



Уральский
федеральный
университет

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

Химико-
технологический
институт

**И. С. СЕЛЕЗНЕВА
М. Н. ИВАНЦОВА**

БИОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ЗАНЯТИЯХ ФИЗКУЛЬТУРОЙ И СПОРТОМ

Учебное пособие



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЬЦИНА

И. С. Селезнева, М. Н. Иванцова

БИОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ЗАНЯТИЯХ ФИЗКУЛЬТУРОЙ И СПОРТОМ

Учебное пособие

Рекомендовано
методическим советом Уральского федерального университета
в качестве учебного пособия для студентов вуза,
обучающихся по направлению подготовки
49.03.01 «Физическая культура»

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2019

УДК 796.01:612(075.8)

ББК ч510.7я73-1

С29

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра оздоровительной тренировки
и профессионально-прикладной физической подготовки
АНО ВО «Гуманитарный университет»
(заведующий кафедрой доктор педагогических наук, доцент
Г. А. Я м а л е т д и н о в а);

Е. В. Щ е г о л ь к о в, кандидат химических наук,
старший научный сотрудник лаборатории фторорганических
соединений Института органического синтеза УрО РАН

Селезнева, И. С.

С29

Биохимические изменения при занятиях физкультурой и спортом : учеб. пособие / И. С. Селезнева, М. Н. Иванцова ; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. — 162 с.

ISBN 978-5-7996-2551-1

В учебном пособии в краткой форме изложены вопросы, связанные с биохимическими изменениями, происходящими в мышцах в процессе занятий физкультурой и спортом. Рассмотрены реакции человека при выполнении физических упражнений в ходе спортивной тренировки. Особое внимание уделено вопросам повышения спортивной работоспособности и выносливости спортсменов.

Для самостоятельной и аудиторной работы студентов, изучающих дисциплины в рамках модулей «Биохимические основы занятий физической культурой», «Биохимические основы спортивной деятельности».

УДК 796.01:612(075.8)

ББК ч510.7я73-1

На обложке:

студенты Института физической культуры, спорта и молодежной политики УрФУ
на занятиях по биохимии мышечной деятельности

ISBN 978-5-7996-2551-1

© Уральский федеральный университет, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
БИОХИМИЯ МЫШЦ И МЫШЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ	7
Структура и функции мышц.....	7
Химический состав мышечной ткани	14
Азотистые соединения мышц.....	15
Безазотистые соединения мышц.....	16
СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА СОКРАТИТЕЛЬНЫХ БЕЛКОВ.....	17
Структура миофибрилл на молекулярном уровне.....	20
Последовательность биохимических процессов, происходящих в мышце при сокращении и расслаблении	23
ОСНОВЫ СПОРТИВНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ	30
Лимитирующие факторы спортивной работоспособности.....	30
Показатели аэробной и анаэробной работоспособности спортсменов	35
Специфичность спортивной работоспособности.....	38
Влияние тренировки на работоспособность спортсменов.....	40
Биохимическое обоснование использования тренировок в среднегорье для повышения работоспособности спортсменов.....	42
Возраст и спортивная работоспособность	43
Биохимические основы методики занятий физическими упражнениями с людьми разного возраста.....	45
Биохимическое обоснование занятий физической культурой в детском и пожилом возрасте	51
БИОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ОРГАНИЗМЕ ПРИ ЗАНЯТИЯХ СПОРТОМ.....	55
Последовательность биохимических изменений при тренировке и растренировке.....	55
Биохимические изменения при перетренировке.....	55
Биохимические процессы в период отдыха.....	57
Биохимические изменения при разминке	62

Биохимическая характеристика предстартового состояния.....	63
Биохимическое проявление утомления	65
Биохимические изменения во внутренних органах при мышечной деятельности	69
Роль гормональной регуляции обмена веществ в условиях тренировок и соревнований.....	75
Биохимическая характеристика различных видов спорта.....	82
Биохимическая характеристика циклических видов спорта	83
Биохимические изменения при ациклических видах спорта	94
Влияние условий среднегорья на биохимические изменения у спортсменов	99
БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СКОРОСТНО-СИЛОВЫХ КАЧЕСТВ И ВЫНОСЛИВОСТИ СПОРТСМЕНА.....	102
Биохимические факторы, определяющие проявление мышечной силы и скорости сокращения.....	102
Биохимические основы связи между силой, скоростью и мощностью сокращения	103
Биохимические и структурные изменения в мышцах при развитии скоростно-силовых качеств	104
Понятие об алактатном, гликолитическом и аэробном компонентах выносливости.....	105
Биохимические факторы, определяющие выносливость	107
ЗАКОНОМЕРНОСТИ БИОХИМИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ В ПРОЦЕССЕ СПОРТИВНОЙ ТРЕНИРОВКИ	111
Закономерности биохимической перестройки мышц под влиянием тренировки	113
Специфичность эффекта тренировки различного характера	115
Адаптационные биохимические изменения, лежащие в основе повышения работоспособности в результате систематической тренировки	119
Биохимическое обоснование принципов спортивной тренировки ..	122
БИОХИМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ЗАНЯТИЯХ ФИЗИЧЕСКИМИ УПРАЖНЕНИЯМИ И СПОРТОМ	128
Задачи биохимического контроля	129
Организация биохимического контроля.....	129
Объекты исследования и основные биохимические показатели	131
Показатели углеводного обмена.....	136

Показатели липидного обмена	137
Определение уровня общей тренированности	139
Контроль за ходом тренировочного процесса	141
Выявление перенапряжений и оценка достаточности периода отдыха	141
Определение уровня специальной тренированности	142
Оценка развития тренированности и кумулятивного эффекта	144
Список рекомендуемой литературы.....	146
Основные определения и понятия.....	147

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие «Биохимические изменения при занятиях физкультурой и спортом» предназначено для самостоятельной работы студентов при подготовке к практическим занятиям, контрольным работам и сдаче экзамена по дисциплине «Биохимические изменения при мышечной деятельности». Пособие написано в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования студентов бакалавриата, обучающихся по направлению 49.03.01 «Физическая культура».

В учебном пособии излагаются теоретические основы биохимии мышц и мышечной деятельности с точки зрения основных биохимических закономерностей и их проявления при выполнении конкретной спортивной нагрузки и в период отдыха. Кроме того, рассматриваются вопросы, связанные с биохимическими изменениями, происходящими в организме человека при занятиях физической культурой и в процессе спортивной тренировки. Анализируются биохимические особенности растущего и стареющего организма, обосновываются методики занятий физическими упражнениями с людьми разного возраста.

В пособие включены теоретические разделы по каждой изучаемой теме и содержатся вопросы для самостоятельного контроля знаний студентов при подготовке к практическим и лекционным занятиям.

БИОХИМИЯ МЫШЦ И МЫШЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ

Структура и функции мышц

Основная функция мышцы — сократительная. Мышечное сокращение — механический процесс. Он характеризуется высокой степенью регуляции. Это наиболее совершенная форма биологической подвижности. Мышца непосредственно преобразует химическую энергию в механическую работу, КПД мышцы составляет от 30 до 50 %.

В ходе мышечного сокращения под влиянием нервных импульсов в мышце протекают следующие процессы:

- 1) синхронное изменение проницаемости мембран и работы «ионных насосов»;
- 2) последовательное изменение скорости процессов энергообеспечения;
- 3) структурная перестройка мышечных волокон.

В организме человека выделяют два основных типа мышц:

1) поперечно-полосатые мышцы. Они прикреплены к костям сухожилиями, поэтому называются скелетными и составляют основу скелетной мышцы. Все скелетные мышцы пронизаны кровеносными сосудами. Эти мышцы представляют наибольший интерес для биохимии спорта;

2) гладкие мышцы, образующие мускулатуру стенок кровеносных сосудов и кишечника, пронизывающие ткани внутренних органов и кожу, а также сердечная мышца (рис. 1).

Сердечная мышца (миокард) встречается только в стенке сердца, образована сердечной исчерченной поперечно-полосатой мышечной тканью. Миокард состоит из клеток сердечной мышцы (кардиомиоцитов), которые разветвляются на концах и соединяются между собой при помощи поверхностных отростков — вставочных дисков. Клетки содержат несколько ядер и много крупных митохондрий.

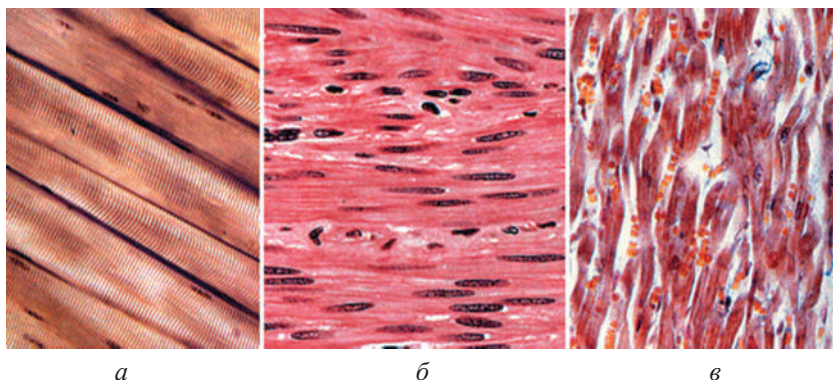


Рис. 1. Продольные срезы поперечно-полосатой (а), гладкой (б) и сердечной (в) мышцы

Рассмотрим более подробно состав и строение поперечно-полосатых мышц. Структурной единицей мышцы является мышечное волокно. Различают следующие типы мышечных волокон:

1) красные, медленно сокращающиеся (волокна 1-го типа, ST, *slow twitch fibres*), отвечают за выносливость. Медленные мышечные волокна (ММВ) обладают красной гистохимической окраской, это обусловлено наличием в них большого количества миоглобина (металлосодержащий белок красного цвета, доставляющий кислород от капилляров крови в глубь мышечного волокна). ММВ получают энергию при аэробном окислении глюкозы, гликогена и жирных кислот в митохондриях (кислородная система образования энергии) (рис. 2). В ходе аэробных окислительных процессов в красных волокнах не образуется молочная кислота (лактат), поэтому они способны поддерживать умеренное напряжение в течение длительного времени. Красные медленные волокна подходят для длительной мало интенсивной работы (плавание на стайерские дистанции, работа с небольшими весами в умеренном темпе, аэробика), поддержания позы, в работу они включаются при нагрузках, составляющих 20–25 % от максимальной силы. Тренировка ММВ приводит к увеличению выносливости, снижению количества жира, увеличению числа кровеносных капилляров;

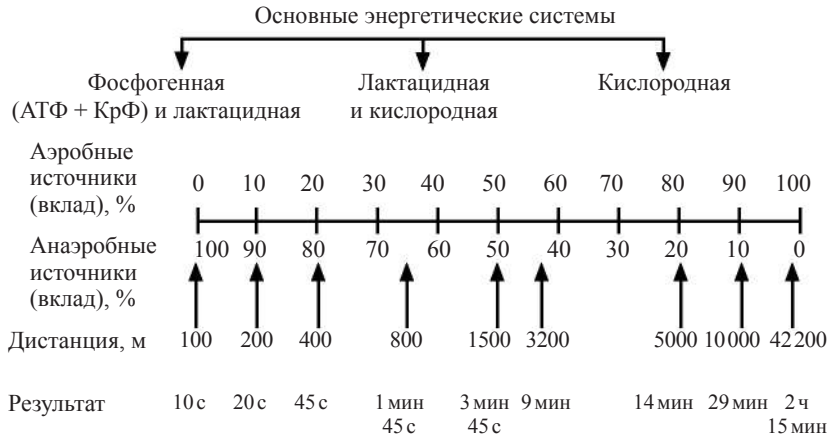


Рис. 2. Виды энергетических систем

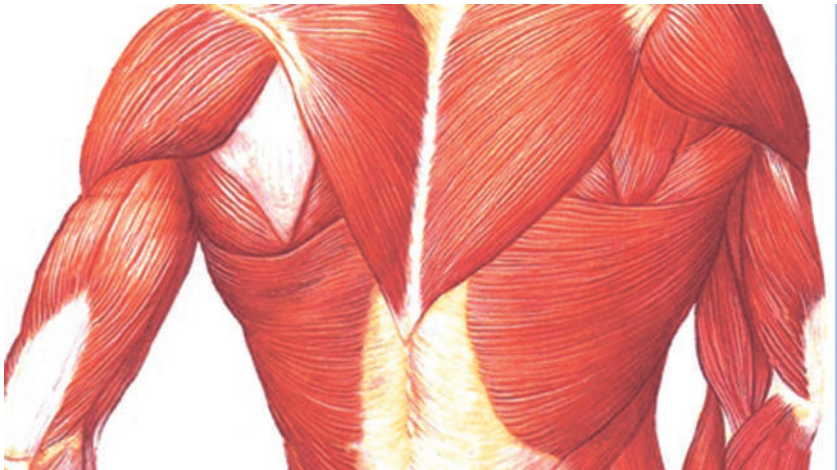


Рис. 3. Красные и белые мышечные волокна

2) белые, быстро сокращающиеся (FT, *fast twitch fibres*). Они имеют больший по сравнению с красными волокнами диаметр, отвечают за силу и скорость (рис. 3). Быстрые мышечные волокна (БМВ) содержат креатинфосфат (КрФ), необходимый в начале

высокоинтенсивной работы, в них меньше миоглобина, чем в медленных мышечных волокнах, для получения энергии они используют в основном гликолиз, который протекает в саркоплазме волокна (фосфогенная и лактацидная система энергообразования, рис. 2). Поскольку фермент АТФ-аза белых волокон обладает высокой активностью, то АТФ быстро расщепляется и выделяется большое количество энергии для обеспечения интенсивной работы. В связи с тем, что в ходе гликолиза образуется и быстро накапливается лактат, то БМВ быстро устают, и в конечном итоге работа мышцы останавливается. Следует отметить, что БМВ в два раза быстрее сокращаются и развивают в 10 раз большую силу по сравнению с ММВ. Поэтому белые мышечные волокна подходят для совершения кратковременных, быстрых, мощных усилий и вносят основной вклад в достижение высоких результатов в тех видах спорта, где нужна взрывная сила и развитие максимальной скорости за короткое время, например, бег на короткие дистанции, бодибилдинг и пауэрлифтинг, тяжелая атлетика, плавание на спринтерские дистанции, бокс и боевые искусства. Тренировка БМВ приводит к увеличению силы и мышечной массы.

Следует отметить, что биохимически эти волокна различаются механизмами энергетического обеспечения мышечного сокращения. В свою очередь, белые быстрые мышечные волокна в зависимости от способа получения энергии делят на два типа:

1) быстрые гликолитические волокна (FTG-волокна). Они получают энергию в процессе гликолиза, т. е. используют анаэробную систему энергообразования, при этом образуется молочная кислота. Эти волокна не могут производить энергию аэробным путем. Быстрые гликолитические волокна обладают максимальной силой и скоростью сокращений, обеспечивают спринтерам максимальную скорость, а также играют важную роль при наборе массы в бодибилдинге;

2) быстрые окислительно-гликолитические волокна (FTO-волокна, промежуточные или переходные быстрые волокна) (рис. 4). Они представляют собой промежуточный тип между быстрыми и медленными мышечными волокнами. FTO-волокна обладают анаэробной системой энергообразования, но также они приспособлены

к выполнению аэробной работы (лактаcidная и кислородная система энергообразования, рис. 2). Таким образом, эти волокна могут развивать значительные усилия и высокую скорость сокращения, используя гликолиз как основной источник энергии, но при низкой интенсивности сокращения они могут использовать и аэробное окисление. Промежуточные быстрые волокна включаются в работу при нагрузке 20–40 % от максимума, но при нагрузке около 40 % организм полностью переключается на FTG-волокна.



Рис. 4. Типы мышечных волокон

Таким образом, представление о типах мышечных волокон позволяет уяснить, что, занимаясь только силовыми тренировками, невозможно достичь развития выносливости, а выполняя монотонные кардионагрузки — не добиться увеличения мышечной массы.

Поскольку все типы волокон иннервируются разными мотонейронами, они не одновременно включаются в работу и сокращаются с разной скоростью. Усилия мышцы складываются из усилий всех мышечных волокон.

Мышцы туловища и конечностей (скелетные мышцы) по типу являются поперечно-полосатыми. К костям они крепятся сухожилиями, образованными плотной соединительной тканью. В теле человека несколько сот поперечно-полосатых мышц. Каждая мышца состоит из нескольких тысяч мышечных волокон (рис. 5), объединенных в пучки прослойками из соединительной ткани и такой же оболочкой.

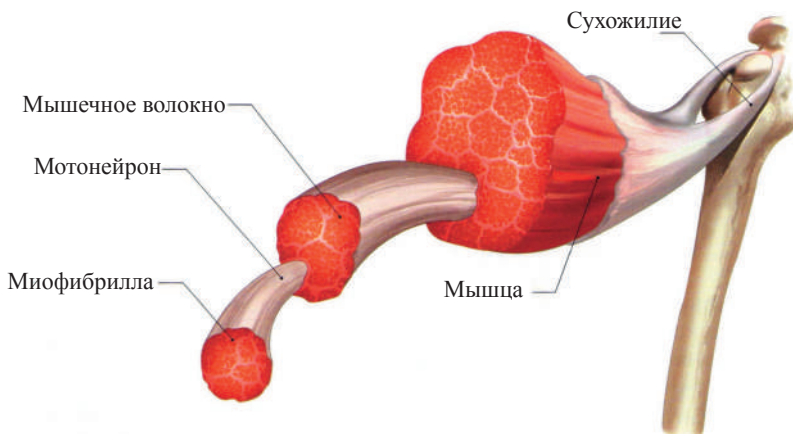


Рис. 5. Строение скелетной мышцы

Длина одного волокна — от 0,1 до 2–3 см (в портняжной мышце — до 12 см); толщина — 0,01–0,2 мм. Волокно представляет собой одну гигантскую клетку, точнее, бесклеточное образование — миосимпласт, окруженный оболочкой — сарколеммой. На ее поверхности располагаются окончания двигательных нервов, к одному волокну может подходить несколько нервных окончаний.

