растягивающихся антагонистических мышц. Такая поддержка ритмических движений проприорецептивными импульсами совершается по принципу уже описанного местного рефлекса. В начале сгибания конечности разгибатели вследствие реципрокности расслабляются, по мере же дальнейшего все большего сгибания конечности начинают уже пассивно растягиваться. При растяжении же разгибателей возбуждаются заложенные в них проприорецепторы, что порождает местный проприорецептивный рефлекс, приводящий к сокращению разгибателей. В этот момент центры сгибателей окажутся в силу реципрокности заторможенными.

На смену сгибанию приходит разгибание, которое в том же порядке вновь вызывает сгибание и т. д.

Перекрестный ритмический рефлекс (рефлекс шагания). Ритмические чередования сгибаний и разгибаний не ограничиваются только одной парой антагонистов или одной конечностью, но могут захватывать и пару конечностей. Например, у спинальной (лишенной головного мозга) собаки сгибание одной задней конечности сопровождается разгибанием другой, в следующий момент переходящим в сгибание, в то время как первая конечность разгибается. Возникшее в одной конечности движение вызывает противоположное движение не только в пределах этой же конечности, но включает в движение и другую конечность. Происходит ритмическое чередование сгибаний и разгибаний обеих задних конечностей — рефлекс шагания, имитирующий сложный целостный двигательный акт — акт ходьбы.

В основе рефлекса шагания лежит чередование процессов возбуждения и торможения в центрах, относящихся к антагонистическим мышцам обеих конечностей. В то время как центры сгибателей левой и разгибателей правой конечностей возбуждены, центры разгибателей левой и сгибателей правой конечностей

заторможены. Эти отношения в порядке последовательной индукции сменяются на обратные: затормаживаются сгибатели левой и разгибатели правой, возбуждаются же разгибатели левой и сгибатели правой конечностей.

	Левая	Правая	
Передние конечности	+	-	Сгибатели
	-	+	Разгибатели
Задние конечности	-	+	Сгибатели
	+	-	Разгибатели

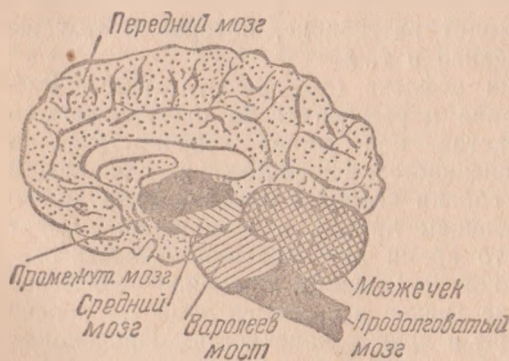
Рис. 75. Схема перекрестной реципрокности.

Подобная перекрестная реципрокность не ограничивается, однако, одними лишь задними конечностями животного, но захватывает и передние конечности. Соотношение процессов возбуждения и торможения в центрах антагонистических мышц всех четырех конечностей показано на схеме рис. 75. В итоге мы получаем перекрестное чередование сгибаний и разгибаний всех четырех конечностей животного, причем именно такое, как это происходит при нормальной ходьбе.

В то же время это еще, конечно, не ходьба в собственном смысле этого слова, потому что спинальное животное не может стоять и совершает «шагательные» движения в подвешенном состоянии. Вместе с тем это показывает, как необходимые для ходьбы процессы могут совершаться в низших этажах центральной нервной системы, еще не обеспечивающих необходимых условий даже для стояния.

Все перечисленные здесь простейшие рефлекторные двигательные акты могут наблюдаться у большинства животных, у которых остался сохраненным в эксперименте один лишь спинной мозг. Отсюда можно заключить, что рефлекторные дуги описанных рефлексов замыкаются в нервных центрах спинного мозга и что одного спинного мозга достаточно для обеспечения этих простейших рефлекторных движений.

Рис. 76. Отделы головного мозга.



Нужно, однако, подчеркнуть, что все это относится к животным, хотя довольно высокоразвитым (например собака), но все еще далеко отстоящим от человека. Уже у обезьяны лишь с трудом можно обнаружить следы некоторых из описанных движений, у человека же, у которого вследствие какой-либо причины оказались разрушенными отделы головного

могга и сохранился один спинной мозг, все эти рефлексы пропадают полностью. Для осуществления их у человека необходимо участие, помимо спинного мозга, также некоторых, наиболее низко расположенных отделов головного мозга — продолговатого и среднего мозга (рис. 76). Важно, однако, то, что у человека описанные рефлексы являются самыми примитивными и обусловлены деятельностью наиболее низко расположенных отделов центральной нервной системы.

РЕФЛЕКСЫ ПОЛОЖЕНИЯ (ПОЗЫ) ТЕЛА

У спинального животного мы видели довольно большое разнообразие рефлекторных движений, видели у него также и наличие мышечного тонуса, однако всего этого было недостаточно для того, чтобы животное могло принять определенную позу. Спинальное животное может только лежать расслабленным, стоять же или сохранять какую-нибудь иную позу оно не может.

Стояние является исходной начальной позой, необходимой для акта локомоции (передвижения тела в пространстве); поза стояния необходима для того, чтобы, исходя из нее, осуществлять акт ходьбы — первейшее и основное движение, которым обеспечивается передвижение всего тела.

Спинальное животное может двигать своими конечностями наподобие того, как это происходит при ходьбе, но ходить оно не может, потому что не может стоять. Оно только лежит и не в силах бороться с силой тяжести, потому что для борьбы с силой тяжести (а это имеется в любой позе, кроме лежания) необходимо соответственно перераспределить напряжение в мышцах конечностей и туловища.

Децеребрационная ригидность. Шеррингтон произвел у животного перерезку головного мозга на уровне четверохолмия (среднего мозга). Конечности и туловище этого животного остались теперь в нервной связи со спинным и продолговатым мозгом и частью среднего. Через некоторое время после операции конечности животного, прежде расслабленные, выпрямились, выпрямилось и расслабленное прежде туловище, голова поднялась, вытянулся хвост (рис. 77). Иначе говоря, напряглись разгибательные мышцы конечностей, туловища и шеи. Разгибатели стали упругими, неподатливыми, ригидными. Поэтому все явление получило название *децеребрационной ригидности* (де-



Рис. 77. Децеребрационная ригидность.

церебрация — удаление головного мозга). Если такое животное поставить на ноги, то оно стоит, потому что напряжение его разгибателей поддерживает все тело в положении стойки, не дает ему сложиться, согнуться. Отсюда следует тот вывод, что участки головного мозга, оставшиеся после операции в связи с телом, могут обусловить такое перераспределение мышечных напряжений, которое создает у животного основную позу — позу стояния.

Это еще не настоящее стояние; это, как выразился Шеррингтон, карикатура на стояние, потому что животное, даже положенное на бок, все равно сохраняет свои конечности вытянутыми, спину и шею выпрямленными. Мышцы животного напряжены так, как это имеет место при истинном стоянии, но само встать животное не может.

Нервные клетки той части мозга, которая осталась после операции в связи с телом, посылают усиленные импульсы к разгибателям в рефлекторном порядке. Аfferентные импульсы поступают здесь от проприорецепторов мышц тела. Если перерезать все чувствующие корешки спинного мозга и исключить, таким образом, прохождение проприорецептивных импульсов, то децеребрационной ригидности не получится.

Если у животного, находящегося в состоянии децеребрационной ригидности, сделать вторую перерезку — ниже продолговатого мозга, ригидность мышц сразу пропадает, никакой позы стояния не будет, и мы будем иметь перед собою обычное спинальное животное, расслабленно лежащее на операционном столе.

Шейные тонические рефлексы. Если у животного, находящегося в состоянии децеребрационной ригидности, изменять положение головы относительно туловища, то обнаружится, что пассивное поднятие или опускание головы, поворот ее в ту или другую сторону вызовут изменения позы тела.

При нормальном положении головы относительно туловища все четыре конечности децеребрированного животного вытянуты. При откидывании головы назад еще более вытягиваются передние конечности, задние же подгибаются. При опускании головы происходит сгибание передних конечностей, а задние либо остаются выпрямленными, либо тоже немного сгибаются. При повороте или наклоне головы вправо вытягивается передняя правая конечность, левая же сгибается. При повороте головы влево, наоборот, выпрямляется левая передняя конечность, правая же сгибается.

Изменение положения головы относительно туловища вызывает изменение в степени натяжения различных мышц шеи. При этом проприорецепторы, заложенные в шейных мышцах, возбуждаются. Возбуждение это передается к центрам ствола головного мозга, откуда в нисходящем направлении к двигательным центрам спинного мозга идут импульсы, которые усиливают возбуждение одних центров и затормаживают другие. Характер и направленность этих импульсов различны в зависимости от того, какие проприорецепторы шейных мышц возбуждаются при том или ином изменении положения головы. В результате изменения степени

возбуждения двигательных центров спинного мозга изменяется и степень тонуса различных мышц конечностей и туловища. Тонус, до этого равномерно усиленный во всех разгибателях, теперь перераспределяется; в некоторых разгибателях он усиливается еще больше, в иных же уменьшается. Отсюда — изменение позы. Эти шейные тонические рефлексы впервые изучил Магнус.

Биологический смысл описанных рефлексов может быть показан на следующем примере. Представим себе нормальную кошку, увидевшую над собой кусок мяса. Голова ее поднимается. Вследствие возбуждения проприорецепторов шея происходит рефлекторное выпрямление передних конечностей и сгибание задних. Принятая поза будет обозначать готовность к прыжку, перед тем как схватить пищу. Если же пища расположена на пол, голова опустится. Это положение головы вызовет рефлекторное подгибание передних конечностей, способствующее опусканию всего тела к земле. Представим себе далее, что справа кошка слышит шум, производимый, например, скребущейся мышью. Голова кошки повернется в правую сторону, и сразу вслед за тем в силу шейного рефлекса повысится тонус разгибателей ее правой передней конечности и понизится разгибательный тонус левой. Принятая поза будет обозначать готовность к устремлению своего тела вправо, потому, что для этого кошка должна будет перенести тяжесть своего тела на выпрямленную правую конечность и осуществить первый шаг расслабленной левой.

Легко теперь уяснить себе смысл воздействия центров нижней части головного мозга. Они обеспечивают принятие позы стояния, исходной позы для перемещения тела в пространстве. Эта поза при изменении положения головы относительно туловища может несколько видоизменяться в зависимости от того, какое движение предстоит.

У человека в нормальных условиях заметить все эти тонические шейные рефлексы не легко: они заторможены вышележащими нервными центрами. Торможение это необходимо, так как в противном случае любое изменение положения головы относительно туловища немедленно вызвало бы соответствующие движения мышц всего тела. В случаях же, когда влияние высших отделов головного мозга исключается, что бывает при некоторых его заболеваниях, шейные тонические рефлексы проявляются со всей отчетливостью.

Однако влияния со стороны шейных мышц на напряжение мышц тела проявляются в некоторой степени и у здорового человека. Эти влияния используются преимущественно в тех случаях, когда требуется осуществить максимальное мышечное напряжение, когда в помощь ему организм мобилизует все те механизмы, которые могут способствовать усилению напряжения. Например, при измерении силы станковым динамометром выгодно откидывать голову назад; при этом положении разгибатели спины развивают большее усилие, чем при наклоне головы вперед. Целесообразность откидывания головы назад легко усмотреть в многочисленных гимнастических и спортивных упражнениях, требующих сильного напряжения разгибателей спины и ног (например при махе назад на параллельных брусьях, при большом обороте на перекладине и т. п.). Наоборот, там, где напрягаются сгибатели туловища и ног, голова наклоняется вперед. Это наблюдается при «группировке» в акробатических упражнениях, в гимнастике — при сгибании в тазобедренном суставе (например очень трудно производить «махи» на коне при откинутой назад голове), в легкой атлетике — при прыжках в высоту «ножницами» в момент перехода через гланку и т. п. При несимметричных движениях наблюдается поворот головы в ту сторону, где напрягаются разгибатели. Это можно видеть, например, при толкании ядра, при метании копья. Для всех описанных случаев характерно то, что изменение положения головы опережает на доли секунды максимальное напряжение мышц туловища и конечностей. Голова играет в движениях в этом смысле ведущую роль, оп-

ределяя, подготавливая необходимую исходную позу тела; при соответственном положении головы благодаря рефлекторным влияниям со стороны проприорецепторов шейных мышц заранее создается перераспределение мышечного тонуса, выгодно используемое в совершаемом вслед за тем движении.

Установленные Магнусом факты относительно роли положения головы в распределении тонуса мышц туловища и конечностей имеют большое значение в вопросе о воспитании осанки. Если голова наклонена вперед, то тонус спинных мышц понижается, отчего туловище принимает сутулый вид. Наоборот, правильная прямая постановка головы вызывает рефлекторное повышение тонуса разгибателей спины, что обеспечивает поддержание туловища в выпрямленном положении.

Одним из главных центров описанных рефлексов позы, т. е. центров регуляции и распределения тонуса, являются так называемые красные ядра, расположенные в области среднего мозга. Их роль в регуляции тонуса велика и у высших животных, в том числе у человека. Воздействие красных ядер на тонус мышц осуществляется импульсами, спускающимися от красных ядер к спинному мозгу по специальному нисходящему пути — рubro-спинальному. Красные ядра осуществляют также регуляцию возбудимости мышц, влияя на величину их хронаксий.

Вестибулярный аппарат. Описанные рефлексы поясняют, как происходит образование примитивной позы. Однако в условиях связи ствола мозга только с мышечными рецепторами, само животное не может создавать этих поз. Оно может, например, стоять, но не может встать. Все это происходит потому, что для создания позы необходима ориентировка в пространстве. Необходимо, чтобы соответствующая часть мозга информировалась из специальных рецепторов о том, какое положение имеет в данный момент животное в трехмерном пространстве. Одних мышечных проприорецепторов для этого еще недостаточно, и, если мозг связан своими афферентными путями только с проприорецепторами мышц, рефлексы, замыкающиеся в нем, могут сводиться лишь к простым рефлексам позы.

Если же мы оставляем в связи с продолговатым мозгом также и нервы, идущие от внутреннего уха, картина резко меняется. Мозг обогащается большим количеством качественно новых афферентных импульсов, возникающих при любом изменении положения головы в пространстве. Это позволяет животному не только сохранять, но и принимать основные позы.

Аппаратом, воспринимающим раздражения, которые возникают при изменении положения головы в пространстве, является вестибулярный аппарат (от латинского *vestibulum* — преддверие).

Вестибулярным аппаратом называется система органов, расположенных в ушном лабиринте и служащих для восприятия положения и движения головы в пространстве. В том же ушном лабиринте помещен еще один орган — улитка, служащая для восприятия звуковых раздражений. С ее строением и функцией мы познакомимся ниже; с вестибулярным же аппаратом нам необходимо ознакомиться теперь же.

В преддверии ушного лабиринта (рис. 78) расположен так на-

плывущий отолитовый прибор, состоящий из перепончатых мешочков (овальный мешочек — «утрикулус» и круглый мешочек — «сакулус»); внутри этих мешочков имеются утолщения, представляющие собой скопление чувствительных клеток, которые являются окончаниями чувствующего вестибулярного нерва. На тонких волосках, которыми снабжены чувствительные клетки мешочков преддверия, лежат известковые песчинки — отолиты. Под действием силы тяжести отолиты давят на чувствительные



Рис. 78. Схема ушного лабиринта:

1, 2, 3—полукружные каналы, 4—ампулы, 5, 6—мешочки с отолитами, 7—улитка.

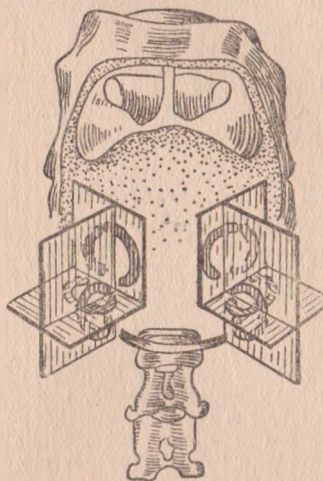


Рис. 79. Схема расположения полукружных каналов.

клетки. Сила и направление этого давления изменяются при различных положениях головы в пространстве, что чутко воспринимается чувствительными клетками и сказывается в различном характере импульсов, поступающих от них по чувствующему нерву в головной мозг. Таким образом, чувствительные клетки мешочков являются органами чувства положения головы в пространстве.

Помимо отолитового прибора, в ушном лабиринте помещаются полукружные каналы, содержащие рецепторы для ощущения движений головы. С каждой стороны имеется по три полукружных канала, расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 79). Внутренность каждого канала заполнена жидкостью — эндолимфой. В расширенных основаниях каналов — ампулах — расположены чувствительные клетки, снабженные волосками и являющиеся окончаниями чувствующего вестибулярного нерва.

Если голова занимает неподвижное положение или равномерно перемещается в пространстве, то никакого раздражения чувствующих клеток не происходит. Но при любом изменении скорости

движения головы (переход от покоя к движению, или от движения к покою, или от менее быстрого движения к более быстрому и наоборот), а также под влиянием центробежной силы (например при движении по окружности малого радиуса), словом, при различного рода ускорениях движения чувствующие клетки ампул раздражаются. Происходит это потому, что при действии ускорений изменяется (в сторону усиления или ослабления) давление эндолимфы на волоски чувствительных клеток. Благодаря тому, что полукружные каналы расположены в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, раздражение окончаний вестибулярного нерва может происходить при любом изменении движения головы в трехмерном пространстве и в первую очередь при движениях по окружности.

В спортивных упражнениях с такими движениями часто приходится сталкиваться. Например, при сальто вперед и назад, при оборотах на перекладине, при кувырках раздражения возникают преимущественно в тех полукружных каналах, которые расположены в вертикальной плоскости, проходящей в сагиттальном направлении. При движениях же типа «колесо», встречающихся в акробатике, или при упражнениях в ренском колесе раздражения возникают преимущественно в полукружных каналах, расположенных в вертикальной же плоскости, проходящей уже в фронтальном направлении. Наконец, при вращениях вокруг вертикальной оси, при поворотах, на крутых виражах раздражения возникают в горизонтально расположенных полукружных каналах. В тех случаях, когда происходят смешанные движения в различных плоскостях, раздражаются в разной степени чувствительные окончания, расположенные как в полукружных каналах, так и в мешочках преддверия.

Итак, вестибулярный аппарат является органом чувства положения и движения головы в пространстве¹. Любое изменение положения, равно как и любое изменение направления или скорости движения головы, чутко воспринимаются этим аппаратом, сигнализирующим через посредство чувствующего нерва обо всех происходящих изменениях головному мозгу.

Благодаря этим сигналам у нас возникают ощущения, позволяющие ориентироваться в пространстве, отдавать себе отчет в верхе и низе, в правой и левой сторонах. В обычных условиях в создании таких представлений участвуют импульсы, поступающие от многочисленных рецепторов — от кожных, от мышечно-суставных (проприорецепторов), от зрительных. Однако даже при условиях, когда ни кожные рецепторы, ни проприорецепторы не находятся под влиянием давлений, возникающих под действием силы тяжести, и когда исключена зрительная ориентировка в пространстве, ощущение положения и движения тела может поддерживаться одними импульсами, поступающими от вестибулярного аппарата.

¹ Точнее говоря, вестибулярный аппарат содержит только отолитовый прибор, но обычно под вестибулярным аппаратом принято понимать как отолитовый прибор, так и полукружные каналы вместе.

Роль вестибулярного аппарата в рефлекторном поддержании позы или движения мы можем отчетливо увидеть на животных, у которых сохранен только продолговатый и средний мозг, но удалены вышележащие отделы, которые могли бы оказать тормозящее влияние на течение рефлексов стволовой части. Разберем эти вестибулярные рефлексы.

Рефлекс выпрямления. При ненарушенном лабиринте животное благодаря афферентным импульсам, поступающим в головной мозг от лабиринта, устанавливает голову в основном исходном положении — теменем кверху.

Если мы выведем голову из этого положения, она сокращением шейных мышц будет стремиться вновь принять его. Это положение исходное, первоначальное. Его биологическая целесообразность очевидна. При положении головы теменем кверху все органы чувств приводятся в такое положение, которое позволяет им наиболее быстро и точно воспринять внешние раздражения. Глаза смотрят вперед, звук, идущий спереди, достигает обеих ушей одновременно, и животное может хорошо ориентироваться в направлении звука. Отверстия носа также обращены вперед, что позволяет животному скорее воспринять запахи, приходящие к нему спереди.

При положении головы теменем кверху остальное тело также стремится занять по отношению к голове нормальное положение.

Положим животное набок. Вследствие раздражения лабиринта наступит лабиринтный рефлекс — поднятие и поворот головы, устанавливающие ее в нормальное положение — теменем кверху. При этом изменении положения головы произойдет раздражение проприорецепторов шейных мышц, которое в свою очередь породит второй — шейный тонический рефлекс. Рефлекс с шеи скажется в изменениях напряжений и сокращений мышц конечностей и туловища, и животное встанет. Это и есть рефлекс выпрямления.

Статические рефлексы. Рефлекс выпрямления свидетельствует о том, что раздражения, возникающие в вестибулярном аппарате, являются источниками рефлекторного перераспределения тонуса мышц тела. Импульсы, возникающие в чувствительных клетках вестибулярного аппарата, направляются по центростремительному вестибулярному нерву в продолговатый мозг, откуда по центробежным путям идут к спинному мозгу, а от него уже непосредственно к мышцам тела.

Вестибулярный аппарат принимает большое участие в поддержании нормальной позы — статике тела, причем это участие совершается в рефлекторном порядке. Такие статические вестибулярные рефлексы сказываются в первую очередь на тонусе разгибательных мышц, т. е. преимущественно тех мышц, посредством которых осуществляется борьба тела с силой земного притяжения.

При разрушении вестибулярного аппарата тонус мышц резко падает. Чтобы обнаружить лабиринтные рефлексы в чистом виде, нужно исключить возможность проявления шейных рефлексов. Это осуществляется наложением на шею гипсовой повязки, которая фиксирует голову в постоянном положении по отношению к туловищу.

Если животное с такой повязкой положить на спину, импульсы, приходящие от лабиринта, вызовут рефлекторное усиление тонуса разгибателей, и конечности выпрямятся. Если же повернуть это животное спиной вверх, то конечности, наоборот, согнутся.

Статокинетические рефлексы. Помимо статических рефлексов, которые сводятся к перераспределению тонуса тела при определенных положениях головы в пространстве или головы относительно туловища, существуют еще статокинетические рефлексы. Эти рефлексы заключаются в том, что животное принимает определенные позы не при неподвижном состоянии, а во время своего перемещения в пространстве.

Здесь относится, например, рефлекс лифта. Если внезапно поднять животное, стоявшее до этого на земле, то его конечности подогнутся. Это сгибание конечностей (оно наступает и у нас в начале подъема на лифте) есть акт рефлекторный и вызывается раздражением отолитовых приборов вестибулярного аппарата.

Если же, наоборот, начать внезапно опускать животное, то конечности его вытянутся, вследствие противоположных рефлекторных влияний, приходящих от вестибулярного аппарата. Значение такого рефлекса понятно: животное, падая, коснется земли напряженными ногами, которые, отпружинив, защитят туловище и голову от удара.

Статокинетические рефлексы происходят также при вращении тела в различных плоскостях. Если вращать тело в горизонтальной плоскости, то вследствие раздражения чувствительных окончаний вестибулярного нерва в горизонтальных полукружных каналах наступит перераспределение тонуса. Оно сводится к усилению напряжения мышц, препятствующих данным вращательным движениям.

В этом нетрудно убедиться на простом опыте. Испытуемому предлагается совершить на месте несколько быстрых поворотов вокруг своей вертикальной оси и после этого пойти в прямом направлении. Осуществить это окажется трудным, и, если вращения совершались в правую сторону, то при ходьбе испытуемого начнет «заносить» налево. Если в это время приглядеться к походке испытуемого, то можно увидеть, что правая нога у него разгибается значительно сильнее, чем левая, вследствие чего она и отталкивает тело в левую сторону.

Этот пример показывает также, что вестибулярные рефлексы обладают значительным последствием, т. е. продолжают проявляться, когда раздражение вестибулярного аппарата уже закончилось.

Помимо указанных разнообразных рефлекторных влияний со стороны вестибулярного аппарата на тонус скелетных мышц, име-

ются еще различные рефлекторные изменения ряда других функций. Из них упомянем рефлекторные движения глазного яблока, наступающие при вращениях тела. После вращения глазное яблоко совершает ряд последовательных поворотов вправо — влево (так называемый нистагм). Эти повороты происходят вследствие попеременного усиления и ослабления тонуса антагонистических приводящих и отводящих мышц глаза. После вращений возникают также ложные ощущения — иллюзии, когда кажется, что окружающие предметы вращаются в противоположном направлении. Воздействия на вестибулярный аппарат сопровождаются также рядом вегетативных рефлексов. Наиболее ярко они проявляются в форме так называемой морской болезни. Наступающие в этом случае явления тошноты и рвоты происходят вследствие рефлекторных воздействий со стороны ритмически раздражаемого вестибулярного (в первую очередь отолитового) аппарата на центр блуждающего нерва.

Роль мозжечка в движении. Все описанные рефлексы позы, статические и статокINETические, возникающие от проприорецепторов мышц внутреннего уха, имеют свои рефлекторные центры в продолговатом и среднем мозге. Эти рефлексы животному необходимы: без них оно не могло бы принимать и поддерживать определенные положения тела в пространстве.

Однако животному приходится принимать не только те позы, которые могут быть образованы в порядке описанных проприорецептивных рефлексов. Подчас для принятия какой-нибудь новой, не менее необходимой позы нужно, наоборот, подавить рефлексы стволовой части мозга.

Предположим, в условиях борьбы животное защищается лапами, лежа на спине. Рефлексы с лабиринта вызвали бы здесь только разгибание конечностей, в то время как импульсы с коры мозга поспешают в какой-то момент произвести сгибание. Разгибательный рефлекс должен быть подавлен, чтобы мог осуществиться другой, в данный момент более целесообразный, защитный сгибательный рефлекс.

Это подавление рефлексов стволовой части мозга и координация, регуляция их осуществляются со стороны мозжечка, от которого отходят нервные пути к мозговому стволу.

Если удалить мозжечок, то собака может стоять, но недостаточно устойчиво: животное качается из стороны в сторону, потому что малейшее отклонение тела в одну сторону вызывает проприорецептивный рефлекс с растягиваемых мышц другой стороны, отчего собака сразу перемещает центр тяжести на противоположную сторону. Это движение вызовет опять в рефлекторном порядке противоположное и т. д. Такое нарушение статики называется астазией.

Безмозжечковая собака перемещается, ставя конечности очень неточно, недостаточно соизмеряя силу и размах движений, опять-таки потому, что все рефлексы, сочетаясь при ходьбе, бесконтрольны и недостаточно взаимно увязаны, они недостаточно координированы. Такая несообразность движений называется атаксией.

Движения такого животного чрезмерно обильны, оно совершает множество

ненужных движений, отчего быстро устает. Мышечный тонус у него не распределяется достаточно точно и равномерно, что, естественно, исключает возможность как сохранения нормальной спокойной позы, так и совершения правильно направленных движений.

Все эти нарушения отсутствуют при сохранности у животного мозжечка, и движения совершаются точно и согласованно, даже несмотря на отсутствие больших полушарий головного мозга.

Следовательно, роль мозжечка как органа, регулирующего, координирующего протекание самых разнообразных рефлексов, замыкающихся в области ствола головного мозга, чрезвычайно велика.

Эта мозжечковая регуляция столь же произвольна и автоматична, как и сами рефлексы, которые координирует мозжечок. Мозжечок связан афферентными путями (боковые столбы спинного мозга, см. рис. 70) с проприорецепторами мышц тела, что и обеспечивает его координирующее значение.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ТЕЛА В ПРОСТРАНСТВЕ

В предыдущем изложении мы ознакомились сначала с простейшими двигательными рефлексам. То были движения, не связанные с определенной позой. Все они, включая даже такие движения, как ритмические, подобные шагагельным, движения ног, могли совершаться почти при любой позе, приданной обезглавленному животному. Нам уже известны и те механизмы, которые обеспечивают животным возможность принимать определенную позу и, в первую очередь, позу стояния. Наконец, мы ознакомились с теми органами, благодаря которым животное может правильно ориентировать свое тело в пространстве.

Осталось теперь рассмотреть, как объединяются все эти механизмы для создания сложного двигательного акта, требующего и ритмических движений конечностей, и определенных положений головы и туловища, и ориентировки в пространстве. Таким актом является передвижение всего тела в пространстве, или так называемая локомоция (от латинских слов: *локус* — место, *моцион* — движение). Основными видами локомоций являются поступательные перемещения тела — ходьба, бег, прыжки.

Для переместительных движений недостаточно одной мышечной и кожной чувствительности, как недостаточно и одной вестибулярной чувствительности. Для этого необходимо объединение всех этих видов афферентных импульсов в единое целое, необходим синтез их.

В пределах продолговатого и среднего мозга все эти импульсы еще не объединяются, и поэтому животное, лишенное вышележащих отделов мозга, не в состоянии активно перемещаться. Нужен еще отдел мозга, в котором бы собирались все афферентные пути тела. Такой областью является промежуточный мозг. Оттуда все многообразные качественно различные импульсы на-

правляются в кору больших полушарий, где, как мы увидим дальше, совершается высший анализ их и возникают ощущения. Однако, помимо коры больших полушарий, промежуточный мозг (в частности зрительные бугры) связан также с нервными образованиями, лежащими ниже этой коры, — с подкорковыми ядрами, так называемыми полосатым и бледными телами.

Последние у большинства животных и играют роль тех нервных центров, которые управляют переместительными движениями — локомоциями. Импульсы от этих центров идут к красному ядру, откуда по нисходящему рubro-спинальному пути направляются в спинной мозг.

У человека для осуществления локомоции необходимо участие и более высоких отделов мозга — больших полушарий, в частности центральной извилины (см. рис. 80). Предполагают, однако, что при высокой степени автоматизации ходьбы главные управления этим видом движений, совершаемых полубессознательно, перемещаются ниже, в подкорковые ядра.

Получая импульсы от высшего афферентного центра — промежуточного мозга, подкорковые ядра направляют свои эффекторные импульсы уже в точном соответствии со всеми событиями, происходящими в организме. Движения от этого становятся неизмеримо богаче, основные простейшие движения сопровождаются большим разнообразием содружественных вспомогательных движений.

Человек, у которого вследствие заболевания поражены подкорковые ядра, может ходить, однако руками при этом не машет; движения рук при ходьбе являются вспомогательными движениями, зависящими от функций подкорковых ядер. В ходьбе таких людей трудно обнаружить индивидуальные различия; у нормального же человека есть своя, присущая ему походка, зависящая от подчас неуправляемых дополнительных движений мышц тела. Подобно тому как дополнительные звуковые колебания окрашивают основной звуковой тон в тембр звучащего инструмента, и функция подкорковых ядер придает индивидуальную и тонкую «окрашенность» движениям человека. При поражении подкорковых ядер лицо больного крайне невыразительно, маскообразно. Лишь благодаря связи подкорковых ядер с промежуточным мозгом, в который вступают центростремительные пути также от вегетативных органов, движения мышц приобретают выразительность, эмоциональную окрашенность, создается мимика.

ТОЧНОСТНЫЕ ДВИЖЕНИЯ

Проследивая все возрастающую сложность двигательных актов, мы видели, какое значение имеют при этом афферентные импульсы. Чем последние беднее, тем ограниченнее и двигательные возможности животного. Все большее обогащение афферентными путями центральной нервной системы и объединение афферентных импульсов в единый комплекс ощущений связано с все более высокими этажами мозга и со все более сложными двигательными актами.

До сих пор речь шла о тех видах афферентных импульсов,

которые притекают в нервные центры от чувствующих аппаратов кожи, мышц и сухожилий, от ушного лабиринта. Все это создает тот необходимый минимум афферентных сигналов, который обеспечивает возможность принятия поз, производства простейших движений и, в лучшем случае, — передвижений тела.

Но передвижения тела крайне несовершенны при отсутствии еще одной афферентной системы, а именно — зрительной. Конечно, вслепую можно идти, бежать и даже совершать прыжки, однако крайне трудно, а подчас и невозможно точно соразмерить размахи и направление этих движений. Тем более невозможно совершать в этих условиях движения, специально требующие точности: перепрыгнуть через планку, метнуть снаряд в определенном направлении и на определенное расстояние и т. п. Иначе говоря, точностные движения в пространстве требуют обязательно зрительного контроля. А это возможно лишь при участии еще более высоких, чем описанные в предыдущем разделе, отделов головного мозга, т. е. при участии коры мозга, в частности затылочной ее части, где расположены зрительные области. Двигательные же импульсы поступают при точностных движениях из двигательной области коры (центральной извилины), а также от подкорковых ядер. Последние, однако, играют в этом случае уже не столь самостоятельную роль, как при простых локомоториях, а значительно более подчиненную.

ПРЕДМЕТНЫЕ ДЕЙСТВИЯ

Если при рассмотрении простейших рефлекторных движений и поз можно было проводить сопоставление движений животных с движениями человека, то переход к точностным движениям почти исключает это сопоставление. Точностные движения, связанные с перемещениями (например метаниями) предметов, требующими специальных движений рук, встречаются кроме человека только у обезьян. Развитие верхних конечностей у человека, присущие только ему сложные трудовые процессы привели к тому, что многообразные и сложные движения человека не могут быть сравнимы с движениями любых других представителей животного мира. Богатство и разнообразие движений человека несомненно связано со сложностью строения высших отделов головного мозга, в первую очередь коры. Человек не только совершает движения, но совершает их сознательно, преследуя при этом определенную цель. В большинстве своих действий он имеет дело с различными предметами, инструментами. Смысл здесь имеет не самое движение, а та конечная цель, которая при этом ставится; движения являются в данном случае лишь средством к достижению цели. Такие целенаправленные двигательные действия, имеющие определенное смысловое содержание, называются предметными действиями. Они уже требуют участия более высоко организованных отделов коры головного

мозга, в первую очередь того участка ее, который расположен в лобных долях, впереди от двигательной области — центральной извилины (так называемая премоторная область).

Понятие о предметном действии может быть иллюстрировано следующим примером. У раненого бойца-снайпера оказалась поврежденной премоторная область коры мозга. Этот раненый мог совершать самые разнообразные движения — от простых до весьма сложных. Например, когда ему давали в руки винтовку, он брал ее привычным правильным жестом. Он мог открыть затвор, мог вложить патрон, нажать спусковой крючок. Вместе с тем он беспомощно пертел оружие и трогал с недоумением его части, когда ему давался словесный приказ «зарядить винтовку» или «поразить цель». Он владел, следовательно, всеми движениями, необходимыми для выполнения задания, но от него ускользала смысловая сторона этих движений. Он мог совершать движения, но не мог совершить предметного действия. Такое заболевание носит название *апраксии*.

КОРА БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ

В предыдущем изложении неоднократно упоминалось о коре больших полушарий, ее роли в движениях и об отдельных зонах коры. Ознакомимся с ней несколько подробнее.

Большие полушария головного мозга, достигающие у человека наибольшего по сравнению со всеми животными развития, являются высшим отделом центральной нервной системы, без которого невозможны произвольные движения и сложная психическая деятельность человека.

Наружный слой (кора) больших полушарий, имеющий множество борозд и извилин, значительно увеличивающих его поверхность, состоит из послойно расположенных многочисленных нервных клеток, связанных как одна с другой, так и с другими, нижележащими отделами центральной нервной системы.

Микроскопическое изучение коры показало неоднородность ее строения на всем протяжении. По форме клеток, их взаимному расположению, характеру слоев корковый слой больших полушарий может быть разбит на множество участков (полей). Различие этих полей, однако, заключается не только в их строении, но также и в их функциях. Это было подтверждено опытами с удалением отдельных участков коры, сведениями, которые дает клиника нервных болезней, опытами с электрическим раздражением корковых зон и анализом отводимых от них токов действия. Все это привело к заключению, что различные физиологические функции представлены (локализованы) в определенных зонах коры больших полушарий. Так, например, затылочные доли коры имеют непосредственное отношение к функции зрения: туда подходят нервные пути, начинающиеся с сетчатки глаза. Удаление этих долей исключает возможность анализировать зрительные впечатления, разбираться в видимом.

Височные доли коры имеют отношение к функции слуха. Их удаление нарушает анализ слуховых впечатлений.

К двигательной функции относится отдел коры, представленный передней центральной извилиной (рис. 80). От гигантских пирамидных клеток, находящихся в этом отделе коры, отходят нервные пути к спинному мозгу (пирамидные пути), сканчивающиеся в двигательных клетках передних рогов спинного мозга.

Через посредство этих пирамидных путей различные участки передней центральной извилины сообщаются со всеми мышечными группами скелета.



Рис. 80. Двигательная зона коры.

Если раздражить электрическим током верхнюю часть передней центральной извилины, то сократятся мышцы задних конечностей. При раздражении нижней части двигательной зоны коры в движение придут передние конечности. Следовательно, каждая мышечная группа тела имеет как бы свое центральное представительство в коре, именно в двигательной, моторной зоне ее.

Пирамидные пути при своем прохождении от коры к спинному мозгу перекрещиваются. Вследствие этого левое полушарие иннервирует правую половину тела, а правое — левую.

Посредством коры больших полушарий осуществляется контроль и регулирование деятельности всех тех подкорковых участков, о которых шла речь в предыдущих разделах этой главы. Все движения, которые обусловлены деятельностью этих отделов, могут совершаться без участия нашего сознания. Выполнение же произвольных, сознательных движений вызывается импульсами из коры больших полушарий, двигательной ее зоны, от которой эти импульсы направляются к периферии по пирамидным путям. Вся остальная система нервных центров головного мозга, руководящая произвольными движениями и лежащая вне пирамидного пути, называется экстрапирамидной системой.

Так же как и экстрапирамидная система, двигательная зона коры связана с афферентными путями, несущими чувствующие импульсы с периферии, что обеспечивает правильную направленность эффекторных импульсов, идущих по пирамидным путям. Одни из важнейших афферентных путей — проприорецептивные пути — поступают в большие полушария поблизости от двигательной их зоны в заднюю центральную извилину. Эти проприорецептивные пути впадают в большие полушария после прохождения че-

рез область промежуточного мозга — зрительные бугры. Таким образом, все движения человеческого тела происходят при совместной деятельности коры больших полушарий (пирамидной системы) и всей совокупности центральных нервных образований, составляющих экстрапирамидную систему, — подкорковых ядер (полосатого и бледного тел) и среднего мозга.

Деятельность всех эффекторных двигательных центров протекает под непрерывным контролем и воздействием афферентных импульсов, видоизменяемых и анализируемых соответствующими отделами той же центральной нервной системы.

Как уже неоднократно указывалось, целый ряд сложных рефлекторных движений может совершаться у многих животных даже при удалении у них больших полушарий. Такие произвольные движения (и не только движения, но и многие другие вегетативные рефлекторные акты) являются врожденными и рефлексами, унаследованными животными от их предков. Движение же и другие действия, развившиеся уже в процессе индивидуальной жизни данного животного, совершаются обязательно при участии коры больших полушарий.

УСЛОВНЫЕ РЕФЛЕКСЫ

Новые навыки, вырабатывающиеся на протяжении жизни данного животного, — это тоже рефлексы, выработанные на основе приобретенных безусловных рефлексов. Такие приобретенные рефлексы, в образовании которых принимает непосредственное участие кора, названы академиком И. П. Павловым условными рефлексами. Удаление коры сопровождается полным выпадением всех условных рефлексов, всех навыков, приобретенных в процессе индивидуальной жизни животного.

Механизм образования условных рефлексов лучше всего выясняется из классических опытов Павлова со слюнной железой.

Слюнный проток у собаки выводится оперативным путем наружу, и вырабатываемая слюна собирается в пробирку, приклеенную к наружному выходному отверстию протока.

Собаке дают пищу. Попавшая в рот пища раздражает рецепторы слизистой рта, возбуждение от рецепторов направляется в центр, оттуда по центробежным нервам — к слюнной железе, что вызывает секрецию слюны. Это — безусловный слюноотделительный рефлекс.

Одновременно с кормлением собаки производится какое-нибудь раздражение, не имеющее к еде никакого отношения, например звуковое (звонок).

Каждый раз, когда происходит кормежка, одновременно с ней дается это звуковое раздражение. После нескольких таких сочетаний дают звуковое раздражение, не подкрепляя его пищевым. Несмотря на то, что полость рта ничем не раздражалась, слюна при этом все же отделяется. Отделение слюны и в этот раз тоже

рефлекторное, но теперь это уже не безусловный, а условный рефлекс. Для выработки его необходимо определенное условие: действие условного, бывшего до этого индифферентным (безразличным), раздражителя должно совпадать во времени или несколько предшествовать действию безусловного.



Рис. 81. Схема условного рефлекса:

1 — путь зрительного восприятия, 2 — временная связь между нервными центрами, 3 — путь безусловного слюноотделительного рефлекса.

Механизм образования этого условного рефлекса можно представить себе следующим образом (рис. 81).

При действии безусловного раздражителя каждый раз возбуждается слюноотделительный центр. Если в это же время действует звуковое раздражение, то возбуждение, возникшее в слуховых рецепторах, передаваясь через первые пути к коре, вызывает возбуждение в определенных слуховых центрах ее. Если оба эти центра — слюноотделительный и слуховой — возбуждаются

одновременно, то между ними возникает временная связь и возбуждение от одного передается к другому. Если мы после этого производим только одно звуковое раздражение, то оно, вызывая возбуждение центра слуха, обуславливает передачу этого возбуждения к центру слюноотделения, откуда по нервам оно передается к слюнной железе, вызывая ее секрецию.

Угасание рефлекса. Связь этих двух центров временная, и, если после установления этой связи мы действуем все время только одним условным раздражителем, не подкрепляя его безусловным, то она прерывается. Действие условного раздражителя оказывается все меньшим, количество отделяемой слюны все уменьшается, пока слюноотделение в ответ на условное раздражение совсем не прекратится. Это явление называется **угасанием рефлекса**.

Дифференцировка (различение). В начале выработки условного рефлекса слюноотделение получается не только при действии звука данной частоты, например тона «до», но и других звуков, других частот и тембров. Возбуждение при действии звукового раздражителя распространяется по всей слуховой зоне коры, и каждый участок ее оказывается функционально связанным с слюноотделительным центром. Такое распространение возбуждения называется **иррадиацией**.

Однако, если действие условного раздражителя (тона «до») всегда подкрепляется безусловным (пищей), а действие остальных звуковых раздражителей не подкрепляется, то возбуждение все более концентрируется, и в конце концов слюноотделение происходит только при действии данного раздражителя (тона «до»), но не происходит при действии звуков другого тона.

Это и есть **дифференцировка (различение) условных раздражителей**. Мы «научили» собаку различать тоны близкой друг к другу частоты.

Процесс дифференцировки условных раздражителей связан с процессом торможения. Лишь затормаживая возбуждение других слуховых нервных центров,

удается концентрировать возбуждение в одном из них. Процесс торможения лежит также в основе угасания рефлекса. Угасание есть, по Павлову, торможение условного рефлекса.

Индукция. Если во время действия условного раздражителя внезапно подействует другой, новый раздражитель, то условный рефлекс не получается. Объясняется это тем, что возбуждение, родившееся в одной точке коры, воспринимающей это новое раздражение, обусловило развитие торможения в других точках ее, в частности в той, которая должна была передать возбуждение к безусловному центру от условного раздражителя. Это явление называется индукцией (наведением). Оно весьма сходно с тем, что происходит в центрах антагонистов. Там возбуждение одних нервных центров также индуцирует торможение в антагонистических центрах.

Условные рефлексы второго порядка. Если после выработки условного рефлекса присоединить к условному раздражителю другой, до этого не употреблявшийся, то после некоторых повторений этот добавочный раздражитель также станет условным раздражителем. Это значит, что он будет теперь вызывать условный рефлекс даже при отсутствии первичного условного раздражителя. Такой условный рефлекс, который выработан на фоне условного же, называется условным рефлексом второго порядка.

Разнообразие условных рефлексов. Условным рефлексом может стать раздражение любого рецептора. Так, например, можно выработать условнорефлекторное слюноотделение в ответ на прикосновение, давление, на температурное и даже болевое раздражение любого участка кожи, на электрическое раздражение покровов, нервов и мышц, на любое слуховое, зрительное, обонятельное раздражение и на раздражения проприорецепторов.

Для иллюстрации последнего приведем пример. Подкармливая собаку, ей сгибают ногу (исключив при этом раздражение кожи). Через несколько сочетаний одно сгибание ноги будет вызывать слюноотделение. Раздражаемым рецептором здесь являлись проприорецепторы ноги, раздражителем — самое движение конечности. С другой стороны, в порядке условного рефлекса могут работать все те органы и ткани, которые иннервируются центробежными нервами. Условнорефлекторно могут работать и все железы, сокращаться — все мышцы, сужаться и расширяться — сосуды, изменять свою деятельность — сердце, дыхательные мышцы, кишечник и т. п.

Учение Павлова об условных рефлексах сыграло большую роль в понимании основных законов деятельности высших отделов центральной нервной системы — коры больших полушарий. Оно объясняет, как на основе врожденных безусловных рефлексов возникают в процессе индивидуальной жизни новые, более сложные рефлексы, как образуются и закрепляются новые навыки, обеспечивающие все более сложное и совершенное взаимодействие организма с окружающим его миром.

Обогащение двигательными навыками, приобретаемыми человеком в процессе его жизни, в значительной мере основывается на механизме образования усложняющихся условнорефлекторных связей. Благодаря учению об условных рефлексах становится более понятным, как на фоне уже существующих двигательных координаций вырабатываются новые. К тем раздражителям (проприоре-

цептивным и иным), которые сопровождают одно какое-нибудь привычное движение, присоединяются раздражители от нового дополнительного движения. По мере повторения этих движений закрепляются связи между соответствующими центрами. Сначала возбуждение еще не концентрируется в определенных нервных центрах, оно иррадирует на соседние, отчего в движение вовлекается дополнительная мускулатура, совершаются лишние движения. Однако с течением времени, по мере того как побочные раздражения от дополнительной мускулатуры тормозятся (этот процесс может быть ускорен тщательным наблюдением со стороны обучающего и самого исполнителя, стремящихся к тому, чтобы повторялись лишь нужные движения), происходит концентрация импульсов уже на более узком участке нервных центров. Движение становится все более отшлифованным, координированным.

Учение об условных рефлексах поясняет также, почему необходимо постоянное повторение разучиваемых и даже уже разученных движений и почему большие перерывы в тренировке вредны. Условный рефлекс, как мы знаем, не будучи подкрепляем, угасает, образовавшиеся условные связи нарушаются, и после большого перерыва их нужно создавать вновь. Понятно также, почему необходимо следить все время за правильной техникой движений, за правильным выполнением отдельных приемов. При повторении неправильных движений образовавшиеся условные связи могут закрепиться, а чем прочнее они становятся, тем труднее их угасить. В слитном движении все его элементы, все фазы связываются в трудно разрываемую рефлекторную цепь. Поэтому, если в разученном и закрепившемся уже целостном движении имеется какой-нибудь неправильный элемент, то вычленив его и заменить правильным представляет подчас очень большие трудности. Иногда бывает легче вновь разучить все движение в целом, следя за тем, чтобы вся комбинация отдельных составляющих его фаз совершалась с наибольшей правильностью.

Понятно также, почему урок должен протекать при максимальном сосредоточении на разучиваемых движениях, чтобы не возникали никакие дополнительные раздражения, кроме тех, которые в данном случае необходимы. Внезапное внешнее раздражение, возникшее в момент образования новых условнорефлекторных связей, может вызвать торможение, нарушение этих связей.

Из всего сказанного нельзя делать вывод, что процесс обучения движениям и совершенствование техники движений сводится целиком к образованию двигательных условных рефлексов. Условный рефлекс есть основной механизм деятельности коры мозга, но к одним условным рефлексам не сводится все многообразие, вся сложность высшей нервной деятельности человека и в первую очередь его сознание, его мышление. Роль же сознания в овладении техникой движений огромна.

ГЛАВА XII

ОРГАНЫ ЧУВСТВ

Органы чувств — рецепторы — являются специализированными окончаниями чувствующих нервов. Как уже указывалось (стр. 157), рецепторы делятся, по Шеррингтону, на три группы: экстерорецепторы, воспринимающие внешние раздражения, и интерорецепторы, воспринимающие раздражения, возникающие во внутренних органах, и проприорецепторы, воспринимающие раздражения, возникающие в мышцах и сухожилиях и в лабиринтном (вестибулярном) аппарате внутреннего уха.

Под собственно органами чувств чаще понимаются экстерорецепторы — кожные, обонятельные, вкусовые, слуховые и зрительные, а также проприорецепторы.

Раздражения, падающие на органы чувств, вызывают возбуждение их. Передаваясь по центrostремительным нервам в головной мозг, это возбуждение вызывает у нас ощущения.

Благодаря рецепторам и ощущениям, возникающим при их раздражении, мы знакомимся с окружающей нас средой, которая в виде разных форм энергии — тепловой, лучистой, механической, химической — воздействует на органы чувств.

Различают следующие виды ощущений: тепла и холода, прикосновения и давления, боли, вкуса, обоняния, слуха, зрения и так называемого мышечно-суставного чувства (проприорецептивная чувствительность).

Прежде чем перейти к описанию отдельных органов чувств и ощущений, остановимся на тех процессах, которые являются общими для всех видов рецепций.

Значение органов чувств в деятельности центральной нервной системы и в двигательных актах. Значение органов чувств в нормальной деятельности организма исключительно велико. Чтобы уяснить себе это значение, достаточно представить себе организм, лишенный всех видов чувствительности, всех видов рецепции. В таком организме окажется совершенно исключенной вся нервная регуляция его функций, выключится и общение его с внешним миром. Казалось бы, взаимодействие органов может поддерживаться в таком случае одной гуморальной регуляцией; однако, ввиду того что органы внутренней секреции также находятся под влиянием нервной регуляции, то и гуморальная окажется нару-

шенной. Ясно, что существование такого «безрецепторного» организма невозможно, и случаев, когда у высших животных исключены все виды рецепций, в природе не бывает. Случай же, когда одновременно поражены несколько видов внешней чувствительности, встречаются. Один из них описан Штрюмпелем. Его пациентка была лишена многих видов чувствительности и общалась с внешним миром только через посредство одного глаза. Достаточно было закрыть глаз, т. е. выключить этот единственный рецептор, как больная тотчас погружалась в глубокий сон. Следовательно, деятельное состояние нервных центров непрерывно поддерживается афферентными импульсами, поступающими к ним от рецепторов тела. Это еще раз подтверждает, что вся деятельность нервных центров есть рефлекторная деятельность. Рефлекс же в условиях выключения афферентной части его дуги невозможен.

Все сказанное в полной мере относится и к вопросу о значении рецепции в движении. Нужно сказать, однако, что значение различных видов рецепторов в двигательном акте не одинаково. У человека, например, сбоятельная и вкусовая рецепции не играют заметной роли в движении. Сравнительно невелика также роль слуховых восприятий, если речь не идет о двигательных реакциях в ответ на звуковые раздражения. Выключение зрения уже сильно сказывается на движениях, однако преимущественно тех, которые связаны с быстрыми перемещениями всего тела в пространстве и с преодолением препятствий. Многие же другие движения, подчас исключительно точные, могут при выключении зрения, по сохранности остальных видов чувствительности (главным образом проприорецептивной и кожной), осуществляться с большим совершенством, о чем свидетельствуют ручной труд слепых и отдельные случаи проявления высокого мастерства слепых скульпторов. При выключении вестибулярной чувствительности выпадает ориентировка в пространстве, что, однако, часто может компенсироваться зрением. Поражение же мышечной проприорецептивной чувствительности может компенсироваться остальными видами рецепции лишь в очень слабой степени. Точная согласованность, координированность движений при выключении проприорецептивной чувствительности невозможна, как бы совершенно ни работали остальные органы чувств. Правильное движение может совершаться только в том случае, если двигательные центры находятся под влиянием импульсов, которые поступают к ним по афферентным путям от мышц и сухожилий и сигнализируют о всех изменениях в напряжении мускулатуры и расположении суставов, происходящих по ходу совершения движения.

Богатство и разнообразие рецепций необходимо для двигательных функций нормального человеческого организма, и нельзя говорить о том, что в целом организме при совершении им каких-либо определенных движений полностью выключаются отдельные виды рецепторов.

Можно, однако, подойти к спортивным движениям с точки зрения того, какие виды рецепторов в них участвуют по преимуществу, каков необходимый минимум рецепций для осуществления данного вида спортивного упражнения. Например, простое ритмическое поднимание и опускание гантелей происходит преимущественно за счет мышечно-суставных проприорецепторов, для сложного же рывка штанги необходима и вестибулярная рецепция. Перемещение в пространстве, ходьба и даже бег возможны при выключенном зрении, но для преодоления препятствий, например для прыжка через планку, оно необходимо. В борьбе преимущественное значение имеют кожная, мышечно-суставная и вестибулярная рецепции, в боксе же и фехтовании — вестибулярная и, в особенности, кожная рецепции имеют уже относительно меньшее значение, но зато исключительно высокие требования предъявляются к точности зрительных восприятий. Однако, если в последнем случае речь идет по преимуществу о зрительных восприятиях близких предметов, то в спортивных играх, совершаемых на большом пространстве, требуется точное видение предметов более отдаленных.

Все это говорит о том, что занятие разнообразными спортивными упражнениями имеет большое значение в развитии и совершенствовании множества рецепторных функций, что и определяет в очень большой степени развитие и совершенствование двигательных способностей спортсмена.

Специализация органов чувств. Органы чувств обладают очень большой возбудимостью, однако лишь к определенным видам раздражителей.

Строение каждого органа чувств специально приспособлено к восприятию лишь тех раздражений, которые осуществляются определенными видами энергии, специфичными для данного органа. Раздражители, которые обладают избирательным, специфическим воздействием на органы чувств, называются адекватными. Так, например, адекватным раздражителем для глаза является свет, для уха — звук, для органов обоняния — химические вещества в газообразном состоянии, для органов вкуса — химические вещества в растворе; механическая энергия является раздражителем одних кожных рецепторов, другие кожные рецепторы раздражаются тепловой энергией.

Возбуждение органов чувств может быть вызвано и другими, так называемыми инадекватными раздражителями, и ощущение, возникающее при этом, может оказаться таким же, как и от адекватного раздражителя. Например, резкое механическое или электрическое раздражение, нанесенное на зрительный рецептор или зрительный нерв, вызывает ощущение вспышки света, электрическое раздражение вкусовых окончаний вызывает ощущение вкуса, внезапное действие тепла на холодные точки кожи вызывает ощущение холода и т. п. Это, однако, не значит, что любое ощущение может быть вызвано любым раздражителем, потому что только по отношению к адекватному раздражителю орган чувств имеет низкие пороги (большую возбудимость), а также и потому, что самое устройство органа чувств исключает подчас возможность раздражения его каким-либо иным раздражителем. Зрительный рецептор, например, возбуждается ничтожными количествами световой энергии, но совершенно нечувствителен к звуковым колебаниям. С другой стороны, ни один из органов чувств, кроме глаза, не воспринимает действия световых волн, потому что энергия света для других органов чувств является слишком ничтожной силой раздражителя. Поэтому инадекватным раздражителем для данного органа чувств является не всякий раздражитель. Лишь электрический ток и механическая энергия обладают довольно широким инадекватным действием, но не столько на слуховые органы чувств, на самые рецепторы, сколько на отходящие от них чувствующие нервы.

Порог раздражения и порог различения. Каждый орган чувств начинает отвечать на действие адекватного раздражителя лишь тогда, когда последний достигнет некоторой силы. Это «правильно порога» является, как мы знаем, общим для всех возбудимых тканей. Характерным же для рецепторов является то, что пороги их для адекватных раздражителей чрезвычайно низки. По отношению к ним раздражающим действием могут обладать ничтожные количества энергии, лежащие далеко ниже порога возбудимости нервных стволов.

Если повышать силу раздражения органов чувств, то усиливается и ощущение, т. е. усиливается наше восприятие этого раздражения. Однако, как показали Вебер и Фехнер, ощущение возрастает не в той же степени, в какой возрастает раздражение.

Прделаем такой опыт. Предложим испытуемому, стоящему с закрытыми глазами, удерживать в руке груз, скажем, в 2 кг. Будем незаметно подвешивать дополнительные грузики, попросив испытуемого сообщать, почувствовал он прибавку в весе или нет. Предположим, что он обнаружил увеличение веса груза лишь тогда, когда добавлено было 100 г. Это есть его порог различения.

Теперь предложим держать груз весом 4 кг. Добавим к нему прежние 100 г. Мы обнаружим, что эта добавка лежит ниже порога различения, потому что испытуемый ее не почувствовал. Обнаружит же он прибавку только тогда, когда она достигнет 200 г. Точно так же при исходном весе груза 6 кг, недостаточной для различения окажется добавка не только 100 г, но и 200 г, и различимой станет добавка лишь 300 г и т. д.

Следовательно, порог различения здесь не абсолютный, а относительный и зависит от исходной, первоначальной величины раздражителя. При исходном грузе в 2 кг он равнялся 100 г, при 4 кг — 200 г, при 6 кг — 300 г. Отношение же 100 : 2000 равно 200 : 4000, равно 300 : 6000 и т. д.

Выразив исходную величину раздражения через I , а прирост его, необходимый для ощущения различия в весе, через ΔI , мы получим:

$$\frac{\Delta I}{I} = K,$$

где K — постоянная. Для нашего случая эта постоянная равнялась $100 : 2000 = 0,05$.

Этот уравнением выражается в общей форме закон Вебера, гласящий, что относительные пороги различения есть величина постоянная, не зависящая от величины раздражения.

Этот закон и его математическое выражение несколько изменены и уточнены Фехнером, почему закон и носит имя обоих этих ученых.

Закон Вебера-Фехнера применим для средних по величине раздражителей. При очень малой или очень большой исходной величине раздражителей постоянство отношения различаемого прироста к начальной величине нарушается.

Передача возбуждения от рецепторов в центры. Возбуждение, возникшее в рецепторах, передается в центральную нервную систему посредством нервов. Обнаружено, что при раздражении любого рецептора в центростремительных нервах возникают токи действия — короткие волны возбуждения, пробегающие с тем большей частотой, чем сильнее раздражение. Следовательно, чувствующий нерв есть только проводник возбуждения, причем различные ощущения, возникающие в высших нервных центрах, зависят от

частоты притекающих к ним по нервам от органов чувств импульсов. Как именно возникают качественно различные ощущения в высших нервных центрах, нам неизвестно.

Адаптация. Яркость наших ощущений особенно велика при внезапном действии раздражителя на органы чувств. Если же раздражение действует длительное время, то мы, начиная привыкать к нему, воспринимаем его все менее остро. Этот процесс приспособления к силе раздражителя называется адаптацией. Адаптация происходит не только в нервных центрах, но и в самих рецепторах. Установлено, например, что при длительном действии раздражителя на рецептор тока действия, возникающие при его возбуждении, сначала довольно частые, постепенно становятся более редкими. Следовательно, самые органы чувств адаптируются (приспосаблиются) к долго действующему раздражителю и посылают более слабые импульсы в нервные центры, отчего понижается и острота ощущений.

Адаптация свойственна всем органам чувств (кроме проприорецепторов). Приведем примеры. Опустив руку в теплую воду, вначале мы ощущаем тепло ее, но постепенно это ощущение уменьшается. Температура воды кажется нам безразличной. Перенеся руку в воду более прохладную, мы ощутим ее как холодную, несмотря на то, что раньше температура ее казалась безразличной. Спустя некоторое время, однако, произойдет приспособление и к этой температуре, вода перестанет нам казаться холодной. Все это — явления адаптации к температуре (к теплу или холоду).

Если производить постоянное давление на кожу, то ощущаем мы его тоже только вначале. Постепенно мы перестаем его ощущать, забываем о нем. Отмечена также адаптация к боли.

Подобные же явления происходят и с чувством обоняния (привыкание к запаху), вкуса, со слухом, зрением. Примеры адаптации этих органов чувств читатель всегда сможет почерпнуть из своего жизненного опыта. На анализе адаптации к свету и темноте мы еще остановимся специально при разборе зрения.

Перейдем теперь к разбору отдельных видов рецепции.

КОЖНЫЕ ЧУВСТВА

В коже находятся различные рецепторы, служащие для восприятия тепла и холода (температурная чувствительность), прикосновения и давления (тактильная чувствительность) и боли. Рассмотрим их в отдельности.

Чувство тепла и холода. Нагрев тонкую стеклянную палочку, будем прикасаться ею к различным участкам кожи, например к тыльной стороне кисти. Мы обнаружим, что тепло ощущается не во всех точках кожи, а в некоторых. Отметим эти точки на участке кожи площадью 1 см². Теперь будем прикасаться к коже холодной палочкой. Мы заметим, что холод воспринимается уже

другими точками кожи, причем холодových точек окажется приблизительно в 8 раз больше, чем тепловых. Этот опыт доказывает, что имеются специальные рецепторы, воспринимающие тепловые раздражения, и отличные от них рецепторы, воспринимающие раздражения холодových. Чувства тепла и холода хотя и различны, но относительно сравнительно с температурой кожи.

Холодовое раздражение есть такое, когда температура раздражителя ниже температуры кожи.

Точек холода на поверхности тела человека приблизительно 250 тыс., тепловых же точек около 30 тыс.

Температурная чувствительность неодинакова в различных участках тела. Например, веки, щеки, бока туловища отличаются высокой чувствительностью; менее развита чувствительность на покрытой волосами части головы и на подошвах. Некоторые участки тела, например кожа предплечий, почти совсем лишены холодových точек.

Ощущение температуры зависит также от величины раздражаемой поверхности; вода 37° кажется всей кисти руки теплее, чем вода 40° одному пальцу. Вероятно, здесь играет роль процесс суммации возбуждения.

Чувство прикосновения и давления. Касаясь тонким волоском различных участков кожи, мы обнаруживаем, что не все участки воспринимают это прикосновение. На коже, не покрытой волосами, на 1 см^2 приходится в среднем 100 точек, воспринимающих прикосновение, причем на различных участках тела количество их различно. Так, например, на ладонной поверхности кисти их находится 12—41 на 1 см^2 , а на мякоти большого пальца 11—135 на 1 см^2 . На покрытой волосами коже точками, воспринимающими прикосновение, являются все участки прикрепления волос.

Под прикосновением понимается обычно касание к точке кожи, под давлением же — касание к целой поверхности. При этом происходит вдавливание кожи, которое передается на подкожные слои. Предполагают, что прикосновение воспринимается поверхностью кожи, давление же — более глубокими слоями ее. Вероятно, это тоже два различных чувства, потому что при патологических поражениях или экспериментальных условиях удавалось наблюдать сохранение одного вида чувствительности при выпадении другого. Ряд авторов, однако, считает, что давление есть более сильное прикосновение к большей кожной поверхности.

Чувство прикосновения и давления — простейшее проявление осязания. Последнее есть сложное чувство, благодаря которому мы получаем представление о поверхности, о форме предмета. В осязании, помимо поверхностной чувствительности прикосновения и давления, принимает участие также и более глубокое мышечно-суставное чувство.

Чувство боли. Раньше предполагали, что болевые ощущения возникают в тех же рецепторах, что и ощущение прикосновения и давления, с той только разницей, что чувство боли возникает при большей силе раздражения. Однако было показано, что этими различными ощущениями мы обязаны различным рецепторам.

Болевых точек на коже очень много, больше чем температурных и тактильных. Болевые раздражения воспринимаются не только кожей, но и более глубокими тканями тела.

Предполагают, что болевые ощущения, равно как и температурные, локализуются в области промежуточного мозга, в то время как тактильные (прикосновение, давление) совместно с мышечно-суставным чувством локализуются в коре мозга, а именно в задней центральной извилине.

ОБОНЯНИЕ

Чувствительные клетки обонятельного нерва расположены в слизистой оболочке верхней части носовой полости. Обоняние называется химическим чувством, так как раздражителями обонятельных рецепторов являются химические соединения — молекулы газообразных веществ, проходящих с током воздуха через носовую полость. Относительно сущности процесса обоняния не создано сколько-нибудь удовлетворительной теории. Точно так же не удалось классифицировать запахи или найти общие физические и химические свойства у веществ, обладающих сходным запахом.

ВКУС

Вкус, подобно обонянию, называется химическим чувством по той причине, что раздражителем вкусовых рецепторов является также химическое соединение.

Вкусовые раздражения воспринимаются специализированными окончаниями (вкусовыми луковицами, или почками) петок языкоглоточного и язычного нервов. Вкусовые луковицы расположены главным образом на поверхности языка — на кончике, вдоль краев и у корня языка. На средней части верхней поверхности и на нижней поверхности языка вкусовых рецепторов не имеется. Вкусовые рецепторы находятся также в некоторых других участках слизистой оболочки ротовой полости.

Различают четыре вида вкусовых ощущений: сладкое, кислое, соленое и горькое. Отдельные вкусовые луковицы оказываются более восприимчивы к определенным видам вкусовых раздражений. На поверхности языка эти луковицы распределены неравномерно. Кончик языка, например, более чувствителен к сладкому, края — к соленому, средняя часть боковой поверхности — к кислому, корень языка — к горькому. Остальные вкусовые ощу-

шения являются сложными комбинациями перечисленных элементарных ощущений.

Вещества, вызывающие одинаковые вкусовые ощущения, могут быть неоднородными по своей химической природе. Так, например, сладкий вкус имеют такие различные по химическому строению вещества, как простые углеводы, хлороформ, уксуснокислый свинец, сахарин.

Не менее разнятся по строению и вещества, вызывающие ощущение горького. Несколько более однородны соленые вещества. Они и по химическому строению относятся к категории солей, но это не значит, что все соли имеют соленый вкус. Многие из них обладают горьким вкусом.

Только в отношении кислого вкуса можно с уверенностью говорить, что он вызывается кислотами. Установлено, что раздражителем, вызывающим ощущение кислого, являются свободные ионы водорода, присутствующие в кислотном растворе.

СЛУХ

Орган слуха — ухо разделяется анатомически на три части: наружное, среднее и внутреннее ухо (рис. 82).

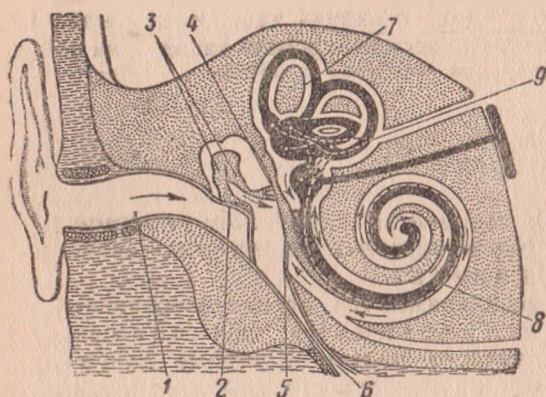


Рис. 82. Строение уха:

1—наружный слуховой проход; 2—барабанная перепонка; 3—косточки среднего уха; 4—овальное окошко; 5—круглое окошко; 6—евстахиева труба; 7—вестибулярный аппарат; 8—улитка; 9—слуховой нерв.

Наружное ухо состоит из ушной раковины и наружного слухового прохода, преграждаемого барабанной перепонкой. Раковина и слуховой проход представляют собой рупор, собирающий звук — звукоуловитель. У многих животных ушная раковина снабжена многочисленными мышцами, которые управляют раструб ее по направлению звука для лучшего восприятия и определения местоположения источника звука. У человека ушная раковина неподвижна, что не меша-

ет, однако, довольно точному определению направления звука. Дело в том, что звуковая волна, движущаяся в воздухе с определенной скоростью (приблизительно 330 м/сек.), раньше достигнет того уха, которое ближе к источнику звука. Несмотря на ничтожную разницу в расстоянии, разница во времени и в силе звука (которая обратно пропорциональна квадрату расстояния) очень чутко

улавливается нашими слуховыми аппаратами, благодаря чему мы можем определять направление звука. При разрушении одного слухового аппарата ориентировка в направлении звука нарушается.

Барабанная перепонка представляет собой чувствительную мембрану толщиной 1 мм, составленную из волокон, идущих в разных направлениях. Благодаря неоднородности строения барабанной перепонки она не имеет собственного периода колебаний, что дает ей возможность колебаться в точном соответствии с колебаниями приходящих к ней звуковых волн.

Барабанная перепонка по форме своей сходна с воронкой, вдавленной в среднее ухо.

Среднее ухо. В середину барабанной перепонки вплетена рукоятка молоточка — одной из косточек среднего уха. Противоположный конец этой косточки сочленен с второй косточкой — наковальней, последняя же сочленена с третьей косточкой — стремечком. Стремечко же вплетено в овальное окошко, ведущее уже во внутреннее ухо. Благодаря тому, что длинное плечо молоточка соединено с барабанной перепонкой, а короткое с наковальней, то относительно значительные по амплитуде колебания барабанной перепонки передаются через молоточек на наковальню (оттуда на стремечко, а от стремечка во внутреннее ухо) уменьшенными по размаху, но зато возросшими по силе. В этом основное значение костно-рычажной передачи колебаний от барабанной перепонки во внутреннее ухо.

Полость среднего уха сообщена с ротовой полостью, точнее — с глоткой, посредством евстахиевой трубы. Благодаря этому давление на барабанную перепонку со стороны наружного и среднего уха выравнивается. Если евстахиева труба закрыта (например вследствие разбухания ее стенок при воспаленном состоянии, при насморке), то изменение наружного давления (резкий спуск или подъем на самолете, пребывание в кессоне или в водовозном скафандре при погружении или выходе из воды, наконец, выстрел) вызывает вдавливание барабанной перепонки внутрь или выпячивание ее наружу, что очень болезненно и может привести к разрыву. Вследствие того, что евстахиева труба открывается при глотании, рекомендуется при резких сменах наружного давления производить глотательные движения. Следует помнить при этом, что глотание, будучи рефлексом на раздражение от слюны или пищи, не может быть осуществлено в их отсутствии.

Внутреннее ухо расположено в пирамиде височной кости. Оно представляет собой сложный костный лабиринт, выстланный внутри перепонкой, в точности следующей за всеми ходами лабиринта. Перепончатый лабиринт наполнен жидкостью — эндолимфой.

С одной частью этого лабиринта — с вестибулярным аппаратом и полукружными каналами — мы уже познакомились выше, когда речь шла об органах равновесия (стр. 178). К слуху

эта часть лабиринта не имеет отношения. Другая же часть лабиринта — улитка — является органом слуха.

Улитка представляет собой спиралеобразную полость, спираль эта имеет $2\frac{1}{2}$ завитка.

Полость улитки разделена вдоль основной перепонкой, на которой расположен кортиев орган. Кортиев орган и является собственно слуховым рецептором. Он состоит из многочисленных слуховых волосковых клеток, сообщенных с веточками слухового нерва. Слуховые клеточки соединены с волокнами основной перепонки.

Разберем теперь, как передаются звуковые колебания слуховому рецептору, как происходит восприятие звука согласно теории Гельмгольца.

Как уже говорилось, колебания барабанной перепонки, возникающие от звуковых колебаний воздушной среды, передаются через систему косточек среднего уха во внутреннее ухо. Колебания стремечка передаются через овальное окошко эндолимфы, заполняющей полость улитки. Помимо овального окошка, внутреннее ухо сообщается со средним ухом посредством еще одного затянутого перепонкой отверстия — круглого окошка. Благодаря наличию двух податливых перепонки эндолимфа и может колебаться: при отсутствии второй податливой перепонки (круглого окошка) колебания только одной перепонки овального окошка ей бы не передавались, потому что, как всякая жидкость, она практически несжимаема. Колеблясь, эндолимфа вызывает колебания и основной перепонки. Последняя, однако, отвечает колебаниями разных частей своих при разной высоте (частоте) звука. Дело в том, что основная перепонка улитки состоит из множества волокон разной длины. Эти волокна расположены на перепонке наподобие струн у арфы или рояля. Каждое волокно подобно струне, по мнению Гельмгольца, резонирует на звук определенной высоты: на ту частоту колебаний, которая соответствует собственной частоте колебаний данного волоконца. Таким образом, если в ухо поступает сложный звук, составленный из отдельных простых звуков разной высоты, т. е. разного периода колебаний, то в основной перепонке он разлагается на свои составные части, и на каждый элементарный звук резонирует определенное волоконце. Приходя в колебание, волоконца раздражают слуховые клетки кортиева органа, и возникшее в них возбуждение передается по слуховому нерву в головной мозг.

Высшие слуховые центры расположены в височной доле коры головного мозга.

Человеческое ухо воспринимает не все звуки. Самый низкий тон, который мы можем воспринять, это звук, вызванный колебаниями 16 раз в секунду (более редкие колебания воспринимаются не как тон, а как отдельные биения). Самый высокий из воспринимаемых нами тонов соответствует частоте колебаний 20 000 в секунду.

ЗРЕНИЕ

Зрение является наивысшим из всех органов чувств, потому что благодаря ему мы узнаем о множестве свойств окружающих нас предметов. Зрение позволяет нам судить об освещенности, яркости предмета, о его цвете, форме, о местоположении его относительно нас и других предметов, о том, находится ли он в покое или движении, о скорости его движения. Органом зрения является глаз.

Строение глаза. Глазное яблоко имеет форму шара и состоит из трех оболочек. Наружная оболочка — склера, или белочная оболочка (рис. 83), переходит в переднем отделе в роговую оболочку, или роговицу, прозрачную, свободно пропускающую световые лучи. Под склерой расположена сосудистая оболочка, переходящая впереди, под роговицей, в радужную оболочку, имеющую различную окраску, от чего и зависит различный цвет глаза.

Радужная оболочка имеет посредине отверстие (зрачок), которое может увеличиваться или уменьшаться вследствие сокращения или расслабления мышц радужной оболочки.

Благодаря этому регулируется количество света, попадающего в глаз. Сокращения радужной оболочки — изменения диаметра зрачка — происходят рефлекторно. На свету зрачок суживается, в темноте расширяется.

Радужная оболочка не прилегает непосредственно к роговице. Между ними имеется пространство — водянистое тело, наполненное водянистой влагой (прозрачной жидкостью).

Непосредственно под радужной оболочкой расположен хрусталик — прозрачное тело, имеющее форму двояковыпуклой линзы. Хрусталик одет в прозрачную капсулу. Степень напряжения капсулы может меняться в зависимости от сокращения мышц, к которым она прикреплена. При этом изменяется кривизна хрусталика, значение чего будет разобрано ниже.

В большой полости глазного яблока находится стекловидное тело — студенистая прозрачная масса.

Внутренней оболочкой глаза является сетчатка — собственно светочувствительный аппарат глаза. Сетчатка

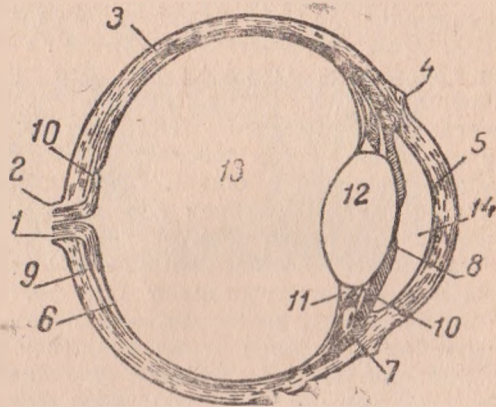


Рис. 83. Строение глаза:

1—зрительный нерв; 2, 3, 4—наружная белочная оболочка; 5—роговица; 6—сетчатка; 7, 9, 10—сосудистая оболочка; 8—радужная оболочка; 11—ресничное тело; 12—хрусталик; 13—стекловидное тело; 14—водянистое тело.

построена из клеточек, так называемых палочек и колбочек, представляющих собой специализированные чувствительные окончания веточек зрительного нерва.

Изображение на сетчатке. Глазное яблоко можно рассматривать до некоторой степени как подобие фотографической камеры. Роль диафрагмы играет в нем зрачок, роль объектива — хрусталик, а роль светочувствительной пластинки — сетчатка. Изображение предмета на сетчатке возникает приблизительно так же, как и на пластинке фотоаппарата.

Лучи света от рассматриваемого предмета, поступающие в глаз, преломляются в хрусталике и собираются в фокус на сетчатке. При этом изображение предмета на сетчатке получается уменьшенным и обратным. Это не мешает нам, однако, видеть предметы такими, как они есть, нормальной величины и не «вверх ногами», потому что зрительное восприятие сочетается с другими, и представление о действительных размерах и положении предметов мы постоянно контролируем жизненным опытом.

Аккомодация. Ясное видение получается тогда, когда лучи от рассматриваемого предмета собираются в фокус на сетчатке. Мы можем видеть разно удаленные предметы благодаря изменениям кривизны хрусталика. При смотреии вдаль, на очень удаленные предметы, хрусталик имеет наиболее плоскую форму. Изображение благодаря этому приходится точно на сетчатку. При приближении предмета к глазу хрусталик делается все выпуклее, благодаря чему предмет продолжает фокусироваться на сетчатке. Если бы хрусталик не менял своей формы, рассматриваемый предмет фокусировался бы за сетчаткой и на последней получалось бы не четкое, а расплывчатое изображение.

Такое приспособление к видению разно удаленных предметов носит название аккомодации. Аккомодация осуществляется благодаря деятельности мышц, прикрепленных к так называемому ресничному телу (см. рис 83).

От ресничного тела идет связка, переходящая в капсулу, окружающую хрусталик. Обычно связка эта натянута и капсула сдавливает, уплощает хрусталик. Такую форму он имеет при смотреии в даль. При аккомодации, смотреии на более близкие предметы, мышцы сокращаются, изменяя положение ресничного тела, отчего ослабляется связка, капсула уменьшает свое давление на хрусталик, и он делается выпуклее.

Аккомодационная способность глаза не безгранична. Для нормального глаза 20-летнего человека расстояние ближнего видения составляет около 10 см. При большем приближении предмета хрусталик уже не изменяет своей формы и изображение делается расплывчатым.

В старческом возрасте хрусталик делается менее упругим, он не может уже значительно увеличивать свою кривизну и точка ближнего видения отдалается. Наступает старческая дальность зрения. Для смотрения на близкие предметы приходится теперь прибегать к очкам. Очки восполняют недостаток глаза (корректируют его). В данном случае очки должны иметь стекла двояковыпуклые, чтобы собирать лучи на сетчатке.

Дальнозоркость бывает и в молодом возрасте. Происходит она потому, что сетчатка находится слишком близко к хрусталику, и даже при сильной аккомодации изображения близких предметов оказываются за сетчаткой. Поэтому здесь также нужно прибегать к очкам с двояковыпуклыми стеклами.

Если глубина глазного яблока слишком велика, изображение получается перед сетчаткой. Такие глаза мы называем близорукими. При близорукости носят очки с вогнутыми стеклами, рассеивающими лучи и отдаляющими фокус до совпадения его с сетчаткой.

Строение сетчатки. Как уже указывалось, в состав сетчатки входят светочувствительные окончания зрительного нерва — палочки и колбочки. Они распределены по сетчатке неравномерно. В месте вхождения в сетчатку зрительного нерва светочувствительных

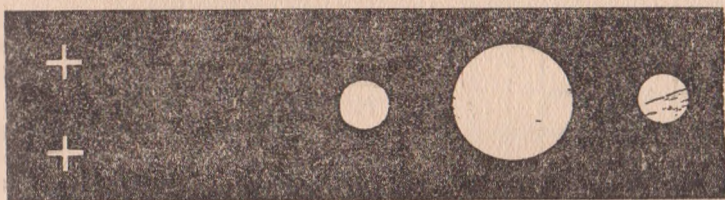


Рис. 84. Опыт Мариотта.

элементов не имеется. Это так называемое слепое пятно. В существовании его можно убедиться с помощью опыта Мариотта. Если смотреть на крестики, нарисованные на рис. 84, правым глазом, закрыв левый рукой, то при расстоянии рисунка от глаза примерно в 20 см по крайней мере один из белых кружков не будет виден. Он опять становится видимым как при приближении, так и при удалении рисунка. Происходит это оттого, что, смотря на крестик, мы фокусируем его на определенную точку сетчатки, отстоящую недалеко от слепого пятна, а изображение круга приходится на слепое пятно.

Та точка сетчатки, на которую мы обычно фокусируем изображения предметов при желании хорошо их рассмотреть, называется центральным углублением, расположенным в так называемом желтом пятне. В центральном углублении имеются почти исключительно колбочки, палочки же в большем количестве распределены по периферическим участкам сетчатки.

Светочувствительность. При действии света на сетчатку в ней происходит разложение светочувствительного вещества — зрительного пурпура, или родопсина. Возникшая фотохимическая реакция является возбудителем окончаний зрительного нерва; возбуждение от них распространяется далее по нерву в центральную нервную систему, вызывая ощущение света.

Адаптация сетчатки. Если перейти из светлого помещения в темное, то вначале мы не сможем рассмотреть находящиеся там предметы. С течением времени, однако, чувствительность глаза возрастает и слабо освещенные предметы становятся видимыми.

Происходит это потому, что зрительный пурпур разложился на свету, вследствие чего чувствительность глаза сначала уменьшилась. В темноте же зрительный пурпур восстанавливается и чувствительность глаза возрастает. Процесс приспособления глаза, связанный с повышением его чувствительности, называется адаптацией к темноте.

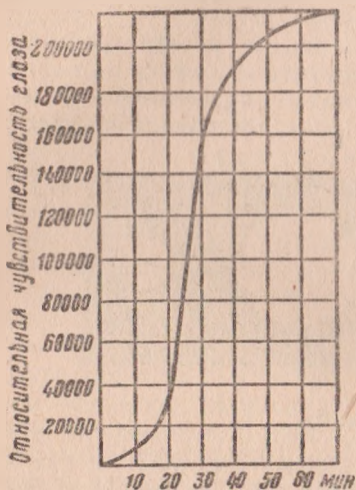


Рис. 85. Кривая адаптации к темноте.