Сарколемма — двухслойная липопротеидная (плазматическая) мембрана толщиной около 10 нм. Она отделяет внутреннее содержимое мышечного волокна от межклеточной жидкости. Проницаемость сарколеммы избирательна:

- через сарколемму не проходят высокомолекулярные соединения (ВМС), например, белки, полипептиды, высшие жирные кислоты (ВЖК). Следует отметить, что при увеличении рН среды проницаемость сарколеммы для ВМС увеличивается;
- через нее проходят такие соединения, как глюкоза, молочная и пировиноградная кислоты, кетоновые тела, аминокислоты и короткие пептиды;
- сарколемма проницаема также для ионов K^+ , которые накапливаются внутри волокна.

Сарколемма содержит «ионный насос», удаляющий из клетки ионы Na^+ . Концентрация ионов Na^+ снаружи больше, чем

концентрация ионов K^+ внутри клетки. Во внутренних зонах волокна содержится также много органических анионов. Все это приводит к тому, что на наружной поверхности сарколеммы возникает избыточный положительный заряд, а на внутренней поверхности — отрицательный заряд. Это мембранный потенциал, который в состоянии покоя равен 90–100 мВ, он является необходимым условием возникновения и проведения возбуждения.

Внутреннее пространство мышечного волокна занято саркоплазмой, представляющей собой белковую коллоидную структуру, в которую вкраплены капельки гликогена, жира. В ней есть субклеточные единицы — ядра, митохондрии, миофибриллы, рибосомы и др. Их функция — регуляция обмена веществ в мышечном волокне за счет воздействия на синтез специфических мышечных белков.

Миофибриллы (мышечные нити) — сократительные элементы мышцы. Их длина соответствует длине волокна, а диаметр составляет около 1–2 мк. В нетренированных мышцах они располагаются рассеянно, а в тренированных — сгруппированы в пучки (рис. 6).

Между миофибриллами располагаются митохондрии — «энергетические станции» мышечных волокон. В результате систематических тренировок число митохондрий в мышцах увеличивается (рис. 7).

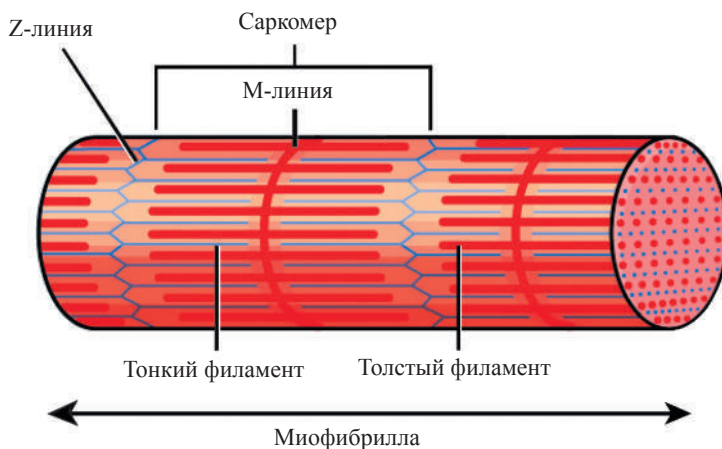


Рис. 6. Структура миофибриллы

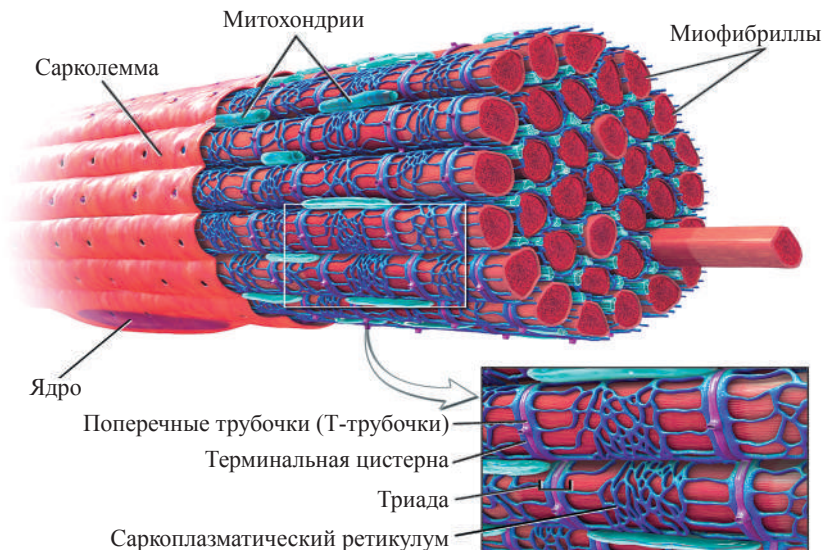


Рис. 7. Структура мышечного волокна

Химический состав мышечной ткани

В состав мышечной ткани входят следующие соединения:

- 1) вода — 70–80 % массы мышцы;
- 2) белки — 17–21 % массы мышцы (80 % сухого остатка);
- 3) азотистые (содержащие азот в составе молекулы) и безазотистые органические вещества;
- 4) минеральные соли в диссоциированной форме (катионы металлов — K^+ , Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , анионы кислотных остатков — хлорид-анион Cl^- , дигидро- и гидрофосфат-анионы $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-});
- 5) фосфорная кислота H_3PO_4 .

Прежде всего, рассмотрим белковый состав мышечной ткани, он очень сложен. Изучением белкового состава занимались многие отечественные и зарубежные ученые. Так, например, биохимик А. Я. Данилевский, исследуя белки мышечной ткани, определил физиологическую роль ряда белков и значение сократительного белка миозина; венгерский ученый биохимик Бруно Ференц

Штрауб (1914–1996) открыл белок мышц актин; американский биохимик венгерского происхождения Альберт Сент-Дьёрдьи (1893–1986) внес большой вклад в изучение процессов биологического окисления и мышечного сокращения.

Различают следующие белки мышц:

- 1) белки ядер: нуклеопротеиды (содержат ДНК);
- 2) белки сарколеммы: липопротеиды, коллаген (15 %);
- 3) белки саркоплазмы (30 % белков):
 - водорастворимые: миоген, миоальбумин, миоглобин (красные белки), переносят кислород интенсивнее, чем гемоглобин,
 - растворимые в солевых растворах: глобулины;
- 4) белки митохондрий: липопротеиды; ферменты цикла трикарбоновых кислот, β -окисления жирных кислот, дыхательной цепи (14 %);
- 5) белки миофибрилл: миозин, актин, тропомиозин, тропонин, актинины (составляют 40 % всех белков);
- 6) белки мышечной стромы, основную массу ее составляют нерастворимые коллаген и эластин. Мышечная строма обладает высокой эластичностью и играет важную роль в расслаблении мышцы.

Азотистые соединения мышц

1. Водорастворимые соединения: АТФ (0,25–0,4 %), креатинфосфат (КрФ) (0,41 %, содержание его увеличивается под действием тренировки), нуклеозидфосфаты. Продукты распада этих веществ — АДФ, АМФ, креатин регулируют обмен веществ в мышцах.

2. Карнозин (дипептид; 0,1–0,3 % в скелетных мышцах). Участвует в ферментативном переносе фосфатных остатков; стимулирует передачу импульсов с нерва на мышцу; участвует в восстановлении работоспособности утомленных мышц.

3. Карнитин. Участвует в переносе через клеточные мембраны жирных кислот — важных энергетических источников работающей мышцы.

4. Аминокислоты (главным образом глутаминовая кислота).

5. Пуриновые основания (аденин, гуанин).

6. Мочевина.
7. Аммиак.
8. Фосфатиды (1,5 %). Играют большую роль в тканевом дыхании.

Безазотистые соединения мышц

1. Гликоген (0,2–3 %) и продукты его обмена. Могут находиться в свободном и связанном с белками состоянии. При тренировке увеличивается количество свободного гликогена.
2. Жиры (1 %), связанные с белками, протоплазматические.
3. Холестерин (0,2 %).

СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА СОКРАТИТЕЛЬНЫХ БЕЛКОВ

1. Основным сократительным белком — миозин. Это фибриллярный белок, молярная масса которого составляет около 500 000 Да, извлекается из мышечной ткани (после отделения саркоплазматического белка) быстрой экстракцией холодным щелочным раствором 0,6 М хлорида калия.

- Строение молекулы: длина молекулы равна 160 нм, толщина — 2 нм, на одном конце утолщение (головка) — 4 нм. Миозин содержит две одинаковые полипептидные цепи — самые длинные из всех известных (каждая состоит из 1800 аминокислот), это α -спирали, закрученные вместе в двойную спираль, расходящуюся на одном конце (рис. 8).

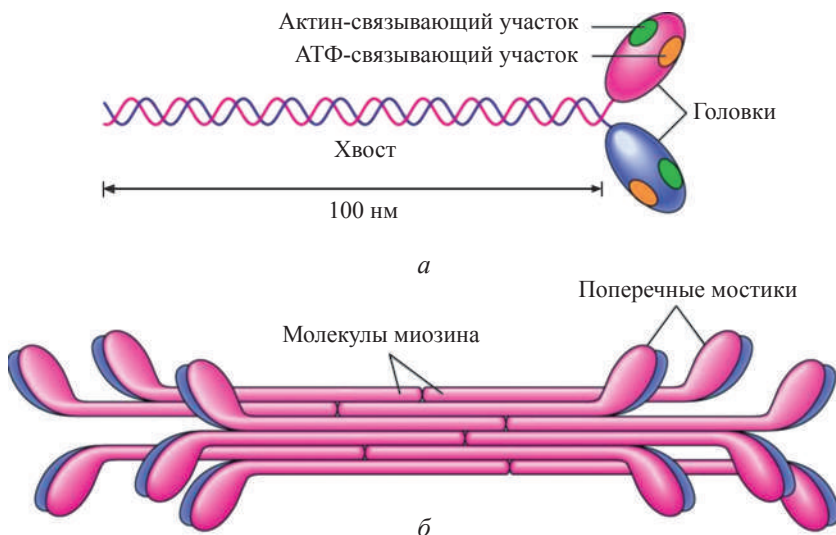
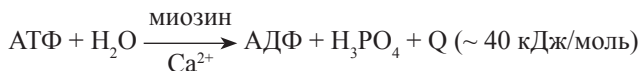


Рис. 8. Строение молекулы миозина:
a — молекула миозина; *b* — толстый филамент

Под действием протеолитических ферментов молекула может распадаться на две части — «головку» и «хвост». Неспирализованные участки головки образуют глобулярные структуры, в которых есть два вида SH-групп: один входит в состав центров аденозинтрифосфатазной активности, которая зависит от рН (оптимальная 6,0 и 9,5) и концентрации хлорида калия. Эти же группы участвуют в замыкании связей (спаек) между миозином и актином. В результате образуется актомиозин. Этот комплекс устойчив без АТФ, а в ее присутствии он разрушается.

Второй вид SH-групп ингибирует аденозинтрифосфатазную активность. Хвост молекулы миозина имеет большой электростатический заряд, что играет важную роль при построении протофибрилл из миозиновых молекул.

Молекула миозина обладает значительным отрицательным зарядом, обусловленным высоким содержанием глутаминовой кислоты, поэтому миозин может взаимодействовать с ионами кальция и магния. В присутствии ионов кальция он проявляет аденозинтрифосфатазную активность, т. е. ускоряет реакцию гидролиза АТФ:



С помощью ионов магния миозин связывает молекулы АТФ и АДФ и образует комплекс с актином.

2. Актин — второй важнейший сократительный белок. Его можно извлечь холодной подщелоченной водой из высушенной ацетоном после экстракции миозина мышечной ткани.

• Строение молекулы актина: он может существовать в трех формах:

- 1) мономерной (глобулярной — G-актин);
- 2) димерной (глобулярной — G-АДФ-G);
- 3) полимерной (фибрилярной — F-актин), которая преобладает в организме (рис. 9).

Первая форма связана с АТФ, имеет небольшой отрицательный заряд, ее молярная масса равна 40 000 Да. Полипептидные цепи уложены в ней очень плотно в глобулу, в которой неполярные радикалы расположены внутри, а полярные — снаружи.

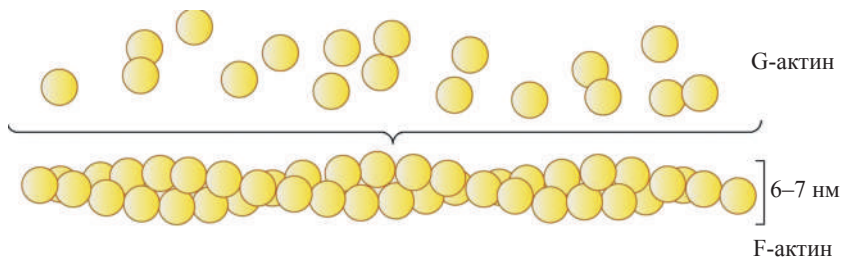


Рис. 9. Схематическое изображение G-актина и F-актина

Мономеры актина расщепляют АТФ, соединяются в димеры, содержащие АДФ:



Из этих димеров построена двойная спираль полимерного фибриллярного актина. Переход глобулярного актина в фибриллярный осуществляется в присутствии ионов калия и магния. Актин обладает способностью связывать ионы кальция.

3. Тропомиозин — регуляторный белок, в больших количествах содержится в миофибриллах. Это белок, растворимый в солевых растворах (1 М хлорида калия), молярная масса равна 130 000 Да; состоит из двух α -спиральных полипептидных цепей, по структуре и свойствам очень сходен с легким меромиозином. Тропомиозин образует комплекс с тропонином (рис. 10).

4. Тропонин — глобулярный белок с молярной массой 86 000 Да. Молекула тропонина имеет большой отрицательный заряд. В покоящихся мышцах он соединен с актином и блокирует его активные центры. Эта блокада снимается после поглощения тропонином ионов кальция. Тропонин является регуляторным белком актиновой нити и состоит из 3 субъединиц (рис. 10):

1) тропонин Т обеспечивает связывание этих белков с тропомиозином;

2) тропонин I ингибирует взаимодействие актина с миозином;

3) тропонин С — кальцийсвязывающий белок, он связывает 4 иона Ca^{2+} . В присутствии ионов кальция изменяется конформация тропонина С, это приводит к изменению положения тропонина

по отношению к актину. В результате открывается центр взаимодействия с миозином.

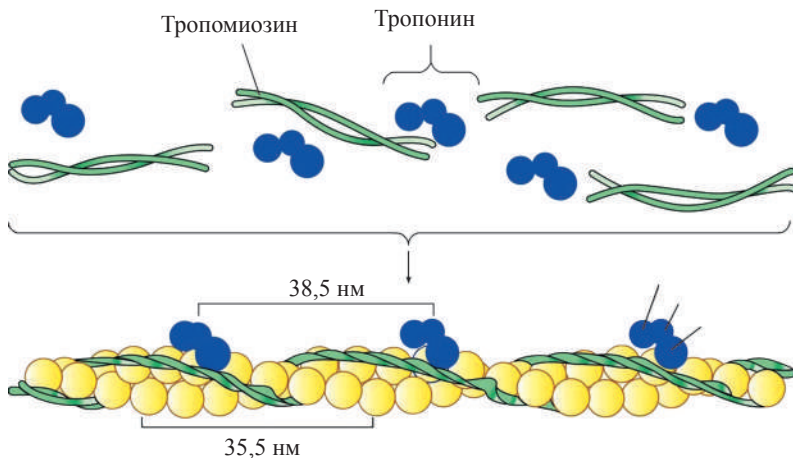


Рис. 10. Строение актиновых нитей

Структура миофибрилл на молекулярном уровне

Миофибриллы состоят из двух видов нитей (протофибрилл) — толстых и тонких филаментов.

Толстые нити имеют длину около 1500 нм, толщину — 10 нм, состоят из пучка продольно расположенных молекул сократительного белка миозина, их около 360 (строение миозина см. на рис. 8).

В результате электростатического притяжения между хвостами L-меромиозина в толстых протофибриллах образуется структура, похожая на многожильный кабель, над поверхностью его выступают головки тяжелого меромиозина.

В центральной полосе толстых протофибрилл головок нет. Следовательно, миозиновые молекулы соединены здесь хвостами, а головы их направлены в разные стороны (рис. 11). Выступающие над поверхностью протофибриллы головки расположены по правильным спиральным линиям.

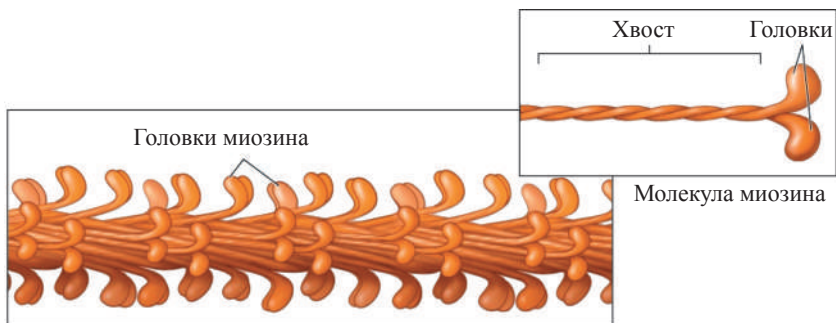


Рис. 11. Строение толстых миофибрилл

Тонкие миофибриллы (длина — 1000 нм, толщина — 6 нм) расположены радиально вокруг толстых миофибрилл и состоят из двойной спирали фибриллярного белка актина, в бороздках спирали уложены молекулы белка тропомиозина, соединенные с белком тропонином (рис. 12). Тропомиозин содержится в миофибриллах в больших количествах. Спираль белка включает до 300 мономерных глобул актина, которые являются не только структурными, но и функциональными единицами тонких протофибрилл: каждая из них содержит активный центр, за счет которого образуются слайки с миозином.

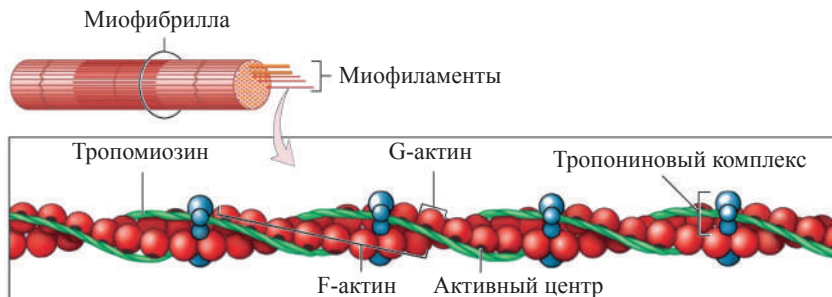


Рис. 12. Строение тонких миофибрилл

Саркомер — участок миофибриллы между двумя Z-мембранами (телофрагмами), длиной около 1,8 мкм (рис. 13).

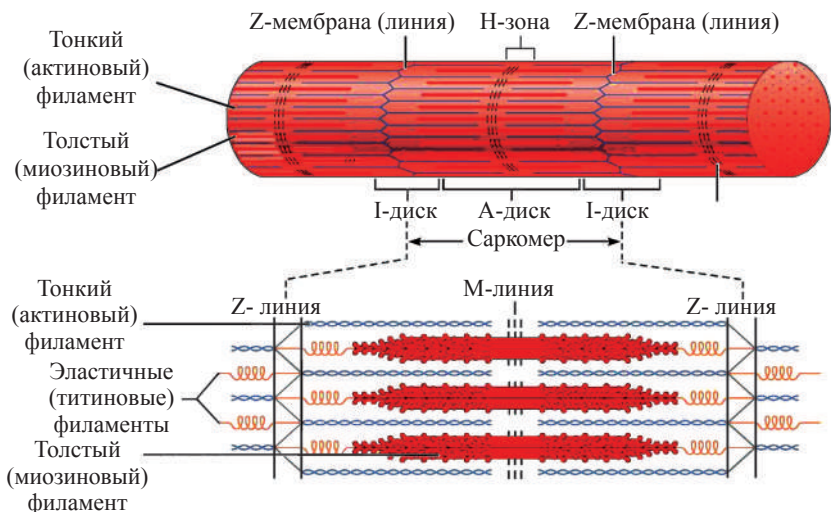


Рис. 13. Строение саркомера сокращенной мышцы

Одна миофибрилла может содержать до 1000–1200 саркомеров. Они состоят из толстых нитей миозина и тонких нитей актина (про-тофибрилл). Z-мембраны саркомеров построены из тропомиозина и α -актинина, которые скрепляют между собой тонкие протофибриллы.

Темный диск А в саркомере (рис. 13) анизотропный, неоднородный, обладает двойным лучепреломлением, содержит больше белка, чем диск I.

Светлый диск I (рис. 13) изотропный, однородный и пересечен мембраной Z. В дисках А (в середине) более светлая полоса — зона Н пересекается более темной зоной М.

Диски I состоят из тонких протофибрилл, диски А – из толстых и тонких. Зона Н содержит только толстые протофибриллы. Z-мембраны скрепляют тонкие протофибриллы между собой. Между тонкими и толстыми протофибриллами расположены поперечные мостики (спайки) толщиной примерно 3 нм, расстояние между ними около 40 нм.

В момент мышечного сокращения длина дисков А постоянна, так как остается постоянной длина толстых протофибрилл. Длина диска I уменьшается, так как тонкие протофибриллы вдвигаются в промежутки

между толстыми. При скольжении актиновых нитей вдоль миозиновых расстояние между между актиновыми нитями сокращается, следовательно, мышца тоже сокращается. При полном сокращении мышцы длина саркомера уменьшается от 1,8 до 1 мкм (рис. 14).

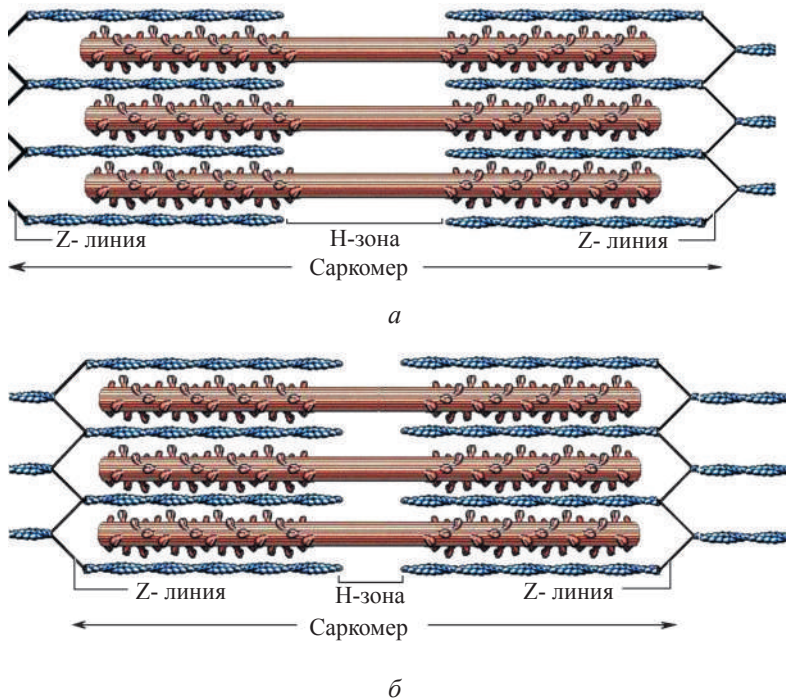


Рис. 14. Укорочение саркомера:

а — несокращенный саркомер; *б* — сокращенный саркомер

Последовательность биохимических процессов, происходящих в мышце при сокращении и расслаблении

При мышечном сокращении происходит повторяющееся образование и разрушение спаек между головками миозина толстых протофибрилл и активными центрами тонких протофибрилл (рис. 15).

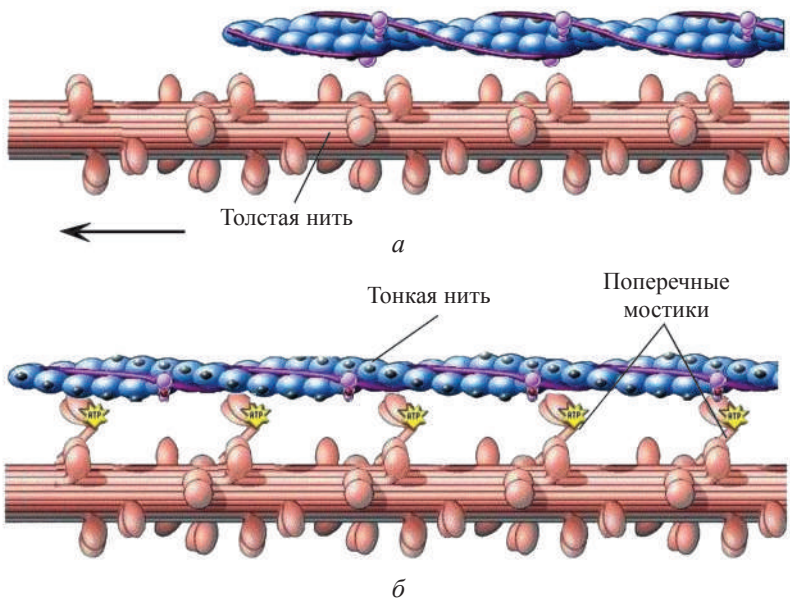


Рис. 15. Образование спаек между толстыми и тонкими нитями:
а — покоящаяся мышца: спайки не образуются; *б* — взаимодействие миозина и актина за счет образования спаек

Рассмотрим механизм возникновения спайки и сокращения саркомера в соответствии с теорией скользящих нитей (рис. 16). В расслабленной мышце боковые отростки головок миозина толстой протофибриллы расположены перпендикулярно к ее оси. В ходе сокращения она переходит в угловое положение, при этом замыкается спайка между актином и миозином. Затем изменяется структура головок миозина, вследствие этого в спайке развивается напряжение; она укорачивается и продвигает актиновую нить вдоль миозиновой по направлению к центру саркомера, на расстояние, равное длине G-актиновой единицы.

В момент сокращения образуется примерно 300 спаек в минуту в каждом центре, чтобы полностью вдвинуть тонкие протофибриллы в промежутки между толстыми протофибриллами (рис. 17).

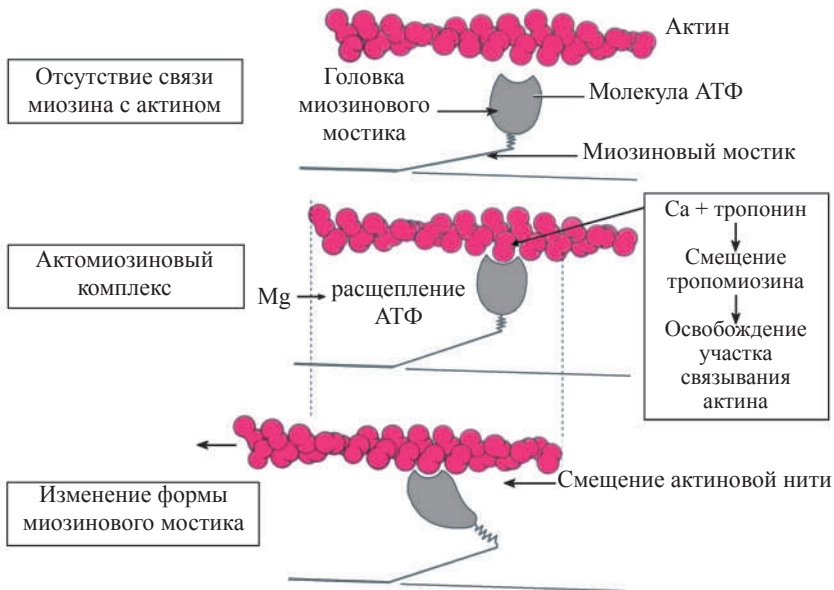


Рис. 16. Механизм сокращения саркомера

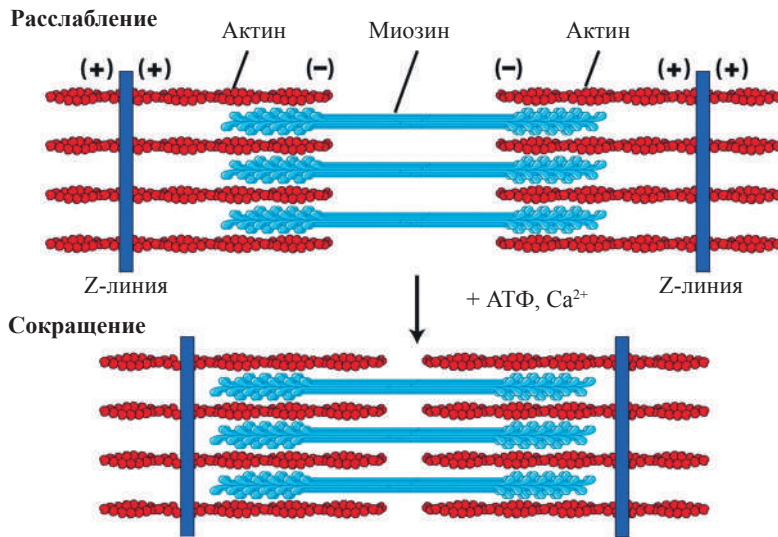
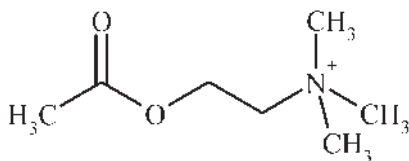


Рис. 17. Сокращение и расслабление мышцы

Для укорочения спайки и продвижения актиновой нити вдоль миозиновой требуются затраты энергии. АТФ является веществом, химическая энергия макроэргических связей которого непосредственно преобразуется в механическую работу мышечного сокращения. Это преобразование энергии происходит при гидролитическом расщеплении АТФ, ускоряемым ферментным центром миозина. Энергия передается миозину, он изменяет свою внутреннюю структуру и совершает механическую работу.

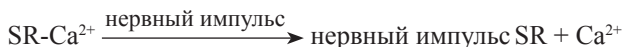
В покое в мышце не происходит расщепление АТФ под действием миозина, и спайки между миозином и актином не образуются. Это можно объяснить тем, что в мышце АТФ находится в заряженном виде АТФ^+ — свободная АТФ и $(\text{Mg} \cdot \text{АТФ})^{2-}$, связанная с миозином через Mg^{2+} . АТФ присоединяется к миозину недалеко от центра АТФ-азной активности с отрицательным зарядом. Пока он не будет нейтрализован ионами Ca^{2+} , АТФ не может реагировать с центром и расщепляться. А ионы Ca^{2+} связаны в это время с белковым веществом — регуляторным комплексом тропомиозина с тропонином.

С приходом нервного импульса в области двигательных нервных окончаний выделяется передатчик импульсов — нейрого르몬 ацетилхолин.

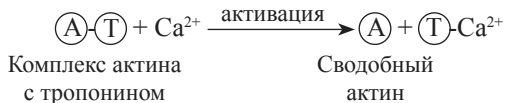


Ацетилхолин

Его полярная молекула взаимодействует с белками сарколеммы, изменяет их заряд и структуру. При этом увеличивается проницаемость мембраны для ионов Na^+ , они направляются внутрь мышечного волокна, нейтрализуют отрицательный заряд на внутренней поверхности сарколеммы, деполяризуются также связанные с ней поперечные трубочки саркоплазматического ретикулума (SR). От трубочек волна возбуждения передается мембранам пузырьков и цистерн, освобождаются ионы Ca^{2+} :



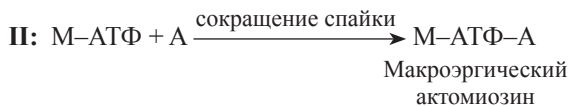
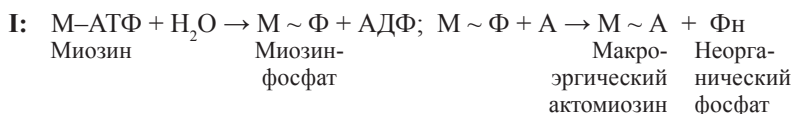
Высвободившиеся ионы Ca^{2+} связываются с тропонином, он теряет заряд и освобождает активные центры актиновых нитей:



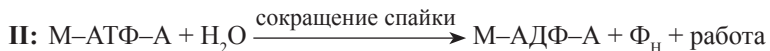
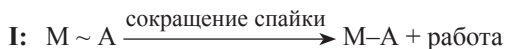
Прекращается отталкивание толстых и тонких протофибрилл и возникают спайки между актином и миозином.

$(\text{Mg} \cdot \text{АТФ})^{2-}$ в присутствии ионов Ca^{2+} взаимодействует с центром ферментативной активности миозина и расщепляется. Выделившаяся энергия используется для сокращения спайки.

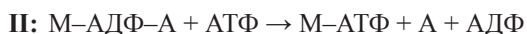
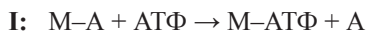
Для объяснения механизма передачи энергии молекулам сократительных белков предложено два варианта схем протекания химической реакции.



После получения энергии от АТФ актомиозиновый комплекс способен произвести работу по сокращению спайки:

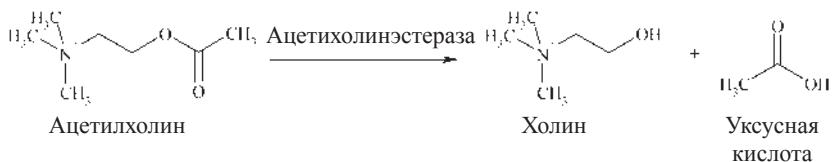


После сокращения спайки наступает ее разрыв, в котором также участвует АТФ, но она не расщепляется, а снова образует фермент-субстратный комплекс с миозином:

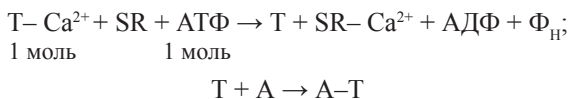


Если в этот момент опять в мышцу поступает нервный импульс, то эти реакции повторяются. Если он не поступает, то наступает

расслабление мышцы. Один из белков сарколеммы действует так же, как фермент холинэстераза, — расщепляет ацетилхолин с образованием холина и уксусной кислоты:



Исчезновение ацетилхолина приводит к восстановлению на сарколемме и мембранах саркоплазматического ретикулума исходного распределения ионов Na^+ и K^+ . В результате этого механизм Са-насоса в пузырьках саркоплазматического ретикулума становится активным. Он использует энергию гидролиза АТФ для связывания ионов Ca^{2+} , а освобожденный от Ca^{2+} тропонин препятствует замыканию новых спаек между миозином и актином:



Возвращение сокращенной мышцы при расслаблении в исходное состояние происходит при участии упругих сил, возникающих в белках стромы (коллаген, эластин). В расслабленном состоянии мышцы становятся тоньше и длиннее.