Длительность адаптации к темноте значительна. Рис. 85 показывает, что в течение примерно 30 мин. чувствительность глаза еще сильно возрастает. По сравнению с десятой минутой чувствительность глаза на тридцатой минуте возрастает в 100 раз. Далее, правда, не столь быстро, адаптация к темноте продолжается в течение 40—50 минут.

Если после длительного пребывания в темноте вновь перейти в светлое помещение, то свет вначале ослепляет, он кажется очень ярким, режущим. Это происходит потому, что скопившийся в темноте зрительный пурпур бурно разлагается, сильно раздражая нервные окончания. Постепенно, однако, чувствительность к свету уменьшается вследствие уменьшения количества зри-

тельного пурпура. Понижение чувствительности глаза к световым раздражениям называется световой адаптацией.

Зрительный пурпур содержится в палочках. Так как последние в относительно больших количествах находятся на периферии сетчатки, а не в центральном углублении, мы, рассматривая предметы в сумерках, лучше видим их, глядя немного в сторону от них. Так, например, рассматривают ночью звезды.

Частота зрительных восприятий. Зрительное ощущение длится некоторое время еще после того, как прекратилось световое раздражение. Поэтому частые смены отдельных изображений воспринимаются нами как слитные. На этом, в частности, основана кинематография. Частота смены кадров там такова, что мы не замечаем промежутков между ними. Частота эта должна быть не ниже чем 7—10 раз в секунду. Обычно в кинематографии применяется частота 16.

Цветощущение. Если различение яркости света осуществляется благодаря палочкам, то цветоощущение связано с процессами, совершающимися в колбочках. Веществ, различно чувствительных к различным цветам, в колбочках не обнаружено. По теории Гельмгольца, в них имеются три цветовоспринимающих элемента, чувствительных преимущественно к красному, зе-

лжному и фиолетовому цветам. Все остальные цвета спектра ощущаются как комбинации этих трех цветов (рис. 86). При равном раздражении всех трех элементов получается ощущение белого цвета. У некоторых людей наблюдается цветная слепота — дальтонизм. Чаще всего эта цветная слепота частичная и сводится к неразличению красного и зеленого цветов. В редких случаях наблюдается слепота и по отношению к остальным цветам спектра, и тогда все предметы кажутся серыми.

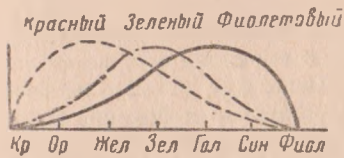


Рис. 86. Схема теории цветового зрения Гельмгольца.

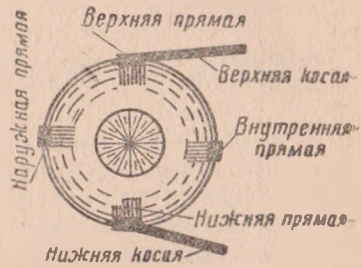


Рис. 87. Мышцы глазного яблока (схема).

Бинокулярное зрение. Движения глазного яблока совершаются при помощи прикрепленных к нему шести мышц (рис. 87). Иннервация мускулатуры обоих глаз в норме такова, что не может быть изолированного движения одного глаза без соответствующих движений другого. Когда мы смотрим на какой-либо предмет, оба глаза поворачиваются так, что зрительные оси их сходятся на рассматриваемом предмете (схождение зрительных осей называется *конвергенцией*). В каждом глазу получается изображение предмета, но мы видим его в единственном числе, потому что в обоих глазах изображение приходится на соответствующие друг другу точки сетчатки.

Зрение двумя глазами — бинокулярное зрение дает нам не плоскостное изображение, а объемное, потому что при сведении зрительных осей на рассматриваемом предмете мы его видим одним глазом несколько более справа, а другим — несколько более слева. Получающиеся при этом изображения на обеих сетчатках немного отличаются одно от другого. Кроме того, некоторые части предмета видны только одному или только другому глазу. Эти различия в изображении предмета на двух сетчатках воспринимаются нами как объемность предмета. Благодаря бинокулярному зрению мы получаем представление о взаимной отдаленности предметов, о «глубинности» лежащего перед нами пространства. Эти суждения, равно как суждения о скорости движения предметов, мы получаем благодаря проприорецептивным импульсам, поступающим в центры от разнообразных глазных мышц, изменяющих свое натяжение при каждом зрительном акте.

Зрение и мышечное чувство помогают нам ориентироваться в пространстве, осуществлять точные, координированные движения.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ГЛАВА XIII

ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ СПОРТИВНЫХ ДВИЖЕНИЙ

При рассматривании разнообразных движений, встречающихся в спортивных упражнениях, кажется вначале, что между этими движениями нет ничего общего. Движения бегуна и пловца, дискобола и гимнаста, тяжелоатлета, теннисиста и боксера настолько разнятся друг от друга, что объединить эти движения или хотя бы элементы их в какие-нибудь группы представляется вначале невозможным. Однако, несмотря на все разнообразие спортивных движений, мы во многих из них при внимательном рассмотрении все же можем обнаружить общие черты, позволяющие объединить отдельные физические упражнения в группы.

ЦИКЛИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ

Рассмотрим движения при ходьбе. Их можно разложить на определенные фазы: опору, перенос, двойную опору. Эти фазы, следующие друг за другом в определенном порядке, составляют полный цикл движений, повторяющийся при каждом двойном шаге.

Последовательность фаз в одном цикле движений в период двойного шага при ходьбе следующая: опора правой с переносом левой → двойная опора → опора левой с переносом правой → двойная опора.

Начало цикла (с опоры правой) выбрано здесь произвольно; за это начало можно принять любую фазу. Важно только, чтобы полный цикл включал в себя все фазы.

Циклическое повторение одних и тех же фаз движений хорошо видно и в беге, где каждый цикл включает в себя следующий порядок фаз: опора правой → полет → опора левой → полет, что опять-таки составляет период двойного шага.

Циклическая повторяемость определенного порядка фаз движений видна в ряде физических упражнений: в беге на коньках, в ходьбе на лыжах, в плавании, в гребле. Все эти виды физических упражнений, включая ходьбу и бег, объединяются в одну группу движений, циклических по своей форме.

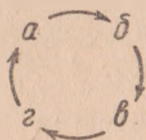
Для этой формы движений характерно, во-первых, то, что все фазы движения, которые присущи одному циклу, обя-

ительно имеются и во всех остальных. Если, например, мы условно разобьем полный цикл движений на фазы a , b , v , z , то при любом последующем цикле должны присутствовать те же фазы a , b , v , z , а не какие-нибудь иные.

Во-вторых, при циклической форме движений в каждом цикле имеется не только определенная, одна и та же сумма фаз, но, кроме того, что очень важно, эти фазы следуют друг за другом всегда в одном и том же закономерном порядке. Иначе говоря, в каждом цикле должен сохраняться именно этот последовательный порядок $a \rightarrow b \rightarrow v \rightarrow z$, а не какой-нибудь другой, например, $a \rightarrow v \rightarrow z \rightarrow b$ или $b \rightarrow z \rightarrow a \rightarrow v$. Каждый цикл есть одно слитное движение, фазы которого не существуют разрозненно друг от друга, а находясь в такой зависимости, при которой каждая последующая фаза обусловлена соответственной и определенной предыдущей фазой. Поэтому перестановка фаз даст уже совершенно иное движение.

Третьим признаком истинно циклической формы движения является связанность, неразрывность самих циклов. Как в пределах одного цикла составляющие его фазы находятся в неразрывной и последовательной связи, так и каждый последующий цикл неразрывно связан с предыдущим. При этом последняя фаза предыдущего цикла связана с первой фазой последующего так же, как связаны друг с другом все фазы одного цикла.

Схематически ряд циклов будет, следовательно, повторять одно и то же кольцо:



Характерным моментом является здесь то, что ни один из циклов, кроме самого первого, не имеет начала и ни один из циклов, кроме самого последнего, не имеет конца.

Движения циклического характера относятся прежде всего к локомоциям, т. е. к движениям перемещения тела. В главе XI было указано, что наиболее низкими отделами центральной нервной системы, участвующими в подобных движениях, являются подкорковые ядра и двигательная область коры. Однако в еще более примитивной форме циклический характер движений обнаруживается в эксперименте на животном, у которого сохранены самые низкие этажи центральной нервной системы, например спинной мозг. Мы видели, что у таких спинальных животных могут наблюдаться простейшие ритмические движения конечностей, напоминающие акт ходьбы. Эти движения — чисто рефлекторного характера, они имеют все те признаки циклическости, о которых сказано выше. Следовательно, циклическая форма движе-

ний является одной из самых простых форм движений, нервные механизмы которых заложены в нижних этажах центральной нервной системы.

Циклическая форма движений наиболее ярко проявляется в таких, в которых движения конечностей носят перекрестный характер (перекрестно-реципрокные движения). К ним как раз относятся локомоторные движения — ходьба, бег. Сюда же примыкают: бег на коньках, ходьба на лыжах попеременным стилем, плавание стилем кроль, велоезда. Плавание стилем брасс, ходьба на лыжах одновременным стилем, гребля уже несколько отходят от строго циклической формы движений, поскольку они не носят перекрестно-реципрокного характера.

В связи с тем, что циклические движения представляют собой по преимуществу локомоции, в них присутствует еще одна отличительная черта. Эти движения разыгрываются на фоне инерции, которую приобретает тело при своем поступательном перемещении в пространстве. Сама инерция движущегося тела определяет повторяемость циклов движений; вследствие инерции циклическое движение наиболее трудно остановить на какой-либо его фазе. Это в первую очередь относится к быстрой ходьбе, бегу, велоезде (без свободного хода), в значительно меньшей степени — к плаванию и совсем в малой — к гребле.

Отличительной чертой циклических движений является возможность их автоматизировать. Сравнительно быстрое освоение техники циклического движения позволяет совершать это движение автоматически — без активного участия сознания. Обусловлено это тем, что в циклических движениях участвуют наиболее низко расположенные отделы центральной нервной системы (по сравнению с участием ее в других видах движений) так называемая экстрапирамидная система.

АЦИКЛИЧЕСКИЕ ОДНОКРАТНЫЕ ДВИЖЕНИЯ

Рассмотрим, например, упражнение «толкание ядра». Это упражнение есть целостное движение, которое лишь условно можно разбить на отдельные фазы (принятие исходного положения, быстрое переступание с поворотом туловища и вынесение его вперед, разгибание толкающей руки). Все движение слитно, оно имеет явно выраженное начало и четкое завершение. Последовательность и связь фаз движения, при достаточной его разученности, совершенно определенная. При повторном толкании ядра мастером этого дела вся прежняя сумма движений будет в точности воспроизводиться, и будет попрежнему точно соблюдена последовательность и связь фаз движения. Сравнивая повторное упражнение с первым, мы увидим, что налицо имеются два первых признака циклической формы движения: во-первых, оба раза упражнение заключало в себе одни и те же фазы движения, во-вторых,

одинаковой была последовательность и связь этих фаз. Мы с полным правом можем считать, что при высокой обученности этому упражнению, при совершенном овладении им исполнителем, когда достигнута глубокая автоматичность движения, все его фазы находятся в рефлекторной связи друг с другом и каждая последующая фаза является следствием предыдущей. Однако при наличии этих двух признаков циклической формы движения в толкании ядра отсутствует третий, самый главный признак, без которого упражнение не может быть отнесено к группе циклических. Этот признак — обусловленность следующего цикла предыдущим, а также взаимная обусловленность фаз в рамках одного цикла — отсутствует в разбираемом упражнении. Толкание ядра при всем постоянстве формы этого движения есть упражнение *о д и н о к р а т н о е*. Оно может быть повторено, но повторение его не вытекает органически из предыдущего его совершения.

Нетрудно рассудить, что к числу подобных же однократных, имеющих свое четкое завершение, ациклических по форме упражнений относятся и такие, как метание диска, молота, бросание мяча, гранаты, прыжок с места в высоту и длину, поднятие тяжестей.

Некоторые ациклические однократные формы движений сочетаются с циклическими, которые обычно предшествуют ациклическому движению. Например, в прыжке в длину или в высоту с разбега, в прыжке с шестом конечному ациклическому акту — прыжку — предшествует циклический — разбег. В этом случае циклическое движение является подготовкой к решительному однократному движению, и последнее звено циклического движения, вместо того чтобы вызвать дальнейшее повторение циклов, обуславливает теперь протекание новых звеньев движения, не сходных с прежними. Таков разбег в прыжке, разбег при метании копья, а также повторные, имеющие циклический характер вращения тела, предшествующие метанию диска или молота.

СОСТАВНЫЕ АЦИКЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДВИЖЕНИЙ (КОМБИНАЦИИ)

От вышеописанной однократно совершаемой цепи фаз стандартного движения несколько отличаются цепи отдельных движений, комбинированных в одну систему. Одной из простых подобных систем является «толчок штанги» — движение, фазы которого идут в определенной последовательности; будучи, однако, разобщены паузами, эти фазы не создают впечатления той неразрывной слитности, которая видна, например, в метании диска. В толчке штанги элемент поднимания штанги на грудь вполне самостоятелен, и за ним может следовать как дальнейший подъем штанги на вытянутые руки, так и опускание ее на пол. Положение штанги на груди есть исходное положение для следующего самостоятельного движения — собственно толчка. Все

упражнение в целом является составным; оно состоит из суммы фаз, из которых каждое предыдущее не связано с последующим в неразрывную систему. Одним из признаков такой составной ациклической системы движений является п а у з а, вклинивающаяся между частями системы, причем длительность этой паузы может варьировать.

К подобным же, подчас весьма сложным, составным многозвенным цепям ациклических движений относятся различные комбинации как в снарядовой гимнастике, так и в вольных движениях. В комбинации мы видим соединение в одну цепь различных по форме движений, каждое из которых может быть самостоятельным. Отдельные звенья комбинации могут также разделяться небольшой паузой, иногда же одно звено тесно сливается с другим, за ним следующим. В таких случаях подобные, как бы цементированные звенья представляют собой уже нераздельное новое звено.

Следует отметить, что в результате многократного повторения одной и той же комбинации, в условиях высокой ритмичности ее совершения, между отделенными вначале друг от друга звеньями налаживаются рефлекторные связи, напоминающие те, которые характеризуют собой циклическую форму движений. Завершение каждого предыдущего звена может теперь являться началом последующего, и вся комбинация делается в известной мере слитной, единой. Однако нужно помнить, что даже в условиях такой высокой автоматизации и рефлекторно обусловленной слитности комбинации движений между ней и циклической формой движений имеются принципиальные отличия.

В то время как в истинно циклическом движении все фазы одного цикла абсолютно сходны с соответствующими фазами другого, комбинация движений характеризуется именно несходностью своих фаз. Она может состояться из разных циклов. Кроме того, в циклическом движении связи между отдельными циклами чрезвычайно прочны, в комбинированном же движении связи между отдельными звеньями этой разноразвенной цепи движений налаживаются с трудом и сравнительно легко разрушаются. Эти связи образуются в высших этажах центральной нервной системы, в то время как в истинных циклических движениях эти связи образуются в сравнительно низких ее этажах.

НЕПОСТОЯННЫЕ ДВИЖЕНИЯ (СВЯЗАННЫЕ НЕПРЕРЫВНЫМ РЕАГИРОВАНИЕМ НА ПЕРЕМЕННЫЕ УСЛОВИЯ)

Физические упражнения, относящиеся к вышеописанным видам движений, характеризуются стандартностью своих форм, постоянством своего «рисунка». Человек, начавший выполнять упражнение циклического типа, или однократное ацикли-

ческое движение, или, наконец, более или менее сложную ациклическую комбинацию, уже заранее может представить себе весь ход этого упражнения. Сумма раздражителей, воздействующих на спортсмена, выполняющего какое-либо из описанных упражнений, и определяющих выполнение его, довольно постоянна. Постоянны не только цепи проприорецептивных раздражителей, непрерывно возникающих по ходу всего движения, но и внешние, в частности зрительные раздражения (беговая дорожка, планка и т. п.). Следовательно, при достаточной обученности данному виду упражнений, т. е. достаточно частой повторяемости определенной системы раздражений, постоянным становится и реагирование на них, что и определяет собой стандартность всей формы данного типа движений.

Но представим себе, что на пути совершения какого-либо комплекса движений возникает неожиданное препятствие, внезапно изменяется та обстановка, в которой протекало движение; вместо обычных раздражителей, связанных в определенную стандартную систему, возникают новые, а прежние раздражители оказываются на непривычных местах. Это сразу вызовет изменение всей структуры движения. Для достижения поставленной цели во всей нервно-двигательной системе должны возникнуть срочные перестройки, новые, экстренные координационные связи; при этом от срочности их образования и от точного соответствия данной цели внезапно и быстро создаваемых новых комплексов движений зависит успешность достижения цели.

Именно такие непредвиденные, нестандартные комбинации движений, являющиеся результатом реагирования всей нервно-двигательной системы на внезапные изменения обстановки, представляют собой многочисленные виды спорта. Сюда относятся: бег по пересеченной местности, слалом, борьба, бокс, фехтование, все виды спортивных игр.

ГЛАВА XIV

ФИЗИЧЕСКИЕ УПРАЖНЕНИЯ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Выше мы рассмотрели основные формы движений, вокруг которых группируются различные виды физических упражнений. Теперь перед нами стоит задача разобраться в том, каким общим закономерностям подчиняются физиологические процессы, характеризующие различные физические упражнения, группированные по основным их формам движений. Не все группы форм движений имеют, однако, достаточно четкую общую физиологическую характеристику. Наибольшее число обобщающих физиологических моментов имеется в группе циклических движений, к разбору которых мы сейчас и перейдем. Однократные ациклические цепи движений будут в дальнейшем представлены при рассмотрении силовых моментов в физических упражнениях. Составные движения уже с трудом поддаются обобщающей физиологической характеристике; еще труднее обобщить группу сложных действий, связанных с непрерывным реагированием на изменяющуюся обстановку.

МОЩНОСТЬ И ДЛИТЕЛЬНОСТЬ РАБОТЫ В ЦИКЛИЧЕСКИХ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЯХ

Во всех физических упражнениях циклического типа мы наблюдаем различные значения двух переменных величин — мощности работы и ее длительности.

Если работа производится на велоэргометре, то разная мощность работы может быть задана изменением частоты вращения педалей и величиной сопротивления, которая создается на вращаемом колесе специальным тормозящим устройством. С помощью велоэргометра можно измерять мощность выполняемой работы непосредственно в килограммометрах в минуту или секунду (кгм/мин. или кгм/сек.).

Измерить мощность работы в спортивных движениях циклического типа в большинстве случаев довольно трудно. Однако вследствие того, что все эти движения представляют собой поступательное перемещение в пространстве, относительным выражителем мощности работы может являться величина преодолеваемого пространства в единицу времени, т. е. скорость. В извест-

ных пределах и при прочих равных условиях изменение скорости передвижения происходит соответственно изменению мощности работы.

Выясним сначала вопрос о том, имеется ли какая-нибудь связь между мощностью (интенсивностью) работы и предельной ее длительностью.

Если бегун развил максимальную скорость бега, то длительность такой, максимальной по напряжению работы, будет невелика. Зато бег с меньшей скоростью может совершаться более долгое время. Иначе говоря, чем меньше скорость бега, т. е. чем меньше мощность работы, тем дольше она может совершаться. Следовательно, между мощностью работы (скоростью бега, плавания, гребли и т. п.) и предельной ее длительностью существует обратная зависимость. Однако эта обратная зависимость не может пониматься просто как обратная пропорция, т. е. в том смысле, что длительность работы увеличивается во столько же раз, во сколько уменьшается мощность работы. Эта связь выражается более сложным математическим уровнем, нежели простая пропорциональная зависимость.

Фактическая зависимость рекордной длительности бега от его скорости может быть выражена графически. Если на одной стороне прямого угла (оси абсцисс) отложить время в секундах, а на другой (оси ординат) — скорость бега, то, соединив точки, соответствующие данным мировых рекордов (см. рис. 88), мы получим кривую, которая выражает собой соотношение между скоростью бега и соответствующей рекордной длительностью его. Эта кривая имеет совершенно определенный вид и может быть выражена математической формулой.

$$t^{\alpha} \cdot v = c,$$

где t — рекордное время, v — скорость бега, α и c — коэффициенты.

Если обратиться к другим физическим упражнениям тоже циклической формы — к плаванию и бегу на коньках, то мы обнаружим ту же закономерную связь между скоростью и рекордной длительностью.

Это положение с достаточной убедительностью иллюстрирует рис. 88. Он показывает, что отношения между скоростями бега, плавания и бега на коньках и рекордным временем выполнения всех этих упражнений выражаются одной и той же кривой.

То же показывает и кривая (рис. 89), на которой сопоставлены рекорды в выполнении очень длительных физических упражнений: в беге на длинные и сверхдлинные дистанции, в спортивной ходьбе и в ходьбе на лыжах.

Более подробный анализ этой общей кривой рекордов показывает, что она составлена из четырех отрезков, каждый из которых имеет свое математическое выражение. Это хорошо видно на рис. 90, на котором кривые рекордов выведены не из абсолютных

значений скоростей и рекордного времени, а из логарифмов этих величин.

Мы видим, что такая кривая переламывается в трех точках, которые делят ее на четыре части. Каждая такая часть представляет собой определенную зону относительной мощности работы. Границы зон определяются рекордным временем.

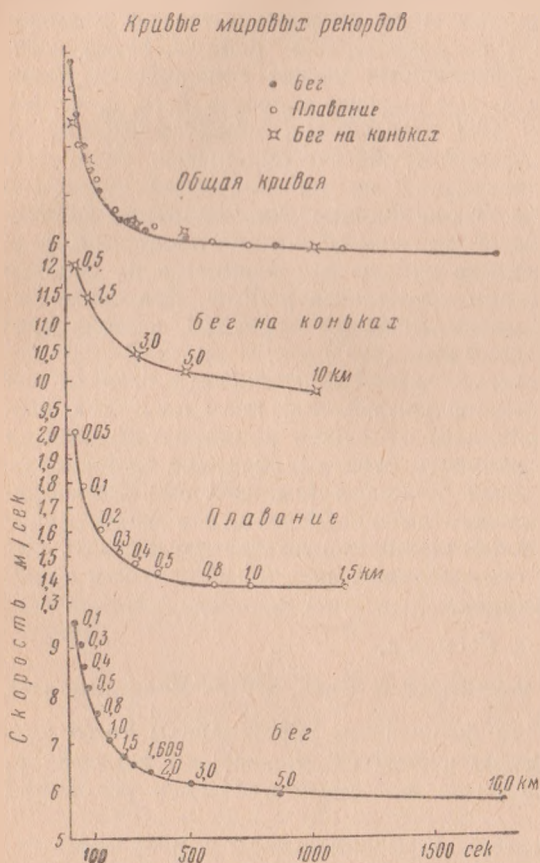


Рис. 88. Кривые мировых рекордов в беге, плавании и в беге на коньках.

Первая зона, или зона максимальной мощности, включает в себя работу, которая может при всем напряжении длиться не более 20—30 сек. В спорте с такой мощностью мы встречаемся в беге на 100—200 м, в плавании на 25—50 м, в беге на коньках на 200—300 м, в велоезде на 200—400 м.

Вторая зона — зона субмаксимальной мощности — относится к таким работам, предельное время выполнения которых составляет не менее 20—30 сек., но не более 3—5 мин. За это время хороший бегун покрывает дистанцию 400—1500 м, конькобежец — 500—3000 м, велосипедист — 500—3000 м, пловец — 100—400 м.

Третья зона — зона большой мощности — включает в себя работы, которые могут продолжаться не меньше 3—5 мин., но не дольше 30—40 мин. Соответствующие рекордные дистанции для бега — 2—10 км, для бега на коньках — 5—10 км, для велоезды — 5—20 км, для плавания — 800—1500 м, для ходьбы на лыжах — 5—10 км, для спортивной ходьбы — 3—5 км.

Четвертая зона, или зона умеренной мощности,

относится к работам длительным, которые могут совершаться не менее $\frac{3}{4}$ —1 часа или растягиваться на многие часы. Сюда относятся бег на дистанции, превышающие 10 км, спортивная ходьба

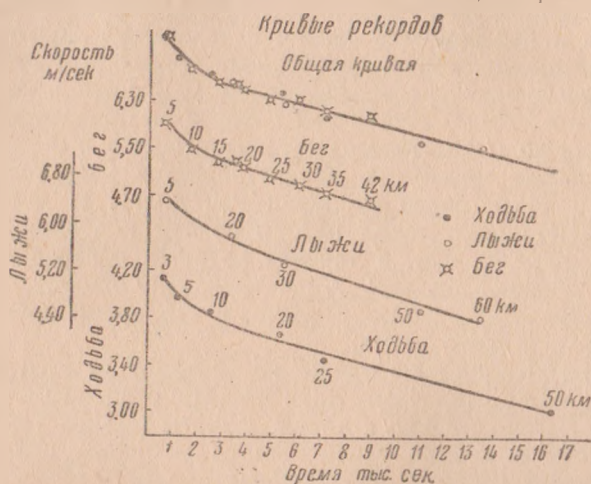


Рис. 89. Кривые мировых рекордов в спортивной ходьбе, в ходьбе на лыжах и в беге на длинные дистанции.

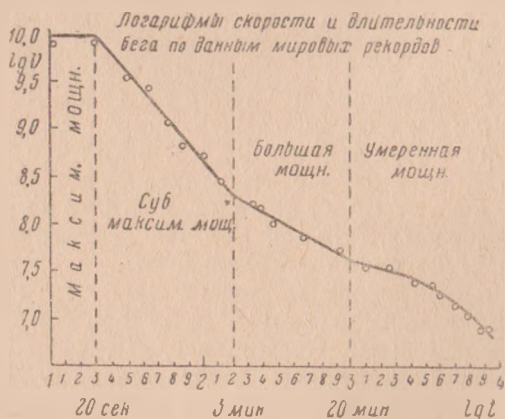


Рис. 90. Логарифмическая кривая рекордов, разбитая на зоны.

на 5 км и выше, ходьба на лыжах больше чем на 10 км, дальние (свыше 2 км) заплывы, велопробеги, превышающие 30 км.

Каждая из указанных зон относительной мощности имеет свою типичную физиологическую характеристику.

Работа максимальной мощности совершается в условиях самой большой частоты движений, которая может быть доступна чело-

веку. При этом в мышцах происходит исключительно быстрый распад энергетических веществ: ни при какой работе (кроме силовых движений) в мышцах не освобождается в единицу времени столько энергии, сколько при работе максимальной мощности. Это значит, что и кислородный запрос здесь самый большой. Вместе с тем процессы окисления, потребление организмом кислорода совершенно незначительны по сравнению с кислородным запросом. Значит работа мышц совершается почти исключительно за счет бескислородного (анаэробного) распада веществ и почти весь кислородный запрос организма удовлетворяется уже после работы, т. е. запрос почти равен кислородному долгу. И действительно, дыхание и во время такой работы совсем ничтожно; на протяжении тех 10—20 сек., в течение которых совершается работа, спортсмен успевает сделать лишь несколько вдохов, зато после финиша дыхание еще долго усилено; в это время происходит погашение кислородного долга.

Кровообращение также не успевает за краткостью времени достаточно усилиться. Хотя частота сердечных сокращений и возрастает значительно к концу работы (свыше 160 в минуту), минутный объем сердца увеличивается не очень сильно, потому что не успевает возрасти его ударный объем.

В крови не обнаруживается больших изменений по той же причине — за краткостью времени. Хотя в мышцах и образуется во время работы большое количество продуктов распада энергетических веществ (молочная кислота и др.), они не успевают при работе перейти в кровь и появляются в ней лишь после работы.

Таким образом, работа максимальной мощности характеризуется чрезвычайно интенсивным распадом энергетических соединений, быстрым накоплением продуктов распада в мышцах, большим кислородным долгом, но вместе с тем небольшим усилением дыхания и кровообращения и небольшими изменениями химизма крови. Все эти изменения после работы значительнее, чем во время самой работы.

Работа субмаксимальной мощности требует, как свидетельствует само ее название, меньшей интенсивности движений, чем работа, разобранный выше. Отсюда следует, что и интенсивность распада энергетических веществ в мышцах здесь не так велика, как в предыдущем случае. Но все же она настолько велика, что процессы окисления, даже если бы они совершались с наибольшей скоростью, будут отставать от скорости процессов распада. Вместе с тем окисление здесь еще не достигает предела; вернее, оно не успевает возрасти до своего предела в первые же мгновения работы, но приближается к нему к концу работы. Дело в том, что максимум окисления в организме возможен лишь тогда, когда к мышцам подносится кровью максимально возможное количество кислорода. Иначе говоря, количество потребляемого организмом кислорода может достигнуть своего предела лишь тогда.

когда и кровообращение усилено также до предела. Усиление же кровообращения происходит постепенно; исследования показали, что для того, чтобы кровообращение максимально усилилось, необходимо не меньше 2—3 мин., а иногда и 4—5 мин. Но столько времени как раз и длится работа субмаксимальной мощности. Следовательно, кровообращение усиливается на протяжении всей работы и только к концу ее может достигнуть максимальной скорости.

Интенсивность дыхания также все время возрастает и особенно усиливается к концу работы. Вследствие этого погребление кислорода, в начале работы еще незначительное, все время увеличивается, достигая лишь к концу работы максимальных величин. Между тем, как было сказано, бескислородный распад веществ в мышцах очень велик уже с самого начала работы. Процессы окисления хотя и возрастают на всем протяжении работы, все же отстают от процессов бескислородного распада. Все время ощущается нехватка кислорода, работа совершается «в долг». Поэтому происходит накопление неокисленных продуктов распада, количество которых к концу работы становится очень большим.

Кислородный долг при этой работе больше, чем при работе максимальной мощности, потому что он накапливается на протяжении нескольких минут, в то время как в предыдущем случае — лишь 10—20 сек. В крови при работе субмаксимальной мощности происходят очень большие химические сдвиги. За те несколько минут, что длится эта работа, образующиеся в мышцах неокисленные соединения, относящиеся главным образом к кислотам (молочная кислота), успевают проникнуть в кровь, сильно повышая ее кислотность. Это вызывает вытеснение из крови углекислого газа, повышенное же давление последнего очень сильно возбуждает дыхательный центр. Поэтому дыхание к концу таких работ и усиливается особенно бурно.

В крови замечаются также большие сдвиги в концентрации солей. Вследствие очень большого увеличения количества молекул в мышцах (крупные молекулы распадаются в них на много большее количество мелких) вода из крови переходит в мышцы, вследствие чего концентрация солей в крови возрастает.

Большие химические сдвиги в крови сказываются к концу работы и на составе мочи. Через почки выводится избыток кислоты, в моче обычно появляется белок; выводятся также соли. Нужно помнить, однако, что длится такая работа всего несколько минут, причем самые большие сдвиги происходят к концу работы. Поэтому общее количество выводимых через почки химических веществ не так велико.

В общем работа субмаксимальной мощности характеризуется постепенным, но очень сильным увеличением дыхания и кровообращения к концу работы, большим кислородным долгом и весьма значительными сдвига-

ми в кислотно-щелочном и водно-солевом равновесии крови.

Работа большой мощности по своей физиологической характеристике близка к работе субмаксимальной мощности, однако имеет и свои отличительные особенности. Интенсивность этой работы ниже, чем субмаксимальная, поэтому и скорость распада энергетических веществ в мышцах также меньше, чем в предыдущем случае. Но это не значит, что процессы окисления здесь успевают за процессами бескислородного распада; последние все же настолько велики, что окисление несколько отстает от них. Вследствие того, что работа большой мощности длится 30—40 мин., дыхание и кровообращение успевают уже в первые минуты работы возрасти до предела. На этом пределе они и пребывают до конца работы.

Кривая потребления кислорода вначале круто возрастает, удерживаясь затем на большой высоте. Однако даже этот большой уровень потребления кислорода, как сказано, несколько отстает от кислородного запроса организма, поэтому накопление кислородного долга все же происходит. Хотя за каждую отдельную минуту работы кислородный долг и невелик, но к концу работы, которая, как упоминалось, длится 30—40 мин., образуется уже большой кислородный долг, по величине лишь несколько уступающий тому, который накапливался к концу работы субмаксимальной мощности.

Сдвиги в крови здесь также весьма велики и зависят от тех же причин, которые описывались в предыдущем случае. Отличие заключается лишь в том, что вследствие большой длительности данной работы через почки в мочу успевает пройти большое количество кислот и солей. Длительность работы сказывается и в том, что у спортсмена сильно возрастает потоотделение, которое на протяжении работы субмаксимальной мощности (если только она не совершалась в очень жаркий день) не успевает обычно возрасти так сильно.

Итак, работа большой мощности характеризуется сильным увеличением дыхания и кровообращения в течение первых минут работы и сохранением максимальной деятельности этих систем на остальном протяжении работы: предельным потреблением кислорода и большим кислородным долгом; большими сдвигами в химизме крови и мочи.

Работа умеренной мощности отличается от всех предыдущих. Если раньше всюду отмечалось, что процессы окисления во время работы не успевают за процессами бескислородного распада, то здесь следует подчеркнуть именно точную согласованность этих двух процессов, наличие так называемого устойчивого состояния; скорость процессов окисления равна скорости бескислородного распада; потребление кислорода происходит в соответствии с кислородным запросом. А это значит,

что дыхание и кровообращение усилены в соответствии с фактической интенсивностью работы. Это усиление может быть очень велико, оно может достигать своего предела, если интенсивность работы приближается к «большой», и оно уменьшается в соответствии со снижением интенсивности работы.

Вследствие наличия устойчивого состояния отсутствует накопление продуктов распада энергетических веществ в мышцах, потому что эти соединения своевременно окисляются в момент своего образования. По этой же причине не происходит заметных сдвигов в химизме крови: состав ее остается почти неизменным на всем протяжении работы. Незначительны или отсутствуют изменения в составе мочи.

Кислородный долг крайне невелик; несколько усиленное потребление кислорода после работы вызвано не накоплением молочной кислоты в организме (потому что этого накопления нет), а другими, еще не распознанными причинами.

Вследствие того, что работа умеренной мощности длится иногда несколько часов, количество израсходованной на работу энергии велико, значительно превышая общий расход энергии, сопровождающий работу других мощностей. Но расход энергии в единицу времени при данной работе менее значителен, чем при работе большой интенсивности.

При умеренно интенсивной работе расходуются как углеводы, так и жиры, вследствие чего дыхательный коэффициент ниже единицы; при более напряженных работах расходуются преимущественно углеводы; дыхательный коэффициент в этом случае равен единице, но чаще превышает ее, так как углекислота в крови вытесняется молочной кислотой, поступающей в кровь из мышц. Однако, несмотря на более низкий дыхательный коэффициент при умеренно интенсивной работе, именно при ней (если только она продолжается несколько часов) возможно истощение углеводовных ресурсов организма. При очень напряженных работах этого истощения не происходит, потому что эти работы очень кратковременны (10—30 мин.), и на такую длительность работы, хотя бы она была связана с расходом одних углеводов, наличных запасов углеводов организма всегда хватает.

Итак, работы умеренной мощности характеризуются наличием устойчивого состояния, с чем связано усиление дыхания и кровообращения пропорционально интенсивности работы, сохранением щелочно-кислотного равновесия в крови и отсутствием накопления неокисленных продуктов распада; многочасовая работа требует значительного общего расхода энергии и может сопровождаться истощением углеводовных ресурсов организма.

ФИЗИЧЕСКИЕ УПРАЖНЕНИЯ СИЛОВОГО ТИПА

ПОНЯТИЕ О СИЛОВОМ УПРАЖНЕНИИ

Под силовыми упражнениями разумеются такие упражнения, которые требуют мобилизации максимальной мышечной силы или предназначены для развития мышечной силы до возможного максимума.

Какие же физические упражнения можно отнести к числу силовых?

В механике сила измеряется произведением массы на величину сообщенного ей ускорения, т. е.

$$f = ma,$$

где f — сила, m — масса, a — ускорение.

Следуя нашему определению, мы должны считать, что в силовом упражнении произведение ma должно стремиться к максимуму. Нетрудно убедиться в том, что это так и происходит, причем произведение это возрастает в том или ином спортивном упражнении обычно за счет одного из множителей — массы или ускорения. Покажем это на примерах.

Пример 1. Тяжелоатлет упражняется в подъеме штанги рывком. В основном движении, рывке, требуется, оторвав штангу от пола, сообщить ей некоторое ускорение, необходимое и достаточное для того, чтобы к концу подъема штанга оказалась на вытянутых руках атлета, успевшего к тому времени несколько подсесть на расставленных на «выпад» ногах. После этого выполняется второй прием: продолжая держать штангу на вытянутых руках, атлет приставляет ноги и выпрямляется во весь рост.

Нетрудно рассудить, что для того, чтобы штанга к концу рывка очутилась на вытянутых руках, ей нужно сообщать всегда одно и то же начальное ускорение, независимо от того, какого веса эта штанга. Поскольку путь (а он равен расстоянию от пола до кистей поднятых рук в позе «подседа») при постоянной технике выполнения данного движения данным лицом один и тот же, то начальная скорость полета также одна и та же и не зависит от массы, которой эта скорость сообщена.

Справившись с подъемом рывком относительно легкой штанги, атлет переходит к все более тяжелой, пока не дойдет до предельного веса.

Произведение массы штанги на величину сообщенного ей ускорения возрастало почти исключительно за счет возрастания веса штанги при практически постоянной величине ускорения. В тот момент, когда рывком был поднят предельный вес штанги, была, очевидно, мобилизована вся сила участвующих в этом движении мышц, и эта максимальная сила измеряется произведением максимальной массы штанги на данную (постоянную) величину ускорения.

В выражении $f=ma$ величина f стремилась к максимуму за счет возрастания до некоего максимума величины m при приблизительно постоянной величине a .

Пример 2. Легкоатлет толкает ядро. Вес ядра постояен. Спортсмен стремится толкнуть ядро как можно дальше. Если техника движения достаточно освоена, достаточно постоянна (что сводится в значительной степени к сообщению траектории полета ядра определенного, постоянного угла вылета), то дальность полета зависит от того ускорения, которое сообщено массе ядра в момент отрыва его от руки толкающего. Чем дальше толкает спортсмен ядро, тем, следовательно, большее ускорение (при одинаковом угле вылета) сообщается этому ядру. Когда, наконец, достигнута рекордная для данного спортсмена дальность полета ядра, достигнуто и максимальное ускорение на счет мобилизации максимальной силы участвующих в этом движении мышц.

В данном случае в выражении $f=ma$ величина f стремилась к максимуму за счет возрастания до некоего максимума величины m при постоянной величине a .

В обоих приведенных примерах сила возрастала за счет увеличения произведения ma . При этом физическое определение понятия силы не предусматривает, за счет которого из сомножителей увеличивалось их произведение. Поэтому с точки зрения физики под силовыми упражнениями следует понимать все те упражнения, в которых произведение m стремится к возможному максимуму, безотносительно того, за счет которого из этих сомножителей увеличивается произведение.

Подобно приведенным примерам, не трудно показать, что под это определение силового упражнения подпадают все спортивные приемы поднятия тяжестей, толкания, метания, бросания снарядов, прыжки с места в высоту и длину и т. п.

К силовым упражнениям, несомненно, относится и ряд гимнастических, а также ряд приемов борьбы, удары боксера и некоторые другие. В этих видах спорта нет точных количественных критериев достигнутого максимума силы, однако они направлены на то, чтобы развивать силу до предела. Здесь в большинстве случаев происходит изменение не одного из сомножителей (ma), а чаще — обоих, но цель упражнений — добиться возрастания всего произведения. В отдельных случаях, однако, видно преимущественное возрастание одного из сомножителей. Например, начинающий гимнаст с трудом удерживает при упоре на брусьях позу «угла» (держание вытянутых ног под прямым углом к туловищу) в течение даже нескольких секунд. После развития достаточной силы мышц, сгибающих бедра, он удерживает эту позу уже в течение десятков секунд. Казалось бы, здесь не изменилась ни величина a (она в обоих случаях равна и направлена противоположно ускорению силы тяжести), ни величина m , поскольку вес ног не изменился. Но тот факт, что гимнаст может удерживать ноги в этой позе уже не в течение нескольких секунд, а в течение многих десятков их, обозначает, что теперь он уже мог бы в течение секунды удержать не только вес ног, но и ноги, отягощенные дополнительным грузом. Иначе говоря, воз-

росшая сила гимнаста характеризуется тем, что при той же величине сообщаемого ей ускорения могла бы возрасти удерживаемая гимнастом масса.

ФОРМЫ ПРОЯВЛЕНИЯ МЫШЕЧНОЙ СИЛЫ

Мышечная сила может проявляться в двух формах: в напряжении и сокращении. Выше говорилось (см. стр. 149) о двух режимах мышечной деятельности — изометрическом и изотоническом. В первом случае мышца только напрягается, практически не укорачиваясь, во втором — укорачивается без напряжения, если ей не противодействует внешнее сопротивление. И та и другая формы мышечной деятельности являются проявлением мышечной силы.

Когда мы измеряем силу мышц по величине груза, который мышца может удержать, или по величине напряжения упругой пружины, которую растягивает мышца, мы измеряем силу мышцы, проявляющуюся в напряжении ее, при изометрическом режиме ее деятельности.

Когда мы хотим узнать максимальную силу изолированной мышцы, мы постепенно увеличиваем подвешиваемый к ней (но не растягивающий ее) груз, раздражая мышцу оптимальным по силе и частоте раздражением, пока, наконец, не достигнем такого веса груза, который мышца уже поднять не в состоянии. В этом случае мы измеряем максимальную мышечную силу, также выражаемую уравнением $f=ma$, в котором f стремится к максимуму за счет возрастания до максимума величины m при постоянной a , равной ускорению силы тяжести (вес есть произведение массы на ускорение силы тяжести). Если мы хотим выразить силу мышцы весом груза, то величина его обязательно должна быть такой, которую мышца не в состоянии поднять, а может лишь удержать, в противном случае вес груза надо было бы умножить еще на дополнительное ускорение, сообщенное ему при его поднятии. Весом же груза мы измеряем лишь силу мышцы, равную ему и противоположно направленную, т. е. уравновешивающую его. А это возможно только тогда, когда мышца находится в изометрических условиях, т. е. не сокращается, а напрягается.

Мы можем, конечно, узнать силу мышцы, которая развивается ею при подвешивании груза, т. е. его перемещении. Но тогда, помимо веса груза, нам надо знать также скорость перемещения. Скорость же перемещения определить труднее, поэтому обычно измеряют силу мышцы, проявляющуюся при изометрических условиях. Еще раз подчеркиваем, что измеряем мы при этом силу, проявляющуюся в напряжении, но не в сокращении мышцы.

Возможен и противоположный случай — проявление мышечной силы в изотонических условиях. Даже если нет внешнего сопротивления сокращению мышцы, всегда имеется внутреннее сопротивление частиц ее. Сила, которую затрачивает изотонически со-

преодолеваемая мышца, зависит от величины этого внутреннего сопротивления и скорости сокращения. Скорость сокращения может сильно варьировать, причем с возрастанием этой скорости возрастает и внутреннее сопротивление.

Очевидно, что максимальная сила мышцы, функционирующей в изогонических условиях, будет выражаться в предельной скорости ее укорочения. И здесь сила мышцы может быть выражена в виде $f=ma$, причем изменения величины m происходят за счет изменения величины a при приблизительно постоянной m .

Итак, мышечная сила может проявляться как в виде напряжения, так и в виде скорости сокращения.

Практически мы почти всегда наблюдаем сочетание обеих этих форм — сокращения с напряжением. Однако в спортивных силовых упражнениях изменение мышечной силы часто происходит за счет изменения силы, проявляемой в одной из этих форм при примерно постоянной другой.

В тех случаях, когда сила стремится к максимуму за счет увеличения перемещаемой массы (т. е. внешнего сопротивления при постоянном ускорении, сообщаемом этой массе), в мышце происходит изменение в степени напряжения ее при постоянной скорости сокращения. И, наоборот, если сила стремится к максимуму за счет возрастания величины ускорения, сообщаемого массе, приблизительно постоянной по величине, то мы наблюдаем изменение скорости мышечного сокращения при соответствующей изменяемости величины напряжения мышцы.

Физиологически оказывается не безразличным, за счет которого из сомножителей ma произошло возрастание силы, потому что это связано с проявлением двух разных форм мышечной деятельности — напряжения и сокращения.

Подъем тяжестей есть такое силовое упражнение, в котором при изменении затрачиваемого на него усилия изменяется степень напряжения мышц при приблизительно постоянной скорости мышечного сокращения. При подъеме тяжестей жимом эта скорость очень мала, при подъеме рывком она очень велика. В пределах одного и того же способа поднятия тяжестей сила определяется поднимаемой массой при одной и той же скорости подъема. Это же мы можем сказать так: сила зависит от степени напряжения мышц, преодолевающего инерцию различной перемещаемой массы при одной и той же скорости мышечного сокращения.

Толкание ядра или прыжок с места есть также силовое упражнение, но в нем при изменении затрачиваемой на него силы изменяется как скорость мышечного сокращения, так и величина напряжения. Последнее зависит главным образом от массы снарядов и больше, например, при толкании ядра, чем при метании гранаты. В пределах одного

и того же упражнения, при одной и той же массе снаряда величина напряжения, развиваемого мышцей, зависит в конечном счете только от скорости мышечного сокращения.

Поэтому физиологически целесообразно разделить все силовые упражнения (единые в физическом смысле) на две группы:

1) собственно силовыми упражнениями мы называем такие, в которых сила стремится к максимуму за счет увеличения перемещаемой массы при приблизительно постоянной величине сообщаемого этой массе ускорения. Иными словами, собственно силовыми упражнениями являются такие, в которых мышечная сила стремится к максимуму за счет возрастания напряжения, развиваемого мышцами при их сокращении с приблизительно постоянной скоростью;

2) скоростно-силовыми упражнениями мы называем такие, в которых сила стремится к максимуму за счет увеличения ускорения, сообщаемого перемещаемой массе при приблизительно постоянной величине этой массы. Иными словами, скоростно-силовыми упражнениями являются такие, в которых мышечная сила стремится к максимуму за счет возрастания в первую очередь скорости сокращения мышц и связанного с этим напряжения.

К собственно силовым мы отнесем такие движения, как поднятие тяжестей, некоторые приемы в борьбе, в снарядовой гимнастике, пушбол, перетягивание каната. К скоростно-силовым — прыжки с места, толкания, метания, бросания снарядов, резкие удары по мячу в спортивных играх, боксерский удар.

Факторы, влияющие на развитие мышечной силы. Среди упомянутых факторов, влияющих на величину мышечной силы, мы указывали на значение мышечной массы — на величину ее физиологического поперечника. Этот момент играет громадную роль в развитии силы мышцы, проявляющейся, однако, преимущественно в напряжении ее. Чем больше поперечник мышцы, тем большее напряжение может она развить.

В то же время поперечник мышцы не играет большой роли в скорости мышечного сокращения. Две мышцы разной толщины могут сокращаться с одинаковой скоростью, и полчас даже более тонкая мышца бывает в состоянии развить более высокую скорость своего сокращения, нежели мышца более толстая.

Таким образом, в практике большая мышечная масса представляет преимущество главным образом там, где требуется развитие большого напряжения мышц, где необходимо преодоление инерции больших перемещаемых масс. Там же, где сила должна проявляться за счет высокой скорости сокращения при малой величине напряжения, значение мышечной массы не так велико.

Скорость же мышечного сокращения зависит, кроме прочего (возбудимости, характера нервного импульса и т. п.), от упруго-вязких свойств мышцы.

Выше говорилось о том, что при изотоническом сокращении

мышцы сила расходуется на преодоление внутреннего трения (вязкости) самой мышцы. Установлено, что затрата силы на преодоление внутреннего сопротивления возрастает с увеличением скорости сокращения мышцы.

Следовательно, вязкость мышцы является фактором, препятствующим развитию высокой скорости сокращения. Чем вязкость больше, тем, при прочих равных условиях, меньшей окажется максимальная скорость сокращения мышцы, и наоборот, чем меньше ее вязкость, тем большую скорость сокращения она может развить.

ОБЩИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ СДВИГИ ПРИ СИЛОВОМ УПРАЖНЕНИИ

Разберем те физиологические процессы, которые происходят в организме при однократном силовом движении. Изменения, происходящие при многократном повторении силового движения, зависят от частоты этих повторений, интенсивности самого движения и должны уже рассматриваться, подобно вышеприведенному разбору физиологических изменений, в зависимости от мощности и длительности работы.

Энергетика. Силовое движение по мощности выполняемой работы стоит выше всех других типов движений. В некоторых случаях величину этой мощности можно подсчитать. Приведем ориентировочный подсчет для поднятия штанги. Предположим, что спортсмену удалось поднять рывком штангу весом 100 кг. Высота подъема (на вытянутые руки) приблизительно 2 м. Предположим далее, что этот подъем удалось осуществить в течение 1 сек. Следовательно, за 1 сек. выполнена работа в 200 кгм.

Подсчитаем количество энергии, которое надо на эту работу израсходовать. 200 кгм эквивалентны почти 0,5 б. кал., так как 1 б. кал. эквивалентна 427 кгм (см. стр. 28).

Коэффициент полезного действия работы такого типа примем равным 20%. Тогда общее количество энергии, которое надо затратить на эту работу, будет равно приблизительно $0,5 \times 5 = 2,5$ б. кал.

Такое количество энергии расходуется на протяжении одной секунды, в течение которой длится работа, 2,5 б. кал. в секунду — это громадная величина; она приблизительно в 150 раз выше, чем количество энергии, затрачиваемой в покое.

Следует, однако, помнить, что эта энергия расходуется в ничтожное время — в секунду; вся работа протекает, очевидно, в анаэробную (бескислородную) фазу, а фаза аэробная (окислительного ресинтеза) целиком приходится на восстановительный период. Последний невелик, так как для покрытия расхода энергии в 2,5 б. кал. требуется всего 0,5 л кислорода. Это количество кислорода может быть с легкостью поглощено в течение одной, максимум двух минут восстановления.

Поэтому однократное силовое упражнение, несмотря на то, что по мощности оно превосходит все другие физические упражнения, требует вследствие своей кратковременности небольшой общей затраты энергии.

Дыхание и кровообращение. Естественно, что деятельность дыхательной системы и кровообращения при однократном силовом упражнении нельзя рассматривать только как ответ на «запрос» организма на обеспечение доставки кислорода. Работа, хотя и громадной интенсивности, продолжается так недолго, что значительное усиление деятельности этих систем исключено.

Изменения в деятельности дыхательной и кровеносной систем при силовом акте все же происходят, но они вызваны особыми условиями, специфическими для силового акта, и отличаются от тех изменений, которые обычно характеризуют участие этих систем в работе организма, и сводятся к общему усилению их деятельности.

При выполнении силовых физических упражнений обычно наблюдается явление натуживания. Оно заключается в том, что при закрытой голосовой щели, что исключает выдыхание воздуха легких, напрягается выдыхательная мускулатура. Вследствие этого повышается давление в плевральной полости, которое из отрицательного становится положительным, т. е. превышает атмосферное давление. В легких и нижних воздухоносных путях давление также возрастает.

Все это сочетается с повышением давления в брюшной полости. Мышцы брюшного пресса напрягаются при натуживании в еще большей мере, чем грудные. При этом они сдавливают брюшные органы, и давление в брюшной полости повышается. Общее повышение давления в полостях туловища резко сказывается на кровообращении вследствие сдавления сосудов.

Наибольшему сдавлению при натуживании подвергаются наиболее податливые ткани. Из сосудов в первую очередь сдавливаются вены, имеющие по сравнению с артериями более тонкие, легко податливые стенки; кроме того, внешнему давлению на стенки вен меньше противопоставлено внутреннее давление (давление крови), чем на стенки артерий. Вследствие сдавления легочных венул и вен затрудняется прохождение крови через легочные капилляры и уменьшается приток ее в левое предсердие. Кроме того, вследствие сдавления полых вен, как нижней, так и верхней, уменьшается приток крови к правому предсердию. В частности, об уменьшенном притоке крови из верхней полой вены и о происходящем вследствие этого застое крови в венах головы можно судить по набуханию шейных вен и побагровению лица при натуживании.

В результате натуживания уменьшается количество крови, поступающей в сердце, а следовательно, и количество крови, выбрасываемой сердцем. Ясно, что при этом должно упасть и артериальное кровяное давление. Такое падение кровяного давления хорошо видно на рис. 91 (кривая III). Этот рисунок воспроизводит явления, происходящие при так называемой пробе Вальсальва, в кото-

рой испытуемому предлагается осуществить натуживание определенной длительности (20 сек.) и силы. Последняя измеряется при помощи ртутного манометра: испытуемый, пытаясь совершить выдох, должен поднять уровень ртутного столба на 40—60 мм.

Однако резкое падение кровяного давления (кривая III на рис. 91) наблюдается не у всех, а лишь при несовершенстве механизма регуляции кровяного давления. В самом деле, как только кровяное давление в аорте и сонных артериях начинает снижаться, происходит рефлекторное падение тонуса центра блуждающего нерва и повышение тонуса сосудосуживателей. Вследствие этого сосуды сжимаются, а сердце учащает свои сокращения, что вызывает повышение кровяного давления. Таким вторичным повышением компенсируется предшествовавшее его падение. Такой тип реакции виден на том же рисунке, на кривой II.

Возможна даже столь совершенная регуляция, что рефлекторное повышение кровяного давления компенсирует начавшееся было снижение его с избытком. Реакция такого типа видна на кривой I

рис. 91. Именно так в исследованиях Бюргера реагировали на описанную пробу с натуживанием высококвалифицированные тяжелоатлеты — участники международных олимпийских состязаний. Совершенно очевидно, что лица, у которых сердечно-сосудистая система реагирует на натуживание по типу нижней кривой, т. е. у которых регуляция кровяного давления несовершенна, не могут быть допущены к занятиям теми видами спорта, которые связаны с сильным натуживанием, например к поднятию тяжестей, борьбе и некоторым упражнениям снарядовой гимнастики.

Помимо натуживания, в борьбе и акробатических упражнениях встречается ряд других условий, затрудняющих нормальное дыхание. В первую очередь обращает на себя внимание поза. В позе «моста», например туловище резко изогнуто назад, мышцы брюшного пресса растянуты и напряжены, сильно растянуты мышцы шеи, грудная клетка фиксирована. Все это резко ограничивает возможность производить достаточно глубокие дыхательные движения.

Во-вторых, укажем на внешние давления, оказываемые противником в борьбе. При сильном обхвате и при ряде приемов борьбы в партере противник сдавливает своими руками и туловищем грудную клетку и живот, что подчас очень сильно за-



Рис. 91. Изменения кровяного давления при натуживании. Три реакции (по Бюргеру. Объяснения в тексте).

трудняет вдох. Можно видеть иногда, как более слабый борец буквально задыхается в длительных могучих объятиях своего партнера. Нужна очень сильная дыхательная мускулатура, чтобы противиться такому давлению и совершать дыхательные движения.

Натуживание чаще всего сопровождается собственно силовыми движениями, т. е. движениями, связанные с напряжением мышц; оно тем сильнее, чем больше требуемое напряжение. При скоростно-силовых упражнениях натуживание выражено значительно менее резко, и чаще такие движения происходят на фоне усиленного выдоха.

СТАТИЧЕСКИЕ УСИЛИЯ

Понятие о статическом усилии. К группе силовых упражнений близко подходят по своей физиологической характеристике так называемые статические усилия.

Статическим усилием называется более или менее длительное произвольное удерживание мышцы в напряженном состоянии. Сюда относятся длящееся некоторое время поддерживание груза, веса собственной конечности и т. п.

Часто такой вид мышечной деятельности именуется «статической работой». Термин этот, однако, чисто условный, потому что внешней работы в физическом смысле неподвижная напряженная мышца не выполняет. При работе всегда имеется в виду движение, и измеряется работа произведением силы на путь:

$$R = fs,$$

где R —работа, f —сила, s —путь.

В статической «работе», когда мышцы не двигаются, а лишь напряжены, когда груз не перемещается, а неподвижен, — путь s отсутствует, т. е. равен нулю. Поскольку же s равно нулю, то нулю равно и fs , нулю равна и работа R .

Правильнее поэтому говорить не «статическая работа», а «статическое усилие».

Энергетика. Когда мы поддерживаем груз или поднятую конечность, т. е. когда мы напрягаем наши мышцы, мы расходует энергию. При этом вся расходуемая энергия идет на то, чтобы поддерживать мышцы в напряженном состоянии, но на внешнюю работу энергия не тратится. Мы не можем даже говорить о коэффициенте полезного действия статической «работы», потому что под коэффициентом полезного действия понимают отношение полезной затраченной энергии (т. е. трансформированной в механическую кинетическую энергию движения) ко всей израсходованной энергии. Полезной же затраты энергии здесь нет, потому что в механическую энергию движения мышечная энергия не трансформируется. Коэффициент полезного действия такой «работы» равен нулю. Вся та энергия, которую расходуют мышцы, идет лишь

на то, чтобы поддерживать иное, более напряженное состояние мышцы.

В тот момент, когда мы поднимаем груз, мы совершаем работу, и энергия затрачивается как на придание твердости, напряженности мышце, необходимой для того, чтобы уравновесить груз, так и на то, чтобы его поднять. Но с того момента, как поднятие груза прекратилось, энергия затрачивается лишь на то, чтобы сохранить это состояние напряженности мускулатуры.

Обнаружено, что расход энергии на статическое усилие всегда меньше, чем расход энергии на движение. При самом напряженном статическом усилии энергии тратится не больше, чем при динамической работе умеренной мощности.

Количество энергии, расходуемой при статических усилиях, зависит от величины этого усилия. Чем оно больше, тем больше тратится энергии, тем больше и кислородный запрос. Верхний предел его, однако, гораздо ниже верхнего предела при динамической работе. Тем не менее удовлетворение кислородного запроса при статических усилиях почти всегда оказывается недостаточным.

Дыхание и кровообращение. Если мы проследим потребление кислорода при совершении статических усилий, то убедимся в том, что во время самого усилия потребление кислорода очень невелико и почти никогда не превышает 1 л/мин. Зато тотчас по прекращении усилия потребление кислорода резко возрастает и обычно оказывается более высоким, чем оно было во время самого усилия (рис. 92).

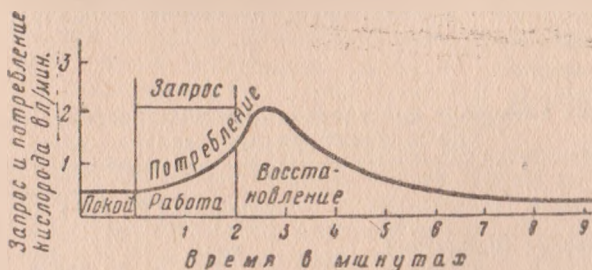


Рис. 92. Схема потребления кислорода во время и после статического усилия.

Дело в том, что, несмотря даже на незначительный кислородный запрос, статическое усилие создает условия, затрудняющие своевременное потребление кислорода мышцами. Даже при сравнительно небольшом кислородном запросе удовлетворение его во время статического усилия затруднено вследствие недостаточного кровоснабжения напряженных мышц.

Если мышца попеременно сокращается и расслабляется, то кровоснабжение ее усилено: эти движения способствуют прохождению

тока крови через мышцу. При сокращении происходит выжимание крови из мельчайших вен, при расслаблении кровь опять поступает из капилляров в вены. Иначе говоря, действует «мышечный насос», способствующий усилению кровотока в мышцах.

Во время же статического усилия мышечный насос не действует. Кровоснабжение мышцы не увеличивается в должной мере потому, что при напряжении мышцы податливые стенки мелких вен сдавливаются, что затрудняет продвижение крови в них.

Как только статическое усилие прекращается, выключается давление мышц на сосуды, и кровообращение в мышцах сразу увеличивается.

Недостаточное кровоснабжение означает недостаточное снабжение кислородом деятельных мышц. Продукты бескислородного распада не подвергаются своевременному окислительному ресинтезу и накапливаются в мышцах. Они диффундируют в кровь, однако увеличение их концентрации в крови обнаруживается преимущественно по окончании статического усилия: застойные явления в напряженных мышцах препятствуют достаточно энергичной диффузии в кровь продуктов мышечного обмена.

Вследствие недостаточного кровоснабжения статически напряженных мышц окислительные процессы в них не успевают за распадом энергетических веществ и образуется кислородная задолженность. Главная масса кислорода потребляется уже по прекращении статического усилия.

Таблица 18 показывает это избыточное потребление кислорода при восстановлении, превышающее потребление кислорода во время самого статического усилия, представленного здесь рядом гимнастических поз.

Таблица 18

Потребление кислорода при различных гимнастических статических упражнениях (по Линдгарду)

Название упражнений	Длительность (в мин.)	Потребление кислорода в 1 мин. (в см ³)	
		во время упражнения	сразу после упражнения
Вис на перекладине на согнутых руках	0,8	557	853
Сохранение горизонтального положения туловища при закрепленных ногах . . .	1,48	586	821
Горизонтальное положение с упором на кисти рук и ступни	2,01	562	595
Удерживание туловища под углом в 45° при сидении	1,67	508	634
Удерживание ног под углом в 30° при лежании на спине	1,56	410	495
Стояние на носках при согнутых коленях	1,28	742	807

Рассмотрим деятельность дыхательной системы во время статических усилий. Если статическое усилие достаточно интенсивно, то дыхание может возрасти лишь в слабой степени, интенсивность его иногда даже снижается. Происходит это потому, что при многих статических усилиях в напряжение вовлекаются дыхательные мышцы, что препятствует нормальной экскурсии грудной клетки. Жизненная емкость легких снижается, дыхание делается редким и иногда поверхностным. При очень больших напряжениях наблюдается кратковременная задержка дыхания, связанная с явлением натуживания. По окончании статического усилия происходит раскрепощение дыхательной мускулатуры и дыхание сразу делается глубоким.

Сопоставим вновь статическое усилие с силовым упражнением. Силовое упражнение мы определяли как совершаемое с максимальной (или стремящейся к максимуму) силой. Максимальное усилие не может долго длиться. Как только напряжение мышц достигло своего максимума, оно тотчас же начинает снижаться. Статическим же усилием мы называем такое, которое более или менее продолжительно. Следовательно, оно уже не максимально. Вообще говоря, статическое усилие тем дольше может длиться, чем оно меньше по своей интенсивности. Стояние есть тоже статическое усилие, однако никто не назовет стояние силовым упражнением.

Следовательно, на вопрос, можно ли любое статическое усилие причислить к силовым упражнениям, нужно ответить отрицательно. В то же время, однако, большое статическое усилие приближается уже к собственно силовому акту. Чем больше статическое усилие, тем меньший промежуток времени оно может длиться, тем ближе оно к собственно силовому напряжению, тем больше его физиологическая характеристика приближается к характеристике собственно силового напряжения.

Такие напряженные статические усилия, которые могут поддерживаться лишь несколько секунд, весьма близки по характеру к силовым напряжениям. Значение поперечника мышц, наличие натуживания, все это относится в равной мере как к силовым напряжениям, так и к большим статическим усилиям. Многие гимнастические позы, встречаемые в снарядовой гимнастике (например держание угла в вися или упоре, крест на кольцах, равновесие на брусках, выход в стойку жимом и т. п.), являются статическими усилиями собственно силового типа.

ГЛАВА XVI

УТОМЛЕНИЕ

С утомлением мы повсеместно сталкиваемся в обыденной жизни, в труде, в спорте. Утомление сопровождается рядом объективных признаков, субъективно мы ощущаем его как чувство усталости. Утомление воспринимается нами как помеха к дальнейшему совершению работы.

К сожалению, наши представления о сущности утомления еще весьма ограничены. Существует ряд исследований, ряд предположений о природе утомления, но ни одно из них полностью его не объясняет. Ниже мы познакомимся с этими теориями, а также с основными признаками и особенностями проявления утомления при разных видах мышечной деятельности человека, сейчас же остановимся на определении понятия утомления.

Под утомлением мы будем понимать падение работоспособности, наступающее вследствие выполнения работы.

Если человек совершает работу определенной интенсивности, то признаком утомления явится снижение этой интенсивности. Однако, если человек приложит большие усилия, то он в течение некоторого времени, хотя и с трудом, но сможет продолжать работу на прежнем уровне. Начинаящееся утомление будет выражаться в данном случае в том, что поддержание прежних показателей работы дается теперь с большим трудом, с большими затратами усилия, энергии. Это все будут случаи утомления, потому что падение работоспособности происходило вследствие выполнения самой работы. Работоспособность может оказаться пониженной в по ряду других причин (заболевание, психическое состояние и т. п.), но лишь падение ее, обусловленное выполнением работы, мы называем утомлением.

Говоря, что утомление есть падение работоспособности, вызванное выполнением работы, мы даем лишь описательное определение понятию утомления, но еще не объясняем его. Перед нами встает вопрос, в чем причина утомления, почему в результате более или менее длительной работы работоспособность организма или отдельного органа падает. Этот вопрос является уже долгое время предметом исследования многих физиологов. Для объяснения природы утомления было предложено несколько

теорий. Приведем здесь основные из них: теорию отравления, теорию истощения и теорию засорения (задушения).

Подчеркнем, однако, с самого начала, что эти теории строились на основании утомления преимущественно изолированной мышцей.

ТЕОРИИ УТОМЛЕНИЯ

Теория отравления. Эта теория основывается на предположении, что в мышце в процессе ее работы возникают яды усталости (кенотоксины), накопление которых отравляет мышцу и весь организм, делая его неспособным к продолжению работы. Теория отравления была в свое время очень популярной, и одно время даже казалось, что с утомлением можно легко бороться путем искусственно приготовленных противоядий (антикенотоксинов). Выяснилось, однако, что тот фактический экспериментальный материал, который был положен в основу токсической теории, был ошибочен. Никаких ядов утомления, никаких кенотоксинов в мышце не оказалось.

К сожалению, и до сих пор еще в популярной литературе приходится встречаться с утверждением, что утомление есть отравление ядами усталости. Подобные утверждения неверны в силу того, что экспериментально доказано отсутствие кенотоксинов. Кроме того, эти утверждения вредны в методологическом отношении. Если исходить из того, что яды усталости вырабатываются непрерывно в процессе мышечной деятельности, то мы неизбежно придем к тому логическому выводу, что сама мышечная работа — это отравление ядами. Выходит, что в процессе труда или занимаясь физическими упражнениями, мы отравляем себя постоянно вырабатываемыми в нас ядами. Отсюда же неизбежен тот логический вывод, что, для того чтобы избежать систематического самоотравления, нужно перестать трудиться, нужно избегать физических упражнений, потому что они, также как и физический труд, оказываются вредными. Научная и социальная бессмысленность оснований, приводящих логически к подобным выводам, очевидна.

Теория истощения. Сторонники этой теории исходят из того, что, поскольку выполнение работы связано с тратами энергии, постольку выполнение работы возможно лишь до тех пор, пока в мышце еще имеются вещества, содержащие энергию. При работе количество этих веществ постепенно уменьшается, пока, наконец, все энергетические ресурсы мышцы не скажутся исчерпанными. Утомление, следовательно, является результатом истощения энергетических ресурсов мышцы или организма, т. е. утомление есть следствие истощения.

Исследования, однако, показали, что утомленная мышца прекращает работу еще задолго до того, как истощатся ее энергетические ресурсы. Даже при полном утомлении мышцы, когда

сильнейшими раздражениями не удается вызвать ее сокращений, в ней еще обнаруживают некоторые запасы гликогена и азотистых соединений. Следовательно, утомление не есть результат полного истощения мышцы. Нужно, однако, заметить, что если не полное истощение, то все же значительное уменьшение энергетических веществ мускулатуры является в известной мере причиной того, что мышца не в состоянии выполнять работу той мощности, которую она могла выполнять при большом содержании в ней энергетических продуктов.

Если обратиться от изолированной мышцы к человеку, то можно со всей категоричностью утверждать, что даже очень сильное утомление не может быть сведено не только к полному истощению, но даже к значительному уменьшению энергетических продуктов в мышцах. Правда, при утомлении, развивающемся в результате очень большой и длительной работы, уменьшаются и даже почти истощаются запасы углеводов в печени. Это резкое уменьшение запасов углеводов играет известную, быть может, даже определяющую роль в развитии утомления при чрезмерно длительной работе, однако не объясняет его полностью. При кратковременных же мощных работах (например бег на короткие и средние дистанции) никакого истощения не происходит, и утомление в этих условиях не стоит с истощением ни в какой связи.

Теория «засорения». Мышца, находящаяся в нормальных условиях кровоснабжения, утомится гораздо позднее, чем изолированная мышца. Значение кровоснабжения здесь не столько в том, что кровь доставляет мышце энергетические продукты, сколько в том, что кровь удаляет из мышцы продукты распада и обеспечивает их окисление.

Если скорость образования продуктов распада выше скорости их окислительного устранения, то эти продукты накапливаются в мышце. Накопление же продуктов распада, в частности молочной кислоты, сдвигает реакцию мышцы в кислотную сторону, что затрудняет распад новых порций энергетических веществ. Интенсивность самого распада, а следовательно, и количество той энергии, которая может быть использована на механическую работу, уменьшается, по мере того как в мышце происходит накопление продуктов распада. Сокращение мышцы продолжает уменьшаться как по высоте, так по силе и частоте, и в конце концов мышца совсем отказывается отвечать на раздражения. Утомление, следовательно, является результатом накопления продуктов распада, «засорения» мышц.

При накоплении продуктов распада происходит еще один процесс. По мере того как увеличивается количество их в мышцах, уменьшаются не только высота и сила сокращения, но и замедляется расслабление мышц. По мере развивающегося утомления мышца медленнее и с большим трудом возвращается к

своей исходной длине. Даже во время пауз между отдельными раздражениями она остается несколько укороченной, и, когда мышца утомлена настолько, что вовсе перестает отвечать на раздражения, она оказывается как бы застывшей в укороченном состоянии. Состояние длительного укорочения мышцы, наступающего вследствие большого, постепенно прогрессирувавшего накопления продуктов распада, называется, как мы знаем, **контрактурой**.

Теория засорения является одной из наиболее состоятельных попыток объяснить природу утомления мышцы, и несомненно, что утомление изолированной мышцы сводится главным образом к засорению ее продуктами распада. Несомненно также, что при выполнении большей части физических упражнений, происходящем в условиях высокой кислородной задолженности, но не при устойчивом состоянии, в мышцах накапливается значительное количество продуктов распада, что препятствует дальнейшему продолжению работы. Засорение здесь имеет место и является одной из существенных причин мышечного утомления. Оно, однако, не объясняет всего процесса утомления у человека, так как сводит этот процесс только к нарушению деятельности самой мышцы, оставляя в стороне значение первого фактора.

РОЛЬ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ В РАЗВИТИИ УТОМЛЕНИЯ

Предложим испытуемому работать в определенном ритме пальцем на эргографе (рис. 93), каждый раз сгибая палец доотказа. Мы заметим, что по мере продолжения работы высота сокращений будет все более снижаться, пока сокращения не прекратятся совсем. Записанная кривая (эргограмма) будет кривой утомления (рис. 94).

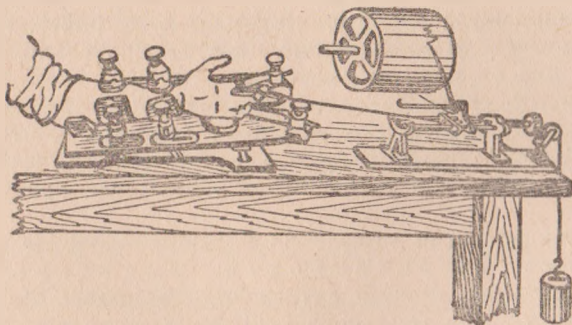


Рис. 93. Эргограф Моссо.

Если исходить только из вышеуказанных теорий утомления, то следует думать, что работа прекратилась потому, что в мышце накопились слишком много продуктов распада, препятствующих

дальнейшим ее сокращениям, или, может быть, истощились или уменьшились энергетические ресурсы мышцы. Так или иначе, по этим взглядам, вся причина утомления лежит в самой мышце.

Однако, если приложить к области мышцы, сгибающей палец, электроды и раздражать мышцу электрическим током, то обнаружится, что мышца, доведенная произвольными сокращениями до отказа от работы, вновь сокращается с значительной силой.

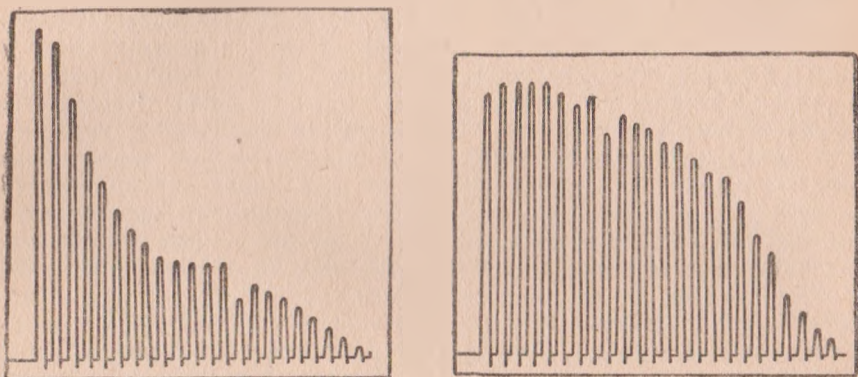


Рис. 94. Эргограммы.

Отсюда естественно сделать тот вывод, что при произвольных сокращениях утомлялись не только мышцы, но и нервные центры, посылающие к мышцам возбуждающие импульсы. При этом утомление нервных центров наступает раньше, чем утомление мышц, и отказ последних от работы вызван в первую очередь отказом от работы нервных центров. Следовательно, заменив произвольные нервные импульсы электрическими раздражениями, мы застали мышцу еще не в окончательно утомленном состоянии, и она еще могла работать.

Если сравнить относительную утомляемость трех элементов — нервных центров, нервов и мышц, то обнаружится, что наиболее высокой утомляемостью обладают нервные центры, затем мышцы, а нервные волокна, как показали исследования, практически неутомимы.

В скорости развития утомления большое значение имеет степень автоматизированности движения. Ходьба, например,— движение высоко автоматизированное и может совершаться длительно, без заметного утомления. Зато ходьба по шпалам, когда приходится постоянно изменять длину шага, приравливаясь к различным интервалам между шпалами, быстро утомляет. Этот пример показывает более высокую утомляемость высших нервных центров коры головного мозга сравнительно с нижележащими отделами центральной нервной системы.

Большую роль в процессах утомления играет также вегетативная нервная система. Как показали исследования Орбели и его школы, возбуждение симпатической нервной системы восстанавливает работоспособность утомленной мышцы. Возбуждение же симпатической нервной системы и усиленное выделение адреналина (действующего на мышцу аналогично симпатическому нерву) сопровождается ряд эмоциональных состояний. Этим частично объясняется внезапный прилив сил, проявляющийся в бурном финишировании утомленного бегуна, подбадриваемого криками товарищей.

Нужно отметить также то значение, которое в процессах утомления и отдыха имеют органы чувств и те афферентные импульсы, которые поступают от них в центральную нервную систему.

Еще Сеченовым было обнаружено, что после утомления, развившегося при работе одной, например правой руки, восстановление ее работоспособности происходит успешнее не при полном отдыхе, а при совершении умеренной работы другой, в данном случае левой руки. Предполагается, что происходит это по той причине, что поступающие в центры импульсы от проприорецепторов левой руки производят возбуждающее действие на те центры, которые утомились или впали в состояние торможения от предшествовавшей утомительной работы правой руки.

В известной мере таким возбуждающим, восстанавливающим работоспособность, снижающим торможение нервных центров свойством обладают любые афферентные импульсы, если только они не идут от органа, работа которого привела к утомлению (Кекчеев). Например, при утомлении зрения восстановление зрительной функции может быть ускорено звуковыми, обонятельными, вкусовыми раздражениями. При мышечном утомлении силы могут быть быстрее восстановлены при умеренных механических раздражениях кожи (массаж) или ее термических раздражениях (холодные обливания, обтирания), при приятных вкусовых раздражениях, при острых воздействиях на обонятельный аппарат (например, нюхание нашатырного спирта). В частности, именно к такого рода воздействиям афферентных импульсов на работоспособность нервных центров приводят различные мероприятия, к которым прибегают боксеры для быстрейшего восстановления сил между раундами.

МЕРТВАЯ ТОЧКА И ВТОРОЕ ДЫХАНИЕ

Одной из форм проявления утомления являются также так называемая мертвая точка и второе дыхание. Эти явления возникают при спортивных упражнениях циклического типа, преимущественно большой мощности (бег, плавание, гребля).

Заключаются они в том, что через некоторое время после старта спортсмен ощущает сильное утомление, проявляющееся в чув-

стве некоторой скованности в ногах, ощущении удушья, одышки, стеснения в груди. Возникает желание прекратить работу или сильно снизить ее интенсивность. Если эти ощущения очень велики и превозмочь их не под силу, спортсмен прекращает бег, не закончив дистанции. Чаще же опытный спортсмен, знакомый с этим явлением, усилием воли превозмогает эти тяжелые ощущения, заставляет себя продолжать работу, по возможности не снижая темпа. Тогда, спустя некоторое время, он ощущает облегчение и оказывается в состоянии продолжать соревнование.

Получается впечатление, что во время работы в организме спортсмена возникает какое-то сопротивление дальнейшему совершению работы, которое нужно преодолеть для того, чтобы иметь возможность ее продолжать. Момент возникновения на дистанции состояния с трудом преодолимого утомления был назван мертвой точкой, после которой возникает новое состояние—второе дыхание. Вторым дыханием это состояние названо было потому, что наиболее ярким из субъективных ощущений при нем является чувство облегчения дыхания (как говорят спортсмены, «открывается дыхание»), сменяющее ощущение стесненности дыхания.

Время наступления мертвой точки непостоянно и зависит от ряда причин. Основными из них являются: мощность работы, внезапность включения организма в работу и степень тренированности организма.

Зависимость времени наступления мертвой точки от мощности работы хорошо видна на таблице 19, где приведены результаты наблюдений над бегунами.

Таблица 19

Зависимость времени наступления мертвой точки от скорости бега (по Гербсту)

Дистанция (в м)	Скорость бега (в м/сек.)	Момент наступления мертвой точки	
		Пройденный путь (в м)	Время от старта (в сек.)
400	8,0	250	30
800	6,9	550	80
1 500	6,3	1 150	180
3 000	5,3	2 000	380
5 000	5,3	2 000	380
10 000	5,3	2 000	380

Мы видим, что чем меньше мощность работы (в данном случае скорость бега), тем позже наступает мертвая точка. Там, где скорость бега, несмотря на разные дистанции, была одинаковой, мертвая точка наступала в одно и то же время.

Немалую роль в скорости наступления мертвой точки играет и внезапность старта. Если скорость бега развивается постепенно, то мертвая точка может наступить позднее, чем при очень энергичном старте. Разминка, предварительные упражнения, предшествующие старту, также отдаляют время наступления мертвой точки.

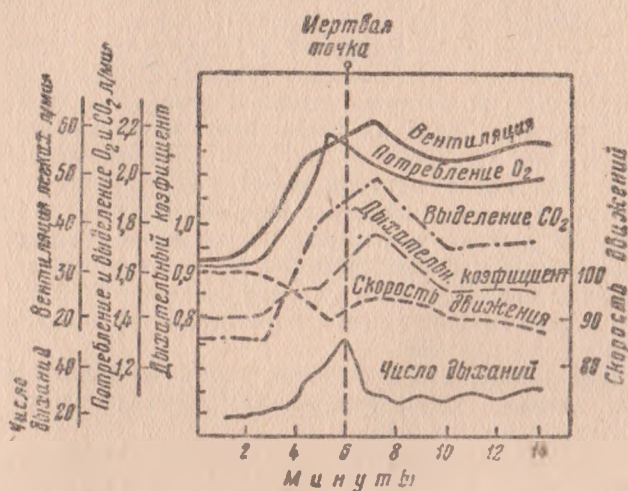


Рис. 95. Изменение ряда физиологических функций при «мертвой точке» и «втором дыхании» (гребля) по Эвигу.

При тренировке время наступления мертвой точки также отлагается. Если в начале тренировки, например в беге на какую-нибудь из средних дистанций, мертвая точка наступала приблизительно на половине пути, то при систематической тренировке в беге с данной скоростью она наступает все позже и при высокой тренированности может даже совершенно отсутствовать.

Характерным для мертвой точки является в первую очередь снижение интенсивности работы (скорости бега, плавания, гребли и т. п.). Обычно, несмотря на все усилия спортсмена, эта интенсивность с момента наступления мертвой точки падает, и лишь по преодолении мертвой точки, т. е. с наступлением второго дыхания, она вновь может подняться, достигая первоначального уровня или чаще все же не доходя до него (рис. 95).

Расход энергии ко времени наступления мертвой точки достигает наибольшей величины по сравнению с другими периодами. В то же время, как только что указано, мощность работы в этот момент снижается. Следовательно, повышение энергетических затрат (потребление кислорода) на единицу работы возрастает еще больше. Это свидетельствует о снижении коэффициента

полезного действия, об уменьшении экономичности совершаемой работы. Происходит это главным образом потому, что во время мертвой точки спортсмен, пытающийся преодолеть ее, совершает подчас много лишних, ненужных движений, напрягая и сокращая таким образом ряд добавочных мышц. Движения к наступлению мертвой точки становятся менее координированными. Все это связано с бесполезной добавочной тратой энергии.

Весьма характерны изменения дыхания. Частота дыхания дает наибольшее увеличение именно к наступлению мертвой точки. С переходом во второе дыхание она делается меньше. Уменьшение частоты дыхания после мертвой точки не означает, однако, такого же уменьшения легочной вентиляции, потому что глубина дыхания после мертвой точки увеличивается. Следовательно, наступление мертвой точки характеризуется частым, но не очень глубоким дыханием, переход же ко второму дыханию связан с уменьшением частоты дыхания, но в то же время с увеличением глубины его. При этом глубина дыхания возрастает столь сильно, что общая легочная вентиляция, несмотря на снижение частоты дыхания, возрастает.

Характерно также, что в мертвой точке уменьшается жизненная емкость легких, характеризующая потенциальные возможности дыхательного аппарата.