Расщепление АТФ в мышце происходит с очень большой скоростью: до 10 мкмоль на 1 г мышцы в минуту. Поскольку общие запасы АТФ в мышце незначительны (их хватает только на 0,5–1 с работы с максимальной мощностью), для обеспечения нормальной деятельности мышц АТФ должна восстанавливаться с такой же скоростью, с какой она расщепляется.

Чем меньше АТФ в мышце, тем слабее ее сократительная реакция на двигательный импульс. Если в сокращенной мышце АТФ израсходуется полностью, то миозин теряет эластичность, но не переходит в расслабленное состояние, так как для этого нужна АТФ, чтобы связать ионы Ca^{2+} и образовать комплекс с миозином. Мышца окоченевает (контрактура) и теряет способность сокращаться

и расслабляться. Поэтому в промежутках между сокращениями обязательно должен происходить непрерывный ресинтез АТФ.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. Охарактеризуйте строение миофибрилл на молекулярном уровне.
2. Какие азотистые и безазотистые вещества есть в мышцах и какова их роль?
3. Охарактеризуйте механизм образования спайки при сокращении мышц.
4. Каков химический состав мышц?
5. Каково строение и свойства сократительных мышечных белков, их локализация в мышечном волокне?
6. Какова структура и функции мышечного волокна?
7. Какие биохимические реакции протекают при сокращении и расслаблении мышц?
8. Какова роль ионов Ca^{2+} и белков при сокращении и расслаблении мышц?
9. Какие типы мышечных волокон вы знаете? Чем они различаются?
10. Охарактеризуйте структурные и сократительные элементы мышечного волокна.
11. Какие белки мышц вы знаете и какова их роль?
12. Какими макроэргическими веществами располагает мышечное волокно?
13. Какова роль тропонина и тропомиозина в процессах мышечного сокращения и расслабления?
14. Как происходит расслабление мышц и какие белки принимают в этом участие?
15. Охарактеризуйте роль АТФ в процессах сокращения и расслабления мышц.

ОСНОВЫ СПОРТИВНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Лимитирующие факторы спортивной работоспособности

Способность выполнять значительную мышечную работу, т. е. физическая работоспособность человека, определяется большим числом факторов. Обычно среди ведущих выделяют следующие факторы:

- 1) развитие скоростно-силовых качеств и особенности нервно-мышечной координации движений;
- 2) биоэнергетические возможности организма (аэробная и анаэробная способности);
- 3) техника выполнения упражнений;
- 4) тактика ведения спортивной борьбы;
- 5) психическая подготовка спортсмена (мотивация, волевые качества).

Скоростно-силовые качества и биоэнергетические возможности человека составляют группу факторов потенций (внутренних возможностей).

Техника, тактика и психическая подготовка спортсмена объединяются в группу факторов производительности, которые определяют степень реализации факторов потенций в конкретных условиях данного вида спорта. Так, например, рациональная техника выполнения упражнений позволяет в большей степени и более эффективно реализовать скоростно-силовые и энергетические возможности в каждом акте движения или в отдельных элементах упражнения. Совершенная тактика ведения соревновательной борьбы позволяет лучше реализовать скоростно-силовые и биоэнергетические возможности в ходе спортивного соревнования или в его отдельных эпизодах.

Среди биохимических факторов, определяющих скоростно-силовые способности человека, следует отметить общее содержание и ферментативные свойства сократительных белков мышц.

Величина усилия, развиваемого в сокращающейся мышце, пропорциональна числу поперечных соединений (спаек) между актиновыми и миозиновыми нитями в миофибриллах.

Потенциально возможное число этих спаек, а следовательно, и величина максимального усилия зависят от общего содержания актина и от длины миозиновых нитей в пределах каждого саркомера, входящего в состав миофибрилл.

Скорость образования и разрыва спаек в миофибриллах скелетных мышц зависит от АТФ-азной активности миозина:

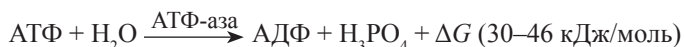


При этом выделяется энергия (33,5 кДж/моль), которая расходуется на сокращение мышц. АТФ-азной активностью обладают головки молекул миозина. Таким образом, скорость образования и разрыва спаек зависит от скорости ферментативного расщепления АТФ под действием миозина, которая в значительной степени различается в мышечных волокнах разного типа.

Так, в быстро сокращающихся белых волокнах скорость расщепления АТФ выше, чем в медленно сокращающихся красных волокнах. Чем больше процент быстро сокращающихся мышечных волокон в общем составе скелетной мышцы, тем выше ее скоростно-силовые характеристики.

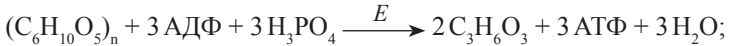
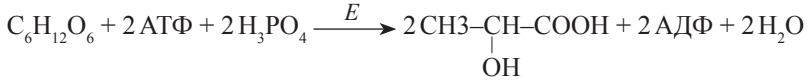
Биоэнергетические возможности организма являются наиболее важным биохимическим фактором, лимитирующим его физическую работоспособность. В зависимости от биохимической природы энергетических процессов выделяют три функциональных свойства организма, оказывающих прямое влияние на величину и характер проявления физической работоспособности:

— алактатную анаэробную способность, которая связана с процессами преобразования энергии в АТФ-азной и креатинфосфокиназной реакциях:





— гликолитическую анаэробную способность, которая отражает возможность усиления при работе анаэробного гликолитического процесса, исходя из глюкозы и гликогена, в ходе этого процесса происходит накопление молочной кислоты (лактата) в организме:



— аэробную способность, связанную с возможностью выполнения работы за счет усиления аэробных процессов в митохондриях клеток при одновременном увеличении доставки и утилизации кислорода в работающих тканях. По ходу дыхательной (окислительной) цепи в митохондриях энергия высвобождается постепенно (рис. 18), часть ее расходуется на процесс образования АТФ, а часть выделяется в виде тепла.

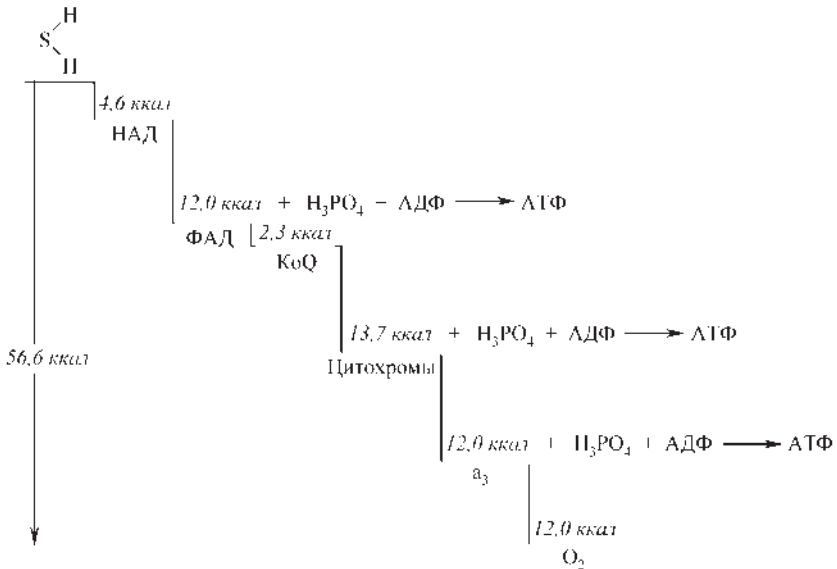
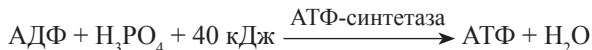


Рис. 18. Освобождение энергии в цепи биологического окисления

Окислительное фосфорилирование — это путь синтеза АТФ за счет энергии, образовавшейся при окислении водорода в цепи биологического окисления:



Процесс окислительного фосфорилирования является основным путем образования энергии в покое, при работе в аэробных условиях и в период восстановления после физических нагрузок.

Каждый из перечисленных функциональных компонентов организма можно охарактеризовать с помощью биохимических критериев трех типов:

— *критериев емкости*, отражающих размеры доступных для использования субстратных фондов или общий объем метаболических изменений в организме, произошедших за время упражнения;

— *критериев мощности*, отражающих скорость освобождения энергии в метаболических процессах;

— *критериев эффективности*, определяющих, в какой степени высвобождаемая в метаболических процессах энергия используется для выполнения специфической мышечной работы.

В табл. 1 приведены наиболее важные интегративные показатели, которые чаще всего применяются в качестве оценок мощности, емкости и эффективности биоэнергетических процессов.

Таблица 1

**Биоэнергетические критерии
физической работоспособности спортсменов**

Биохимические критерии	Энергетические способности		
	алактатные анаэробные	гликолитические анаэробные	аэробные
Критерий мощности	Максимальная анаэробная мощность (МАМ), скорость распада макроэргов (P/t)	Скорость накопления молочной кислоты (НI/t), скорость «избыточного» выделения CO ₂ (Ехс CO ₂)	Максимальное потребление кислорода (VO ₂ max), критическая мощность (W _{кр})

Биохимические критерии	Энергетические способности		
	алактатные анаэробные	гликолитические анаэробные	аэробные
Критерий емкости	Общее содержание КрФ в мышцах, величина алактатного кислородного долга ($A_{\text{lact O}_2}$ -долг)	Максимальное накопление молочной кислоты в крови ($\max \text{Hla}$), максимальный кислородный долг, максимальный сдвиг pH ($\Delta \text{H} \max$)	Кислородный приход за время упражнения (VO_2)
Критерий эффективности	Скорость оплаты алактатного кислородного долга (K_a)	Механический эквивалент молочной кислоты (W/Hla)	Кислородный эквивалент работы (КЭР), порог анаэробного обмена (ПАНО)

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. Что такое работоспособность?
2. Перечислите факторы, определяющие работоспособность.
3. Что входит в группу факторов внутренних возможностей?
4. Что входит в группу факторов производительности?
5. Какие биохимические факторы, определяющие скоростно-силовые способности человека, вы знаете?
6. Охарактеризуйте молекулярный состав и строение толстых миофибрилл.
7. Охарактеризуйте молекулярный состав и строение тонких миофибрилл.
8. Что такое саркомер? Ответ поясните.
9. Охарактеризуйте основные сократительные белки мышц: состав, строение, свойства, функции.
10. От чего зависит величина усилия, развиваемого в сокращающейся мышце?
11. От чего зависит скорость образования и разрыва спаек в миофибриллах скелетных мышц?

12. Сравните АТФ-азную активность миозина в быстро сокращающихся белых волокнах и в медленно сокращающихся красных волокнах.

13. Какие функциональные свойства организма, оказывающие прямое влияние на величину и характер проявления физической работоспособности, выделяют в зависимости от биохимической природы энергетических процессов?

14. Что отражают критерии мощности, емкости и эффективности?

15. Какие показатели применяются в качестве оценок мощности биоэнергетических процессов?

16. Какие показатели применяются в качестве оценок емкости биоэнергетических процессов?

17. Какие показатели применяются в качестве оценок эффективности биоэнергетических процессов?

Показатели аэробной и анаэробной работоспособности спортсменов

Аэробные и анаэробные биоэнергетические процессы заметно различаются по значениям мощности. Наибольшая скорость энергопродукции, соответствующая максимальной мощности алактатного анаэробного процесса, достигается в упражнениях продолжительностью около 5 с и составляет у высококвалифицированных спортсменов около 3600 Дж/кг · мин. Максимальное усиление энергопродукции в гликолитическом анаэробном процессе приходится на упражнения с предельной длительностью около 30 с и соответствует 2400 Дж/кг · мин. Максимальная мощность аэробного процесса (1200 Дж/кг · мин) достигается в упражнениях с предельной продолжительностью — 2–7 мин. Таким образом, значения максимальной мощности аэробного, гликолитического и алактатного процессов относятся как 1 : 2 : 3.

Максимальная мощность аэробного процесса, достигаемая на 2–3-й минуте работы, может поддерживаться вплоть до 15–30 мин, в более длительных упражнениях она постепенно уменьшается. В марафонском беге средний уровень аэробной энергопродукции составляет 80–85 % от значения максимальной аэробной мощности.

Мощность алактатного и гликолитического анаэробных процессов с увеличением предельного времени выполнения упражнения быстро снижается, что связано с небольшими величинами их энергетической емкости. Аэробный процесс по энергетической емкости во много раз превышает алактатный и гликолитический анаэробные процессы. Субстратные фонды для митохондриального окисления в работающих мышцах включают как внутримышечные запасы углеводов и жиров, так и глюкозу, жирные кислоты и глицерин крови, запасы гликогена в печени и в неработающих мышцах, а также резервные жиры различных тканей организма. Поэтому емкость аэробного процесса в 10 раз больше, чем емкость анаэробного гликолиза, и в 100 раз больше, чем емкость алактатного анаэробного процесса.

Заметные различия есть и в показателях эффективности различных биоэнергетических процессов. Для количественной оценки эффективности преобразования химической энергии в механическую работу мышц могут быть использованы два типа показателей:

— отношение общего количества выполненной механической работы к объему происшедших метаболических изменений в организме, т. е. механический эквивалент для единицы использованного субстрата (КрФ, глюкозы, O_2) или образованного продукта (АДФ, креатина, молочной кислоты, CO_2);

— отношение всей полезно затраченной энергии к общему количеству энергии, выделенной в данном метаболическом процессе, т. е. коэффициент полезного действия (КПД).

Общий КПД складывается из двух показателей: 1) эффективности преобразования выделенной в ходе метаболических превращений энергии в энергию ресинтезируемых макроэргических фосфорных соединений (АТФ), т. е. эффективности фосфорилирования (E_{ϕ}); 2) эффективности преобразования энергии АТФ в механическую работу, т. е. эффективности хемомеханического сопряжения (E_c):

$$E_m = (E_{\phi} \cdot E_c) \cdot 100 \%$$

Эффективность хемомеханического сопряжения в процессах анаэробного и аэробного метаболизма примерно одинакова

и составляет около 50 %. В то же время наивысшая эффективность фосфорилирования наблюдается в алактатном анаэробном процессе — 80 %, наименьшая — в анаэробном гликолизе, в среднем — 44 %, а в аэробном процессе она составляет около 60 %.

Значение показателей мощности, емкости и эффективности для алактатного, гликолитического и аэробного процесса приведены в табл. 2.

Таблица 2

Критерии мощности, емкости и эффективности для различных метаболических процессов

Источник энергии	Максимальная мощность, кДж/кг · мин	Время удержания максимальной мощности, с	Максимальная емкость, кДж/кг	Эффективность, %		
				E_{ϕ}	E_c	E_m
Алактатный анаэробный процесс	3770	6	630	80	50	40
Анаэробный гликолиз	2500	60	1050	36–52	50	22
Аэробный процесс	1250	600	∞	60	50	30

Представленные данные характерны для высококвалифицированных спортсменов. У людей, ведущих умеренно активный образ жизни, эти значения существенно ниже.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. Приведите значения энергопродукции в алактатном анаэробном, гликолитическом анаэробном и аэробном процессах и покажите, как соотносятся их максимальные мощности.
2. Как изменяются мощности аэробного процесса, алактатного и гликолитического анаэробных процессов с увеличением предельного времени выполнения упражнения? У какого процесса больше энергетическая емкость и почему?

3. Какие два типа показателей могут быть использованы для количественной оценки эффективности преобразования химической энергии в механическую работу мышц?

4. Сравните эффективность фосфорилирования и хемомеханического сопряжения аэробного, алактатного и гликолитического анаэробных процессов.

Специфичность спортивной работоспособности

Конкретные проявления физической работоспособности в том или ином виде спорта носят специфический характер. Эта специфичность зависит от соотношения уровня развития аэробных и анаэробных способностей спортсменов, устанавливающегося под влиянием тренировки.

Самые высокие показатели максимальной аэробной мощности отмечаются у бегунов на длинные дистанции, лыжников, конькобежцев, велосипедистов-шоссейников. Наибольшую алактатную анаэробную мощность демонстрируют бегуны на короткие дистанции, хоккеисты и велогонщики-трековики. Самыми большими величинами гликолитической анаэробной мощности обладают велогонщики-трековики, бегуны на средние дистанции, хоккеисты и ватерполисты.

Наибольшую аэробную емкость имеют велосипедисты-шоссейники, лыжники-гонщики, бегуны. Самые высокие величины алактатной анаэробной емкости демонстрируют бегуны на короткие дистанции, баскетболисты и борцы. Наибольшие величины гликолитической анаэробной емкости отмечаются у бегунов на средние дистанции, велогонщиков-трековиков и хоккеистов. В каждом виде спорта существуют свои «ведущие» метаболические факторы, оказывающие определяющее влияние на уровень спортивных достижений (табл. 3).

Влияние биоэнергетических факторов на уровень спортивных достижений не остается постоянным, а изменяется в зависимости от мощности и продолжительности упражнения.