После преодоления мертвой точки, когда установилось второе дыхание, жизненная емкость легких вновь возрастает, намного превышая их емкость при покое. Получается впечатление, что дыхание после мертвой точки действительно делается раскрепощенным, и грудная клетка может совершать экскурсии гораздо большие, чем к моменту наступления мертвой точки. Показано также, что увеличивается не только амплитуда дыхательных движений, но также и сила их. Манометрические измерения силы выдоха показали уменьшение ее в мертвой точке и увеличение во втором дыхании.

В деятельности сердечно-сосудистой системы также происходит ряд изменений, изученных, правда, не столь подробно, как дыхание. Частота сердечных сокращений достигает максимума к мертвой точке, а во втором дыхании сердце работает уже с более умеренной частотой.

В чем же причина мертвой точки и второго дыхания? Все признаки мертвой точки, как объективные показатели, так и субъективные ощущения, соответствуют той картине, которая характерна для развития утомления. Перед нами несомненное падение работоспособности, явившееся следствием самой работы, общий характер ощущений и физиологических сдвигов именно таков, какой бывает при утомлении, развивающемся при работе большой мощности.

Гораздо менее ясно второе дыхание. Почему утомление может при продолжении работы снизиться, а не углубляется далее? Вопрос этот, глубоко интересующий многих физиологов, до сих пор

еще не имеет достаточно полного объяснения. Ряд признаков, однако, позволяет сделать некоторые предположения.

К моменту наступления мертвой точки, как мы видели, дыхание еще не достигает полной координированности и глубины. Работа, происходящая при большом кислородном запросе, сопровождается, в особенности в начале ее, образованием значительной кислородной задолженности. Недоокисленные продукты распада, накапливаясь в мышцах и диффундируя в кровь, вытесняют из бикарбонатов уголекислоту. Реакция крови становится более кислой. Возбуждение дыхательного центра вследствие увеличения напряжения угольной кислоты в крови все более возрастает. Дыхание сильно учащается, но объем его возрастает недостаточно. Вследствие этого альвеолярный воздух недостаточно обновляется свежим наружным воздухом, практически не содержащим уголекислоты. Напряжение угольной кислоты в альвеолярном воздухе очень высоко, что затрудняет диффузию уголекислоты из крови. От этого накопление уголекислоты в крови делается еще большим, реакция крови еще сильнее сдвигается в сторону кислотности. При перестройке дыхания на другой его тип отношения меняются. При увеличении глубины дыхания, наблюдаемом при переходе через мертвую точку, улучшаются условия для выхода уголекислоты из крови, потому что обновление альвеолярного воздуха происходит теперь более успешно. Парциальное давление уголекислоты в нем в результате глубокого промывания его наружным воздухом снижается, что обеспечивает более совершенную диффузию уголекислоты из крови в легкие. Реакция крови в результате этого опять несколько сдвигается в щелочную сторону.

Создаются условия для лучшей координированности деятельности органов дыхания и кровообращения. Часть щелочных радикалов, освободившаяся при удалении избытка CO_2 , обеспечивает возможность более совершенной диффузии молочной кислоты из мышц, до этого затрудненной вследствие чрезмерного подкисления крови. Выход же молочной кислоты из мышц способствует ее новообразованию в них. Все это создает условия для дальнейшего распада энергетических веществ, необходимого для работы мышц.

Удаление избыточной уголекислоты ко второму дыханию является одной из важнейших причин наступления его, но, конечно, не единственной. Например, причина, вызывающая переход от поверхностного дыхания к глубокому, нам неизвестна.

Несомненно, важную роль в возможности наступления второго дыхания играет и изменение работы сердца, и изменение в терморегуляции.

Регуляция тепла в организме включается с началом работы не сразу. При внезапном начале работы выработка тепла сразу возрастает, потому что сразу происходит освобождение больших масс энергии. Отдача же тепла еще не усилена. Важный фактор теплоотдачи — образование пота и испарение его с кожей поверхности — еще не действует. В результате температура тела непрерывно повышается (что, между прочим, тоже действует на дыхательный центр и увеличивает частоту дыхания, а также сокращений сердца).

Обнаружено, однако, что потоотделение начинается обычно незадолго перед самой мертвой точкой, затем оно сильно прогрессирует. Ко второму дыханию потоотделение становится уже весьма интенсивным. Это значит, что началась энергичная отдача тепла, что температура тела вследствие этого уже не так возрастает и что опасность перегрева организма снижается. Очевидно, что

налаживание терморегуляции играет также не последнюю роль в возможности перехода от мертвой точки ко второму дыханию.

Наконец, самый факт энергичного волевого усилия имеет, по всей вероятности, определенное значение для общей регуляции функций, наступающей при втором дыхании. Роль высших отделов центральной нервной системы, значение эмоционального возбуждения и регуляторной деятельности симпатико-адреналиновой системы очень велики. Это не может не отразиться на состоянии дыхания, кровообращения, мускулатуры и, наконец, на состоянии самих нервных центров, играющих большую роль в развитии утомления.

ПЕРЕУТОМЛЕНИЕ. ПЕРЕТРЕНИРОВКА

До сих пор речь шла исключительно об остром утомлении, возникающем при непрерывном совершении работы и развивающемся во время выполнения спортивного упражнения. После окончания работы, обусловленного наступившим утомлением, организм находится еще некоторое время в состоянии пониженной работоспособности. Если, не дожидаясь полного отдыха после совершенной работы, попытаться повторить ее, то количество выполненной повторной работы будет уже меньшим, потому что утомление наступит теперь через меньший промежуток времени. Следовательно, утомление от повторной работы может наслаиваться на след утомления, оставшийся от предыдущей работы.

Если день ото дня совершать работу до утомления, слабые, неуловимые следы которого остаются еще на следующий день, то вначале наслаивания, накопления утомления не чувствуется. Однако с течением дней, недель или месяцев, в зависимости от интенсивности, количества, степени утомительности совершаемой работы, начинает развиваться уже не острое, а хроническое утомление, или переутомление. Явления переутомления сначала мало заметны. Объективно их трудно регистрировать. Они сказываются преимущественно в общем поведении субъекта, в вялости, в общих неясных ощущениях усталости, в нарушении сна, аппетита и т. п. С течением времени эти слабые признаки усиливаются, начинает отмечаться и ряд расстройств в деятельности отдельных систем и органов. В первую очередь заметны изменения в состоянии нервной системы, в характере рефлекторных двигательных реакций, в изменении соотношений между возбуждательными и тормозными процессами в высшей нервной деятельности. Замечается ряд расстройств в деятельности вегетативной системы. Наконец, изменения обнаруживаются и в деятельности сердца.

Все эти признаки в большинстве случаев проявляются слабо, и явные нарушения возникают лишь тогда, когда налицо переутомление, зашедшее достаточно далеко.

Явление перетренировки (термин, принятый в спорте) в значительной мере, если не полностью, относится к переутомлению.

Перетренировка наступает при напряженной, изо дня в день повторяемой мышечной работе, обычно все нарастающей по интенсивности и объему. Незадолго перед периодом соревнования количество работы, выполняемой спортсменами, возрастает в очень большой степени. При непомерном объеме работы и недостаточном или неправильно организованном отдыхе перетренировка может наступить еще до соревнования, и спортсмен приступает к нему с пониженной работоспособностью, что, конечно, отражается на результатах. Но если даже соревнование пройдет благополучно в отношении результатов, то перетренировка может все же сказаться по миновании соревнования и вызвать необходимость в продолжительном отдыхе.

Тщательно же организованная тренировка, точная дозировка нагрузок, хорошо организованный отдых могут обеспечить постоянное нахождение спортсмена, как говорится, в хорошей спортивной форме, в состоянии высокой работоспособности и постоянной готовности к большим усилиям.

Признаки перетренированности, переутомления, как сказано, трудно уловимы. Субъективные ощущения являются важным признаком, однако они могут быть обманчивы. Одним из важных субъективных показателей является самое отношение спортсмена к тренировке. Физические упражнения, обычно доставлявшие удовольствие, становятся обузой, желание заниматься ими уменьшается. Чувство усталости, более или менее быстро проходившее после выполнения упражнения и относительно легко преодолевавшееся, дает теперь себя знать дольше и делается более неприятным.

Из объективных признаков первым и важнейшим является снижение уровня ранее достигнутых спортивных результатов. Спортивный результат — это очень чуткий критерий состояния тренированности, состояния работоспособности организма. Начинающееся переутомление в первую очередь сказывается на этом состоянии в виде снижения спортивных результатов.

Наиболее показательные при перетренировке физиологические признаки: экстрасистолия сердца, тахикардия (учащение пульса), увеличение частоты дыхания, усиление дермографизма (т. е. местных реакций кожных сосудов на раздражение), увеличение времени рефлексов.

ГЛАВА XVII

ДВИГАТЕЛЬНЫЙ НАВЫК И ТРЕНИРОВКА

ОБРАЗОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЬНОГО НАВЫКА

Двигательным навыком называется умение выполнять определенный вид движения. Умение бегать, прыгать, плавать, ездить на велосипеде, метать снаряд, выполнять данное гимнастическое упражнение и т. п. — все это двигательные навыки. Всем известно, как много приходится затрачивать времени, чтобы обучиться непривычному движению, сколько приходится преодолевать трудностей, чтобы в совершенстве овладеть техникой сложного движения. В чем же заключаются эти трудности?

Казалось бы, с того момента, как физиология установила, что в коре мозга имеется специальная двигательная область и что возбуждение определенной точки этой области доходит по проводящим путям до спинного мозга, а оттуда — к определенной мышечной группе, вопрос об управлении движениями человеческого тела решается просто. При необходимости произвести движение в желаемом направлении с желаемой силой, скоростью и точностью казалось бы достаточно, чтобы пришли в возбуждение некие точки коры мозга, которые послали бы определенной силы импульсы к подчиненным им мышцам. Тело человека можно бы тогда представить себе подобным марионетке: достаточно дернуть за определенные веревочки, и члены куклы придут в движение.

Дело оказалось, однако, гораздо сложнее. Выяснилось, что для управления движениями недостаточно только центральных импульсов, направляемых из коры мозга на периферию. Дело в том, что каждое движение, даже самое простое, представляет собой взаимодействие и борьбу организма с внешними силами.

Извне на тело человека действует в первую очередь сила тяжести. Недостаточно просто направить нервный импульс в мышцы конечности, чтобы последняя произвела движение в нужном направлении и с нужной силой и скоростью. Надо сообразовать этот импульс с силой тяжести, надо быть осведомленным о том, какое положение занимает конечность в пространстве перед началом или во время движения, нагружена она или свободна, совершает она падение или подъем, или перемещается горизонтально, выпрямлена она или согнута в суставах. Понятно, что один и тот же нервный импульс даст при этих разных условиях разный эффект.

И, наоборот, для получения одного и того же эффекта необходимо при каждом новом условии менять характер нервного импульса. Например, поставлена задача: согнуть руку в локте. Ясно, что для осуществления этой задачи из нервных центров должны направляться разные импульсы в зависимости от того, например, каково исходное положение руки: висит она вертикально или занимает горизонтальное положение или поднята вверх и т. п.

Далее, на тело действует сила инерции. Совершенно различен будет результат одних и тех же импульсов в зависимости от того, находится ли конечность в покое или в движении, а также от того, какова скорость и направление этого движения. Если, например, значительный толчок нужен, чтобы сообщить конечности начальное движение, то совершенно незначительное усилие требуется для поддержания начавшегося движения, но зато очень большое для изменения направления движения.

Наконец, следует считаться с реактивными силами. Известно, что каждое действие вызывает одинаковое по силе, но противоположное по направлению противодействие. Таким образом, если сила сокращающихся мышц толкает наиболее удаленное от туловища звено конечности в одну сторону, то это отзывается на туловище к туловищу звене в виде противоположно направленного толчка.

В итоге каждое движение есть результат взаимодействия сил внутренних, вызванных нервным импульсом, со всем многообразием внешних сил. Следовательно, для того чтобы получилось нужное по силе, направлению, скорости, точности движение, центральная нервная система должна непрерывно осведомляться о характере внешних сил; без этого она не может точно регулировать характер своих импульсов и распределять их по мускулатуре. Без этой непрерывной информации движения будут хаотичны, неправильны.

Как известно (см. гл. XI), подобная информация исходит от чувствующих аппаратов, прежде всего от проприорецепторов, возбуждаемых при различной степени напряжения мускулатуры, при различной степени сгибаний в суставах. Громадную роль играют в этом отношении также рецепторы вестибулярного аппарата, рецепторы кожи и зрительные. На основе этих афферентных сигналов и строятся, как нам известно, центробежные импульсы.

Значение афферентных импульсов в движении сказывается еще и в следующем. Человеческое тело представляет собой сложную многозвенную систему, причем одно звено соединено с другим суставами, позволяющими в большинстве случаев взаимно перемещать звенья не в одном только направлении, а во многих (например, шаровидной формы суставы в плечевом и тазобедренном сочленениях). Иначе говоря, многие звенья имеют не одну, но несколько степеней свободы. Взятые в сумме все звенья, составляющие многозвенную систему тела, имеют чрезвычайное обилие степеней свободы. Представим себе цепочку, состоящую из

многих звеньев, и попробуем, взяв в руки первое звено, двинуть его так, чтобы последнее звено совершило строго определенное, нужное нам движение. Это нам не удастся. Точно предугадать движение последнего звена невозможно. Можно сказать, что движения такой, слишком свободной цепочки не управляемы. Но эта цепь станет управляемой, если мы своевременно, в нужный момент, сможем закреплять и вновь отпускать различные ее звенья. Так обстоит дело и с человеческим телом. Многозвенная система тела не может быть управляема одними центробежными импульсами без ответных центростремительных, от каждого звена приходящих импульсов. Только при наличии очень тонкой и точной сигнализации с периферии центр может управлять ею, закрепляя и отпуская, возбуждая и притормаживая движения отдельных звеньев.

Процесс согласования центробежных импульсов с центростремительными очень сложен и возникает не сразу. На протяжении всей своей жизни человек постоянно совершенствует этот процесс, в результате чего и образуется так называемая координация, т. е. согласованность.

Образование любого двигательного навыка — это также координация, притом определенная, свойственная данному движению. Когда человек стремится овладеть желаемой формой движения, перед ним может быть ясна задача движения (например метнуть копьё), но он еще не знает способов и средств выполнения этой задачи. Ему еще незнакома та комбинация ощущений (в большинстве своем не доходящих даже до сознания), та сумма афферентных импульсов, которая сопровождает правильно совершаемое движение. Его органы чувств, например проприорецепторы и вестибулярный аппарат, еще недостаточно чувствительны, чтобы тонко реагировать на все детали воздействующих внешних сил, а его нервные центры еще не привыкли быстро и правильно реагировать на сигналы с периферии. Так человек, впервые вышедший на лед на коньках, падает при первом неудачном движении, в то время как более опытный конькобежец при малейшем нарушении правильности позы быстрым и незаметным движением вновь управляет ее. Поэтому первой стадией образования двигательного навыка является совершенствование чувствительности афферентной системы и ускорение реагирования на афферентные импульсы со стороны центральной нервной системы. Этот важнейший процесс продолжается и отшлифовывается на протяжении всего дальнейшего овладения техникой движения.

Помимо этого, с самого начала организм стремится превратить свою неуправляемую многозвенную систему тела в более управляемую. Вначале задача эта решается тем, что некоторые звенья просто закрепощаются, т. е. напрягаются многие мышцы. Вследствие этого уменьшается взаимная подвижность звеньев, и остаются

подвижными в одном направлении лишь некоторые звенья, чаще наиболее удаленные от туловища. Такой процесс чрезмерного разлития возбуждения (иррадиация) на множество нервных центров приводит к выключению слишком многих, даже нужных для движения степеней свободы; движение совершается чрезмерно напряженно, неловко, тело, как говорится, сковано. Однако постепенно эта скованность начинает уменьшаться, организм приучается управлять своими движениями, не уменьшая уже в таком количестве число степеней свободы своих звеньев. Борьба с внешними силами происходит с большей «ловкостью».

Наконец, наступает этап еще большего совершенствования двигательного акта, когда человек перестает быть только во власти действия внешних сил, но оказывается в состоянии выгодно их для себя использовать. Это сказывается, например, в том, что когда движение должно быть направлено вниз, активные импульсы уже не посылаются в соответствующие мышцы, последние остаются расслабленными и конечности предоставляется свободно падать под действием силы тяжести. Это сказывается также в том, что при движении выгодно используется сила инерции: импульс подается в мышцы не на протяжении всего движения, а только в начале его. Конечность, которой сообщено то или иное движение, будет продолжать это движение уже по инерции. Таким образом выработывается очень тонкая и экономная дозировка импульсов. Они направляются лишь в те мышцы, которые нужны для движений в данный момент, быстро переключаются с одной мышечной группы на другую, усиливаются при необходимости противодействовать внешним силам, но зато во-время выключаются или уменьшаются, чтобы предоставить этим силам самим произвести движение. Управление мозговой системой происходит не за счет непрерывного закрепощения большинства звеньев, а путем своевременного и быстрого закрепления и ослабления отдельных звеньев. Такая дозировка импульсов и создает то, что называется высокой техникой движения. Нетрудно видеть, что в основе ее лежит явление, называемое в спорте расслаблением. Утомление от таких движений наименьшая.

В начале обучения все элементы движения совершаются под контролем сознания. Постепенно, однако, по мере повторения движения многие из его элементов начинают как бы ускользать из-под контроля сознания, не теряя при этом в совершенстве выполнения. Принято считать, что такой переход движений из области сознательной сферы в область бессознательной осуществляется благодаря тому, что управление движением спускается из высших нервных центров (коры) в более низкие. Многие виды движений могут управляться даже подкорковыми образованиями (экстрапирамидной системой). Этот процесс перехода управления движением в более низкие отделы (уровни) центральной нервной системы носит название автоматизации движения.

Автоматизации подвергаются в первую очередь не основные движения, а вспомогательные, более простые, например принятие определенной позы, ходьба и другие виды локомоций, если на фоне их совершается главное движение. Благодаря этому управление движением распределяется между различными уровнями центральной нервной системы, из которых одни, более низко расположенные, приобретают значение фоновых уровней, а другие — в е д у щ и х уровней (Бернштейн). Двигательный навык может считаться хорошо и прочно усвоенным тогда, когда наибольшее число элементов движения автоматизировалось, т. е. перешло в фоновый уровень, и лишь самая главная, конечная цель движения осталась в ведущем уровне. Например, схематически можно предположить, что высокая техника игры теннисиста достигается тогда, когда в установке правильной позы должны играть основную роль отделы среднего мозга, в перебегании по площадке — подкорковые ядра, в ударах ракетой — двигательная зона коры. Тогда остается главной целью — сложная игровая комбинация, связанная с обменом противника, неожиданными посылками мяча в непредвиденный противником участок его площадки, словом, взаимодействие не с собственным телом и воздействующими на него силами, не с ракетой и даже не с мячом, а именно взаимодействие с противником — и в осуществлении этой цели участвуют уже ведущие уровни центральной нервной системы — отделы коры мозга, лежащие впереди от двигательной области.

Совершенно несомненно, что все это возникает не сразу, а в результате подчас довольно длительного процесса. Основой, конечно, является многократное повторение движений. Однако было бы неправильным считать, что только самый факт механического повторения может привести к быстрому и успешному овладению двигательным навыком. Не механическое повторение, не «задалбливание», а активная работа с полным участием сознания, с напряжением внимания ведут к успешному развитию навыка. При этом вначале сознание устремлено на усвоение простейших движений, по мере овладения ими они автоматизируются, переходят в «фоновый» уровень. Сознание теперь может быть направлено на более сложные координации, пока и они не автоматизируются и т. д., до тех пор, пока участие сознания не потребуется для основной, конечной задачи движения. От знаний и искусства обучающего зависит достижение при обучении этой последовательности перехода от простого к сложному, и от этого зависит, насколько совершенно сможет учащийся овладеть данным навыком.

ТРЕНИРОВКА

Под тренировкой понимается процесс повышения работоспособности организма вследствие повторных выполнений физических упражнений.

Рост работоспособности организма может проявляться в различных формах. Например, человек может в результате тренировки совершать более тяжелую физическую работу — поднимать большие, чем до тренировки, тяжести. Его работоспособность в данном случае повысилась в значительной мере благодаря возросшей силе мышц. Пловец до тренировки медленно проплывав

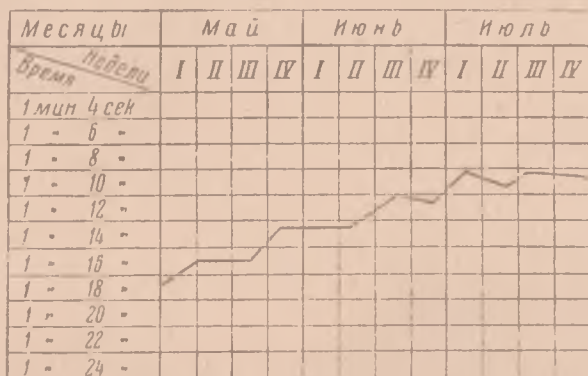


Рис. 96. Кривая тренировки при плавании на 100 м (по Бутовичу).

ший стометровую дистанцию, в результате тренировки в состоянии проплывать ее быстрее (рис. 96). В данном случае тренировка способствовала, в частности, увеличению скорости передвижения. Человек, умеющий ездить на велосипеде, но не специализирующийся в этом виде спорта, проехав за один час, например, 20 км, оказывается не в состоянии дальше продолжать езду с той же скоростью. Между тем в результате тренировки он делается способным совершать с той же скоростью езду на протяжении нескольких часов подряд. В этом случае можно сказать, что тренировка выработала у него выносливость. Не владеющий спортивными навыками человек затратит много времени и сил на преодоление штурмовой полосы. Натренировавшись же в переползании, в упражнениях на равновесие, на преодоление изгороди и других препятствий, он ловко и быстро выполнит это задание. Тренировка здесь сказалась в совершенствовании, координации его движений, в развитии ловкости, которая наиболее ярко проявляется в преодолении неожиданных препятствий.

Все перечисленные качества развиваются вследствие повторных физических упражнений, при любой тренировке, но нельзя сказать, что тренировка, например в ходьбе на лыжах, развивает только выносливость, не влияя на ловкость, силу, скорость. Работоспособность лыжника повышается, конечно, в результате разви-

гия всех этих качеств. Но в разных стадиях тренировки и путем применения различных, имеющих специальное назначение упражнений можно достигать преимущественного развития того или иного качества.

Процесс тренировки сказывается в изменении, совершенствовании деятельности всех органов тела, однако нельзя сказать, что влияние тренировки касается всех органов в одинаковой мере. Например, развитие ловкости, совершенствование координация движений относится главным образом к влияниям на функции центральной нервной системы и в меньшей степени влияет на вегетативные функции — дыхание, кровообращение и т. п.

Роль нервной системы в развитии двигательных координаций рассмотрена уже выше, при разборе образования двигательного навыка. Здесь же мы рассмотрим те изменения, которые в результате тренировки происходят в других системах организма: мышечной, дыхательной, сердечно-сосудистой и т. д. Следует, однако, помнить, что любая тренировка сказывается на деятельности всех систем, всего организма в целом, но на одни системы те или иные физические упражнения могут оказывать большее влияние, чем на другие.

Проявления тренированности в покое. Перейдем к описанию изменений, происходящих в отдельных органах и системах при многократном повторении работы, при тренировке. В первую очередь рассмотрим, чем отличается в физиологических процессах тренированный организм от нетренированного в состоянии относительного покоя.

Мышцы. В результате тренировки увеличивается мышечная масса. Это увеличение происходит преимущественно при тренировке в силовых упражнениях, связанных с развитием большого мышечного напряжения, и имеет результатом нарастание мышечной силы. Увеличение мышечной массы сказывается в увеличении поперечника мышц, причем у взрослого организма возрастает не число мышечных волокон, а толщина их.

Увеличение веса мускулатуры по отношению к весу тела при тренировке на силу может достигать до 10%. Объем конечностей возрастает также весьма заметно, и периметр их может увеличиться на 2—4 см.

Увеличение мышечной массы сводится в первую очередь к увеличению количества мышечной протоплазмы (саркоплазмы). Это значит, что возрастает преимущественно количество белковой массы как основной составной части протоплазмы. Следовательно, в тренирующихся мышцах происходит усиленная ассимиляция белка из аминокислот, превышающая диссимиляцию, хотя бы даже усиленную при работе.

Из числа азотистых соединений белкового происхождения особенный интерес представляет увеличение креатинфосфорной кислоты (фосфаген) в мышцах при тренировке (Палладин). Фосфаген, как указывалось выше (стр. 142),

является важным энергетическим веществом, распад которого связан с освобождением энергии, используемой при мышечном сокращении. Количество фосфагена в тренированных мышцах может быть выше, чем в нетренированных, на 10—12%.

Приблизительно в той же мере может увеличиться количество другого энергетического вещества — гликогена.

Увеличение количества гликогена, фосфагена и ряда других соединений наряду с отложением белка в мышце при ее тренировке свидетельствует о том, что в процессе тренировки происходит не только усиленная ассимиляция пластических веществ как строительного материала мышечной протоплазмы, но и накопление больших запасов энергетических веществ, т. е. потенциальной химической энергии.

Сердечно-сосудистая система. Тренировка отражается не только на скелетных мышцах, но и на сердечной. Всякая мышечная деятельность сопровождается усилением работы сердца. Естественно, что сердце, выполняя при тренировке все большее количество работы, приспособляется к ней увеличением силы и объема своих сокращений.

В первую очередь это сказывается в увеличении массы сердечной мышцы, в увеличении размеров сердца.

Увеличение размеров сердца у спортсмена — так называемая рабочая гипертрофия сердца — больше выражено у бегунов-стайеров (в особенности у марафонцев), велосипедистов, лыжников, гребцов и др., т. е. у тех, сердцу которых приходится интенсивно и длительно работать. Наоборот, там, где работа хотя и интенсивна, но кратковременна, как, например, у спринтеров, увеличение размеров сердца выражено менее резко.

Отношение объема сердца к весу тела у спортсменов разных спортивных специальностей представлено в таблице 20.

Таблица 20

Отношение объема сердца (рассчитанного по данным рентгенографических исследований) к весу тела у участников олимпиады 1928 г. (с добавлением по Геркгеймеру)

Спортивная специальность	Отношение объема сердца к весу тела
Бегуны на марафонскую дистанцию	1:46,4
Велосипедисты на длинные дистанции	1:48,7
Лыжники	1:50,8
Гребцы	1:51,7
Боксеры	1:52,7
Бегуны на средние дистанции	1:55,1
Тяжелотлеты	1:56,8
Пловцы	1:63,8
Многоборцы	1:63,3
Бегуны на короткие дистанции	1:62,3

Не только размеры сердца, но и характер его деятельности меняются при тренировке, причем изменения в деятельности сердца наблюдаются значительно раньше, чем его увеличение. В гл. IV уже упоминалось, что тренировка сопровождается уменьшением частоты сердечных сокращений в покое.

Замечено при этом, что наиболее низкие цифры пульса встречаются у представителей тех видов спорта, в которых приходится совершать особенно длительную работу. Так, например, обследование участников Амстердамской олимпиады 1928 г. показало, что в среднем частота пульса составляет:

У бегунов на спринтерские дистанции	66
» » » средние »	63
» » » стайерские »	61
» » » марафонскую дистанцию	58

Уменьшение числа сердечных сокращений в состоянии покоя сопровождается увеличением систолического объема — количества крови, выбрасываемой сердцем при каждой систоле.

В процессе тренировки часто наблюдается также уменьшение кровяного давления в покое.

Некоторые изменения в состоянии покоя при тренировке наблюдаются также и в деятельности дыхательной системы.

В первую очередь следует отметить уже упоминавшееся увеличение жизненной емкости легких. Под влиянием тренировки наблюдается также уменьшение частоты дыхательных движений. Частота дыханий 16—20 в минуту обычная для нетренированных лиц, у спортсменов встречается редко. Гораздо чаще отмечается частота дыханий около 10—12 в минуту. Нередко можно встретить спортсменов, производящих в покое 7—8 дыханий в минуту, отмечены случаи частоты дыханий, равной 6 и даже 5 в минуту. Естественно, что при столь редком дыхании глубина каждого вдоха значительна. Если обычно глубина дыхания («дыхательный воздух») составляет 300—500 см³, то у спортсменов, отличающихся малой частотой дыханий, глубина их выше. Она достигает в таких случаях 1 л и даже несколько больше.

Все это свидетельствует о том, что в результате тренировки несколько понижается возбудимость дыхательного центра, дыхание делается более редким, но зато более глубоким.

В результате систематической тренировки наблюдается часто увеличение числа эритроцитов и содержания гемоглобина в крови. Наряду с увеличением в крови и мышцах количества окислительных ферментов в большее содержание эритроцитов и гемоглобина свидетельствует о том, что при тренировке происходят изменения, обеспечивающие увеличение кислородной емкости крови; это способствует переносу большого количества кислорода к тканям и возрастанию окислительных процессов при работе.

В гл. II указывалось, что одним из важнейших факторов, обеспечивающих сохранение постоянства реакции крови, являются буферные вещества, в частности соли слабых кислот и сильных оснований. Чем больше в крови содержится оснований, тем с большим количеством кислот, поступающих в кровь, могут они вступать в реакцию, нейтрализуя эти кислоты и препятствуя, таким образом, резкому подкислению крови. Поэтому большой интерес для понимания тренировочного процесса имеет тот факт, что при тренировке количество щелочных резервов в крови покоящегося организма повышается.

Проявления тренированности при работе. При всякой мышечной работе происходит расходование энергии, связанное с усиленным газообменом, кровообращением и рядом других изменений физиологических функций, описанных в первой части книги. Однако при повторном выполнении работы, при тренировке, замечаются изменения в интенсивности этих физиологических сдвигов. Если поручить испытуемому выполнить какую-либо работу до начала тренировки и затем, по окончании тренировочного периода, дать ему выполнить ту же самую работу с прежней мощностью и длительностью, то он выполнит эту работу более легко и ряд физиологических сдвигов будет меньшим, чем вначале. Такой метод стандартных проб (или функциональных нагрузок) употребляется во врачебном контроле для оценки тренированности.

Для этой цели у испытуемого предварительно, в состоянии покоя, измеряют, например, частоту пульса и кровяное давление, после чего ему предлагают совершить 20 приседаний, или 60 прыжков, или 3-минутный бег на месте, причем каждое из заданных упражнений выполняется в определенном темпе. После этого измерения повторяют. При этом у хорошо тренированных лиц обнаруживается сравнительно меньшее учащение пульса и повышение кровяного давления, чем у нетренированных. Различия наблюдаются и в отношении скорости возвращения цифр до исходных величин покоя; у тренированных снижение цифр до уровня покоя происходит быстрее, чем у нетренированных.

Все эти явления наблюдаются не только при измерении пульса, но и в отношении многих других физиологических показателей, и не только при сравнении различных лиц, обладающих различной степенью тренированности, но и у одного и того же лица, производящего в целях эксперимента тренировку, заключающуюся в систематическом повторении одной и той же по мощности и по длительности работы (например, вращение педалей велоэргометра в определенном темпе при определенном сопротивлении колеса и всегда с определенной длительностью).

В этих условиях обнаружено, что в результате тренировки при работе уже не так учащается дыхание, как это было до тренировки, меньше увеличивается легочная вентиляция (правда, глубина отдельных выдохов может при этом возрасти). Потребление кисло-

рода также увеличивается в меньшей мере. При этом его относительное использование мышцами несколько возрастает, что свидетельствует о лучшей налаженности окислительных процессов. Минутный объем сердца (количество крови, выбрасываемой сердцем в одну минуту) у тренированного увеличивается при стандартной работе меньше, чем у нетренированного. Это происходит, главным образом, за счет меньшего учащения сердечных сокращений, количество же крови, выбрасываемое при каждом сокращении, может у тренированных возрасти даже в большей мере, чем у нетренированных.

Обнаружено также, что в результате тренировки уменьшается величина кислородной задолженности и в меньшей мере происходит накопление в крови молочной кислоты и других продуктов распада. В связи с этим относительно уменьшается содержание этих веществ в моче.

Особенно нужно отметить, что вследствие тренировки уменьшается расход энергии на выполняемую работу. Поскольку же отношение количества израсходованной энергии к количеству выполненной работы есть величина, обратная величине коэффициента полезного действия (см. стр. 27), мы можем сказать, что тренировка связана с повышением коэффициента полезного действия работы. Иначе говоря, работа выполняется тренированным сгарнизмом более экономно. Это происходит вследствие ряда причин, среди которых основными являются: во-первых, более экономичное протекание химических и энергетических процессов в самих работающих мышцах (более выгодное использование освобождающейся в них энергии), во-вторых, более совершенное взаимодействие (регуляция) различных органов и систем (дыхательной, сердечно-сосудистой), обеспечивающих выполнение мышечной работы, и, в-третьих, более налаженная координация движений, вследствие чего в совершении нужной работы участвует меньшее число мышц. Те мышечные группы, которые у нетренированного человека вовлекались в напряжения, не необходимые для совершения работы — так сказать, «лишние мышцы», понятно, также расходовали энергию, но расходовали ее непроизводительно. С выключением этих «лишних» движений и напряжений вследствие все большей координированности в выполнении работы под влиянием тренировки выключился и дополнительный расход энергии и одна и та же работа стала выполняться более экономно.

Таким образом, тренировка приводит к сложной перестройке в деятельности различных органов и систем организма, и главное, к их более совершенной регуляции, к лучшей согласованности, взаимной налаженности их функций. Все это и является причиной «экономизирующего» влияния тренировки на организм.

Описанные явления, как было сказано, обнаруживаются при таком изучении влияния тренировки, когда испытуемому предлагают совершить одну и ту же одинаковую по форме, по интенсивности и длительности «стандартную» работу. Выполнение ее оказы-

вается для тренированного человека более легким делом, чем для нетренированного. Это проявляется не только в субъективных ощущениях испытуемого, но и в объективных физиологических показателях. Физиологические изменения к концу работы («физиологические сдвиги»), выполненной хорошо тренированным человеком, напоминают в значительной мере те физиологические сдвиги, которые характеризуют работу сравнительно легкую; выполнение той же работы нетренированным человеком вызывало такие физиологические сдвиги, которые наблюдаются при более тяжелой работе. В результате тренировки человек, выполнивший точно ту же работу, которую он выполнял до тренировки, субъективно испытывает меньшую усталость; объективные физиологические показатели также отмечают меньшее утомление организма. В меньшей утомляемости от работы также видим мы положительное влияние тренировки.

Возникает, однако, вопрос, как влияет тренировка на физиологические сдвиги, происходящие при выполнении не стандартной работы, а работы, совершаемой каждый раз доотказа при предельных напряжениях, когда к концу работы тренируемый человек подчас не менее утомлен, чем нетренированный. Тренировка тем и характерна, что организм по мере развития тренированности оказывается в состоянии выполнять все большую работу. В спорте мы встречаемся по преимуществу именно с таким типом работы — с предельным напряжением всего организма, в особенности на соревнованиях и на тренировочных «прикидках». Здесь уже не приходится говорить о том, что повторяемая с предельным напряжением работа становится более «легкой», поскольку работа совершается доотказа. Каждый раз напряжение максимально, но результат этого напряжения различен в зависимости от состояния тренированности.

Исследования показывают, что физиологические изменения, регистрируемые к концу предельной работы, не только не уменьшаются под влиянием тренировки (т. е. когда вследствие возросшей тренированности организм оказывается в состоянии выполнить большой объем работы), а подчас даже возрастают.

Отмечено, например, что при тренировке в работе большой мощности, при которой потребление кислорода максимально, этот максимум возрастает. Организм оказывается в состоянии потреблять в единицу времени больше кислорода; поэтому он и работу может выполнять большую.

Возрастание «кислородного потолка» приобретает, таким образом, большое значение как одно из важнейших следствий тренировки. Отмечено, что цифры предельного поглощения кислорода, составляющие 4,5—5 л в минуту, наблюдаются только у исключительно тренированных субъектов. У менее тренированных кислородный потолок не превышает 3—4 л.

Повышение предельного потребления кислорода, обнаруживаемое при выполнении максимальной работы, относится большин-

ством авторов за счет роста минутного объема сердца. Как было показано выше, последний может при работе достигать внушительных величин только у тренированных субъектов.

Предельная работа сердца является одним из важнейших факторов, ограничивающих общий объем выполняемой человеком работы большой мощности. Поэтому мы можем сказать, что, если человек оказывается под влиянием тренировки в состоянии выполнить (работая доотказа) большее количество работы, то это происходит в значительной мере потому, что возросла пропускная способность его сердца, возрос его «кислородный потолок». Речь идет, понятно, лишь о таких работах, при которых требуется максимальное потребление кислорода; при работах малой и отчасти максимальной мощности значение его не столь велико.

Помимо возрастания предельного потребления кислорода и предельного ударного, а вместе с тем и минутного объема сердца, при тренировке возрастает также и ряд других физиологических сдвигов к концу максимальной, доотказа проводимой работы. Отмечено увеличение частоты пульса, содержания сахара в крови, миогенного лейкоцитоза и др.

Все это свидетельствует о том, что тренировка заключается в расширении функциональных возможностей организма при выполнении работы. В результате тренировки возможна более широкая мобилизация функций организма для совершения предельного напряжения, отчего возрастает и самый предел напряжения.

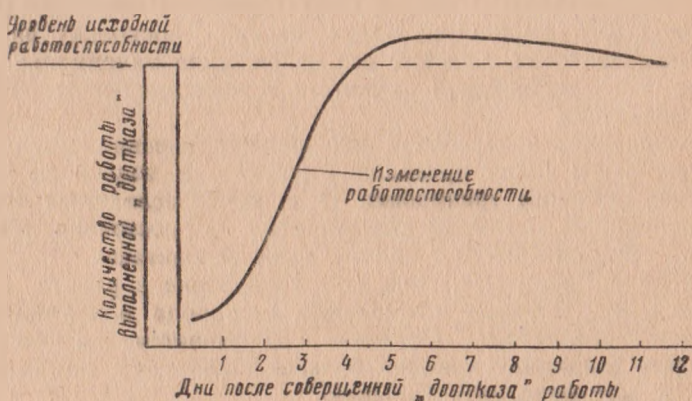


Рис. 97. Схема изменений работоспособности после предельной работы.

Попытаемся теперь проследить, как развивается процесс тренировки, вследствие каких причин регулярное повторение физических упражнений вызывает повышение работоспособности, сказывающееся в увеличении количества совершаемой работы. Это удобнее проследить на примере влияния напряженной работы, потребовавшей максимальной мобилизации сил организма.

После работы, которая выполнялась доотказа, т. е. до невозможности продолжать ее с прежней интенсивностью, организм утомлен, его работоспособность понижена. В ближайшие затем отрезки времени утомленный организм может выполнить лишь небольшую работу. С течением времени утомление начинает понемногу проходить, работоспособность постепенно восстанавливается. Настанет, наконец, такой момент, когда работоспособность восстановится на прежнем уровне. В этот момент работа уже может быть повторена в ее прежнем объеме. На этом, однако, не заканчиваются изменения работоспособности. Спустя некоторое время мы обнаружим ее еще более повышенной. Если в это время задать повторные работы, то она сможет быть выполнена не в первоначальном ее объеме, а в большем. Достигнув определенной высоты, работоспособность в дальнейшем начинает медленно снижаться, пока вновь не вернется к первоначальному уровню (рис. 97).

Все эти изменения в состоянии тренированности являются результатом процессов, совершающихся в организме после окончания работы. Всякая работа, после ее окончания, оставляет в организме некоторое последствие, различное в зависимости от интенсивности и длительности работы. Это последствие не велико и не продолжительно, когда выполнена работа небольшая, но оно значительно после большой работы. Следы от тяжелой работы, которые вначале хорошо заметны и характеризуют собой состояние пониженной работоспособности, не просто сглаживаются, а постепенно вызывают качественные изменения состояния организма, сказывающиеся в повышении его работоспособности. Организм, выполнивший однажды интенсивную работу, как бы подготавливается к повторному, но уже более совершенному ее выполнению. Отсюда ясно, какую большую роль играет время — тот интервал, который должен соблюдаться между повторными интенсивными физическими упражнениями, совершаемыми доотказа.

Этот интервал, очевидно, должен быть такой величины, чтобы следующее повторение предельного физического напряжения совпадало с моментом наивысшего подъема работоспособности. Лишь в этом случае повторная работа будет совершаться наиболее успешно, что скажется в росте спортивного результата.

Выше говорилось, что утомление как результат понижения работоспособности является отрицательным фактором. Вместе с тем, однако, мы видели, что утомление может переходить в свою противоположность — в повышение работоспособности, в повышение тренированности. Отсюда естественно поставить вопрос о том, всегда ли целесообразно избегать утомления при тренировочных занятиях. Если физические упражнения всегда будут удаваться легко, если работа будет совершаться всегда с такой малой интенсивностью и длительностью, что никогда не будет возникать чувства усталости, то тренировочный эффект от таких занятий будет невелик. Приспособление организма к работе, его способность легко справляться с теми трудностями, которые при работе возникают,

развивается лишь в том случае, если он с этими трудностями сталкивается, если он ставится в условия борьбы с ними. Более успешно справиться с утомлением, отдалить момент его наступления может лишь тот организм, которому приходилось с утомлением бороться. В борьбе с утомлением спортсмен тренирует свою выносливость.

Было бы неправильно делать из всего этого вывод, что для достижения наивысшей тренированности необходимо ежедневно на каждом тренировочном занятии доводить себя до полного истощения, до невозможности произвести малейшее движение. Следствием этого будет только все прогрессирующее утомление, снижение работоспособности, но никак не повышение тренированности.

Под утомлением мы выше условились понимать снижение работоспособности, развивающееся во время работы и вследствие выполнения работы. Если работа совершается с какой-то определенной и постоянной интенсивностью, то утомление в первую очередь начнет сказываться в снижении этой интенсивности. Борясь с утомлением, следует в течение некоторого времени, мобилизовав все возможности организма, не допускать снижения количественных и качественных показателей работы. Если работа прекращается в тот момент, когда, несмотря на все усилия, эти показатели стремятся к неуклонному снижению, то организм находится в утомленном состоянии, причем утомление здесь значительное, но еще не предельное. Субъективные ощущения утомления не воспринимаются как ощущения разбитости, совершенного изнеможения. Наоборот, такое утомление ощущается зачастую как приятная усталость.

Представим себе иной случай: несмотря на явную невозможность продолжения работы на прежнем уровне мощности, она продолжается до тех пор, пока вообще уже совершение какой бы то ни было работы делается невозможным; в этом случае утомление достигает крайней степени, субъективно оно весьма неприятно, и тяжелое, угнетенное состояние растягивается после работы на очень большой срок. Следовательно, можно по-разному понимать работу доотказа. В одном случае это отказ от продолжения работы на прежнем уровне, в другом — от продолжения работы вообще. Спортивный опыт говорит о большей эффективности применения на тренировочных занятиях первого принципа работы, чем второго.

Большую роль в успешности развития процесса тренировки играет, как уже говорилось, величина промежутка времени между отдельными тренировочными занятиями, проводимыми в условиях работы доотказа (в правильном понимании этого выражения). Такие тренировочные занятия называются обычно в спорте «прикидками», когда определяется (прикидывается) время прохождения дистанции в полную силу, т. е. так же, как на соревновании.

Прикидки и соревнования имеют значение не только как проверка достигнутого уровня тренированности, но и сами оказывают

большое тренирующее воздействие на организм, что скажется в повышении его работоспособности через некоторый промежуток времени. Установление же этого интервала между соревнованиями имеет очень большое значение. При чрезмерно частых соревнованиях каждое последующее будет приходиться еще в период пониженной работоспособности, отчего последняя будет еще больше падать, а спортивные результаты будут уменьшаться, свидетельствуя о том, что процесс тренировки организма не развивается.

С другой стороны, если интервалы между прикидками чрезмерно велики и каждая последующая работа совершается в тот момент, когда кривая работоспособности уже прошла свою наивысшую точку и вновь начала снижаться, рост спортивных результатов окажется сравнительно небольшим. Наивысший же эффект прикидки и соревнования имеют лишь в том случае, если они следуют друг за другом через такие промежутки времени, которые необходимы для того, чтобы работоспособность достигла своего наивысшего уровня.

Определение величины таких интервалов — дело очень трудное и дается только в результате большого тренерского опыта с учетом характера и мощности работы, индивидуальных особенностей спортсмена, условий его жизни, психического состояния и т. п.

Из сказанного нельзя также делать вывод, что тренированность развивается только при условии совершения предельной работы. Любое тренировочное занятие, не доводящее до утомления, но систематически повторяемое, оказывает тренирующее воздействие на организм. В начале тренировки предельные напряжения могут принести вред организму. Интенсивность тренировочных занятий поэтому должна возрастать постепенно. Лишь тогда, когда уровень тренированности достаточно возрос и перед тренирующимся стоит вопрос об увеличении его спортивных результатов, целесообразно периодически вводить предельные напряжения. Спортивное соревнование обязательно связано с предельным напряжением организма и подготовка к нему должна включать как умеренные тренировочные занятия, так и упражнения, совершаемые в «полную силу». Отсюда вытекает также, что само спортивное соревнование тоже оказывает тренирующее влияние на организм. Поэтому повторные соревнования (если только они совершаются не слишком часто) приводят к повышению спортивных результатов.

ГЛАВА XVIII

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ СПОРТА

В первых разделах этой книги, посвященных общей физиологии человека, мы познакомились с теми процессами, которые протекают в отдельных физиологических системах при совершении человеком физической работы. Это ознакомление проводилось на примерах из отдельных видов спорта. Вслед за этим были изложены физиологические процессы, которые являются общими для больших групп физических упражнений, объединенных по различным физиологическим признакам. На основании всего этого можно составить примерные характеристики каждого вида спорта в отдельности и отметить особенности, отличающие с физиологической точки зрения один вид спорта от другого. Приведенные ниже характеристики кратки и схематичны. Наши сведения еще недостаточны для того, чтобы установить все физиологические особенности каждого вида спорта. Кроме того, как было уже показано, многие спортивные упражнения характеризуются в значительной степени одинаковыми физиологическими процессами, так что подробное описание их для каждого упражнения привело бы во многих случаях к излишним повторениям.

ХОДЬБА

Ходьба является наиболее ярким представителем движений **п**иклического типа.

Ходьба -- наиболее привычный вид локомоции (передвижения в пространстве), которым человек овладевает уже на втором году жизни, достигая, однако, полного совершенства в нем, по исследованиям Бернштейна и Поповой, лишь к 8 годам. Вследствие постоянного повторения в обыденной жизни этот вид движения наиболее автоматизирован, благодаря чему на фоне его могут совершаться самые разнообразные движения, требующие координаций различной сложности.

Встречается много разновидностей ходьбы: ходьба обычная, пригибная, спортивная (так называемая английская), гимнастическая, маршевая и т. п. Все они имеют свои особенности, но основные, биодинамические, координационные признаки ходьбы являются для них общими. В частности, характерно для них обя-

зательное чередование фазы двойной опоры ног с фазой опоры на одну ногу при одновременном переносе другой ноги.

Ходьба представляет собой один из немногих видов спортивных движений, в которых удалось ориентировочно подсчитать и выразить в механических величинах количество выполняемой работы. По данным большинства исследователей, одному килограммометру работы соответствует при ходьбе перемещение каждого килограмма веса тела на 10 — 12 м горизонтального пути.

При изменении скорости ходьбы меняется и предельная длительность ее. В таблице 21 приведены цифры, показывающие скорости и рекордные длительности спортивной ходьбы по данным мировых и советских рекордов.

Таблица 21

Рекорды в спортивной ходьбе на 1/1 1947 г.

Дистанции (в км)	Мировые рекорды		Советские рекорды	
	Время	Скорость (в м/сек.)	Время	Скорость (в м/сек.)
3	11:59,8	4,17	12:01,0	4,16
5	20:31,6	4,06	20:51,0	4,00
10	42:31,0	3,92	46:04,8	3,62
20	1:32:28,1	3,60	1:35:54	3,48
50	4:34:03,0	3,03	4:49:35,8	2,88
100	10:04:20,8	2,75	—	—

Из таблицы видно, что, за исключением рекордной ходьбы на 3 км и отчасти на 5 км, ходьба на все остальные дистанции представляет собой работу умеренной мощности.

При ходьбе все процессы в организме совершаются в условиях устойчивого состояния, т. е. изменения в химизме крови и мочи незначительны, дыхание же и кровообращение усиливаются с увеличением скорости ходьбы.

Ходьба представляет собой наиболее экономный вид мышечной деятельности. Коэффициент полезного действия при ходьбе обычно не ниже 25%, достигает 30 и даже 35%. Потребление кислорода на 1 кг веса тела и на 1 м пути составляет 0,1—0,2 см³, при больших же скоростях может доходить до 0,25 и, вероятно, даже до 0,3 см³. Отсюда можно рассчитать, что при рекордных скоростях длительной ходьбы (10 км в час) и в особенности ходьбы с «выкладкой» (20 кг) потребление кислорода может достигать 3 л в минуту. В этих условиях близкими к максимальным цифрам могут быть также легочная вентиляция и минутный объем сердца.

Точных исследований при рекордных скоростях ходьбы не производилось. Одной из наивысших из исследованных скоростей была

скорость в 8 км в час. При этом легочная вентиляция равнялась в минуту 60 л при частоте дыхания 20 в минуту и глубине 3 л. Потребление кислорода равнялось 2,5 л в минуту.

Следовательно, ходьба с высокой скоростью есть упражнение, значительно усиливающее работу дыхательного аппарата и сердечно-сосудистой системы.

БЕГ

Бег, подобно ходьбе, является типичным циклическим движением: ходьба, при увеличении ее скорости, естественным образом переходит в бег.

Несмотря на то, что степень автоматизации бега приближается к высочайшей степени автоматизации ходьбы, его нельзя считать просто ускоренным видом ходьбы. Биодинамическая структура бега качественно отличается от ходьбы. В то время как ходьба представляет собой чередование двухопорных интервалов с одноопорными, в беге одноопорные интервалы чередуются с полетными.

Скорость бега позволяет нам судить об относительной мощности работы при беге. Цифры, характеризующие предельную длительность и скорость бега на разные дистанции, приведены в таблице 22.

Таблица 22
Рекорды в беге на 1,1 1947 г.

Дистан- ции (в м)	Мировые рекорды		Советские рекорды	
	Время	Скорость (в м/сек.)	Время	Скорость (в м/сек.)
100	10,2	9,80	10,6	9,43
200	20,3	9,85	21,6	9,26
400	46,0	8,70	48,6	8,23
800	1:45,6	7,58	1:52,4	7,12
1500	3:43,0	6,72	3:53,2	6,43
3000	8:01,2	6,23	8:25,8	5,93
5000	13:58,2	5,96	14:37,0	5,70
10000	29:52,6	5,58	30:35,2	5,45
20000	1:03:01,2	5,29	1:03:51,0	5,22
42194	2:29:19,2	4,71	2:41:27,0	4,36

Из таблицы видно, что в беге мы встречаемся со всеми вариациями мощностей работы: к работе умеренной мощности следует относить бег на длинные и в особенности на сверхдлинные дистанции, т. е. от 5—10 км и больше, к работам большой мощности — бег на дистанции от 1500 до 5000 м, к работам субмаксимальной мощности — бег на дистанции от 400—1000 м, к максимальным — 100—200 м.

Остановимся кратко на физиологических особенностях каждой группы дистанций (см. также гл. XIV).

Спринтерский бег наиболее подробно изучен Хиллом. Обнаружено, например, что при беге на 100 м за 13 сек. кислородный долг составляет 7,1 л. Так как во время бега, ввиду его кратковременности и большой скорости, испытуемый почти не потребляет кислорода, эту величину можно считать за показатель кислородного запроса. Если перечислить его для удобства на минуту, то получим цифру 33 л/мин. При скорости же, развиваемой чемпионом мира, кислородный запрос может, вероятно, доходить до 40 л/мин. Эта величина громадна, она по крайней мере в 10 раз превышает величину «кислородного потолка». Ясно, что если бы бегун даже потреблял во время бега кислород, количество последнего составило бы незначительную величину по сравнению с запросом. Следовательно, мышцы спринтера работают практически без потребления кислорода, т. е. в анаэробных условиях.

Мощность работы спринтера громадна. По произведенным подсчетам, расход энергии спринтера, пересчитанный на единицу работы, эквивалентен примерно 14 л. с., из которых на внешнюю работу идет почти 3 л. с. (1 л. с. равно 75 кгм/сек.). При таком большом распаде энергетических веществ и при почти полном отсутствии процессов окисления в мышцах спринтера накапливается очень много молочной кислоты (каждый шаг спринтера сопровождается накоплением 1 г молочной кислоты). Большие массы накапливающейся в мышцах молочной кислоты ведут к повышению вязкости мышц и могут препятствовать дальнейшим мышечным сокращениям, т. е. являться, по мнению Хилла, причиной утомления спринтера. Вероятнее, однако, что утомление складывается не только в мышцах, но и в нервных центрах.

Бег на средние дистанции имеет уже иные физиологические особенности. Кислородный запрос здесь меньше, он круто уменьшается с увеличением дистанции, т. е. с уменьшением скорости бега (рис. 98) (по Саргенту, кислородный запрос пропорционален скорости бега, возведенной в степень 3,8). Расчеты показывают, что при скоростях, развиваемых на средних дистанциях мировыми рекордсменами, кислородный запрос при беге на 400 м может достигать 25 л/мин., на 800 м — 15 л/мин., на 1500 м — 8 л/мин., что все же значительно выше предельной величины потребления кислорода (4—5 л/мин.). Однако за время бега происходит потребление кислорода — в малом количестве при беге на 400 м и в большем — на 800 и 1500 м. В итоге кислородный долг к концу бега на все эти дистанции может достигать примерно одинаковых, но максимальных цифр — до 16—18 л. Накопление молочной кислоты происходит не только в мышцах, но и в крови, куда она успевает проникнуть в больших количествах.

Вообще при беге на средние дистанции отмечаются максимальные сдвиги в химическом составе крови, что, конечно, сильно снижает работоспособность нервных центров.

Максимальной интенсивности достигает и деятельность органов дыхания и кровообращения. Потребление кислорода, например у рекордсменов Советского Союза в беге на средние дистанции, по наблюдениям Борисова, достигает 5 л/мин. Частота сердечных сокращений, по данным наблюдений над участниками

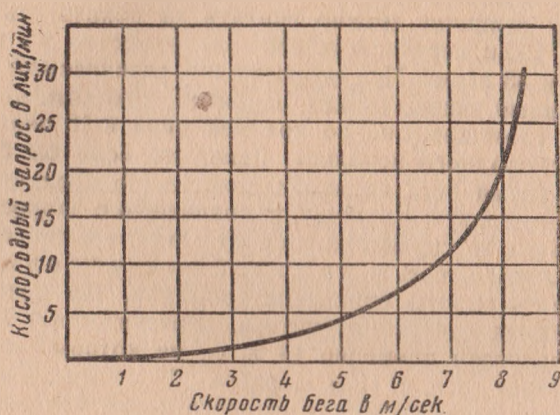


Рис. 98. Кислородный запрос при разной скорости бега (по Саргенту).

кроссов на 1000 м, также максимальна — в среднем 210 в минуту (рис. 99), достигая в отдельных случаях 260. Следовательно, не только мышечная и нервная система, но и система дыхания и кровообращения работают здесь, в отличие от спринтерского бега, на пределе.

Отметим также своеобразное явление, наступающее после бега на различных дистанциях, но чаще после бега на средние дистанции.

Иногда после соревновательного бега спортсмен ощущает недомогание, связанное подчас с тошнотой или рвотой, с потемнением в глазах, головной болью и т. п. Бывает, что он доходит до полуобморочного и даже обморочного состояния. Все эти явления довольно скоро проходят, не оставляя следа, хотя и названы были вначале «спортивной болезнью». Причины такой «болезни» были распознаны болгарским физиологом Матеевым; основывается она на перераспределении крови под действием силы тяжести, отчего в состоянии спортсмена в этот момент Матеев назвал гравитационным шоком (гравитас — по-латински значит тяжесть). Смысл этого явления заключается в следующем.

Во время бега происходит раскрытие капилляров мышц нижних конечностей, вследствие чего чрезвычайно возрастает кровоснабжение этих мышц. Кровь в них, однако, не застаивается, так как сокращающиеся мышцы — мышечный насос — прогоняют ее дальше в венозную систему по направлению к сердцу. По прекращении бега капилляры еще довольно долгое время остаются раскрытыми, так как после быстрого бега еще не скоро устраняются продукты мышечной деятельности, накопившиеся в мышцах и вызывающие расширение капилляров. Действие же мышечного насоса, если человек больше не производит движений ногами, прекратилось. Вследствие этого кровь скапливается в нижних конечностях, и поступление ее к сердцу уменьшается. Несмотря на мобилизацию регуляторных механизмов, кровяное давление все же падает, снабжение кровью мозга снижается (анемия мозга), в результате чего

может наступить гравитационный шок — обморочное состояние. При переходе в горизонтальное положение человек быстро приходит в себя, потому что кровь сразу начинает поступать к сердцу.

Доказательством тому, что главную роль во всем этом играет кровенаполнение ног, служит следующий эксперимент Матеева. После того как испытуемый, пробежавший трижды по 100 м с 5-минутным интервалом и после этого состоявший неподвижно, впал в состояние гравитационного шока, ему забито

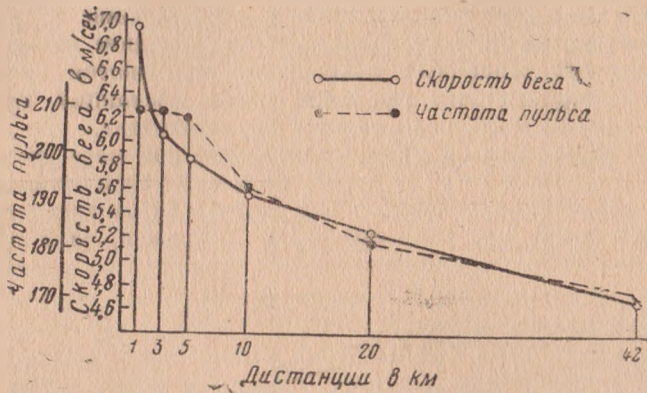


Рис. 99. Частота пульса после бега на разные дистанции сопоставленная со скоростью бега.

вали ноги. После этого испытуемый мог долго стоять без каких-либо неприятных ощущений и с нормальным кровяным давлением. Стоило, однако, разбитоваться ему ноги, как кровь устремилась в мышечные капилляры, кровяное давление вновь упало, и вторично развились все явления гравитационного шока.

Совершенно ясно, что явления гравитационного шока не должны быть, если после соревновательного бега не стоять, а продолжать легкий бег или ходьбу, т. е. не прекращать действия мышечного насоса, и совершать глубокое дыхание, усиливая тем самым присасывающее действие грудной клетки; этими мерами поддерживается нормальный приток крови к сердцу, создающий нормальное кровяное давление.

Бег на длинные дистанции по своей физиологической характеристике довольно близок к бегу на средние дистанции. Правда, кислородный запрос здесь ниже, примерно 6 л/мин., однако он все же превышает возможность его удовлетворения. При беге на среднюю дистанцию интенсивность дыхания и кровообращения непрерывно возрастает с начала бега и достигает максимума только к концу дистанции. При беге же на длинные дистанции деятельность этих систем, достигнув спустя некоторое время после старта своего предела, удерживается на нем на протяжении всей остальной части дистанции. Об этом говорит также тот факт, что при беге на 5 км частота сердечных сокращений почти так же предельно велика, как и при беге на 3000 и 1000 м (см. рис. 99). Таким образом, при беге на длинные дистанции дыхание и кровообращение играют исключительно большую роль: чем большей величины они смогут достигнуть, тем успешнее будет происходить

удовлетворение кислородного запроса во время бега и тем меньшей окажется кислородная задолженность.

Бег на сверхдлинные дистанции — марафонский бег является, как было сказано, работой умеренной мощности. Кислородный запрос не превышает 3—4 л/мин. и, следовательно, может быть успешно удовлетворен во время самого бега. Дыхание и кровообращение устанавливаются в соответствии со скоростью бега. Об этом свидетельствует рис. 100, на котором видно, что дыхание и частота сердечных сокращений изменяются параллельно изменению скорости бега на марафонской дистанции. Вследствие этого накопления молочной кислоты не происходит.

В отличие от бега на другие дистанции, при марафонском беге возможно истощение углеводных ресурсов. Без предварительного приема углеводов или приема их на дистанции марафонский бег не может быть совершен. Например, один из лучших марафонских бегунов нашей страны, которому до старта в виде

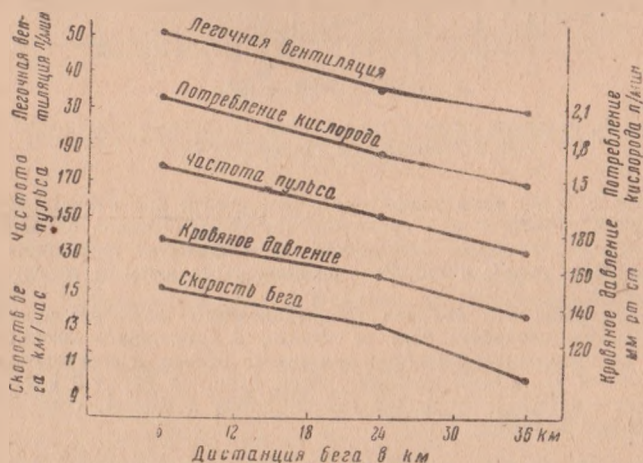


Рис. 100. Изменение ряда функций при беге на марафонскую дистанцию.

опыта давалось только белковое и жировое питание, но было исключено углеводное, смог пробежать лишь 24 км, дойдя при этом до сильнейшего изнеможения. В его крови было обнаружено всего 38 мг% сахара, что по крайней мере вдвое меньше нормы.

БЕГ НА КОНЬКАХ

Подобно ходьбе и бегу бег на коньках является циклическим движением.

В отношении фаз движений бег на коньках ближе стоит к ходьбе, нежели к бегу, ибо здесь нет полетных интервалов, а имеется

лишь чередование двухопорных фаз с сильно растянутыми одноопорными.

Вместе с тем бег на коньках имеет существенные координационные отличия от ходьбы, обусловленные малой опорной поверхностью конька, скольжением, большой скоростью движения. Малая опорная поверхность и скольжение предъявляют высокие требования к сохранению равновесия, обеспечиваемому совершенными проприорецептивными сигналами мышц и вестибулярного аппарата. В отличие от ходьбы опорные поверхности при беге на коньках перемещаются, что предъявляет особые условия к плавности динамических толчков. Вследствие растянутости опорного периода мышцы ног совершают не только динамические, но и статические усилия.

Статические усилия развивают также мышцы спины и шеи, поддерживающие туловище в наклонном положении, а голову несколько откинутой.

На виражах, при большой скорости, развиваются значительные центробежные силы, воздействующие преимущественно на горизонтальные полукружные каналы и отолитовый аппарат. В этом отношении виражи предъявляют значительные требования к совершенству статокинетической рефлекторной деятельности, связанной с точным распределением тонуса, и без того ослабляемого условиями скольжения.

Значительные линейные ускорения имеются и после старта на короткие дистанции.

Вся совокупность координационных процессов при беге на коньках неизмеримо осложняется в фигурном катании. В последнем сочетаются сложности координации вольно-гимнастических движений со сложностью неустойчивого скольжения. В игре в хоккей также сочетаются все моменты, характерные вообще для спортивных игр, с моментами скоростного бега на коньках и точной работой рук, орудующих клюшкой.

Скорости и предельные длительности бега на коньках видны в табл. 23.

Таблица 23

Рекорды в беге на коньках на 1/1 1947 г.

Дистанция (в м)	Мировые рекорды		Советские рекорды	
	Время	Скорость (в м/сек.)	Время	Скорость (в м/сек.)
500	41,8	11,96	42,0	11,90
1 000	1:28,4	11,31	1:31,4	10,94
1 500	2:13,8	11,21	2:20,6	10,67
3 000	4:49,6	10,36	4:57,2	10,09
5 000	8:17,2	10,06	8:27,8	9,85
10 000	17:01,5	9,79	17:25,9	9,56

Рекорды времени, приведенные в этой таблице, показывают, что соревновательный бег на коньках является упражнением преимущественно субмаксимальной и большой мощности. Работы, которая могла бы совершаться с умеренной мощностью, в соревновательном беге на коньках нет.

В силу того, что мощность работы в конькобежном спорте преимущественно субмаксимальная и большая, работа сердечно-сосудистой, дыхательной и других систем стремится к максимуму. Возможно, однако, что этот максимум несколько меньше того, что наблюдается при беге, вследствие относительно более низкой частоты и интенсивности мышечных сокращений. Величина кислородного запроса при беге на коньках, вероятно, ниже, чем при обычном беге, потому что меньше величина внешней работы; при беге, помимо горизонтально направленных усилий, велики также и вертикальные, при беге же на коньках вертикальные колебания центра тяжести тела незначительны. Правда, надо иметь в виду, что при беге на коньках вследствие его большой скорости совершается дополнительная работа на преодоление сопротивления воздуха (отчасти для уменьшения подобного сопротивления конькобежец наклоняет туловище вперед), при беге же это сопротивление незначительно.

Низкая температура внешней среды, при которой совершается бег на коньках, обеспечивает интенсивную теплоотдачу, что исключает возможность значительного повышения температуры тела. С другой стороны, чрезмерный мороз может вызвать охлаждение и обморожение незащищенных участков кожи.

ЕЗДА НА ВЕЛОСИПЕДЕ

Движения при велосипедной езде являются наиболее типичным видом циклических движений. Необходимость обучаться езде зависит не от сложности движения ног — они крайне просты, но от трудности сохранения устойчивого равновесия на приборе с малой опорной поверхностью. В целом езда на велосипеде представляет собой сочетание простейших циклических движений ног со сложной цепью проприорецептивных, лабиринтных и, кроме того, зрительных сигналов, рефлекторно изменяющих положение туловища и рук, поворачивающих руль; это приводит тело в наимыгоднейшее положение относительно опорной поверхности.

Собственно, работа при велоезде совершается лишь ногами; мышцы рук и спины находятся в состоянии слабого статического напряжения, усиливающегося, однако, при сильных нажимах на педали, когда к напряжению разгибателей ног присоединяются напряжения разгибателей туловища. Мышцы шеи при посадке на гоночной машине находятся в постоянном тоническом напряжении, удерживающем несколько откинутую назад голову.

Величины скорости и длительности спортивной велоезды приведены в табл. 24.

Таблица 24

Рекорды по велоезде (без лидера) на 1/1 1947 г.

Дистанции	Мировые рекорды		Советские рекорды	
	Время	Скорость (в м/сек.)	Время	Скорость (в м/сек.)
200 м с хода	—	—	12,4	16,1
500 » »	29,8	16,8	32,6	15,3
1 км » »	1:06,6	15,0	1:11,5	14,0
5 » с места	6:21,0	13,1	6:58,6	11,9
10 » »	12:51,6	12,9	14:19,7	11,6
20 » »	25:57,0	12,8	29:19,4	11,4
50 » »	1:07:23,8	12,3	1:13:53,2	11,3
100 » »	2:23:38,0	11,6	2:40:48,1	10,4

Рекорды времени, приведенные в таблице, показывают, что спортивная велоезда может представлять собой работу разной мощности. К максимальной мощности относится езда лишь на 200 м, далее на дистанции до 10 км мощность работы субмаксимальная и большая, преодоление же еще больших дистанций представляет собой работу умеренной мощности.

Можно было бы предполагать, что, поскольку в работе велосипедиста участвуют только мышцы ног, а остальные мышцы тела в отношении динамической работы бездействуют, езда на велосипеде не может быть связана с очень высокими энергетическими затратами. Однако именно на велосипеде (правда, неподвижном — на велоэргометре, что в сущности ничего не меняет и исключает лишь воздушное сопротивление) получены на высоко-тренированных субъектах максимальные («потолочные») цифры в деятельности различных физиологических систем. Легочная вентиляция, например, доходит до 120 л, потребление кислорода до 5 л, минутный объем сердца до 37 л. К тому же на велоэргометре была показана возможность часовой работы на очень высоких пределах. Следовательно, мы вправе считать, что езда на велосипеде предъявляет весьма высокие требования к работе различных физиологических систем организма.

БЕГ НА ЛЫЖАХ

Лыжный бег по равнине представляет собой циклическое движение, имеющее, однако, много отличительных особенностей. В биомеханическом отношении лыжный бег ближе к ходьбе, чем к бегу, так как в нем нет полетных интервалов.

Подобно ходьбе и бегу на коньках лыжный бег, за исключением бесшажного финского стиля, представляет собой чередование двухопорных и одноопорных интервалов, происходящее, как и в беге на коньках, при непрерывном скольжении. Все это осложняется дополнительными толчками палками во время опоры. В бесшажном стиле все время имеется двойная опора, поступательное же движение сообщается толчками палок. Перекрестная реципрокность, которая ясно видна во многих физических упражнениях циклического типа, в этом стиле нарушается. Помимо этого, связь между отдельными циклами движений не так четко видна, как в рассмотренных уже видах спортивных движений циклического типа — ходьбе, беге, беге на коньках, велосезде; в ряде случаев циклы движений довольно легко разрываются паузами.

Надо иметь также в виду, что ходьба на лыжах редко совершается по идеально ровной горизонтальной лыжне. Различная степень раскатанности лыжни, условия скольжения, характер снежного покрова, подъемы, спуски и повороты, в общем исключительно большое разнообразие условий, в которых совершается ходьба на лыжах, — все это нарушает стандартность формы движения. Наиболее ярко это видно в скоростном спуске с горы, который представляет собой сложную цепь самых неожиданных, внезапных изменений движений в ответ на меняющийся ряд внешних условий. Это есть типичный пример сложного реагирования на переменные ситуации, к восприятию которых должны быть готовы как проприорецепторы и вестибулярный аппарат, так и орган зрения.

В связи с тем, что стандартизация условий, в которых происходят состязания по ходьбе на лыжах, невозможна, официальные таблицы рекордов по лыжам не составляются. Несмотря на это, примерное представление о связи между скоростью лыжного бега рекордсменов и их рекордным временем можно получить, пользуясь сведениями о лучших достижениях, показанных в этом виде спорта (табл. 25).

Таблица 25

Лучшие достижения по лыжам

Дистанции (в км)	Мировые достижения		Советские достижения	
	Время	Скорость (в м/сек.)	Время	Скорость (в м/сек.)
5	13:05,0	6,37	18:33,5	4,48
10	25:49,0	6,46	38:25,2	4,34
20	58:01,8	5,74	1:17:23	4,30
30	1:34:10	5,31	1:56:42	4,28
50	3:06:46	4,50	3:37:28	3,84

По приведенным в таблице показателям мы можем определить, что лыжный бег лишь на дистанции до 5 км может быть отнесен к работам большой мощности. Соревновательных дистанций, проходимых с максимальной и субмаксимальной мощностями, обычно в лыжном спорте не встречается. Чаще всего на соревнованиях приняты дистанции, превышающие 10 км,хождение которых требует умеренной мощности работы.

Поскольку работа лыжника относится преимущественно к группе работ умеренной мощности, деятельность основных физиологических систем при ходьбе на лыжах следует рассматривать с точки зрения устойчивого состояния. Уровень последнего может быть, однако, весьма большим. В то время как в большинстве видов спорта многочасовая работа не может совершаться при потреблении кислорода, превышающем 2—3 л в минуту, ходьба на лыжах на 50 км, а у высокоотренированного лыжника даже на 100 км (т. е. 8—9 час.), может происходить при потреблении 3—3,5 л кислорода в минуту.

Такое высокое потребление кислорода объясняется тем, что при ходьбе на лыжах в сокращение вовлекаются очень большие мышечные массы. В то время как при ходьбе, беге, беге на коньках, велоезде сильные мышечные сокращения совершаются в основном мышцами ног, при ходьбе на лыжах в работу вовлекаются, помимо ног, также руки и туловище. Усилия при этом развиваются большие, но так как они не концентрированы в определенных, узко ограниченных мышечных группах, а распределяются по большой мышечной массе, то утомительность такой работы сравнительно невелика.

Большая масса сильно сокращающихся мышц предъявляет, естественно, большой кислородный запрос. Удовлетворение же большого запроса зависит в первую очередь от пропускной способности сердца, обеспечивающего поставку работающим тканям достаточного количества насыщенной кислородом крови. При одном и том же потреблении кислорода при беге и ходьбе на лыжах сердце во втором случае может работать с меньшей нагрузкой. При беге главным потребителем кислорода являются мышцы ног. Артериально-венозная разность кислорода в сосудах нижних конечностей при этом велика, однако в сосудах остальных частей тела она мала. Вследствие этого смешанная венозная кровь, притекающая к легким из правого сердца, содержит еще значительное количество кислорода. Для переноса нужного количества кислорода из легких сердце должно прогнать большое количество крови. При ходьбе же на лыжах, когда артериально-венозная разность велика в сосудах большинства скелетных мышц, к легким притекает кровь со значительно меньшим содержанием кислорода, чем при беге. Одно и то же количество крови может теперь поглотить из легких большее количество кислорода. Следовательно, для переноса равной суммы кислорода

минутный объем сердца при ходьбе на лыжах может быть меньшим, чем при беге.

Имеется еще ряд обстоятельств, облегчающих работу сердца при ходьбе на лыжах. Вследствие обилия работающих мышц общее капиллярное русло тела при ходьбе на лыжах сильно расширено, значительно сильнее, чем при тех видах спорта, при которых в работу вовлекается ограниченная мышечная масса. Поскольку же сосуды расширены, сопротивление их току крови невелико, кровяное давление возрастает не так сильно, и работа сердца по преодолению сопротивления движению крови уменьшена.

Велико также значение мышечного насоса. При ходьбе на лыжах мышцы при своих сокращениях активно способствуют оттоку крови от всех участков тела, в то время как при беге роль мышечного насоса играет более ограниченная масса мышц.

Все это вместе взятое способствует увеличению минутного объема сердца при сравнительно меньших затратах энергии с его стороны, чем те затраты, которые должны быть при том же минутном объеме, но в условиях работы более ограниченной мышечной массы. Этим, вероятно, и объясняется, почему при ходьбе на лыжах возможно поддержание устойчивого состояния на столь высоком уровне. Высокая интенсивность обмена веществ, усиленное кровообращение и дыхание, с которыми организм справляется относительно легко, являются характерными для лыжного спорта.

К этому следует прибавить, что лыжный спорт способствует развитию силы не только мышц ног, но и мышц рук и туловища, которые в гораздо меньшей степени развиваются при занятии ранее перечисленными видами спорта.

Если же учесть также, что скольжение на лыжах в условиях меняющегося рельефа местности требует высокой точности ориентировки и установки тела в пространстве, а встречающиеся на пути лыжника внезапные спуски и повороты требуют большой скорости реакции, смелости, решительности и находчивости, то станет ясным, что лыжный спорт развивает не одну какую-нибудь сторону деятельности организма, но является видом спорта, действующим на организм наиболее разносторонне.

Лыжный спорт, подобно конькобежному, является зимним видом спорта, и поэтому к нему относится все то, что касается работы в условиях пониженной внешней температуры воздуха.

Особенно сказывается действие холода на открытые, не защищенные одеждой части тела.

Нормальная сосудистая реакция на понижение температуры — сужение сосудов — предохраняет от потери тепла с этих участков, но в то же время способствует их переохлаждению, в результате чего возможно местное обморожение и как следствие его — гибель части тканей. В связи с этим, вслед за первоначальным сужением сосудов, при действии холода наблюдается про-

тывоположное явление — расширение их. Значение местного расширения кожных сосудов при холодовом воздействии заключается в усиленном кровоснабжении кожи, в согревании ее кровью, в предохранении ее от переохлаждения. При сильном и длительном действии холода эта защитная сосудорасширительная реакция нарушается и вновь наступает спазматическое сужение сосудов, сказывающееся в резком побледнении участков кожи. Это уже является признаком начавшегося переохлаждения, могущего перейти в глубокое обморожение. Известно, что наилучшим способом вызвать вновь расширение сосудов, а тем самым согревание кожи, является энергичное механическое раздражение — потирание переохлажденного участка.

Следует иметь также в виду, что основной причиной местного обморожения является недостаточное кровообращение. Поэтому обморожение может наступать не только в открытых участках тела, но и в защищенных одеждой, слишком плотно облегаяющей данный участок и препятствующей его нормальному кровоснабжению. Достаточно свободная одежда и обувь уменьшают опасность обморожения.

С общим же охлаждением тела, которое может при низких температурах иметь место, несмотря на защиту тела одеждой, организм справляется усиленной теплопродукцией при совершении работы.

Теплопродукция при лыжном беге велика. Поэтому, несмотря на низкую температуру воздуха, лыжник при быстром беге нагревается. Происходит интенсивное подчас потоотделение, однако пот, выделяющийся из закрытых одеждой участков кожи, не испаряется немедленно, а пропитывает одежду, увлажняя ее. Особенно сильно накапливает влагу бумажная ткань, плохо пропускающая водяные пары. В результате тело лыжника оказывается окруженным влажной матерчатой оболочкой, снаружи охлаждаемой холодным воздухом, а изнутри нагреваемой телом. Пока эти два противоположные процесса равны друг другу, тело сохраняет свою температуру.

Если при длительном переходе лыжник вследствие утомления или по другим причинам начинает сбавлять темп, его теплопродукция, естественно, снижается, и отдача тепла начинает происходить скорее, чем его образование; мокрая одежда промерзает, и тело начинает быстро охлаждаться. Особенно сильное охлаждение наступает при длительных остановках. При большой усталости начавшееся переохлаждение тела вызывает вялость, апатию, трудно преборимое желание спать. В этом случае возникает опасность замерзания. Поэтому важно, чтобы одежда лыжника была из негигроскопичной ткани; при длительных переходах целесообразно иметь с собой смену сухого белья, которым на защищенном от ветра месте заменяют промокшее.

ГРЕБЛЯ

Движения при гребле — циклического типа, с той, однако, особенностью, что циклы, состоящие из одинаковых фаз движения, могут быть отделены друг от друга паузой различной длительности. Ритмическая же гребля без пауз уже не производит впечатления составного движения, а представляет собой более слитное целостное циклическое движение. Движения гребца не перекрестны, а содружественны, что также отличает это движение от большинства рассмотренных выше.

По характеру мышечных сокращений гребля приближается к силовому типу, в котором главной переменной является величина мышечного напряжения при сравнительно невысокой скорости мышечного сокращения. Отсюда вытекает значение большого поперечника мышц гребца.

Соревнования по академической гребле проводятся обычно на дистанцию 2 км, преодолеваемую за 8—10 мин. Такая работа относится к числу работ большой мощности. Прогулочная гребля и шлюпочные походы — упражнения, длящиеся часы, относятся к работам умеренной мощности. Максимальной мощности, т. е. такой, при которой работа может длиться всего 10—20 сек., в соревновательной гребле обычно не бывает.

В связи с большой мощностью работы при гребле физиологические сдвиги увеличиваются до максимальной степени. Это относится как к газосмену и энергетике, так и к кровообращению, дыханию и др. Однако достижение максимальной легочной вентиляции требует при гребле весьма глубоких дыханий, вследствие того, что частота дыхания ограничивается частотой гребков. Нужно отметить также, что в связи с мощным силовым напряжением, развиваемым в момент гребка, стоит и акт натуживания после вдоха.

ПЛАВАНИЕ

В физиологическом отношении плавание очень сильно отличается от всех других видов спорта. Движения пловца происходят в воде, и эта необычная среда налагает свой отпечаток на течение разнообразных физиологических функций пловца.

Обучение плаванию — образование двигательного навыка строится на принципиально иной основе, чем образование навыков в наземных видах спорта. В главе XVII говорилось о том, как на протяжении жизни человека происходит постоянная борьба его мышечных усилий с внешними силами — силой тяжести, инерционной силой, реактивными силами. Указывалась та громадная роль, которую в обеспечении успешного взаимодействия с этими силами играют афферентные импульсы, поступающие из различных рецепторов тела в центральную нервную систему.

Человек постоянно ощущает действие силы тяжести в виде давления, производимого на кожные рецепторы подошв при стоянии и на рецепторы больших кожных поверхностей при лежании. При движениях, при стоянии и сидении проприорецепторы его мышц также постоянно подвергаются действию силы тяжести, следствием ответной реакции мышц тела на это действие является рефлекторное поддержание различных поз, которые сводятся в основном к разгибанию ног, туловища, шеи, т. е. препятствуют падению тела под действием силы тяжести.

Перемещается человек обычно в разнородной среде, которую составляют земля и воздух, причем ощущает он лишь первую из этих двух составляющих и использует ее для опоры, а трение между опорной поверхностью своей и землей — для отталкивания от земли. Воздушную же среду он ощущает только при очень большой скорости передвижения или при сильном ветре. В обычных же условиях эта среда не оказывает препятствий движениям, и последние, раз начавшись, легко продолжают по инерции. Вертикальное положение при наземных передвижениях легко поддерживается привычными вестибулярными рефлексам.

Попав впервые в воду, человек оказывается в совершенно непривычной ситуации. Вся сумма его ощущений, вся совокупность афферентных импульсов для него необычны. Те силы, с которыми он привык бороться и которыми он привык пользоваться на земле, оказываются либо полностью выпавшими, либо резко уменьшенными, зато возникают новые внешние силы, с которыми он на земле не сталкивался. Например, сила тяжести, постоянно действовавшая на кожные рецепторы и проприорецепторы, действует на тело, находящееся в воде, лишь в очень слабой степени. Благодаря малому удельному весу тела оно становится в воде почти невесомым, а при нахождении в соленой морской воде — и вовсе невесомым. В то же время, потеряв опору, человек рефлекторно производит движения, стремящиеся выпрямить его тело, причем движения эти чрезмерно энергичны; человек борется с той силой, которой по существу почти нет, он еще «не знает», что для поддержания тела на воде достаточно ничтожного усилия. Движения его вначале слишком резки; привыкнув к действию сил инерции, он подает резкие толчки импульсов в мышцы, «надеясь» на то, что дальше движение пойдет по инерции. На самом же деле движение, раз начавшись, тут же затухает, если прекращается импульс к движению: благодаря вязкости водной среды силы трения препятствуют движению тела по инерции: приходится приучаться к тому, чтобы на протяжении всего движения конечности в воде подавать в мышцы непрерывно активные импульсы. Из резких движения должны превратиться в плавные.