Таблица 3

Влияние метаболических факторов на изменчивость спортивных достижений в разных видах упражнений (% общей вариации)

Метаболические факторы	Бег на короткие дистанции	Бег на длинные дистанции	Льжные гонки	Скоростной бег на коньках	Баскетбол
Аэробная мощность	37,0	41,0	25,5	7,0	8,5
Аэробная емкость	—	17,0	39,0	5,6	6,6
Аэробная эффективность	—	7,7	12,0	35,7	14,6
Гликолитическая анаэробная мощность	9,7	6,2	4,6	12,5	—
Гликолитическая анаэробная емкость	12,9	14,8	11,7	21,0	33,0
Алактатная анаэробная мощность	17,9	3,6	4,4	9,0	6,2
Алактатная анаэробная емкость	7,8	—	—	5,7	10,0

Наибольшее влияние показателя максимальной аэробной мощности на спортивные достижения в беге обнаруживается на дистанциях 5 км и 10 км, на коротких дистанциях оно несущественно. Показатель максимальной анаэробной емкости, наоборот, обнаруживает высокую корреляцию со спортивными достижениями на коротких и средних дистанциях бега, а на длинных дистанциях его влияние резко уменьшается.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. От чего зависит специфичность проявления физической работоспособности в различных видах спорта?
2. В каких видах спорта у спортсменов отмечаются самые высокие показатели максимальной аэробной мощности?
3. В каких видах спорта спортсмены демонстрируют наибольшую алактатную анаэробную мощность?
4. В каких видах спорта спортсмены обладают самыми большими величинами гликолитической анаэробной мощности?
5. В каких видах спорта спортсмены имеют наибольшую аэробную емкость?
6. В каких видах спорта у спортсменов самые высокие величины алактатной анаэробной емкости?
7. В каких видах спорта у спортсменов отмечаются наибольшие величины гликолитической анаэробной емкости?
8. В каких видах спорта обнаруживается наибольшее влияние показателя максимальной аэробной мощности на уровень спортивных достижений?
9. В каких видах спорта обнаруживается наибольшее влияние показателя максимальной анаэробной емкости на уровень спортивных достижений?

Влияние тренировки на работоспособность спортсменов

Показатели физической работоспособности улучшаются под влиянием тренировки. Это влияние отражено в табл. 4, где приведены показатели биоэнергетических процессов у спортсменов разной квалификации.

Из табл. 4 видно, что с повышением уровня квалификации спортсменов улучшаются все биоэнергетические характеристики физической работоспособности. Следует отметить, что «тренируемость» отдельных параметров выражена в разной степени. Так, под влиянием систематической многолетней тренировки показатели аэробной мощности улучшаются в 2 раза, а показатель аэробной емкости может улучшиться в 4 раза (табл. 5).

**Значения показателей мощности, емкости и эффективности
анаэробных и аэробных процессов
у конькобежцев разной квалификации**

Квалификация спортсменов	VO ₂ max, мл/ кг · мин	t _{улерж.} , с	ПАНО, % MMR	Ехс СО ₂ , л/мин	Общий О ₂ -долг, мл/кг	Алак- татный О ₂ - долг, мл/кг
Спортсмены II–III разряда	51	150	46	1,60	101	25
Спортсмены I разряда, КМС	69	200	51	1,79	127	31
МС	72	270	56	1,92	137	34
МСМК	76	340	60	1,97	141	35

Примечание. Здесь и в табл. 5: КМС — кандидат в мастера спорта; МС — мастер спорта; МСМК — мастер спорта международного класса.

Таблица 5

**Улучшение показателей мощности, емкости и эффективности
биоэнергетических процессов под влиянием многолетней
тренировки в спорте**

Биоэнергетический критерий	Оцениваемые показатели	Начинающие спортсмены	МСМК	Процент улучшения
Мощность:	аэробная	VO ₂ max, мл/кг · мин	45	100
	алактатная	KpФ/t, мМ/кг · мин	60	70
	гликолитическая	Hla/t, мМ/кг · мин	20	75
Емкость:	аэробная	t _{дл} VO ₂ max, мин	3,2	306
	алактатная	Алактатный О ₂ -долг, мл/кг	21,5	153
	гликолитическая	Hla max, г/кг	0,8	175
Эффективность: аэробная	ПАНО, % MMR	44	85	93

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. Как изменяются показатели физической работоспособности под влиянием тренировки?
2. Как изменяются биоэнергетические характеристики спортивной работоспособности с повышением уровня квалификации спортсменов?
3. Приведите примеры, подтверждающие разную «тренируемость» показателей спортивной работоспособности под влиянием систематической многолетней тренировки.

Биохимическое обоснование использования тренировок в среднегорье для повышения работоспособности спортсменов

Акклиматизация к горным условиям происходит во всех органах и тканях: усиливается деятельность различных функциональных систем (дыхания, кровообращения и т. п.), повышается синтез ферментов, растет уровень КрФ, аминокислот, ферментов гликолиза, гемоглобина в крови, миоглобина в мышцах, увеличивается кислородная емкость, т. е. повышаются процент использования кислорода и анаэробные возможности ресинтеза АТФ. У акклиматизировавшихся людей величина кислородного долга меньше, также меньше растет уровень молочной кислоты, меньше выделяется недоокисленных веществ с мочой и выше работоспособность.

Эффективна активная акклиматизация: не просто пребывание в горах, а специальные тренировки. При этом усиливается деятельность всех систем организма и быстрее идет приспособление организма к горным условиям. Спортсмены легче переносят горные условия, чем неспортсмены. Причина этого — более мощное развитие у спортсменов анаэробного и аэробного ресинтеза АТФ, большая кислородная емкость крови и организма, большая устойчивость к условиям гипоксии.

При возвращении на равнину последствия пребывания в горах сказываются в течение 1–2 месяцев: сохраняются усиленная доставка кислорода к тканям и органам, повышенная эффективность окислительных процессов, пониженное выделение с мочой

недоокисленных продуктов. Все это способствует росту общей работоспособности. Поэтому для повышения эффективности спортивной нагрузки рекомендуется использовать пребывание в горах.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. Какие биохимические изменения происходят в органах и тканях при акклиматизации к горным условиям?
2. Что такое активная акклиматизация к горным условиям?
3. Почему спортсмены легче переносят горные условия, чем неспортсмены?
4. Как долго сказываются последствия пребывания в горах при возвращении на равнину?
5. Охарактеризуйте биохимические изменения, сохраняющиеся в организме при возвращении на равнину.
6. Как влияет пребывание в горах на общую работоспособность спортсмена?

Возраст и спортивная работоспособность

С возрастом наблюдаются значительные изменения физической работоспособности спортсменов. Возможности энергопродукции анаэробным и аэробным путями возрастают по мере физиологического созревания организма и формирования психической сферы человека. С возрастом увеличиваются масса тела, количество ключевых ферментов аэробного и анаэробного обмена в скелетных мышцах, их активность и стабильность в работе, повышаются запасы энергетических веществ в тканях, совершенствуется работа вегетативных систем, ответственных за доставку мышцам кислорода и питательных веществ и удаление продуктов распада. Все эти показатели обычно достигают максимальных значений к 20–25 годам. В этом возрасте, как правило, добиваются наивысших спортивных результатов в тех видах спорта, где требуется высокая энергетическая производительность. После 40 лет показатели физической работоспособности постепенно понижаются и к 60 годам становятся примерно вдвое меньше, чем в зрелом возрасте.

В процессе возрастного развития наблюдаются различия в динамике биоэнергетических показателей. Так, максимальная анаэробная мощность у мужчин быстро увеличивается к 20 годам, сохраняется на предельном уровне до 30 лет, а затем начинает снижаться. У женщин этот показатель достигает максимума раньше — к 18 годам и затем быстрее снижается в старшем возрасте.

Показатель мощности аэробного процесса (максимальное потребление кислорода, МПК) у мужчин достигает наибольших значений к 25 годам, сохраняется на этом уровне до 40 лет и затем снижается (рис. 19). У женщин максимальные значения этого показателя отмечаются к 20 годам и начинают снижаться после 35 лет.

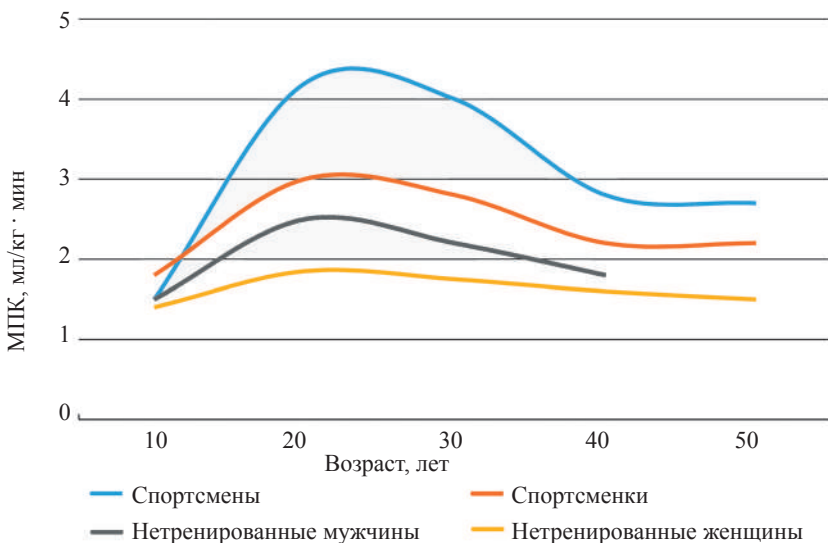


Рис. 19. Возрастные изменения МПК

Самые высокие значения максимального накопления молочной кислоты в крови как у мужчин, так и у женщин отмечаются к 22 годам, затем они быстро снижаются уже после 30 лет.

Для показателей емкости и эффективности биоэнергетических процессов характерны более медленные темпы развития. Наивысших значений они достигают к 25–30 годам и при систематической

тренировке могут удерживаться вблизи максимально уровня вплоть до 40–45 лет. Темпы снижения их в пожилом и старческом возрасте более выражены у женщин.

Указанные особенности возрастной динамики показателей работоспособности необходимо учитывать при разработке программ по физическому воспитанию подрастающего поколения и проведении занятий по физической культуре и спорту с лицами разного пола и возраста.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. Как изменяются возможности энергопродукции анаэробным и аэробным путями по мере физиологического созревания организма?

2. Какие биохимические изменения происходят в организме с возрастом?

3. В каком возрасте показатели физической работоспособности достигают максимальных значений, и как это сказывается на спортивных результатах?

4. В каком возрасте показатели физической работоспособности постепенно снижаются?

5. Охарактеризуйте динамику максимальной анаэробной мощности в процессе возрастного развития у мужчин и женщин.

6. Охарактеризуйте возрастную динамику мощности аэробного процесса у мужчин и женщин.

7. Охарактеризуйте возрастную динамику показателей емкости и эффективности биоэнергетических процессов.

Биохимические основы методики занятий физическими упражнениями с людьми разного возраста

Биохимические особенности растущего организма

С биохимической точки зрения процесс роста и развития организма — это интенсивный синтез белков, поскольку они являются одной из главных его составных частей. В связи с этим

интенсивность белкового обмена и потребность в пищевых белках у растущего организма гораздо выше, чем у взрослых. Например, суточная потребность у взрослого человека в белках составляет 1–1,5 г на 1 кг массы тела, у 15-летнего подростка — 2 г, у 12–13-летнего — 2,5 г, у 2–5-летнего ребенка — 3,5 г, а у годовалого — 4 г. Поскольку синтез белка идет с поглощением энергии, растущий организм требует больших энергозатрат, чем взрослый человек. Необходимая для синтеза белков энергия в виде молекул АТФ потребляется из процессов биологического окисления. В результате этого возможности энергетического обеспечения мышечной деятельности у детей и подростков меньше, чем у взрослых, хотя окислительные процессы протекают в растущем организме более напряженно. Потребление кислорода у 3-летнего ребенка, рассчитанное на 1 м² поверхности тела, больше, чем у взрослого, на 95 %, у 6-летнего — на 66 %, у 9-летнего — на 36 %, у 12-летнего — на 25 %.

Кроме этого кислородная емкость детского организма меньше из-за более низкого содержания гемоглобина в крови и миоглобина в мышцах. При каждом вдохе ребенок поглощает меньше кислорода, и с каждым вдохом у него меньше поступает кислорода к мышцам, головному мозгу и другим органам. Сердечно-сосудистая и дыхательная системы у детей работают с большим напряжением, чем у взрослых, а поэтому обладают меньшими функциональными резервами.

Перечисленные биохимические особенности детского организма ограничивают возможности аэробного энергетического обеспечения интенсивной работы, поэтому повышение уровня молочной кислоты в крови при выполнении стандартной физической нагрузки у детей и подростков больше, чем у взрослых. Наряду с этим у них меньше и возможности анаэробного энергетического обеспечения мышечной деятельности. Чем младше возраст ребенка, тем меньше максимальная мощность работы, которую он может выполнить, и меньше возрастает уровень молочной кислоты в крови при совершении этой работы. Так, например, у 9-летнего ребенка максимальная мощность работы составляет около 40 % максимальной работы взрослого, а максимальное повышение уровня молочной кислоты в 2 раза меньше.

Характерным для детей и подростков является также быстрое замедление мобилизации углеводов в ходе выполнения мышечной работы. Многие длительные и неинтересные физические упражнения вызывают у детей понижение уровня сахара в крови. Только эмоционально насыщенные занятия с разнообразными упражнениями, особенно с элементами игры, способствуют поддержанию повышенного уровня сахара в крови до конца занятия.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. Какой биохимический процесс интенсивно протекает в процессе роста и развития организма?
2. Сравните интенсивность белкового обмена и потребность в белках у растущего организма и у взрослого человека.
3. Какой организм требует больших энергозатрат: растущий или организм взрослого человека? Почему?
4. Почему возможности энергетического обеспечения мышечной деятельности у детей и подростков меньше, чем у взрослых?
5. Почему кислородная емкость детского организма меньше?
6. Сравните напряженность работы и функциональные резервы сердечно-сосудистой и дыхательной системы у детей и взрослых.
7. Как зависит максимальная мощность работы, которую может выполнить ребенок, и рост уровня молочной кислоты в крови при ее выполнении от возраста ребенка?
8. При выполнении стандартной физической нагрузки повышение уровня молочной кислоты в крови больше у детей и подростков или у взрослых? Почему?
9. Как изменяется у детей и подростков скорость мобилизации углеводов в ходе выполнения мышечной работы?
10. Какие упражнения вызывают у детей понижение уровня сахара в крови, а какие способствуют поддержанию его повышенного уровня?

Биохимические особенности стареющего организма

Для стареющего организма характерно снижение интенсивности пластического обмена на фоне снижения интенсивности общего обмена веществ, *замедление самообновления белков*. Это приводит к уменьшению скорости деления клеток и нарушению их регенерации. Если у 20–30-летнего человека средний вес всех мышц составляет 36 кг, то у 70–80-летнего из-за атрофии мышечной ткани он равен 23–24 кг. Уменьшается также содержание белка и число нервных клеток в коре головного мозга, а содержание липоидов увеличивается. Из-за замедления размножения и гибели костных клеток происходит разрежение костей и уменьшение их прочности (старческий остеопороз). Замедляется новообразование эритроцитов, ухудшается заживление ран.

Другой важной особенностью стареющего организма является *понижение интенсивности окислительных процессов*. В состоянии покоя потребление кислорода у 70-летнего человека составляет 60 % от количества кислорода, потребляемого 20–30-летним (в расчете на 1 кг массы тела).

Уменьшение синтеза белков и общее снижение интенсивности действия окислительных ферментов связаны между собой и влияют друг на друга. Поскольку окислительные ферменты являются белками, то замедляется и их синтез, что приводит к понижению интенсивности процессов биологического окисления. С другой стороны, при понижении интенсивности окислительных процессов уменьшается производство энергии, необходимой для синтеза белка и ДНК.

В пожилом возрасте уменьшаются также возможности анаэробного ресинтеза АТФ. Поэтому у пожилых людей, как и у детей, стандартная работа сопровождается большим, а максимальная работа — меньшим повышением уровня молочной кислоты в крови по сравнению с 20–30-летними людьми.

У лиц пожилого возраста наблюдается небольшая затормаживаемость мобилизации углеводов при мышечной деятельности, а в ходе выполнения однообразных и скучных упражнений происходит снижение сахара в крови.

С возрастом повышается уровень холестерина в крови и уменьшается содержание лецитина, т. е. происходят изменения и в обмене липоидов. Холестерин и его эфиры с жирными кислотами проникают в стенки кровеносных сосудов, отлагаются там и вызывают патологические изменения. В результате развивается атеросклероз — заболевание, характеризующееся понижением эластичности, прочности и проходимости кровеносных сосудов (рис. 20).