Реактивные силы, вследствие отсутствия твердой опоры, на которой они могли погашаться, проявляют себя при нахождении тела в воде более ярко: движение одной какой-либо конечности сказывается легко в изменении положения всего тела.

Ощущения, зависящие от разнородности среды, пропадают, человек оказался в однородной среде, от нее он отталкивается, в ней он и перемещается. Вместо привычного чувства твердой опоры должно возникнуть ^{повве} «чувство воды», и следует точно дозировать силу и скорость движений при плавании, для того чтобы они в наименьшей степени толкали тело назад и в наибольшей — вперед. Вестибулярные рефлексы требуют более активного торможения, без чего происходили бы лишь рефлекторные движения, стремящиеся придать телу вертикальное положение. Приходится также считаться с изменением удельного веса тела при вдохе и выдохе, что при наземном существовании было, конечно, совершенно безразлично.

Итак, новые условия построения координированных движений при плавании возникают вследствие: резкого уменьшения действия сил тяжести и инерции и некоторого возрастания влияния реактивных сил, превращения неоднородной среды в однородную, громадного возрастания вязкости среды, выпадения чувства твердой опоры, необходимости перемещения в горизонтальное положение и подавления поэтому ряда вестибулярных рефлексов, необходимости выработки у себя нового ощущения плотности воды.

С учетом всех этих факторов и должно строиться обучение плаванию, развитие навыков передвижения в водной среде. Отсюда следует также, что ни один вид двигательных навыков, образованных на земле, не может быть применен при движениях в воде. И если обучение плаванию может совершаться в сравнительно небольшие сроки, не превышающие подчас сроков овладения некоторыми наземными спортивными навыками, то человек обязан этим лишь тому, что сами по себе движения при плавании весьма просты. Они очень легко автоматизируются, и навык в плавании, однажды освоенный, сохраняется затем на всю жизнь.

Это говорит о том, что движения, необходимые для плавания, могут быть управляемы (при наличии уже выработанного навыка) сравнительно невысокими этажами центральной нервной системы, в частности теми ее отделами, которые составляют экстрапирамидную систему (полосатое и бледное тела, красные ядра).

Плавание оказывает воздействие на различные физиологические функции организма. Рассмотрим в первую очередь влияние водной среды на дыхание.

При погружении в воду тело испытывает на себе давление воды, которое тем больше, чем глубже погружение. Величина давления определяется весом столба воды от уровня ее до погруженного тела. Если представить себе тело, погруженное на глубину 10,3 м, то на каждый квадратный сантиметр поверхности тела вода будет давить с силой 1,03 кг, что соответствует высоте ртутного столба в 760 мм, т. е. одной атмосфере сверх того давления, которое на поверхность воды оказывает воздушная атмосфера. На такую большую глубину человек при плавании не погружается. Однако даже при обычной глубине погружения вода

давит на тело с силой, оказывающей несомненное влияние на дыхание.

Для того, чтобы представить себе это влияние, рассмотрим рис. 101, на котором изображен человек, стоящий по шею в воде, и человек, плывущий у поверхности ее. Мы видим, что при стоянии в воде последняя давит на туловище с силой, равной в среднем 30 г на 1 см². Если принять поверхность части туловища, подвижной

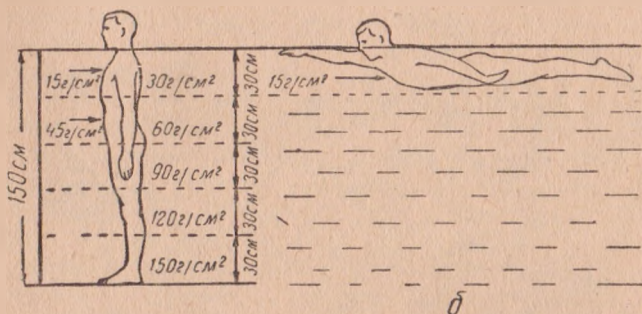


Рис. 101. Схема распределения давления воды на поверхность тела:

а—при стоянии в воде, б—при плавании.

при дыхании, равной примерно 1000 см², то общее среднее давление на всю эту поверхность окажется равным 30 кг. Следует иметь в виду, что давление на живот в этом случае больше чем на грудь, причем мягкие ткани живота оказывают ему относительно малое сопротивление, вследствие чего живот сравнительно легко вдавливается внутрь. Таким образом, при стоянии в воде дыхательной мускулатуре приходится совершать дополнительную работу по преодолению давящей силы воды. При этом относительно большое усилие приходится развивать диафрагме, вследствие чего дыхание из диафрагмального, брюшного типа частично переключается на грудной, реберный тип.

При глубоком погружении в воду дыхание (через трубку, выведенную на поверхность), естественно, затрудняется еще сильнее. Уже на 2-метровой глубине давление воды настолько значительно (200 г на 1 см², т. е. приблизительно 200 кг на переднюю поверхность туловища), что глубокий вдох делается невозможным. Дыхание осуществляется с большим трудом, частота его достигает 165 дыханий в 1 мин. при ничтожной глубине вдоха, что исключает возможность длительного пребывания под водой на такой глубине. Если же воздух подается через трубку под давлением, то внешнему давлению воды на грудную клетку противостоит теперь повышенное давление в легких, и нормальное дыхание осуществимо.

При небольшом погружении в воду, которое имеет место при

стильном плавании, давление воды на тело невелико по сравнению с глубоким погружением, однако абсолютная величина его не является незначительной. Из рис. 101 видно, что при горизонтальном положении тела под поверхностью воды давление на туловище составляет в среднем примерно 15 г на 1 см², т. е. 15 кг на «дыхательную» поверхность туловища. Эту дополнительную силу приходится преодолевать дыхательной мускулатуре при вдохе.

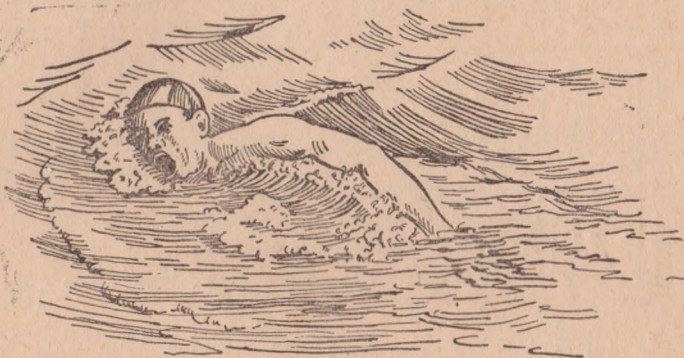


Рис. 102. Момент вдоха при плавании на боку.

При плавании на спине давление на переднюю стенку туловища, понятно, меньше, чем при плавании на груди.

Если внешнее давление воды затрудняет вдох, то оно же облегчает выдох. Однако последнее имеет место лишь в том случае, если выдох производится над поверхностью воды. При стильном же плавании, за исключением плавания на спине, выдох производится в то время, когда голова опущена под воду. Следовательно, в этих случаях, для того чтобы вытолкнуть из легких воздух, следует преодолеть давление столба воды над уровнем рта и носа. Нетрудно убедиться в том, что если бы вода не давила также и на туловище, то выдох при значительном погружении в воду был бы затруднителен.

Рассмотрим теперь вопрос о ритме дыхания во время плавания. В плавании, в особенности при тех способах, когда выдох совершается в воду, мы встречаемся с особенно четкой связью ритмов дыхания и движения (рис. 102).

При плавании стилем брасс на груди вдох совершается во время гребка при разведении рук в стороны, выдох же совершается в воде при сведении рук у груди и их последующем выпрямлении. Таким образом, одно дыхание приходится на один полный цикл движений. Количество дыханий в минуту равно количеству совершаемых в минуту гребков. Иногда пловец совершает меньшее число дыханий, чем гребков, делая один гребок без дыхания (что бывает в начале заплыва на короткую дистанцию), но

большей частоты дыханий, чем гребков, не наблюдается. То же самое имеет место при плавании на боку, когда вдох совершается во время переноса руки над водой, а выдох начинается во время гребка, совершаемого этой же рукой, и одновременного сведения ног. При плавании стилем кроль на груди вдох совершается также во время проноса одной из рук над водой, а выдох — когда та же рука делает гребок, а другая проносится над водой. Следовательно, одно дыхание совершается на протяжении двух гребков, выполняемых последовательно одной и другой рукой, т. е. опять-таки на протяжении одного полного цикла движений. Иногда дыхание совершается реже — на полтора цикла движений, когда вдох совпадает один раз с проносом правой руки, а другой раз — с проносом левой.

В итоге при всех указанных стилях плавания число дыханий равно числу полных циклов движений, иногда оно меньше, но никогда не больше. Лишь при плавании стилем кроль на спине, когда рот все время находится над водой, возможна произвольная частота дыханий, однако при достаточной ритмичности его и здесь число дыханий совпадает с числом полных циклов движений.

Естественно поэтому, что предельная частота дыханий при плавании находится в строгой зависимости от предельной частоты гребков, или, точнее, полных циклов движений. Частота эта сравнительно невелика и даже при наиболее быстром плавании чемпиона редко достигает 35—40 в минуту. В то же время потребность в вентиляции легких может доходить при плавании до 100 л и больше в минуту. Естественно, что глубина дыхания должна в этих случаях достигать очень больших величин — до 3 л. Это возможно лишь в том случае, если жизненная емкость легких превышает эту величину. Необходимость совершать при плавании глубокие редкие дыхания содействует возрастанию жизненной емкости у лиц, специализирующихся в этом виде спорта, что и подтверждается наблюдениями.

С физиологией дыхания при плавании стоит в теснейшей связи дыхание при нырянии. Длительность ныряния и дальность заплыва под водой определяются способностью спортсмена, владеющего техникой подводного плавания, к длительной задержке дыхания. О факторах, определяющих последнюю, говорилось в главе «Дыхание». Здесь же остановимся на анализе того способа увеличения длительности задержки дыхания, которым широко пользуются ныряльщики. Перед нырянием они совершают ряд глубоких дыханий, так называемую г и п е р в е н т и л я ц и ю, после которой длительность задержки дыхания может значительно возрасти.

Рассмотрим, каковы причины этого явления.

Среди пловцов распространено мнение о том, что гипервентиляция создает «запасы» кислорода в организме. Это мнение верно лишь отчасти. Действительно, расчеты показывают, что усиленное «промывание» легких атмосферным воздухом может увеличить содержание кислорода легких приблизительно на 200 см³. Боль-

ного донасыщения кислородом крови не происходит, так как кровь и в условиях обычного дыхания почти полностью насыщена кислородом. Максимально возможная цифра обогащения крови кислородом, которую можно допустить при самом усиленном дыхании, — это едва 50 см³. Таким образом, общее увеличение кислорода в организме может составлять при гипервентиляции едва 250 см³. Этого количества может быть достаточно для задержки дыхания при покое еще на одну минуту; при работе, естественно, гораздо меньше. Между тем известно, что гипервентиляция дает возможность задержать дыхание иногда на несколько минут. Следовательно, помимо обогащения кислородом, существует еще другая причина.

Этой второй причиной является «вымывание» из организма углекислоты.

При глубоких, частых дыханиях альвеолярный воздух, содержащий 5—6% CO₂, сильно разбавляется наружным воздухом, практически не содержащим CO₂. Вследствие резкого падения в альвеолярном воздухе парциального давления CO₂, этот газ усиленно диффундирует в легкие из крови. Содержание CO₂ в крови сильно уменьшается, поскольку поступление ее из тканей в кровь осталось в прежнем объеме, а удаление ее из крови сильно возросло. Вследствие же понижения концентрации CO₂ в крови падает возбуждение дыхательного центра. Поэтому после подобного «вымывания» углекислого газа путем гипервентиляции часто наблюдается произвольная остановка дыхания (так называемое апноэ).



Рис. 103. Зависимость задержки дыхания от длительности гипервентиляции (по данным Мак Кензи).

Но углекислый газ продолжает прибывать из тканей в кровь, концентрация CO₂ в крови вновь поднимается, дыхательный центр снова возбуждается и дыхательные движения возобновляются.

Понятно, что если после гипервентиляции возможна даже произвольная задержка дыхания, то длительность произвольной задержки должна возрасти потому, что понадобится большее время для предельного нарастания кон-

центрации CO₂ в крови и возбуждения дыхательного центра. Неудивительно поэтому, что ряд исследователей обнаружил после гипервентиляции заметное удлинение времени задержки дыхания, и притом тем большее, чем дольше совершалась гипервентиляция. Однако, как показывает рис. 103, при все удлиняющейся гипервентиляции прирост времени задержки дыхания делается все меньшим.

Имеет значение не продолжительность гипервентиляции, а ин-

тенисивность ее. Например, показано, что уже после двухминутной интенсивной гипервентиляции длительность задержки возросла до $4\frac{1}{4}$ мин. Если же после гипервентиляции происходило еще вдыхание чистого кислорода, т. е. сочеталось удаление CO_2 с созданием запаса кислорода в легких, то эффект был наиболее разительный. Длительность задержки дыхания могла растягиваться до 6 — 10 мин., а в одном случае достигла рекордной цифры — 15 мин. 13 сек.

Рассмотрим еще одну важную физиологическую особенность плавания — терморегуляцию в воде.

Условия терморегуляции в воде несколько отличаются от терморегуляции в воздухе. Вода обладает большей теплоемкостью, чем воздух. Ее теплоемкость равна единице. Это значит, что для нагрева 1 см³ воды на 1° (с 14° до 15°) достаточно 1 м. кал. Теплоемкость же воздуха — всего 0,237, т. е. от 1 м. кал. 1 см³ воздуха при нормальном давлении может нагреться всего на 0,237°. Отсюда следует, что при одной и той же температуре воды и воздуха тело отдает в единицу времени почти в пять раз больше тепла воде, нежели воздуху. Вследствие этого охлаждение тела в воде происходит быстрее.

Если же вследствие энергичной работы при плавании образование тепла в теле происходит в большем количестве, чем отдача его в воду, то, естественно, тело нагревается. Терморегуляция здесь осуществляется расширением кожных сосудов, увеличивающим теплоотдачу.

Еще не выяснено окончательно, происходит ли при плавании потоотделение. Имеются указания, что потоотделение происходит, поскольку пловцы во время длительного заплыва теряют в весе. С другой стороны, однако, обнаружено, что при плавании содержание молочной кислоты в моче достигает значительно больших величин, чем при наземных видах спорта. А так как, кроме почек, молочная кислота может выводиться только через потовые железы, то полагают, что этот факт свидетельствует об отсутствии потоотделения.

Однако, если потоотделение при плавании все же имеется, то терморегуляторного значения оно не имеет: поскольку тело находится в воде, испарение пота с поверхности тела исключено; следовательно, исключена и избыточная отдача тепла с испарением пота.

Благодаря тому, что плавание в открытых бассейнах совершается не всегда при постоянной температуре, тело пловца привыкает к температурным колебаниям. Это оказывает закаляющее действие на организм, который становится менее подверженным простудным заболеваниям.

В заключение рассмотрим, какова интенсивность физиологических сдвигов при спортивном плавании.

Рассматривая данные табл. 26, мы убеждаемся в том, что длительность плавания на классические дистанции до 1500 м составляет у классного пловца менее получаса.

Таблица 26

Рекорды в плавании вольным стилем на 1/1 1947 г.

Дистан- ции (в м)	Мировые рекорды		Советские рекорды	
	Время	Скорость (в м/сек.)	Время	Скорость (в м/сек.)
50	25,0	2,00	—	—
100	55,9	1,79	57,0	1,75
200	2:06,2	1,58	2:08,9	1,55
400	4:38,5	1,44	4:44,9	1,40
800	9:50,9	1,35	10:26,6	1,28
1 000	12:33,8	1,33	13:00,2	1,28
1 500	18:58,8	1,32	20:05,3	1,24

Поэтому, оценивая по показателям предельного времени относительную мощность работы (см. гл. XIV), мы должны признать, что соревновательное плавание на указанные дистанции представляют собой работу, относительная мощность которой превышает «умеренную». Это преимущественно работа большой и субмаксимальной мощности, т. е. работа, совершающаяся в условиях прогрессирующей кислородной задолженности и сопровождающаяся предельно интенсивным дыханием и кровообращением. Исследования действительно показали, что легочная вентиляция при плавании на 100—400 м достигает, а иногда и превышает 100 л/мин., а потребление кислорода у выдающихся пловцов составляет свыше 5 л/мин. Такое громадное поглощение кислорода возможно только в том случае, если деятельность сердца, перекачивающего несущую кислород кровь, также достигает очень больших величин. Подсчеты показывают, что у выдающихся пловцов минутный объем сердца приближается при соревновательных заплывах к 35 л/мин., т. е. к теоретически возможному максимуму.

Благодаря особенностям кровообращения при плавании сердце испытывает при плавании относительно меньшую нагрузку, чем, например, при беге. Особенности эти следующие. Во-первых, горизонтальное положение тела пловца, которое обеспечивает большую легкость передвижения крови по венам к сердцу от нижних конечностей, чем при вертикальном положении. Во-вторых, при плавании в движениях участвует большая масса мышц, вследствие чего в большом количестве раскрываются мышечные капилляры и, кроме того, вся эта мышечная масса действует, как насос, прогоняющий кровь к сердцу. Наконец, ритмичные, глубокие дыхания оказывают сильное присасывающее действие. Все эти факторы действуют в одном направлении — в сторону облегчения

кровообращения, как бы снимая часть нагрузки, приходящейся на долю сердца.

Итак, плавание является видом спорта, оказывающем разностороннее действие на организм. Оно сильно развивает дыхательный аппарат, способствует усилению кровообращения, совершенствует терморегуляцию.

Пловец, усвоивший различные стили плавания, овладевает способностью совершать сложные координированные движения.

Нужно отметить также то гигиеническое значение, которое имеет частое пребывание тела в чистой воде.

ПОДНЯТИЕ ТЯЖЕСТЕЙ¹

Поднятие тяжестей — движение ациклическое, состоящее обычно из двух однократных движений, разделенных паузой. Например, при поднятии толчком первое однократное движение — взятие штанги на грудь, второе — толчок. При подъеме рывком или жимом движение также разлагается на два однократных двигательных акта. Большую роль в поднятии тяжестей играет статическое мышечное чувство, достигающее у штангистов большой точности.

Поднятие тяжестей относится к группе собственно силовых упражнений, в которых главной переменной величиной является мышечное напряжение при примерно постоянной скорости сокращения. При жиме эта скорость сокращения минимальна, при рывке — наибольшая, но всегда постоянная.

Как указывалось в главе XV, главное значение в величине силового напряжения имеет величина мышечной массы, точнее — толщина мышц. Размеры же мышечной массы тела, естественно, связаны (у тренированного организма) с общей массой (весом) тела. Поэтому при оценке силовых достижений штангистов учитывается вес их тела. В табл. 27 приведены рекорды в поднятии штанги в связи с весовыми категориями тяжелоатлетов.

Из таблицы видно, что с ростом веса тела увеличивается и масса поднимаемого груза. В жиме зависимость веса поднимаемой штанги от веса тела почти прямая и достигает у мировых рекордсменов в среднем 1,65—1,70 кг на 1 кг веса тела.

Вследствие ничтожного времени, потребного на совершение силового движения, изменения в дыхании, кровообращении, химизме не являются показателем его интенсивности. Влияние на дыхание и кровообращение здесь побочное, связанное с актом натуживания. При многократном повторении силового движения на соревновании или тренировочном уроке мощность работы за единицу времени зависит от числа подходов к штанге и веса ее. При часовой длительности тренировочного урока частота подходов невелика, и средняя мощность лежит в границах умеренной.

¹ Подробнее общую характеристику силовых и скоростно-силовых упражнений см. в гл. XV.

Таблица 27

Рекорды в поднятии штанги на I I 1947 г.

Весовые категории	Мировые рекорды			Советские рекорды		
	Жим	Рывок	Толчок	Жим	Рывок	Толчок
Легчайший вес (до 56 кг) . . .	—	—	—	94,0	97,3	125,9
Полулегкий „ (56—60 кг) . . .	105,0	102,5	131,0	103,15	108,25	136,0
Легкий „ (60—67,5 кг) . . .	108,5	116,5	153,5	110,8	117,5	145,7
Средний „ (67,5—75 кг) . . .	117,5	222,0	156,5	129,5	123,0	156,5
Полутяжелый „ (75—82,5 кг) . . .	130,0	130,0	163,0	137,5	130,0	165,5
Тяжелый „ (выше 82,5 кг) . . .	145,0	137,5	171,0	140,0	133,0	172,5

МЕТАНИЯ СНАРЯДОВ¹

Метания снарядов являются движениями ациклическими, однократными, четкое завершение которых происходит в момент отрыва снаряда от руки. Движение лишь искусственно может быть разложено на фазы, тесно слившиеся друг с другом. В зависимости от веса и формы снаряда различны и движения, необходимые для его метания. Все они, однако, имеют одно и то же назначение: сообщить снаряду в момент отрыва его от руки максимальную скорость вылета и правильное направление его, в результате чего достигается максимальная дальность полета снаряда. Такие движения, как мы знаем, относятся к группе скоростно-силовых. Иначе говоря, от мышц требуется развитие максимальной конечной скорости сокращения. Однако чем больше вес снаряда, его инерция, тем меньшую скорость сокращения могут развить мышцы, так как этому препятствует инерция снаряда. Для преодоления же последней мышцы должны развить одновременно с сокращением и напряжение. Последнее должно быть тем значительнее, чем больше вес снаряда. Очевидно, что относительно меньшая доля мышечной силы затрачивается на напряжение и большая часть — на скорость сокращения при метании легкого копья, гранаты; большее напряжение необходимо при метании диска, еще большее (за счет проигрыша в скорости) — при толкании ядра и метании молота. Отсюда вытекает важность сочетания тех условий, от которых зависит развитие напряжения мышц, с условиями, обеспечивающими скорость их сокращения.

¹ Подробнее общую характеристику силовых и скоростно-силовых упражнений см. в гл. XV.

Большую роль в придании скорости снаряду играют подготовительные движения, имеющие целью использовать инерцию массы тела и центробежные силы. С последними мы встречаемся в метании диска и молота, причем сохранение точности движений при вращении тела обеспечивается сигналами, поступающими в центры от вестибулярного аппарата, главным образом от горизонтальных полукружных каналов. Использование инерции поступательного движения имеет место в метании копья, которому предшествует бег. Здесь циклическое движение — бег — переходит в ациклическое — метание. Такие внезапные перестройки типа движения представляют собой значительную координационную сложность. Наконец, при толкании ядра в особенно яркой степени используются мышечная масса и инерция всего тела для преодоления инерции массы ядра и сообщения ему полетной скорости.

Характерных сдвигов в обменных процессах при однократном выполнении упражнения по толканию снарядов не отмечается.

Рекорды в метании снарядов на I I 1947 г. (в м)

Мировые рекорды	Советские рекорды
Ядро 17,40	16,12
Диск 53,34	50,74
Молот 59,00	54,64
Копье 78,70	69,55
Граната —	87,89

ПРЫЖКИ¹

Характеристика прыжков весьма сходна с характеристикой метаний. Движения также являются однократными, скоростно-силовыми. В метаниях задача состояла в том, чтобы сообщить максимальное ускорение полету снаряда; в этом преимущественное участие принимали мышцы плечевого пояса. В прыжках эта же задача относится к самому телу; максимальная начальная скорость его полета зависит преимущественно от действий мышц нижних конечностей. Скоростно-силовое упражнение требует от мышц главным образом высокой скорости сокращения. Однако большая масса тела заставляет мышцы, кроме того, сильно напрягаться. Следовательно, в прыжках требуется сочетание всех силовых свойств мускулатуры.

Сложность двигательной координации зависит от задачи прыжка. В прыжке в длину без разбега двигательная координация в момент толчка направлена на то, чтобы развить высокую скорость мышечного сокращения ног и сообщить определенное направление телу в полете. Одновременный резкий вынос рук вверх и вперед также способствует отрыву тела от земли. Движения во

¹ Подробнее о скоростно-силовых упражнениях см. в гл. XV.

время полета не могут изменить траектории центра тяжести тела, и вынос ног вперед под углом к туловищу имеет целью лишь отдалить точку касания ногами земли.

Прыжку в длину с разбега предшествует акт разбега — спринтерский бег. Значительную координационную сложность представляет момент перехода от циклического движения — бега — в однократное силовое движение — толчок, требующий к тому же высокой точности в попадании ноги на планку и соразмерности в придании телу наиболее выгодного угла вылета. Так же как в прыжке без разбега, движения тела в полете не изменяют полетной траектории центра тяжести тела; часто наблюдаемые движения ногами («ножницы») являются продолжением перекрестной реципрокности, бывшей при разбеге. Кроме того, эти «ножницы» отчасти помогают подтягивать ноги вперед, чтобы не зацепить ими за землю при приближении к ней центра тяжести тела и коснуться ими земли как можно дальше.

Прыжок в высоту, помимо упомянутых уже требований к свойствам мышц, относящихся ко всякому прыжку, требует также сложной двигательной координации при перелете через планку. Эти движения опять-таки не изменяют высоты в направлении пути центра тяжести тела, а имеют лишь значение (например в стиле «хорейн») в расположении частей тела в момент перелета через планку по возможности в одной горизонтальной плоскости с центром тяжести тела. Такие сложные движения требуют высококоординированного управления мускулатурой тела в условиях точной ориентировки в пространстве в момент полета. Следовательно, наряду с мышечно-суставной проприорецептивной чувствительностью особое значение приобретает также вестибулярный аппарат.

Прыжок с шестом в координационном отношении наиболее сложен. Разбег осложнен заторможенностью работы рук, несущих шест, и дополнительным весом шеста. Внезапный переход циклического движения в ациклическое осложняется необходимостью точно воткнуть шест в ямку и выполнить толчок. В дальнейшем совершается сложное движение, в котором работа мышц всего тела, опирающегося руками о шест, сочетается с использованием ускорений, сообщенных самому шесту. В течение всего этого периода подъема и перелета через планку движения совершаются под исключительно точным контролем проприорецептивной, вестибулярной и зрительной чувствительности.

Рекорды в прыжках на I I 1947 г. (в м)

Мировые рекорды	Советские рекорды	
Прыжок в высоту	2,11	1,95
• в длину	8,13	7,49
• в тройной	16,00	15,23
• с шестом	4,77	4,30

ГИМНАСТИКА

В гимнастике мы встречаемся с большим разнообразием движений, охватывающих различные мышечные группы и воздействующих на различные физиологические функции. Движения в большинстве случаев относятся к ациклическому типу. Отдельные движения составляют комбинацию движений, достигающую подчас большой слитности. При всем многообразии движений они достаточно стандартизированы и могут при достаточной разученности стереотипно повторяться. Гимнастические движения совершаются без снарядов, со снарядами и на снарядах. В физиологическом отношении принципиальных различий здесь не имеется; снаряды являются одним из средств, увеличивающим разнообразие гимнастических движений.

В гимнастике встречаются как статические, так и динамические усилия. Одни упражнения способствуют развитию мышечной силы, проявляющейся преимущественно в напряжении, другие (в несколько меньшем числе) влияют на развитие сократительной способности мышц. Влияние гимнастических упражнений на физические свойства мышц сказывается также в увеличении растяжимости мышц. Совместно с воздействием на связочный аппарат и другие соединительнотканые элементы двигательного аппарата специальные гимнастические упражнения способствуют увеличению амплитуды движений в суставах конечностей и гибкости позвоночника. Упражнения, в которых происходит частое изменение положения тела в пространстве, воздействуют также на вестибулярный аппарат. Разностороннее влияние гимнастических упражнений на двигательный аппарат сказывается не только в развитии мышечно-связочной системы, но и в совершенствовании координированности движений, достигающей в некоторых упражнениях большой сложности.

В отношении воздействия на другие физиологические функции — на кровообращение, дыхание, обмен веществ и энергии — гимнастические упражнения уступают описанным выше спортивным движениям циклического типа. В последних мы встречаемся с большими вариациями относительной интенсивности и длительности работы, что в меньшей степени имеется в гимнастике. Это не значит, что гимнастика не развивает кровообращения и дыхания, но развитие этих функций при занятиях гимнастическими упражнениями меньше, чем при многих спортивных движениях циклического типа.

Рассмотрим также значение гимнастических комбинаций, совершаемых в виде утренней зарядки, спортивной разминки и производственной гимнастики.

Утренняя зарядка играет большую роль в переходе организма от состояния сна к состоянию бодрствования. Во время сна многочисленные процессы, совершающиеся в организме, находятся в состоянии заторможенности. Сон представляет собой, по Павло-

ву, торможение, разлившееся по всей коре головного мозга. Пороги возбуждения клеток коры повышены, и поэтому внешние раздражения, если только сила их не превышает этих порогов, не вызывают ответных реакций. Торможение центров сказывается и на мускулатуре, тонус которой понижается; мышцы расслаблены. Понижается возбудимость вегетативных центров, что вызывает понижение интенсивности процессов обмена, дыхания, кровообращения. В частности, например, падает возбудимость дыхательного центра; дыхание во сне слабое и поверхностное, удаление углекислоты неполное, парциальное давление ее в альвеолярном воздухе и крови повышается. Минутный объем сердца понижено, кровообращение в тканях также уменьшено, большинство капилляров закрыто. Лимфообращение сильно снижается, лимфа застаивается, что иногда вызывает отечность кожи.

Все эти явления после пробуждения проходят не сразу. и утренняя зарядка сильно способствует их быстрому исчезновению. Мышечное движение, глубокое дыхание, термические действия водных процедур — все это усиливает лимфообращение, кровообращение, обмен веществ, снимает тормозное состояние нервных центров, что вызывает субъективное ощущение бодрости.

Этим, конечно, не ограничивается значение утренней зарядки.

Различные упражнения способствуют развитию мышечной системы, подвижности в суставах, гибкости позвоночника. Водные процедуры имеют, кроме того, большое значение в закаливании организма, ибо регулярные воздействия холодной воды являются своеобразной гимнастикой кожных сосудов, быстрое изменение просвета которых имеет существенное значение в отдаче тепла с поверхности тела и в предохранении его от охлаждения.

Ближе к зарядовой гимнастике стоит по своему значению спортивная разминка. Характер спортивной разминки, однако, более специфичен, так как разминка является подготовкой к тем видам спортивных движений, которым эта разминка предшествует.

Спортивная разминка может оказывать местное и общее влияние. Под местным следует понимать влияние преимущественно на те мышечные группы, которым предстоит совершение основных движений в данном виде спорта, под общим же — влияние на весь организм в целом.

Местное влияние разминки сводится в основном к следующему: 1) к повышению температуры работающих мышц, что благоприятствует более скорому протеканию химических процессов в них (распад, окисление), а также влияет на физические свойства мышц в смысле понижения их вязкости; это в свою очередь обеспечивает возможность совершения более быстрых мышечных сокращений; 2) к раскрытию капилляров в мышцах, что способствует их усиленному кровоснабжению; 3) к предварительному растяжению мышц, увеличению подвижности суставов вследствие специальных упражнений на растяжение; это облегчает

в дальнейшем возможность совершать более широкие, размашистые движения и уменьшает опасность разрывов волокон мышечной и соединительной ткани.

Естественно, что для подготовки к спортивному упражнению, в котором по преимуществу работают, например, ноги, бесцельно совершать разминочные упражнения только руками.

Общее влияние разминки в основном следующее: 1) предварительное усиление дыхания и кровообращения. Как говорилось, интенсивность дыхания, а в особенности кровообращения, не может сразу круто возрасти до величин, требуемых работой. Рост дыхания и кровообращения постепенен и требует нескольких минут. Предварительное усиление этих функций имеет большое значение для вхождения в работу со старта, уменьшая возникающий вначале кислородный долг и способствуя отдалению или исчезновению мертвой точки; 2) возбуждение симпатико-адреналиновой системы. Действие симпатической нервной системы, приспособляющей (адаптирующей) целый ряд органов к работе, проявляется не сразу с момента ее возбуждения, а через некоторый латентный (скрытый) период времени. Разминка, несомненно, воздействующая на вегетативную нервную систему, уже заранее способствует через нее подготовительной координации деятельности органов. В частности, возбуждение симпатической нервной системы и выделение адреналина являются побудительной причиной к мобилизации гликогенных депо печени и кровяных депо. Таким образом, кровь уже заранее обогащается эритроцитами и глюкозой. Наконец, разминка вызывает уже заранее и также через вегетативную нервную систему перераспределение крови — устремление ее к работающим тканям за счет сужения некоторых сосудов внутренних органов; 3) усиление теплоотдачи. Дело в том, что с момента начала интенсивной работы повышается, в меру совершаемой работы, выработка тепла в теле, отдача же тепла вначале отстает от нее, вследствие чего температура тела повышается. Предварительная же разминка должна совершаться до появления первого пота: это значит, что вступил в действие основной фактор теплоотдачи. Теперь, когда аппарат теплоотдачи налажен, внезапно начавшаяся работа уже не столь резко будет повышать температуру тела.

Значение спортивной разминки не ограничивается одними указанными воздействиями на вегетативные процессы.

Разминка должна заканчиваться упражнением, по возможности точно имитирующим предстоящее основное спортивное движение. Это как бы настраивает весь нервно-двигательный аппарат и относящуюся к данному движению афферентную систему на данную двигательную координацию.

Разумеется, разминка не должна доводить спортсмена до утомления, так как это отрицательно скажется на координированности, силе и продолжительности в выполнении последующего упражнения. Ясно также, что чрезмерно длинный промежуток времени меж-

ду концом разминки и началом основного спортивного упражнения (например 20—30 мин.) не может быть признан целесообразным. За это время могут ликвидироваться все результаты разминки; мышцы и поверхность тела могут остыть, капилляры — закрыться, кровь — вернуться в депо, дыхание и кровообращение — снизиться до исходного уровня. Точная дозировка разминки и упомянутого интервала должны подбираться соответственно характеру предстоящего упражнения, индивидуальным особенностям спортсмена и метеорологическим условиям (например более короткая разминка — в жаркое время и более длительная — при низкой внешней температуре, чтобы согреть тело).

Все сказанное относительно разминки делает понятным значение вводной части гимнастического урока, которая является также подготовкой к дальнейшей тренировке. В вводной части урока должно быть предусмотрено как местное, так и общее влияние вводных упражнений. Они должны постепенно усиливаться в своей интенсивности, которая не должна, однако, превышать среднего уровня интенсивности работы в основной части урока. Последняя, кроме того, не должна содержать в себе длинных пауз, сводящих на-нет значение вводной части урока.

Производственная гимнастика в форме физкультпаузы или физкультминутки имеет значение главным образом как корригирующее упражнение и усиливающее кровообращение в тех случаях, когда производственный труд связан с длительным сохранением одной и той же позы или со статическими усилиями.

Специальная дыхательная гимнастика в виде глубоких дыханий без интенсивной мышечной работы, употребляемая как средство тренировки дыхательных движений и увеличения жизненной емкости легких, с физиологической стороны не оправдана. Глубокие дыхания, совершаемые в состоянии покоя, приводят лишь к вымыванию углекислоты из крови и головокружениям. Их воздействие на дыхательный аппарат ничтожно по сравнению с тем влиянием, которое на этот аппарат оказывают сами физические упражнения. Как уже указывалось, во время физических упражнений, в особенности при движениях, осуществляемых большими мышечными массами, дыхание незаметно для самого упражняющегося может усиливаться до такой большой глубины и вентиляция легких может достигать столь больших цифр, которые недоступны при специальной дыхательной гимнастике.

Во время выполнения физических упражнений главное внимание должно быть обращено на ритм дыхания, на координированность его, т. е. на связь его фаз с фазами движения.

БОРЬБА

Большинство из описанных видов спорта имеет ту характерную особенность, что движения в них совершаются в строго определенной последовательности, которую можно заранее пред-

угадать, перечислить и записать. Каждое движение тщательно разучивается и выполняется под контролем всегда определенной суммы афферентных импульсов. Иначе говоря, все эти движения, как циклические, так и однократные и составные (к последним относятся и гимнастические), постоянны, стереотипны. Борьба же состоит не из стандартных движений, следующих друг за другом в определенном порядке, а из движений крайне разнообразных, диктуемых ходом борьбы. В стереотипных движениях характер, порядок следования афферентных импульсов был постоянен; в борьбе же бесконечно меняющиеся условия определяют и разнообразие и неожиданность раздражений различных рецепторов. В зависимости от сигналов, поступающих от них по афферентным путям, строятся и движения. Лишь некоторые движения заучиваются в виде приемов; однако в процессе борьбы приемы эти могут следовать в различной комбинации и последовательности, изменяясь подчас в самом своем содержании. Поэтому физиологическая характеристика таких упражнений, как борьба, весьма затруднительна, и возможно лишь выяснение некоторых характерных моментов. В борьбе преобладают силовые моменты, требующие больших мышечных напряжений и (в меньшей мере) скоростно-силовых движений. Характерны также довольно длительные статические усилия, которые требуют опять-таки не столько скорости сокращения, сколько напряжений мышц.

Необходимость точного учета сопротивлений и давлений, оказываемых противником, требует высокой точности мышечно-суставного чувства, статической проприорецептивной чувствительности. Сложные перемены положения тела и, в частности, головы в пространстве (при переворотах, мосте и пр.) оказывают существенное влияние на вестибулярный аппарат.

Оценивая среднюю мощность работы, развиваемую на протяжении схватки, по длительности последней, эту мощность следует отнести к группе субмаксимальных и больших. Отсюда вытекает следствие (подтверждаемое исследованиями), что сдвиги в различных физиологических процессах (дыхание, газообмен, кровообращение, биохимические сдвиги в крови) могут достигать при энергичной схватке предельных величин. Следует, однако, иметь в виду, что дыхание в борьбе затруднено вследствие частых натуживаний, сопрягающих силовые моменты, а также при неудобных статических позах (мост) и при сдавлении грудной клетки противником (обхват). По тем же причинам, а также вследствие статических напряжений мускулатуры может быть затруднено и кровообращение — как местное, мышечное, так и общее.

БОКС

В отличие от борьбы бокс является упражнением преимущественно динамического типа, когда мышцы не застывают

в статическом напряжении (за исключением моментов ближнего боя, при котором имеются элементы статических усилий). Поэтому имеются все предпосылки для значительного усиления кровообращения и дыхания, не задерживаемого длительным натуживанием. Кроме того, в боксе усилия приближаются больше к скоростно-силовому типу (удар), нежели к собственно-силовому. Главную роль играет скорость мышечного сокращения, достигающая максимума в момент соприкосновения перчатки с телом противника. Максимальное ускорение, достигаемое в этот момент, характеризует так называемую резкость удара. Это ускорение, связанное с массой устремляемого вперед тела бойца, определяет силу удара.

Воздействие на вестибулярный аппарат при боксе (за исключением нокаута — см. ниже) менее значительны, чем при борьбе, вследствие необходимости сохранять постоянно нормальное положение головы, чтобы видеть противника (не считая быстрых наклонов головы при уходе под руку противника).

С другой стороны, роль зрительных восприятий в боксе неизмеримо выше, чем в борьбе: точность и быстрота реакции на движение противника в очень большой степени зависят от зрения. В борьбе же оно не играет столь существенной роли.

Средняя мощность работы на протяжении раунда может быть характеризована как субмаксимальная; при большом числе раундов и малом межраундовом промежутке средняя интенсивность боя несколько ниже и идет на уровне большой мощности. Очевидно, интенсивность основных физиологических процессов может достигать здесь максимальных величин.

Механизм нокаута различен в зависимости от места удара. При ударе в живот, в область солнечного сплетения, нокаут происходит вследствие рефлекторной остановки сердца. При ударе же в челюсть нокаут происходит в результате воздействия резкого сотрясения на вестибулярный аппарат, что имеет следствием внезапное падение мышечного тонуса. Возможно также влияние сотрясений и на некоторые центры ствола мозга и других его отделов.

ФЕХТОВАНИЕ

Рапира, эспадрон, винтовка со штыком обуславливают различный диапазон и характер движений. Динамические движения преобладают во всех случаях. Статические элементы, определявшие в старом «классическом» фехтовании постоянство позы на полусогнутых ногах, сменяются теперь динамическими, достигающими своего максимума во внезапных бросках при «флеш»-атаках.

Штыковой бой проходит уже под знаком сплошных динамических движений, охватывающих большие мышечные массы. При фехтовании, пожалуй, в большей мере, чем в боксе, требуется высокая острота зрительных восприятий и соответ-

ственно быстрые и четкие реакции на почти неуловимо быстрые движения оружия противника.

Мощность работы и связанные с нею физиологические сдвиги определяются динамичностью и продолжительностью боя. В отношении продолжительности рукопашный бой можно было бы оценить как работу субмаксимальной или большой мощности, но абсолютное ее значение, однако, не велико вследствие относительно малой амплитуды движений. Максимальные физиологические сдвиги здесь по сравнению с разобранными видами спорта, очевидно, несколько ниже.

Фехтование происходит в специальной одежде, защищающей тело от ударов оружием. Одежда вследствие своей толщины служит значительным препятствием для теплоотдачи.

Обильное потоотделение, обычно сопровождающее рукопашный бой, мало помогает теплоотдаче, так как затруднено испарение пота с поверхности тела. Вследствие этого при фехтовании наблюдается повышение температуры тела, в особенности если фехтование происходит в теплом помещении.

СПОРТИВНЫЕ ИГРЫ

Отсутствие стандартности в форме движений, крайнее их разнообразие исключают возможность общей характеристики движений, встречающихся в спортивных играх. В борьбе, боксе, рукопашном бою основным источником переменных раздражителей, требующих переменных же двигательных реакций, являются движения отдельного противника. В большинстве же спортивных игр движения играющего определяются общей обстановкой игры, в которой участвует много лиц. Быстрая оценка сложившейся ситуации, принятие наиболее правильного в данный момент решения и реализация этого решения в виде точного и быстрого движения — все это требует от участника игры большой точности зрительных, а иногда и слуховых восприятий, высокой приоритетивной чувствительности и правильной, быстрой ориентировки в пространстве. Характер мышечных сокращений преимущественно скоростно-силового типа, статические же условия встречаются крайне редко.

Изменения различных физиологических процессов зависят от относительной интенсивности работы, которую в спортивных играх крайне трудно определить. На протяжении игры эта интенсивность колеблется от умеренной до максимальной, причем уровень ее может меняться самым неожиданным образом и в самом различном порядке. Среднюю степень мощности на протяжении всей игры следует считать большой и отчасти даже умеренной, поскольку непрерывная длительность игры не бывает меньше 15—20 мин., растягиваясь до 45 мин. Нужно также учитывать место игрока в команде, отчего зависит большее или меньшее

количество производимых им движений (например работа врага рья или нападающего).

Сравнение различных игр друг с другом тоже весьма относительно. Например, полная динамики игра в баскетбол вызывает большие сдвиги в обмене веществ, дыхании и кровообращении, чем более статичная игра в волейбол. Футбол же, хоккей, баскетбол, теннис, водное поло — все эти игры, отличающиеся большой динамичностью движений, совершаемых на фоне быстрого перемещения в пространстве, вызывают значительное, приближающееся в отдельные моменты к максимуму, усиление различных физиологических функций.

Спортивные игры сопровождаются обычно сильным эмоциональным возбуждением участников. Эмоциональное же состояние характеризуется возбуждением симпатикоадреналиновой системы, что способствует усилению функций, обеспечивающих поддержание интенсивности работы на высоком уровне (мобилизация кровяных и углеводных депо, уменьшение утомляемости мышц, возбуждающее действие на центральную нервную систему и т. п.).

АЛЬПИНИЗМ

Альпинизм представляет собою вид спорта, предъявляющий к организму человека самые разнообразные требования. Альпинист должен обладать обилием качеств, чтобы успешно совершать высокогорные восхождения, и в свою очередь эти восхождения оказывают разностороннее воздействие на организм спортсмена, способствуя его физическому развитию и воспитывая в нем, кроме того, ряд практически ценных навыков.

Высокогорные восхождения требуют большой выносливости, и притом выносливости к многочасовой (иногда на десятки часов) тяжелой физической работе. Альпинист должен обладать значительной силой мышц, особенно необходимой в скалолазании. Последнее требует также гимнастической ловкости — умения в совершенстве владеть своим телом.

Специфической особенностью альпинизма является то, что восхождения совершаются в необычных климатических условиях. Поэтому для физиологической характеристики альпинизма необходимо ознакомиться с понятием высокогорного климата.

Известно, что слой воздуха, окружающего землю, производит на землю давление. На уровне моря при ясной погоде это давление равно 1,03 кг на 1 см² поверхности, что соответствует весу столба ртути высотой 760 мм. Ясно, что чем выше мы поднимаемся от уровня моря, тем меньше становится столб воздуха над нами и тем меньше его барометрическое давление.

Табл. 10, приведенная на стр. 59, показывает это падение давления с увеличением высоты над уровнем моря. Вместе с тем процентное содержание газов в воздухе остается на всех высотах

практически постоянным, т. е. на любой горной высоте воздух содержит около 21% кислорода. Поэтому парциальное давление кислорода (см. подробнее стр. 57) падает пропорционально снижению барометрического давления. В связи с падением парциального давления кислорода в легких уменьшается и степень насыщения им гемоглобина крови. Однако артериализация крови уменьшается отнюдь не пропорционально снижению парциального давления кислорода. Как показывает рис. 18 на стр. 59 и цифры в табл. 10, процент насыщения гемоглобина кислородом уменьшается сначала незначительно, но затем все более круто. Явно недостаточное насыщение крови кислородом ощущается лишь на высоте около 3 км. Поэтому в спортивном альпинизме собственно высокогорным климатом считают климат горных районов, поднимающихся над уровнем моря выше чем на 3 км.

Высокогорный климат характеризуется также низкой температурой и сухостью воздуха, сильными ветрами и большой интенсивностью солнечного освещения (главным образом ультрафиолетовой части спектра). Все эти неблагоприятные метеорологические условия являются сопутствующими, еще более усугубляющими трудности альпинизма.

Основная трудность высокогорных восхождений создается пониженным атмосферным давлением и связанным с ним низким парциальным давлением кислорода, вызывающим недостаточное насыщение гемоглобина крови кислородом (так называемую аноксемию). Именно это является причиной тех расстройств в состоянии организма человека, поднявшегося на большую высоту, которые в совокупности называются горной болезнью. Эти расстройства заключаются прежде всего в нарушении дыхания — в одышке, в расстройстве ритма дыхания, в субъективных ощущениях удушья. Кроме того, замечается посинение губ вследствие недостаточной артериализации крови, побледнение кожи, вызванное сужением сосудов, а также явления недостаточного снабжения кровью и кислородом мозговых сосудов, выражающиеся в головокружениях, головных болях, шуме в ушах. Отмечаются также расстройство пищеварения, тошнота и рвота, нарушение сна, общая слабость и угнетенное психическое состояние, нарушение координации движений, нарушения в деятельности органов чувств — расстройство зрения, слуха, обоняния, вкуса, температурной и тактильной чувствительности.

Все эти явления наиболее выражены в начале пребывания на высотах. При более длительном нахождении в высокогорном климате происходит постепенное уменьшение острых явлений горной болезни. Такое привыкание к высокогорному климату называется акклиматизацией. Акклиматизация — сложный процесс, в котором участвуют различные системы организма, приспособляющие свою деятельность к необычным для организма условиям пребывания в разреженной атмосфере.

Особенно ярко выражены эти приспособительные изменения со стороны крови. Исследования, проведенные на горных жителях, показали, что количество эритроцитов в их крови тем больше, чем выше над уровнем моря они проживают. Это иллюстрируется табл. 28.

Таблица 28
Количество эритроцитов в 1 мм³ крови у лиц, живущих на разных высотах (по Леви с добавлениями)

Место исследования	Автор	Высота (в м)	Количество эритроцитов в 1 мм ³ крови (в млн.)
Уровень моря		0	5,0
Цюрих	Штирлия	412	5,7
Рейбольдер	Вольер	700	6,0
Давос	Кюндиг	1 560	6,5
Памир	Крестовников . .	3 600	6,8
Анды	Баркрофт	4 500	7,0

При подъеме на еще большие высоты, например до 5 500 м (Эльбрус, Памир, Эверест), число эритроцитов в крови может достигать 8—8,5 млн. в 1 мм³.

С увеличением числа эритроцитов, естественно, связано и увеличение количества гемоглобина в крови. Крестовников обнаружил, кроме того, что количество гемоглобина увеличивается в относительно большей степени, чем количество эритроцитов; это значит, что возрастает среднее содержание гемоглобина в эритроцитах. Все это говорит о том, что длительное пребывание в разреженном воздухе, т. е. в условиях низкого парциального давления кислорода, вызывает усиленную деятельность кроветворных органов, в которых повышается образование эритроцитов и гемоглобина.

Приспособительное значение этого явления понятно. При низком парциальном давлении кислорода и недостаточном вследствие этого насыщении им гемоглобина доставка тканям кислорода может быть все же обеспечена за счет большего количества гемоглобина. Каждый эритроцит переносит при этом уменьшенное количество кислорода, но зато их большее количество в какой-то степени компенсирует недостаточную доставку кислорода отдельными эритроцитами. Вместе с тем даже увеличенное количество эритроцитов и гемоглобина не оберегает организм от того «кислородного голодания», которое он испытывает, находясь на большой высоте, особенно при наличии мышечной работы.

В этих условиях происходит также изменение дыхания. В главе III указывалось, что недостаточное парциальное давление кислорода в крови является одним из факторов, вызывающих усиленную вентиляцию легких. Однако чрезмерное усиление дыхания у человека, находящегося в покое, сопровождается «вымыванием» углекислоты из организма, что уменьшает возбуждение дыхатель-

ного центра и принуждает к снижению вентиляции легких. Поэтому дыхание на высотах особенно у неакклиматизированных лиц неравномерно. При работе даже у опытного альпиниста или жителя горных высот дыхание усилено в большей степени, чем при выполнении той же работы на уровне моря. При этом у хорошо тренированного и акклиматизированного к высоте человека степень усиления дыхания почти точно соответствует степени снижения парциального давления кислорода в легких. Благодаря этому организм, совершая умеренную работу на высоте, обеспечивается все же нужным количеством кислорода. Это, в частности, было показано Кристенсеном, который проводил исследования на хорошо тренированном человеке, подолгу остававшемся на различных высотах и совершавшем там работу на велоэргометре. Было обнаружено, что в точном соответствии с падением альвеолярного давления кислорода усиливалась вентиляция легких. Работа на всех исследованных высотах совершалась одна и та же (900 кгм/мин.), и точная приспособленность дыхания обеспечивала на всех исследованных высотах (до 4700 м) необходимое для такой работы потребление 2 л кислорода в минуту.

Такое точное приспособление дыхания к работе на высотах достигается у хорошо тренированных и акклиматизированных альпинистов. Однако и у них достаточное обеспечение кислородом организма на высотах возможно лишь при сравнительно умеренной работе. Работа же, требующая поглощения предельно больших количеств кислорода, не может быть выполнена на большой высоте, потому что никакое, даже самое сильное дыхание не может обеспечить доставку таких же предельных количеств кислорода, как это может быть обеспечено на равнине.

Следующий пример (из Кристенсена) иллюстрирует это положение.

На уровне моря максимальное количество кислорода, которое мог потреблять при работе испытуемый, равнялось 3,7 л/мин. Достигалось это, однако, за счет предельного увеличения его легочной вентиляции — до 130 л/мин. (при температуре тела 37°). На высоте 4700 м легочная вентиляция при работе даже несколько превышала 130 л/мин., но вследствие низкого парциального давления кислорода, содержащегося в этом воздухе, потребление кислорода равнялось всего 2,1 л/мин. Поэтому если на уровне моря испытуемый мог выполнять работу в количестве 1500 кгм/мин., то на высоте 4700 м максимум работы снизился до 910 кгм/мин. Все это говорит о том, какую большую роль в работе альпиниста играет хорошо развитая дыхательная система.

Не только количество эритроцитов и гемоглобина в крови и возможности дыхательного аппарата определяют работоспособность человека на высотах. Особенности высокогорного климата и разнообразие трудностей при восхождении на высоту, о чем было сказано в начале этого раздела, оказывают всестороннее воздействие на все физиологические системы организма. Поэтому к организму альпиниста должны предъявляться всесторонние требования, и только совершенная деятельность всех систем организма обеспечивает максимальную его работоспособность в рекордных высокогорных восхождениях.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

- Агглютинация 34
- Адаптация 197, 205
- Аддисонова болезнь 128
- Аденозинтрифосфат 142
- Адреналин 6, 128
 - влияние на движения кишок 113
 - — сосуды 99, 101
 - — сердце 98, 128
 - — углеводный обмен 18, 128
 - выделение перед стартом 104
 - образование в надпочечниках 128
- Азот 11
 - содержание в атмосферном воздухе 56
 - содержание в белках 14
- Азотистое равновесие 15
- Аклиматизация 297
- Аккомодация 164, 204
- Акромегалия 130
- Аксон 154
- Альбумозы 107
- Альвеолярный воздух 47, 57
- Альпинизм 296
- Амилаза 106
- Аминокислоты 14, 108
 - всасывание 114
- Аммиак 14
 - обезвреживание в печени 114
 - содержание в моче 118
- Анастомоз капилляров 76
- Анаэробный распад 141
- Анемия мозга 267
- Аноксемия 297
- Апраксия 187
- Атаксия 184
- Астазия 183
- Ассимиляция 8
- Ацетилхолин 98, 166
- Ашоф-Тавара узел 78
- Аэробный распад 143

Б

- Базедова болезнь 129
 - Базофилы 32, 37
 - Барабанная перепонка 201
 - Бег 264
 - влияние на гемоглобин 39
 - — дыхательный коэффициент 69
 - влияние на легочную вентиляцию 53
 - влияние на кровяное давление 93
 - — потребление кислорода 72
 - влияние на размеры сердца 89, 253
 - — сахар крови 18
 - — частоту дыханий 55
 - — эритроциты 38
 - зависимость длительности от скорости 215
 - марафонский 268
 - мертвая точка 240
 - на длинные дистанции 267
 - на средние дистанции 265
 - относительная мощность 216, 264
 - потери веса 10
 - роль рецепции 195
 - спринтерский 265
 - фазы движений 208
 - форма движения 184, 210
- Белки 13
 - ассимиляция при тренировке 15, 252
 - в моче 117
 - гниение в толстых кишках 109
 - дыхательный коэффициент при окислении 69
 - неполноценные и полноценные 14
 - переваривание в желудке 107
 - переваривание в кишечнике 108
 - родовая специфичность 33
 - свертывание, роль ферментов 20
 - содержание в пище 24
 - энергетическая ценность 16, 23

- Белковый минимум** 15
Биливердин 109
Билирубин 109
Бледное тело 168, 185
Бокс 293
 влияние на размеры сердца 253
 механизм нокаута 294
 потеря веса 10
 роль рецепции 195
 сила движений 226
 теплоотдача 124
 утомление 239
 форма движений 213
Боль 168, 199
Большие полушария 155, 187
Борьба 292
 влияние на дыхание 229
 роль рецепции 195
 сила движений 226
 теплоотдача 124
 форма движений 213
Боуменовы капсулы 115
Буферные вещества 45
 изменения при тренировке 255
- В**
- Вальсальва проба** 288
Велоспорт 270
 влияние на гемоглобин 40
 — — легочную вентиляцию 54
 влияние на размеры сердца 253
 — — ритм дыхания 55
 относительная мощность 216
 потеря веса 10
 форма движений 210
Вентиляция легких 53
Вес тела 9
Вестибуло-спинальный путь 169
Вестибулярный аппарат 157, 178
Витамины 20
Вкус 168, 199
Внутренняя секреция 127
Внутригрудное давление 48
 влияние на кровообращение 94, 223
Вода 12
 образование при окислении 12
 обратное всасывание из мочи 116
 потери 10
 содержание в плазме 40
Водород 11
Водородные ионы 43
Водородный показатель 44
Возбудимость 137
 измерение 137
 влияние утомления 153
- Возбуждение** 5, 135
 волна 136, 140
 иррадиация 160, 190
 конфликт 161
 концентрация 190
 органов чувств 193
 передача в нервных центрах 158
 передача от рецепторов 196
 скорость распространения 137
Вредное пространство 47
Всасывание 113
Второе дыхание 239
Выделение 115
Выносливость 260
- Г**
- Газообмен** 56, 67
Ганглии 158, 163
Гексозофосфат 142
Гельмгольца теория цветоощущения 206
Гемоглобин 39
 изменения в горных высотах 40, 60, 298
 связывание кислорода 39, 58
 участие в переносе углекислоты 62
Гемолиз 34, 41
Гемофилия 33
Гепарин 33
Гетерохронизм 138
Гигантизм 130
Гимнастика 289
 влияние на вестибулярный аппарат 180
 влияние на жизненную емкость легких 52
 влияние на ритм дыхания 55
 — — теплоотдачу 391
 дыхательная 292
 значение положения головы 177
 производственная 292
 сила движений 226
 статические усилия 232
 формы движений 212
Гипервентиляция 67, 281
 влияние на дыхательный коэффициент 69
 влияние на сосуды 281
Гипертония 93
Гипотония 93
Гипофиз 130
Гисса пучок 78
Гистамин 104
Глаз 203
Гликоген 16, 114, 127
 накопление при тренировке 253
 распад в мышцах 142
Глотание 112

- Глюкоза 16, 107
 Голля и Бурдаха столбы 167
 Гормоны 127
 Горная болезнь 297
 Гравитационный шок 266
 Гранулоциты 32, 37
 Гребля 276
 влияние на гемоглобин 39
 — — легочную вентиляцию 54
 влияние на размеры сердца 253
 — — ритм дыхания 56
 коэффициент полезного действия 28
 потери веса 10
 форма движений 210

Д

- Дальтонизм 207
 Двигательная единица 135
 Двигательная пластинка 135
 Двигательный навык 246
 при плавании 276
 Движение, основные формы 208
 пищеварительного аппарата 111
 Дендриты 158
 Децеребрационная ригидность 175
 Диабет 18, 127
 Диастола 80
 Дикротическая волна 90
 Динамометр 145
 Диссимилиация 8
 Доминанта 162
 Дыхание 46
 влияние горных высот 298
 — на сердечную деятельность 97
 влияние работы 54
 — тренировки 254
 задержка 66
 клеточное 46
 легочное, механизм 48
 регуляция 63
 сочетание с движением 55
 частота 53, 254
 Дыхательные мышцы 47
 их сила 50
 Дыхательный коэффициент 68
 Дыхательный центр 63, 165

Е

- Евстахиева труба 201

Ж

- Железы 106, 126
 вилочковая 129
 внутренней секреции 126
 гипофиз 130
 желудочные 107, 110
 купферовые 132

- надпочечные 128
 окошитоовидные 129
 пищеварительные 106
 поджелудочная 108, 111, 127
 половые 130
 потовые 119
 предстательная 132
 слюнные 107, 109
 щитовидная 129
 эндокринные 127
 Желтое пятно 205
 Желчь 109
 Жизненная емкость легких 50
 Жиры 18

- влияние на работоспособность 17
 переваривание в желудке 107
 переваривание в кишечнике 108
 содержание в пище 24
 энергетическая ценность 19, 23

З

- Закон Белла-Мажанди 159
 Закон Вебера-Фехнера 196
 Закон «все или ничего» 79, 139
 Закон двухстороннего проведения 137
 Закон Дюбуа-Реймонда 137
 Закон изолированного проведения 137
 Закон сердца Старлинга 87
 Зарядка утренняя 289
 Зона комфорта 123
 Зрачок 203
 влияние адреналина 6
 Зрение 203
 бинокулярное 207
 Зрительный пурпур 205

И

- Изохронизм 138
 Иммуитет 36
 Инвертаза 108
 Индол 114
 Индукция 191
 последовательная и одновременная 173
 Инсулин 127
 влияние на углеводный обмен 18
 — — сердце 98
 Интерорецепторы 157
 Иод 11
 содержание в щитовидной железе 129

К

- Калий 11
 влияние на сердце 97
 содержание в плазме крови 40
 солевое равновесие 13, 43

- Кальций** 11
 влияние на сердце 97
 содержание в плазме крови 43
 солевое равновесие 13, 43
- Капилляры** 102
- Кейт-Флякка узел** 78
- Кислород** 57
 артериально-венозная разность 60
 коэффициент утилизации 60
 парциальное давление 57
 поглощение в организме 70
 потребление при работе 71
 потребление при статических усилиях 231
 роль в мышечной работе 72, 142
 связывание гемоглобином 58, 62
 содержание в воздухе 56
 содержание в организме 11
 теплотворная способность 70
 физическое растворение 58
- Кислородный долг** 72, 143
 запрос 72
 потолок 73
 влияние тренировки 257
- Клетчатка** 16, 109
- Компенсаторная пауза** 81
- Конвекция** 122
- Конвергенция** 207
- Контрактура** 153, 237
- Конькобежный спорт** 268
 дыхание 55
 мощность работы 216
 потеря веса 10
 формы движения 210
- Координация** 248
- Кора мозга** 187
- Кортик орган** 202
- Кортикализация нервных функций** 155
- Кортик** 128
 влияние на образование гликогена 18
- Коэффициент полезного действия** 27
- Красные ядра** 168, 178
- Креатин** 116, 142
- Креатинфосфат** 142
- Кровообращение** 75
 время 90
 при работе 103
 регуляция 95
- Кровяное давление** 82, 90
 при переходе в вертикальное положение 103
- Кровь** 30
 артериальная и венозная 60, 77
 группы 34
 движение в венах 94
 движение в сердце 82
 дефицит 31, 39, 101
 изменения при тренировке 38, 39
 кислородная емкость 59
 кислотно-щелочное равновесие 43
 количество 31
 — регуляции 101
 переливание 34
 плазма 32, 40
 реакция 43
 — на чужеродные тела 33
 свертывание 32
 свойства и функции 30
 скорость тока 89
 состав 31
 — солевой 40
 сыроватка 32
 Круглое окошко 202
- Л**
- Лабильность** 139
- Лабиринт** 178
- Лактаза** 108
- Лангергансовы островки** 127
- Латентный период** 136
- Лейкоцитоз многоядерный** 37
- Лейкоциты** 35
 виды 32, 36
 влияние работы 37
 защитная функция 35
- Лимфа** 30, 76
 движение 95
- Лимфатические узлы** 95
 щели 95
- Лимфоциты** 32, 36
- Липаза** 106, 108
- Липоиды** 19
- Локомоция** 164
- Лучейспускание** 122
- Лыжный спорт** 271
 влияние на вес тела 10
 — — гемоглобин 40
 — — дыхание 55
 — — дыхательный коэффициент 69
 — — потребление кислорода 273
 — — размеры сердца 253
 — — углеводные ресурсы 17
 — — эритроциты 40
 мощность работы 216
 форма движений 210
 энергетика 272
- М**
- Мальтаза** 107
- Мальпигиевы клубочки** 115
- Мариотта опыт** 205

Массаж, влияние на лимфообраще-
ние 95
влияние на капилляры 102
— — кровяные депо 101
— — утомление 239

Медиаторы 99, 166

Мертвая точка 239

Метание снарядов 286
значение положения головы 177
сила движений 226
форма движений 286

Микседема 129

Мионевральная передача 135

Миофибриллы 133

Млечный сок 95

Мозг, серое и белое вещество 167

Мозжечек 155
влияние на вегетативные функ-
ции 164
роль в движении 183

Молочная кислота 142
влияние на буферные вещества 45
— — дыхательный коэффи-
циент 69
— — капилляры 102
— — сосуды 99
накопление при работе 236
образование из углеводов 142
окисление и ресинтез 143
содержание в моче 118
— — плазме крови 40
— — поте 119

Моноциты 32, 36

Морская болезнь 183

Моча 115
выведение 116
количество и состав 117
первичная 115
реакция 118

Мочевая кислота 40, 118

Мочевина 14, 40, 114
образование из белков 14
содержание в моче 118
— в поте 119

Мощность работы относительная 214
большая 220
максимальная 217
субмаксимальная 218
умеренная 220

Муцины 107

Мышечно-суставное чувство 157

Мышечный насос 94, 104

Мышцы 133
возбуждение 135
вязкость 144, 226
гладкие 133
глаза 207
изменения при тренировке 252

изотоническая и изометриче-
ская деятельность 149, 224
контрактура 153
напряжение 145, 224
поперечник физиологический 146
поперечно-полосатые 133
работа 150
сократимость 135,
сила 145, 222, 225
упругость 144
утолщение 147
утомление 151
физические свойства 14;
энергетика и химизм 141

Н

Натрий 11
содержание в моче 118
солевое равновесие 42

Натуживание 56, 228

Неврон 134, 158,

Нейриты 154

Нейтрофилы 32, 37

Нервная система 6, 154
вегетативная 163
— парасимпатическая 163
— симпатическая 165
двигательная функция 169
периферическая 154
центральная 154

Нервные клетки 134, 151

Нервные центры 150
общие свойства 158

Нервы 134, 154
блуждающий 164
вегетативные 155
вестибулярный 179
глазодвигательный 164
двигательные 134, 154
зрительный 203
лицевой 164
постганглионарные 165
преганглионарные 165
сосудодвигательные 166
тазовый 165
чувствующие 154, 158
языкоглоточный 164

Нистагм 183

Нокаут 96, 294

Ныряние 281
задержка дыхания 281

О

Обмен веществ 5, 8
Обмен газов 5, 56
Обмен энергии 8, 23
Обморожение 275

Обоняние 199
 Обратное всасывание 116
 Общий конечный путь 162
 Овуляция 132
 Одиночное сокращение 140
 влияние утомления 152
 Окислительные процессы 5, 46
 влияние щитовидной железы 129
 в мышцах 142
 значение ферментов 20
 при работе 71
 Оплодотворение 132
 Органы чувств 154, 193
 Основная перепонка 202
 Основной обмен 26
 влияние температуры 120
 — щитовидной железы 129
 Остаточный потенциал 136
 Осязание 198
 Отолиты 179
 Ощущения 193

П

Пепсин 107
 Пептоны 107
 перевозбуждение 161
 Перегревание тела 120
 Перетренировка 244
 Переутомление 244
 Печень, барьерная функция 114
 влияние адреналина 128
 гликоген 114
 депо крови 101
 Пирамидный путь 168, 188
 Питуитрин 130
 Пищеварение 105
 в двенадцатиперстной и тонких
 кишках 108
 в желудке 107
 во рту 106
 в толстых кишках 109
 Плавание 276
 влияние на дыхание 55
 — — размеры сердца 253
 — — теплообмен 283
 коэффициент полезного действия 28
 мощность работы 284
 образование навыка 276
 потеря веса 10
 форма движений 210
 Плазма крови 30, 32
 Пограничный ствол 165
 Подкорковые ядра 185
 Поднятие тяжестей 285
 мощность работы 227
 роль рецепции 195
 сила движений 225
 форма движений 285

Поза 168, 170, 175
 Полосатое тело 168, 185
 Полукуренные каналы 179
 Порог раздражения 79, 137, 196
 влияние утомления 153
 Порог различения 196
 Пороговые вещества 116
 Пот 119
 отделение 119, 164
 влияние на состав плазмы 42
 — — температуру тела 122
 потери солей 13, 124
 при работе 12, 119
 количество и состав 119

Почки 115

Предметные действия 186

Преципитация 34

Проводящие пути 154, 167
 восходящие 167
 нисходящие 168

Продолговатый мозг 155, 164

Промежуточный мозг 155, 164, 185

Проприорецепторы 157
 влияние на тонус 170

Протеаза 106

Прыжки 287

роль рецепции 195

сила движений 226

форма движений 184, 287

Птиалин 107

Пульс 84

волна 90

влияние тренировки 85

при работе 85

Р

Раздражение 135

адекватное и inadequate 195

мышцы 137

тепловое и холодовое 197

Разминка 149, 290

влияние на мертвую точку 241

Размножение 132

Расслабление спортивное 249

Реактивные силы 247

Регуляция 6

Рекорды в беге 264

на коньках 269

велозле 271

плавании 284

ходьбе 263

на лыжах 272

Ресничное тело 204

Рефлекс 6, 156

безусловный 189

Бейбриджа 97

вегетативный 163, 183

- вестибулярный 181
 время 159
 врожденный 189
 выпрямления 181
 Геринга 27, 100
 глотания 112, 165
 Гольца 95
 двигательный 170
 желудочного сокоотделения 110
 зрачковый 203
 кашля 64, 165
 кожно-двигательный 171
 лабиринтный 181
 лифта 182
 Магнуса 177
 местный 171
 мочеотделения 117
 отдачи 172
 перекрестный ритмический 173
 позы (положения) тела 175
 потоотделения 119
 привратника 112
 приобретенный 189
 проприорецептивный 171
 разгильбертный 171
 рвоты 165
 ритмического движения 173
 сгибательный 161
 слюноотделительный 110, 164, 189
 статический 181
 статокинетический 182
 стояния 176
 сухожильный 172
 торможение 191
 условный 189
 — второго порядка 191
 — дифференцировка 190
 — индукция 191
 — угасание 190
 пейной 112
 Циона-Людвига 97, 100
 чихания 64, 160
 шагания 173
 шейный тонический 176
Рефлексогенные зоны 100
Рефлекторная деятельность 156
 дуга 156
Рефлекторное кольцо 172
Рефракторный период 80, 136, 139
Рецептор 156, 193
 значение 193
Реципрокная иннервация 172
Реципрокность 172
 перекрестная 173, 210
Рубро-спинальный путь 168, 178
- С**
- Сахар в крови** 17
 — — моче 116
Секретин 111, 127
Селезенка, депонирование крови 101
Сердце 75, 77
 автоматия 77
 атрио-вентрикулярный узел 78
 влияние адреналина 98, 128
 — блуждающего нерва 96
 — тренировки 258
 — щитовидной железы 129
 минутный объем 87
 мышца, ее свойства 77
 размеры и вес 89
 реакция на раздражение 79
 регуляция 95
 — гуморальная 97
 — нервная 95
 рефракторность 80
 синусный узел 78
 систолический объем 87
 специфическая мускулатура 78
 толчок 84
 тоны 84
 фазы деятельности 80, 83
 частота сокращения 84
 электрические явления 81
Сетчатка глаза 203
Сила мышц 145, 222
 абсолютная 147
 значение длины 148
 — поперечника 146, 226
 — состояния 148
Сила тяжести, роль в движении 246
 инерции 247
Силовые упражнения 222
 типы 226
Симпатии 98
Синапс 158
Систола сердца 80
Скатола 114
Слепое пятно 205
Слух 200
 Гельмгольца теория 202
Слюна 107
Сок пищеварительный 106
 аппетитный 111
 двенадцатиперстной и тонких
 кишок 108
 желудочный 107, 110
 отделение, регуляция 109
 слюнных желез 107
Соли 13
 в крови 40
 — моче 118
 — поте 42, 119

Соляная кислота 107
 Сосудодвигательный центр 99, 165
 Сосуды 89
 — — — — — кожи, влияние тепла 99, 122
 — — — — — холода 99, 122, 275
 регуляция 99, 164
 тонус 99
 Спинальный мозг 155
 Спортивная болезнь 266
 Спортивные игры 259
 — — — — — влияние на гемоглобин 139
 — — — — — эритроциты 39
 роль рецепции 195
 сила движений 226
 форма движений 213
 Средний мозг 155, 164
 Статические усилия 150, 230
 — — — — — влияние на дыхание 231
 — — — — — дыхательный коэффициент 69
 — — — — — жизненную емкость легких 233
 — — — — — кровообращение 232
 — — — — — энергетику 230
 Стекловидное тело 203
 Стояние 175
 Субординация 155, 161
 Суммация возбуждений 159
 Сфигмограф 90

Т

Тактильная чувствительность 199
 Температура тела 120
 — — — — — влияние влажности 123
 — — — — — кожи 124
 Тепло 120
 — — — — — адаптация к нему 197
 — — — — — влияние на вязкость мышц 144
 — — — — — отдача 121
 — — — — — регуляция при работе 123, 243
 — — — — — чувство 197
 Тепловой удар 124
 Терморегуляция 120, 164, 283
 Тетаническое сокращение 80, 140
 — — — — — влияние утомления 152
 Тетанус 140, 160
 Тироксин 129
 Токи действия 135
 — — — — — сердца 81
 — — — — — чувствующих нервов 196
 Токи покоя 136
 Толкание ядра 286
 — — — — — сила движений 225
 — — — — — форма движений 211
 Тонус мышц 150, 170
 — — — — — пси 176

Торможение 160
 — — — — — парабютическое 161
 — — — — — тонических рефлексов 171, 183
 — — — — — условных рефлексов 190
 Точностные движения 185
 Трансформация ритма возбуждений 160
 Тренировка 250
 — — — — — влияние на вес тела 11
 — — — — — жизненную емкость легких 51
 — — — — — кровяное давление 93
 — — — — — легочную вентиляцию 54
 — — — — — лейкоциты 38
 — — — — — мертвую точку 241
 — — — — — размеры сердца 89
 — — — — — расход энергии 256
 — — — — — сахар крови 18
 — — — — — силу мышц 149
 — — — — — толщину мышц 147
 — — — — — ударный объем сердца 87
 — — — — — частоту пульса 85
 — — — — — щелочные резервы 45
 — — — — — эритроциты 39
 Трипсин 108
 Трипсиноген 108
 Тромбин 32
 Тромбокиназа 32
 Тромбоциты 32
 Трофические расстройства 164

У

Углеводы 16
 — — — — — дыхательный коэффициент 69
 — — — — — запасы в организме 16
 — — — — — влияние инсулина 18
 — — — — — истощение при работе 17
 — — — — — образование воды при окислении 12
 — — — — — переваривание 108
 — — — — — распад 142
 — — — — — регуляция обмена 18, 128
 — — — — — ресинтез 143
 — — — — — сбраживание в толстых кишках 109
 — — — — — содержание в пище 24
 — — — — — в плазме 16, 40
 — — — — — состав 16
 — — — — — энергетическая стоимость 17, 23
 Углекислота 61
 — — — — — влияние на дыхательный центр 64
 — — — — — — — капилляры 102
 — — — — — — — сосуды 99, 100
 — — — — — выделение 61
 — — — — — напряжение в тканях 61
 — — — — — образование 61
 — — — — — содержание в воздухе 56
 — — — — — — — легких 56
 — — — — — физическое растворение 61
 — — — — — химически связанная 62

- Углерод 11
 Устойчивое состояние 74, 144, 220
 Улитка 178, 202
 Утомление 151, 234
 влияние адреналина 128, 239
 — витаминов 22
 — на ресинтез углеводов 143
 — — силу мышц 149
 роль нервной системы 237
 теории 235
 Ухо 200
 внутреннее 178, 201
 наружное 200
 среднее 201

Ф

- Фагоцитоз 36
 Фенол 114
 Ферменты 20
 пищеварительные 106, 108
 Фехтование 294
 потери веса 10
 роль рецепции 195
 теплоотдача 124, 295
 форма движений 213
 Фибрин 32
 Фибриноген 32, 40
 Фистульный метод 106
 Флексига и Говерса столбы 167
 Фосфаген 142
 влияние тренировки 252
 Функциональные пробы 255

Х

- Ходьба 262
 коэффициент полезного действия 28
 мощность работы 217
 перекрестные движения 174
 потребление кислорода 263
 рефлекторный характер 173
 роль подкорковых ядер 185
 — рецепции 195
 фазы движения 208, 263
 Холин 113
 Холод 197, 274
 Хронаксия 138
 влияние утомления 153
 роль красных ядер 178

Ц

- Цветощущение 206
 Центр дыхательный 63, 166

- центр обмена 164
 сосудодвигательный 165
 терморегуляции 164

Ч

- Четверохолмие 164, 175
 Чувство давления и прикосновения 168, 198
 химическое 199

Щ

- Щелочные резервы крови 45
 влияние мочеобразования 118
 — тренировки 45, 255

Э

- Экзальтационный период 81, 133
 Экстерорецепторы 157
 Экстрапирамидная система 188
 Экстрасистола 81
 Электрические явления 81, 135
 Электрокардиограмма 81
 Эмоции, влияние на адреналинообразование 296
 влияние на вегетативную нервную систему 166
 влияние на дыхание 64
 — — желудочное сокоотделение 111
 влияние на кровообращение 103
 влияние на мочеотделение 117
 — — сердечную деятельность 96
 Эндолимфа 179, 201
 Энергия белков, 16, 23
 жира 19, 23
 источники 23
 обмен 8, 23
 — в мышце 141
 окисления 23, 70
 пищевых веществ 24
 расход, измерение 25, 70
 — при покое 26
 — — работе 27
 углеводов 17, 23
 Эозинофилы 32, 37
 Эргограф 237
 Эрепсин 108
 Эритроциты 32, 38
 Эффективные температуры 123

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Введение	4
<i>Часть первая</i>	
ГЛАВА I. Обмен веществ и энергии	8
Вес тела	9
Состав организма	11
Неорганические соединения	12
Органические соединения	15
Витамины	20
Энергетика	23
Энергетическая ценность пищевых веществ	23
Расход энергии человека при покое и работе	25
ГЛАВА II. Кровь	30
Основные свойства крови и ее функции	30
Белые кровяные тельца—лейкоциты	35
Красные кровяные тельца—эритроциты	38
Плазма крови	40
Кислотно-щелочное равновесие в крови	43
ГЛАВА III. Дыхание	46
Дыхательный аппарат и дыхательные движения	46
Механизм легочного дыхания	48
Жизненная емкость легких	50
Вентиляция легких	53
Обмен газов в легких и транспорт газов кровью	56
Регуляция дыхания	63
Общий газообмен и энергетика	67
Дыхательный коэффициент	68
Потребление кислорода и расход энергии	70
Потребление кислорода во время и после работы	71
ГЛАВА IV. Кровообращение	75
Сердце	77
Перемещение крови в сердце	82
Частота сердечных сокращений	84
Количество крови, выбрасываемой сердцем	87
Размеры и вес сердца	89
Сосуды	89
Кровяное давление	90
Движение крови по венам	94
Движение лимфы	95
Регуляция кровообращения	95
Регуляция сердца	95

	<i>Стр.</i>
Регуляция сосудов	99
Кровообращение при изменении положения тела	102
Кровообращение при мышечной работе	103
ГЛАВА V. Пищеварение	105
Действие соков пищеварительных желез на пищу	106
Регуляция сокоотделения	109
Движения пищеварительного аппарата	111
Всасывание	113
ГЛАВА VI. Выделение	115
Строение почек и мочеобразование	115
Выведение мочи	116
Количество и состав мочи	117
Потоотделение	119
ГЛАВА VII. Регуляция тепла	120
Регуляция тепла при мышечной работе	123
ГЛАВА VIII. Внутренняя секреция	126
ГЛАВА IX. Размножение	132
ГЛАВА X. Мышцы	133
Возбуждение	135
Энергетические и химические превращения в мышце	141
Физические свойства мышц	144
Сила мышц	145
Изометрическая и изотоническая деятельность мышц	149
Работа мышц	150
Утомление мышц	151
ГЛАВА XI. Нервная система	154
Общее строение нервной системы	154
Рефлекторная деятельность	156
Общие свойства нервных центров	158
Вегетативная нервная система	163
Проводящие пути в центральной нервной системе	167
Двигательная функция центральной нервной системы	169
Простейшие двигательные рефлексы	170
Рефлексы положения (позы) тела	175
Перемещение тела в пространстве	184
Точностные движения	185
Предметные действия	186
Кора больших полушарий	187
Условные рефлексы	189
ГЛАВА XII. Органы чувств	193
Кожные чувства	197
Обоняние	199
Вкус	199
Слух	200
Зрение	203

Часть вторая

ГЛАВА XIII. Основные формы спортивных движений	208
Циклические движения	208

	<i>Стр.</i>
Ациклические однократные движения	210
Составные ациклические системы движений (комбинации)	211
Непостоянные движения (связанные с непрерывным реагированием на переменные условия)	212
ГЛАВА XIV. Физические упражнения различной мощности и длительности	214
Мощность и длительность работы в циклических физических упражнениях	214
ГЛАВА XV. Физические упражнения силового типа	222
Понятие о силовом упражнении	222
Формы проявления мышечной силы	224
Общие физиологические сдвиги при силовом упражнении	227
Статические усилия	230
ГЛАВА XVI. Утомление	234
Теория утомления	235
Роль нервной системы в развитии утомления	237
Мертвая точка и второе дыхание	239
Переоумление. Перетренировка	244
ГЛАВА XVII. Двигательный навык и тренировка	246
Образование двигательного навыка	246
Тренировка	250
ГЛАВА XVIII. Физиологическая характеристика отдельных видов спорта	262
Ходьба	262
Бег	264
Бег на копытках	268
Езда на велосипеде	270
Бег на лыжах	271
Гребля	276
Плавание	276
Поднятие тяжестей	285
Метания снарядов	286
Прыжки	287
Гимнастика	289
Борьба	292
Бокс	293
Фехтование	294
Спортивные игры	295
Альпинизм	296
Предметный указатель	300

Редактор В. И. Корж.
Техн. ред. А. С. Плахова.

Сдано в набор 31/1 1947 г.
Подп. к печати 7/X 1947 г.
Л113215 Ф. бум. 60×92¹/₁₆.
Объем 19¹/₂ п. л., 20,68 авт. л.
21,40 уч.-изд. л. Колич. знаков
в печ. л. 43.902. Тираж 20000.
Заказ 275. Цена 6 р. 50 к.,
перепл. 1 р. 50 к.

Типография «Красное знамя»
изд-ва ЦК ВЛКСМ
«Молодая гвардия»,
Москва, Сущевская, 21.

Отпечатано с матриц
в типографии «Гудок»
Москва, ул. Станкевича, 7
Зак. № 305.