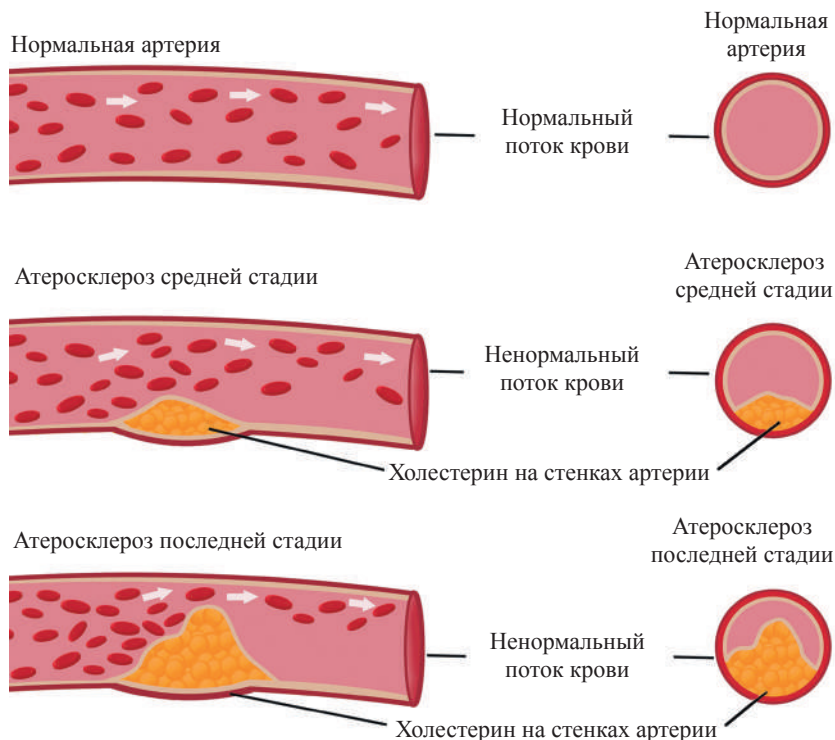


Рис. 20. Атеросклероз

С возрастом риск и степень развития атеросклеротических изменений кровеносных сосудов (образование атеросклеротических бляшек) возрастают (рис. 21).

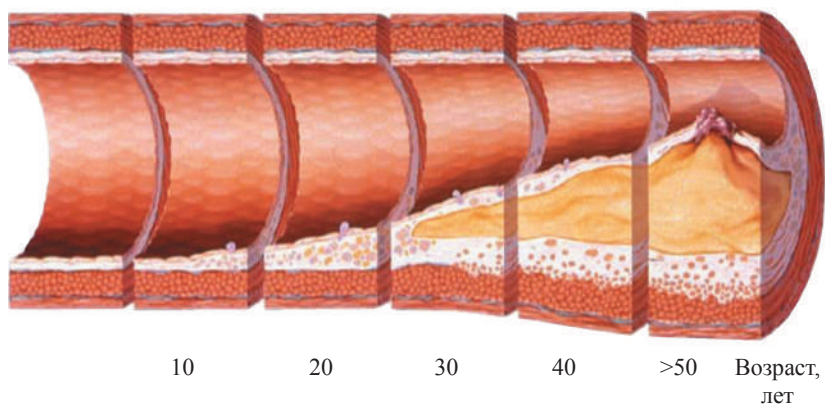


Рис. 21. Возрастные изменения сосудистой стенки

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. Охарактеризуйте изменение интенсивности пластического и общего обмена веществ стареющего организма. В каких биохимических изменениях это проявляется?

2. Охарактеризуйте изменение интенсивности окислительных процессов стареющего организма. В каких биохимических изменениях это проявляется?

3. Как изменяются возможности анаэробного ресинтеза АТФ в пожилом возрасте?

4. Как изменяется уровень молочной кислоты в крови при выполнении стандартной и максимальной работы в пожилом возрасте по сравнению с 20–30-летними людьми?

5. Какие изменения в обмене липоидов происходят с возрастом? К чему это приводит?

6. В результате каких биохимических изменений развивается атеросклероз?

Биохимическое обоснование занятий физической культурой в детском и пожилом возрасте

Задача физической культуры в детском возрасте — способствовать гармоническому физическому развитию растущего организма. Физические упражнения должны способствовать процессам роста и развития, синтезу белка. Усиление процессов синтеза происходит не во время мышечной работы, а в период отдыха, когда энергия, образуемая в результате окислительных процессов, используется для пластического обмена.

Следует учитывать, что чрезмерные нагрузки для детей и подростков особенно опасны. Это связано с тем, что значительное утомление угнетает окислительные процессы и в конечном итоге — возможности синтеза белка, что может отрицательно сказаться на развитии и росте ребенка. По этой же причине нежелательными для детей являются большие силовые (особенно статические) нагрузки. Не следует применять длительные, однообразные физические упражнения, которые быстро приводят к развитию у детей охранительного торможения и ограничивают работоспособность. Физические упражнения, требующие значительного проявления скоростной выносливости, не рекомендуется проводить с детьми, поскольку у них ограничены возможности аэробного и анаэробного ресинтеза АТФ.

Наиболее подходящими для детей являются кратковременные скоростные упражнения, выполняемые повторно, с достаточными интервалами отдыха. Они наиболее разносторонне развивают организм и адаптируют его к мышечной деятельности. Дробная нагрузка с большими интервалами отдыха не угнетает организм ребенка, а стимулирует его физическое развитие. Важным условием занятий физическими упражнениями с детьми и подростками является их разнообразие и эмоциональная насыщенность.

Так, при использовании игровых приемов во время тренировки юных пловцов тренировочные занятия будут более разнообразными и эмоционально окрашенными, это способствует созданию более стойкой мотивации к продолжению занятий плаванием. Следует отметить, что наличие в игре элементов соперничества требует

от тренирующихся детей более значительных физических усилий, а это, в свою очередь, способствует более эффективному воспитанию физических способностей. Применение игровых методов в процессе тренировки позволяет формировать двигательные качества ребенка всесторонне и комплексно, так как во время игры двигательные качества проявляются не изолированно друг от друга, а в тесном взаимодействии между собой.

Все люди с 18-летнего возраста (по достижении совершеннолетия) и до глубокой старости включаются в категорию взрослого населения и условно делятся на следующие группы:

- 1) 18–28 лет — молодежный возраст;
- 2) 29–39 лет мужчины и 29–34 года женщины — 1-й период зрелого возраста;
- 3) 40–60 лет мужчины и 35–55 лет женщины — 2-й период зрелого возраста;
- 4) 61–74 года мужчины и 56–74 года женщины — пожилой возраст;
- 5) 75–90 лет и мужчины и женщины — старческий возраст;
- 6) группа старше 90 лет – долгожители.

К главным задачам физической культуры в пожилом и старческом возрасте относятся сдерживание старения, создание основы для активной деятельности человека. Физкультура и двигательная активность благотворно влияют на психику, на все вегетативные функции – газообмен, процессы пищеварения, сердечно-сосудистую и выделительную системы, эндокринные железы. При выборе величины нагрузок следует, прежде всего, ориентироваться на состояние сердечно-сосудистой и дыхательной систем занимающегося. Организуя занятия с лицами пожилого и старшего возраста, важно придерживаться следующих методических правил:

1. Физические упражнения должны быть строго дозированными по количеству повторений, темпу выполнения и амплитуде.

2. Упражнения с силовыми напряжениями (например, упражнения с гантелями, эластичным резиновым бинтом и др.) рекомендуется чередовать с упражнениями на расслабление.

3. После каждой группы из 3–4 упражнений общеразвивающего характера необходимо выполнять дыхательные упражнения.

4. Во избежание перегрузки необходимо чередовать упражнения для верхних конечностей с упражнениями для нижних конечностей или для туловища, упражнения для мышц-сгибателей — с упражнениями для мышц-разгибателей.

5. У нетренированных людей в начале занятий физическими упражнениями пульс не должен учащаться более чем на 30 уд/мин по сравнению с частотой пульса в состоянии покоя.

6. Сразу после занятий частота сердечных сокращений (ЧСС) у практически здоровых людей не должна превышать 100–120 уд/мин.

7. Во время занятий физическими упражнениями сердце должно работать с определенной, но не максимальной нагрузкой, обеспечивающей безопасный уровень для выполнения непрерывных упражнений. Максимальную частоту сердечных сокращений для людей пожилого и старшего возраста во время занятий следует определять по формуле: $ЧСС = 190 - \text{возраст (лет)}$.

Занятия физическими упражнениями в пожилом возрасте должны задерживать процесс возрастной инволюции, способствовать повышению интенсивности общего обмена веществ и усилению синтеза тканевых белков. Следует отметить, что систематические занятия физическими упражнениями или физическим трудом (особенно на открытом воздухе) задерживают развитие атеросклероза, обеспечивают активную старость, способствуют продлению жизни. При этом происходит снижение уровня холестерина и увеличение лецитина в крови. Лецитин препятствует проникновению холестерина в стенки кровеносных сосудов. У людей пожилого возраста, занимающихся физическими упражнениями, повышается интенсивность окислительных процессов, происходит «омоложение» белкового состава крови.

Для стареющего организма, так же как и для растущего организма, наиболее подходящими являются кратковременные скоростные нагрузки, не требующие больших силовых напряжений и проявления скоростной выносливости. Такие нагрузки в наибольшей степени способствуют повышению интенсивности окислительных процессов, усилению синтеза белка в период отдыха, задерживают наступление старости.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. Каковы задачи физической культуры в детском возрасте?
2. Почему чрезмерные нагрузки опасны для детей и подростков?
3. Приведите примеры наиболее подходящих для детей упражнений.
4. Каковы задачи физической культуры в пожилом возрасте?
5. Охарактеризуйте положительное влияние занятий физическими упражнениями на организм человека в пожилом возрасте.
6. Приведите примеры наиболее подходящих упражнений для стареющего организма.

БИОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ОРГАНИЗМЕ ПРИ ЗАНЯТИЯХ СПОРТОМ

Последовательность биохимических изменений при тренировке и растренировке

Биохимические изменения при тренировке развиваются не одновременно. Наиболее быстро повышаются возможности аэробных процессов и увеличивается количество гликогена. Затем возрастает уровень миозина и повышается интенсивность гликолиза. В последнюю очередь растет количество креатинфосфата (КрФ) в мышцах.

После тренировки в первую очередь возвращается в норму уровень КрФ, затем понижается интенсивность гликолиза и уменьшается количество гликогена. После этого падает уровень миозина и, наконец, в последнюю очередь замедляется интенсивность аэробных окислительных процессов.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- 1) наиболее быстро развиваются и наиболее долго сохраняются биохимические изменения, обеспечивающие выносливость к длительной работе;
- 2) биохимические изменения, способствующие скорости и скоростной выносливости, развиваются медленнее и сохраняются после тренировки небольшой период;
- 3) развитие силы в процессе тренировки и сохранение при растренировке занимает промежуточное положение.

Биохимические изменения при перетренировке

При перетренировке происходит нарушение последовательности биохимических процессов следующим образом:

- 1) сначала нарушаются процессы аэробного окисления: менее полно идет ресинтез АТФ, усиливается образование аммиака NH_3 в мышцах (рис. 22);

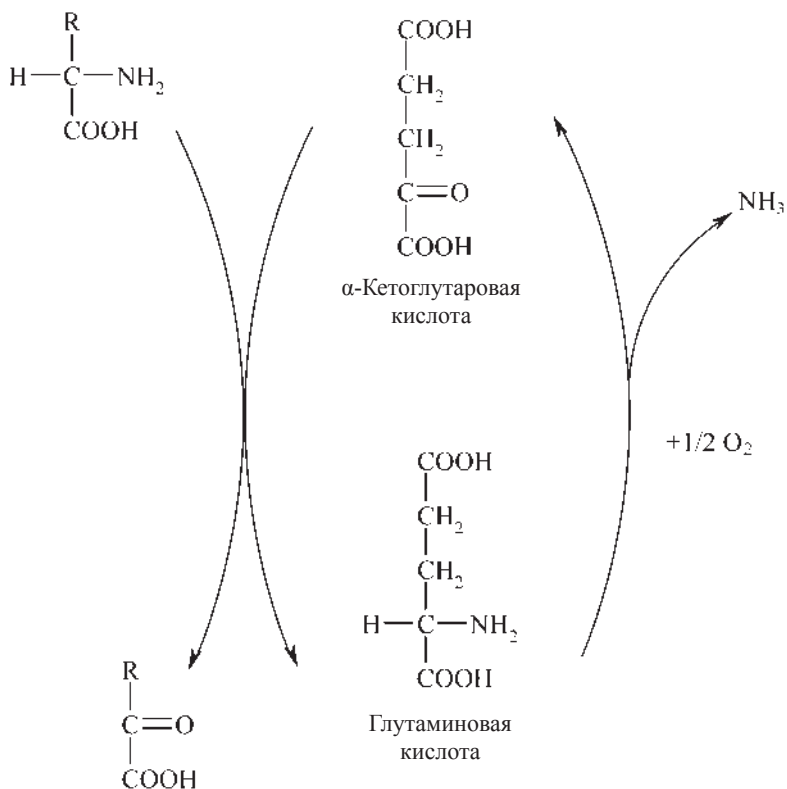


Рис. 22 Схема косвенного дезаминирования

- 2) уменьшается интенсивность гликолиза;
- 3) падает уровень гликогена ($C_6H_{10}O_5$)_n в мышцах (при значительной перетренированности).

Таким образом, общая и скоростная выносливость страдает в большей степени, чем быстрота и сила, поскольку в первую очередь нарушается аэробное окисление.

Для перетренировки характерно менее экономное использование источников энергии при работе, значительная потеря веса тела, увеличение потребности в аскорбиновой кислоте, так как содержание ее в крови резко падает.

Биохимические процессы в период отдыха

В этот период устраняются биохимические изменения в мышцах и других органах и тканях, вызванные мышечной деятельностью.

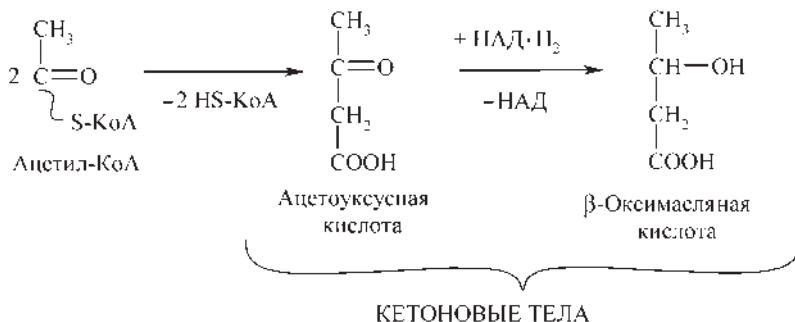
Рассмотрим процессы, происходящие при **мышечной деятельности**:

1. Происходит расщепление АТФ, сопровождающееся превращением химической энергии макроэргической связи в механическую энергию сокращения мышц:



2. На ресинтез АТФ интенсивно расходуются различные вещества: в мышцах — креатинфосфат, гликоген, высшие жирные карбоновые кислоты (ВЖК), кетоновые тела; в печени — гликоген, жиры, ВЖК.

3. В организме накапливаются продукты обмена — фосфорная, угольная, молочная кислота, креатин, АДФ, АМФ, кетоновые тела, аммиак:



Часть из них выводится из организма (CO_2 , NH_3 , мочевины), а часть используется для ресинтеза израсходованных исходных веществ.

4. Происходит увеличение активности ферментов, в результате чего интенсивнее протекают гликолиз, перенос кислорода и аэробное окисление.

В *период отдыха* происходят следующие изменения:

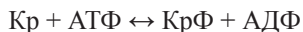
1. В результате повышения активности ферментов отмечается высокая интенсивность аэробного окисления и дыхательного фосфорилирования, которые обеспечивают энергией активно идущие пластические процессы. Потребление кислорода всегда повышено (кислородный долг).

2. Главным субстратом аэробного окисления становится сначала молочная кислота ($C_3H_6O_3$), затем липиды и продукты их расщепления (ВЖК, кетоновые тела).

3. Причиной активации ферментных систем аэробного окисления является накопление в клетках и тканях продуктов расщепления АТФ и КрФ — АДФ, АМФ, креатина. В 1932 г. В. А. Энгельгардт сформулировал правило: «Первичный процесс расщепления всегда вызывает или усиливает реакцию ресинтеза исходных веществ».

Таким образом, при наличии достаточных количеств фосфорной кислоты активаторами дыхания являются акцепторы макроэргических фосфатных групп — креатин, АДФ, АМФ. Все эти вещества образуются в работающей мышце. Снижение потребления АТФ для энергетического обеспечения мышечных сокращений приводит к повышению ее концентрации уже в самом начале отдыха.

При высокой концентрации креатина, образовавшегося в мышцах во время работы, креатинфосфокиназная реакция обращается в сторону образования креатинфосфата:



В работающей мышце образуется 2 моль лактата и 2 моль восстановленного кофермента НАД · Н₂ на 1 моль глюкозы. При хорошем снабжении мышцы кислородом в цикле Кребса образуется большое количество кофермента НАД · Н₂, который подвергается окислению в дыхательной цепи по схеме:



Избыток НАД обращает лактатдегидрогеназную реакцию в сторону образования пирувата:



В дыхательную цепь поступает НАД · Н₂, а пируват в дальнейшем окисляется в цикле Кребса с образованием СО₂ и Н₂О, т. е. в аэробных условиях происходит устранение накопившейся во время работы молочной кислоты, ее уровень в мышцах и крови снижается.

Вся молочная кислота, образовавшаяся в ходе гликолиза из глюкозы, и 1/5–1/6 часть молочной кислоты, образовавшейся при гликогенолизе из гликогена, окисляются в мышцах до СО₂ и Н₂О. От 4/5 до 2/3 молочной кислоты, образовавшейся при гликогенолизе, идет на ресинтез гликогена в цикле Кори в печени (рис. 23).

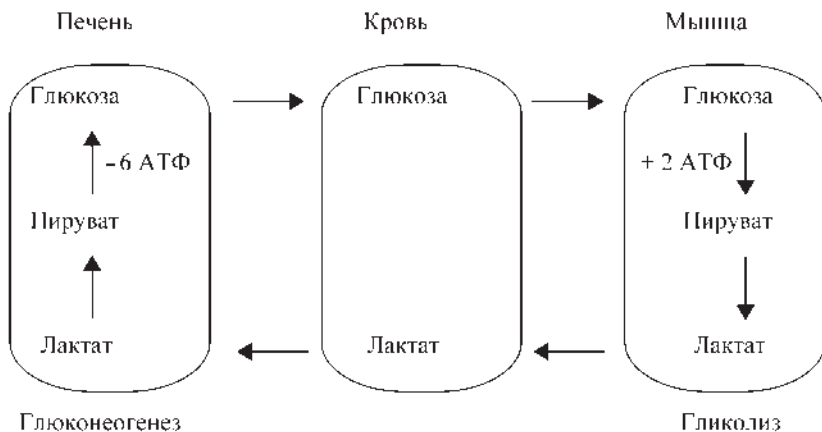


Рис. 23. Цикл Кори

В период отдыха усиливаются и процессы протеинового синтеза. Происходит восстановление уровня тех белков, содержание которых во время работы уменьшилось. Этим процессам предшествует увеличение содержания ДНК и РНК. Для синтеза мышечных белков используются свободные аминокислоты как самих мышц, так и приносимые кровью. Также наблюдается усиление синтеза фосфолипидов. Во время интенсивной мышечной деятельности уровень фосфолипидов в митохондриях мышечных клеток снижается. Это ведет к нарушению целостности мембран, набуханию митохондрий и разобщению процессов дыхания и фосфорилирования. Во время отдыха содержание фосфолипидов в митохондриях возрастает

и постепенно нормализуется, что сопровождается активным сокращением митохондрий и повышением степени сопряженности дыхания и фосфорилирования. При этом количество образовавшейся АТФ на единицу использованного кислорода превосходит дорабочий уровень. Увеличению синтеза АТФ способствует мобилизация липидов как энергетического топлива. Липидные метаболиты (ВЖК, глицерин, кетонные тела) становятся основными субстратами окисления и, следовательно, источниками энергии для процессов ресинтеза. Об этом свидетельствует снижение дыхательного коэффициента (Р/О), который в период отдыха всегда значительно ниже единицы.

В период отдыха в мышцах есть избыток АДФ, АМФ, Кр, Фн. В крови находится большое количество недоокисленных веществ. В результате этого процессы ресинтеза начинают преобладать и происходит не только восстановление, но и сверхвосстановление энергетических субстратов (кривая работоспособности показана на рис. 24). Эту закономерность открыл К. Вейгерг. Она является общебиологической и называется «закон суперкомпенсации» (сверхвосстановления): «Всякая биологическая система, выведенная из состояния динамического равновесия, характерного для состояния функционального покоя, возвращается к нему, проходя фазу избыточного, превосходящего исходный уровень, восстановления химических и функциональных потенциалов».

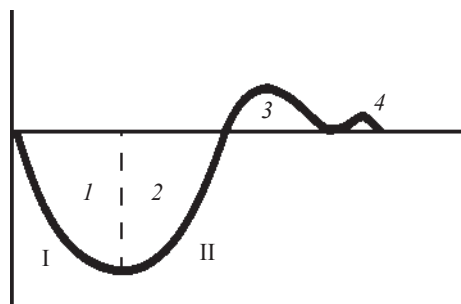


Рис. 24. Схема процессов расходования и восстановления источников энергии при мышечной деятельности:

I — работа; II — отдых; 1 — расходование энергетических субстратов; 2 — восстановление; 3 — сверхвосстановление; 4 — возвращение к исходному уровню

Исследования показали, что интенсивность восстановления, величина и длительность фазы сверхвосстановления зависят от интенсивности процессов расщепления. Чем активнее расщепление, тем быстрее восстановление и тем значительнее сверхвосстановление.

После работы максимальной и субмаксимальной мощности восстановление будет протекать быстрее, но и суперкомпенсация сохраняется недолго. Например, после кратковременной интенсивной работы превышение дорабочего уровня гликогена наблюдается уже через 1 ч отдыха, а через 12 ч количество гликогена уменьшается до исходного уровня. После работы большой длительности суперкомпенсация наступает только через 12 ч, но и повышенный уровень гликогена в мышцах сохраняется более трех суток.

Сверхвосстановление не ограничивается только источниками энергии, а распространяется и на расходуемые при работе мышечные белки, в частности белки митохондрий, саркоплазмы. При этом фаза суперкомпенсации характеризуется наиболее высокой активностью ряда окислительных ферментов и наибольшей степенью сопряженности тканевого дыхания и фосфорилирования, т. е. более эффективным генерированием АТФ в отдыхающей мышце.

Принцип гетерохронности. Восстановление нормального содержания истраченных во время работы веществ происходит в разное время (гетерохронно).

1. Быстрее всего из крови и мышц устраняется избыток молочной и пировиноградной кислот (частично они окисляются, частично используются для ресинтеза гликогена).

2. Нормализуется кислотно-щелочное равновесие.

3. Возвращается к исходному уровню содержание креатинфосфата, затем гликогена и белков мышц. Например, после 15 мин интенсивной работы содержание КрФ в мышцах животных восстанавливается через 30–40 мин, гликогена — через 1 ч, белков — через 6 ч.

4. В ресинтезе этих веществ принимает участие АТФ. Поэтому энергично ресинтезируемая в период отдыха АТФ все время тратится, и восстановление ее нормального уровня в мышцах происходит в последнюю очередь.

Такой порядок восстановления нормальных биохимических соотношений в период отдыха является важной биологической закономерностью и имеет большое практическое значение в процессе спортивной тренировки. Следует отметить, что на процессы восстановления оказывает влияние ЦНС.

В различных органах восстановление происходит также неодновременно. Так, нормальное содержание гликогена прежде всего восстанавливается в головном мозге, затем в миокарде, позднее в скелетных мышцах и в последнюю очередь в печени. Синтез гликогена в мозгу, миокарде, скелетных мышцах может происходить за счет внутренних ресурсов организма или путем перераспределения углеводов в организме (в том числе и за счет поступления глюкозы с пищей). Во время отдыха гликоген частично образуется из молочной кислоты в печени, но полное его восстановление до нормального уровня возможно лишь за счет углеводов, поступающих в организм с пищей.

Биохимические изменения при разминке

Для того чтобы работоспособность спортсмена достигла необходимого высокого уровня, требуется период вработываемости. Это происходит во время разминки перед занятием или соревнованиями. Различают две части разминки:

- 1) разогревание организма спортсмена;
- 2) настройка на выполнение предстоящих упражнений.

Первая часть воздействует на метаболические процессы, а вторая — помогает вспомнить условно-рефлекторные связи, составляющие основу двигательного навыка, спортивной техники. Она является предметом изучения физиологии и психологии.

Установлено, что для повторной работы после короткой фазы отдыха требуется меньше энергии, в меньшей степени повышается уровень молочной кислоты, меньше падает резервная щелочность, возрастает работоспособность. Это же происходит при выполнении нагрузки после разминки. Разминка как бы заменяет начальную фазу мышечной деятельности, когда преобладает анаэробный синтез

АТФ. Очень важно соблюдать интервал между разминкой и основной работой (рис. 25). За это время должен успеть произойти ресинтез расщепившихся при разминке макроэнергетических соединений, но не должны прийти в норму активированные разминкой окислительные процессы. В противном случае эффективность выполнения основных упражнений будет уменьшаться.

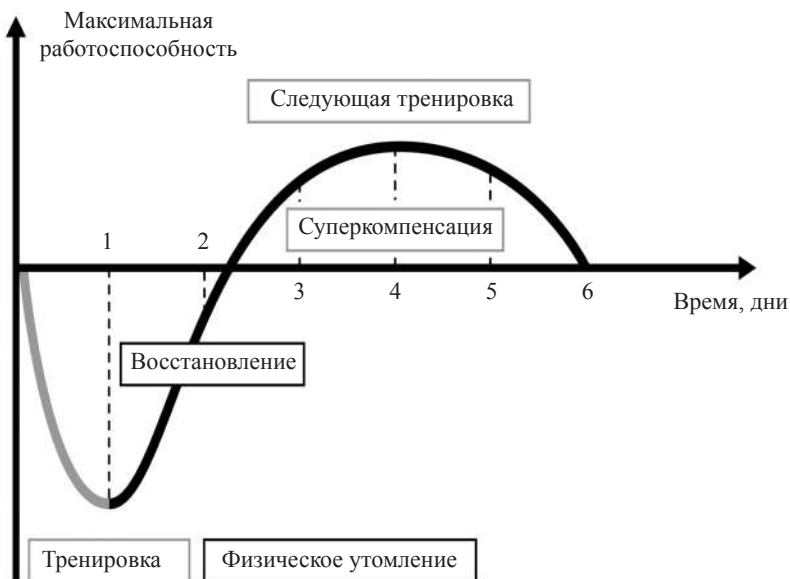


Рис. 25. Соотношение интервалов повторной нагрузки и отдыха

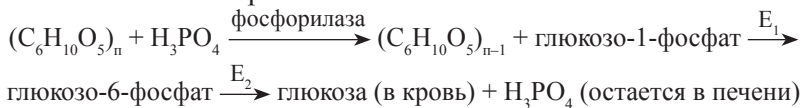
Биохимическая характеристика предстартового состояния

Биохимические изменения происходят не только во время мышечной деятельности, но и за некоторое время до ее начала. Такие изменения называют предстартовыми (табл. 6). Они являются примером влияния коры головного мозга на обмен веществ.

В предстартовом состоянии:

1) усиливается газообмен (т. е. повышается интенсивность аэробного окисления); возрастает уровень сахара в крови (т. е.

усиливается мобилизация гликогена). Мобилизация (расщепление) гликогена в печени протекает по схеме:



E_2 — глюкозо-6-фосфатаза, фермент, который есть в печени, почках, кишечнике, в мышцах его нет. Мобилизация гликогена печени начинается при уменьшении уровня сахара в крови (гипогликемия) и регулируется гормонами — адреналином, глюкагоном, тироксином;

2) растет уровень молочной кислоты в крови (т. е. усиливается гликолиз):



Биохимические изменения в предстартовом состоянии аналогичны таковым при нагрузке. Так, чем больше растет уровень молочной кислоты в крови при нагрузке, тем больше он увеличивается и в предстартовом состоянии. Спортивные игры сопровождаются ростом уровня сахара в крови, это же происходит и в предстартовом состоянии. Величина предстартовых сдвигов зависит от характера предстоящей нагрузки и отношения к ней спортсмена. Перед соревнованиями она больше, чем перед тренировкой. Чем более ответственные соревнования, тем больше предстартовые сдвиги.

Таблица 6

Предстартовые изменения уровня сахара (C_c) и молочной кислоты ($C_{м.к.}$) в крови у спортсменов

Вид спорта	Характер предстоящей работы	Изменения C_c , мг%	Изменения $C_{м.к.}$ мг%
Баскетбол	Тренировка	+2,0	+1,3
	Соревнование (слабый противник)	+32,0	+3,5
	Соревнование (сильный противник)	+73,0	+5,1
Футбол	Календарная игра	+43,0	+6,6
Лыжи (18 км)	Соревнование	+7,0	+1,8

Предстартовые биохимические изменения в крови нельзя объяснить повышенной двигательной активностью спортсмена перед стартом, так как они сохраняются и тогда, когда он длительное время перед стартом находится в состоянии полного покоя.

Предстартовые изменения обмена веществ являются условно-рефлекторной реакцией организма на время, место и условия предстоящей спортивной нагрузки. Спортивная нагрузка вызывает биохимические изменения в организме, а они являются внутренним раздражителем для ЦНС и вызывают с ее стороны ответные безусловные реакции. Время, место и условия выполнения работы постепенно приобретают значение условного раздражителя и превращаются в источник ряда условных рефлексов, т. е. вызывают такие же рефлекторные реакции, как и сама работа. Например, у собак, систематически бегающих по механически движущейся дорожке, сам вид дорожки и звук ее движения вызывали повышение уровня молочной кислоты. У человека предстартовая реакция может появиться и при мысли о предстоящих соревнованиях. У новичков эта реакция меньше, чем у опытных спортсменов.

Условно-рефлекторные предстартовые изменения обмена веществ выполняют функцию «психической разминки», способствуют мобилизации возможностей организма и лучшей вработываемости. Спортсмены с умеренными, но отчетливыми предстартовыми сдвигами находятся в лучших условиях.

Биохимическое проявление утомления

Утомлением называется состояние организма, возникающее при длительной или напряженной работе и характеризующееся уменьшением работоспособности. Утомление не является патологическим состоянием, оно свидетельствует о приближающемся сдвиге в метаболизме. Таким образом, утомление выполняет защитную функцию, предохраняя организм от чрезмерного функционального истощения.

Субъективно чувствуется общая и местная усталость, однако причины утомления зависят от состояния ЦНС, а не от состояния

мышц. Расщепление АТФ в нервных клетках преобладает над ее ресинтезом, поэтому нарушается баланс макроэргических соединений. В нервной клетке уменьшается отношение АТФ к АДФ, в результате чего падает ее специфическая, функциональная активность, и в ней развивается защитное охранный торможение. Результатом этого является увеличение ресинтеза АТФ.

Проявление утомления

1. В результате уменьшения концентрации АТФ в области двигательных нервных окончаний в мышцах нарушается передача нервных импульсов и уменьшается сила и амплитуда сокращений.

2. В мышцах падает АТФ-азная активность миозина и активность ферментов аэробного окисления. Происходит разобщение тканевого дыхания и окислительного фосфорилирования.



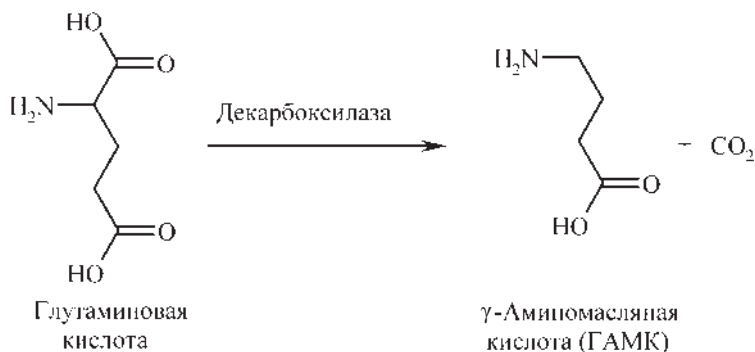
Рис. 26. Схема развития утомления при кратковременной максимальной физической нагрузке

3. В результате этого происходит вторичное усиление анаэробного гликолиза и накопление молочной кислоты, что приводит к снижению рН крови до 7,25–7,15 при норме 7,4. В период соревнований рН крови у спортсменов может снижаться до 7,0–6,9. Это приводит к нарушению гомеостаза, у спортсменов появляются боли в мышцах, головокружение, тошнота.

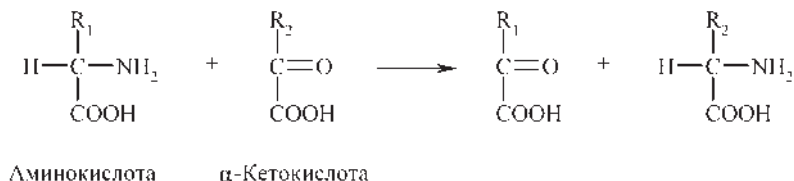
4. Внутриклеточный ацидоз усиливает катаболизм мышечных белков, поэтому значительно повышается уровень мочевины в крови, который сохраняется от нескольких часов до суток и более.

5. В результате длительной работы утомление развивается медленно, а в результате кратковременной и напряженной — быстро (рис. 26).

Между этими формами утомления существуют биохимические различия. Так, при интенсивной и кратковременной работе основной причиной утомления является развитие охранительного торможения в ЦНС из-за нарушения соотношения АТФ/АДФ, вызванного образованием γ -аминоасляной кислоты (ГАМК):

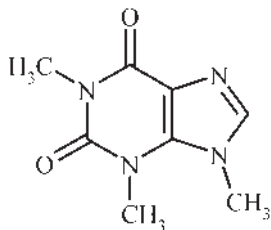


В ходе реакции **трансаминирования** ее участники обмениваются функциональными группами, при этом аминокислота превращается в α -кетокислоту, а кетокислота становится аминокислотой:

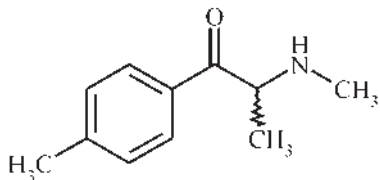


Основными причинами утомления при продолжительной работе являются процессы, приводящие к нарушению энергообеспечения мышц.

Наступление утомления можно отдалить, применяя стимуляторы ЦНС – допинги, например, кофеин, фенамин и др.



Кофеин



Фенамин

В результате охранительное торможение не возникает, и организм лишается внутреннего контроля. Следовательно, допинги вредны для здоровья. Доказательством этого является следующий опыт: белая крыса проплавала 8–10 ч в воде с температурой 30–32 °С. Крыса была сильно утомлена, но после того, как ее согрели и накормили, через 1–2 дня пришла в норму. С фенамином крыса проплавала дольше — 18–20 ч, но через некоторое время погибла.

Работоспособность спортсмена можно увеличить за счет:

- повышения эмоциональной насыщенности тренировок;
- психологической подготовки;
- организации правильного, более рационального питания.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. Какова последовательность биохимических изменений при тренировке и растренировке?
2. Какие биохимические изменения характерны для перетренировки и какова их последовательность?
3. Какие биохимические процессы протекают в организме при мышечной деятельности?
4. Какие биохимические процессы протекают в организме в период отдыха?

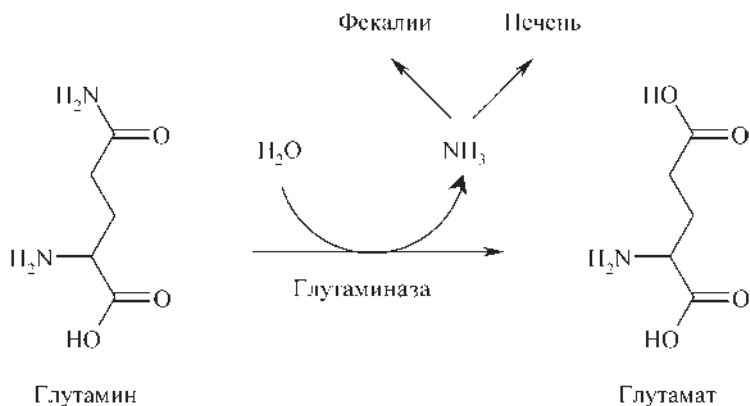
5. Какие вещества являются активаторами дыхания?
6. Как происходит устранение молочной кислоты, накопившейся во время работы? Составьте схему соответствующей реакции.
7. Как изменяется уровень фосфолипидов в митохондриях во время интенсивной мышечной деятельности и во время отдыха?
8. Кто открыл «закон суперкомпенсации» и как он формулируется?
9. Какова взаимосвязь между длительностью периода суперкомпенсации и продолжительностью и интенсивностью мышечной работы?
10. Что такое фаза суперкомпенсации?
11. Каковы правила выбора начала повторной работы на основании явления суперкомпенсации?
12. В чем заключается принцип гетерохронности?
13. В каком порядке происходит восстановление нормальных биохимических соотношений в период отдыха?
14. Что такое период вработываемости и когда это происходит?
15. Какие две части разминки различают?
16. Какие биохимические изменения называют предстартовыми и чем они вызваны?
17. Какие биохимические изменения характерны для предстартового состояния?
18. Уровень предстартовых изменений выше у новичков или у опытных спортсменов?
19. Что называется утомлением и чем оно характеризуется?
20. Какие биохимические изменения происходят в организме при утомлении?
21. Как можно объяснить состояние утомления на основании биохимических процессов, протекающих в мышцах?
22. Как можно увеличить работоспособность спортсмена?

Биохимические изменения во внутренних органах при мышечной деятельности

1. Обмен азотсодержащих веществ и белков при мышечной деятельности. АТФ — источник энергии как для физиологических функций (мышечных сокращений, нервной деятельности, передачи нервного возбуждения), так и для пластических процессов (построения и обновления тканевых белков, биологических синтезов).

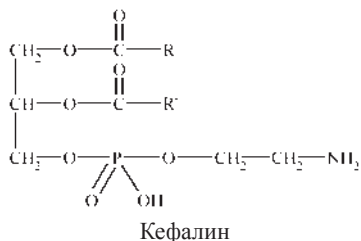
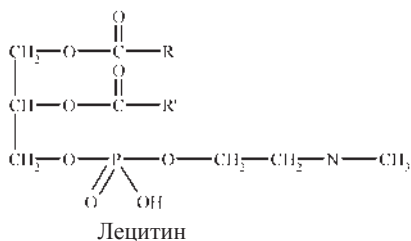
Между этими двумя сторонами жизнедеятельности существует постоянная конкуренция.

В обычных условиях в тканях организма, в том числе и мышцах, постоянно идет обновление белков, процессы расщепления и синтеза (катаболизм и анаболизм) строго сбалансированы и уровень содержания белков остается постоянным. При мышечной деятельности обновление белков угнетается параллельно со степенью снижения содержания АТФ в мышцах. Во время интенсивной мышечной деятельности нарушается баланс между расщеплением и синтезом белков, преобладает расщепление. Содержание белков в мышце снижается, увеличивается количество полипептидов и азотсодержащих соединений небелковой природы, часть их переходит в кровь, возможно появление белка в моче. Особенно значительны эти изменения при силовых упражнениях большой интенсивности. Увеличивается также количество аммиака в крови, который образуется из АМФ (дезаминирование) и глутамина.

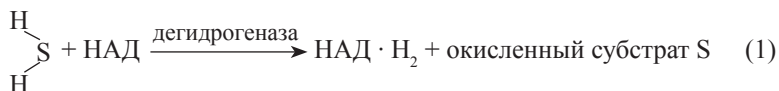


При мышечной деятельности средней и умеренной интенсивности эти явления (аммиак в крови) не наблюдаются.

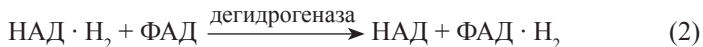
При максимально интенсивной мышечной деятельности из-за недостатка АТФ нарушаются и другие биосинтезы. В митохондриях клеток мышц преобладает расщепление фосфолипидов (лецитин, кефалин, фосфатидилсерин) над их синтезом, в результате снижается содержание этих веществ в мембранах митохондрий.



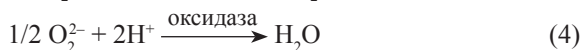
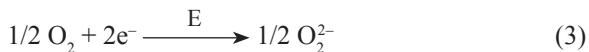
Рассмотрим, как происходит сопряжение процессов окисления субстратов (тканевое дыхание, дыхательная цепь — процессы 1–4) и окислительного фосфорилирования (процесс 5). Окисление большинства субстратов (S) начинается при участии ферментов дегидрогеназ:



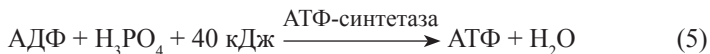
Следующее звено дыхательной цепи представлено дегидрогеназой с коферментом ФАД. Поскольку НАД · H₂ не способен взаимодействовать с кислородом, то он передает «свой» водород на ФАД:



Затем электроны (e⁻) и протоны (H⁺) с ФАД · H₂ передаются на убихинон, с которого далее электроны передаются на O₂ по системе цитохромов, а протоны (H⁺) сразу направляются на O₂, т. е. их пути расходятся:



При переносе двух электронов образуется одна молекула АТФ и выделяется 236,6 кДж (56,6 ккал) теплоты, которая используется при образовании АТФ, переносе ионов внутрь митохондрий и изменении объема и структуры митохондрий, а также рассеивается в виде тепла:



Процесс образования АТФ за счет энергии, выделяющейся при биологическом окислении, был открыт в 30-х гг. XX в. русским биохимиком В. А. Энгельгардтом и получил название *дыхательного (окислительного) фосфорилирования*. То есть процессы дыхания (экзергонические реакции окисления восстановленных молекул НАД · Н₂ или ФАД · Н₂ — реакции 1–4) сопряжены с эндергонической реакцией окислительного фосфорилирования АДФ (реакция 5).

Сопряжение тканевого дыхания и фосфорилирования обеспечивается разницей потенциалов и рН между поверхностями внутренней мембраны митохондрий, которая возникает за счет транспорта электронов (e⁻) в матрикс, а Н⁺ — на поверхность мембраны. Эта разница потенциалов обеспечивает обратное движение Н⁺ в матрикс через протонный канал, при этом активируется фермент АТФ-синтетаза и происходит синтез АТФ. Избыток АТФ транспортируется в цитоплазму в обмен на АДФ (рис. 27).

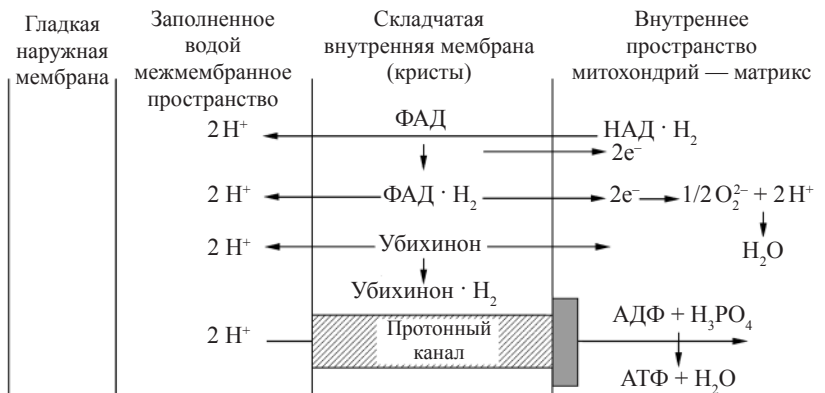
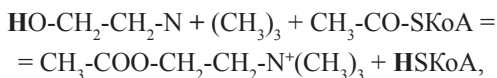


Рис. 27. Трансмембранный перенос ионов водорода и синтез АТФ в митохондрии (F_1 — активированная АТФ-синтетаза)

Суть дыхательного фосфорилирования заключается в том, что реакции переноса электронов сопряжены с фосфорилированием АДФ за счет неорганического фосфата.

В том случае, когда митохондрии набухают, происходит разобщение тканевого дыхания и фосфорилирования. При набухании митохондрий снижается интенсивность окислительного фосфорилирования. Набухание вызывают неорганический фосфат (Фн), ВЖК, Ca^{2+} , гормоны (инсулин, Т4, вазопрессин).

Кроме того, нарушается синтез ацетилхолина:



вследствие чего снижается скорость передачи нервного возбуждения на мышцы.

2. Изменения в сердечной мышце (миокарде). Мышечная деятельность ведет к усилению работы сердца, в результате увеличивается интенсивность обмена веществ в миокарде, наступает рабочая гипертрофия миокарда (рис. 28). Причем ресинтез АТФ даже при интенсивной работе идет за счет дыхательного фосфорилирования, что обеспечивает постоянство ее содержания. Субстратами окисления являются приносимые кровью глюкоза, ВЖК, кетоновые тела и молочная кислота.

Нормальное сердце

Гипертрофическая кардиомиопатия

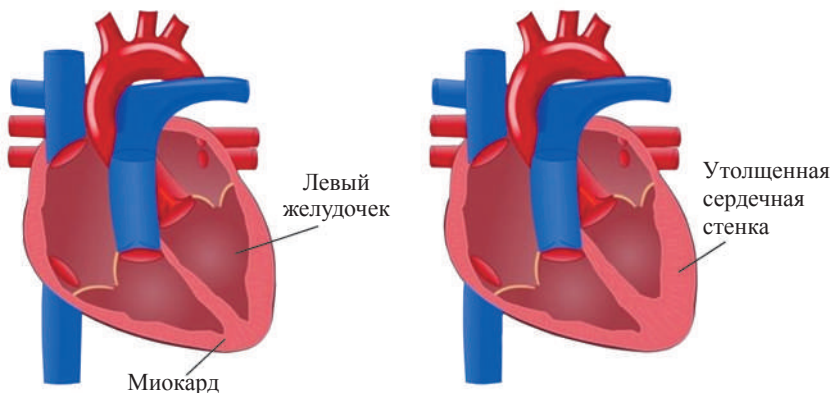


Рис. 28. Нормальное и гипертрофированное сердце

3. Изменения в печени. В печени во время мышечной деятельности гликоген расщепляется до глюкозы, которая переходит в кровь. Особенно интенсивно этот процесс идет при длительной работе, содержание гликогена в печени сильно уменьшается, следовательно, снижается скорость фосфорилирования глюкозы и поступление ее в кровь.

В связи с этим резко ухудшается снабжение работающих мышц, сердца и головного мозга глюкозой — основным энергетическим топливом.

Поэтому при длительных нагрузках (марафон, лыжный марафон, велогонки) необходимо подкармливать спортсменов глюкозой и сахаром:



При длительной мышечной деятельности в печени усиливается образование мочевины в орнитиновом цикле (рис. 29), которая выводится с мочой и потом.

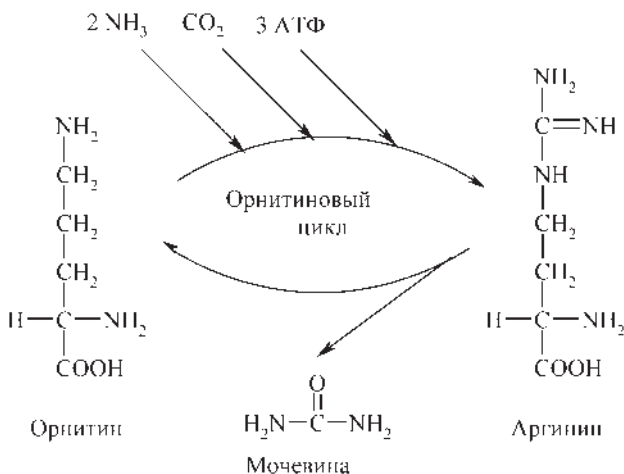


Рис. 29. Схема орнитинового цикла

Потери организмом азота (в виде мочевины) по сравнению с состоянием покоя удваиваются.

4. Изменения в головном мозге. Возбуждение нервных клеток, связанное с двигательной активностью, сопровождается расщеплением АТФ и усилением образования аммиака. Синтез АТФ в головном мозге происходит путем дыхательного фосфорилирования. Поэтому при мышечной деятельности резко возрастает потребление головным мозгом кислорода и сахара из крови.

При работе очень большой интенсивности или длительности содержание АТФ и креатинфосфата в головном мозге, несмотря на интенсивно идущие процессы дыхательного фосфорилирования, несколько снижается.

Роль гормональной регуляции обмена веществ в условиях тренировок и соревнований

Выполнение спортивных упражнений сопровождается изменением функционального состояния желез внутренней секреции (рис. 30). При этом усиливается выделение гормонов в кровь, а они, в свою очередь, влияя на процессы обмена веществ, обеспечивают адаптацию организма к физическим нагрузкам.

Гормоны улучшают мобилизацию источников энергии из депо (сахара из печени, ВЖК из жировой ткани) и поддерживают их уровень в крови. Кроме этого они сохраняют постоянный электролитный состав крови и тканей, а также стимулируют деятельность систем дыхания и кровообращения. Они ускоряют окислительные и биосинтетические процессы, повышают сопротивляемость организма к повреждающему влиянию чрезмерных физических нагрузок.

Таким образом, гормоны обеспечивают высокую работоспособность организма спортсмена. Под влиянием тренировок совершенствуется и эндокринная регуляция обмена веществ. Мощность желез внутренней секреции значительно возрастает.

Уровень гормонов в крови изменяется при выполнении работы разной мощности. Изменение количества адреналина в крови зависит от уровня тренированности спортсмена — у более тренированных людей изменения концентрации катехоламинов (адреналин и норадреналин) меньше. На рис. 31 приведена схема синтеза адреналина и норадреналина в организме.

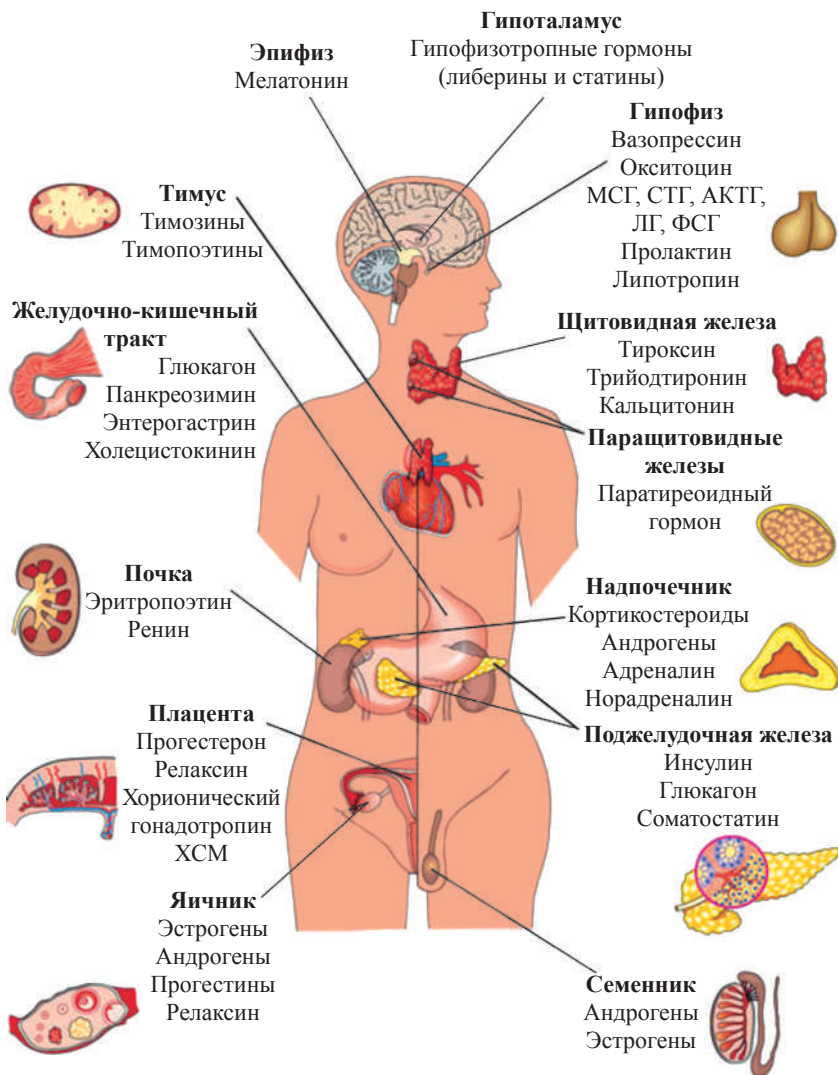


Рис. 30. Железы внутренней секреции и вырабатываемые ими гормоны

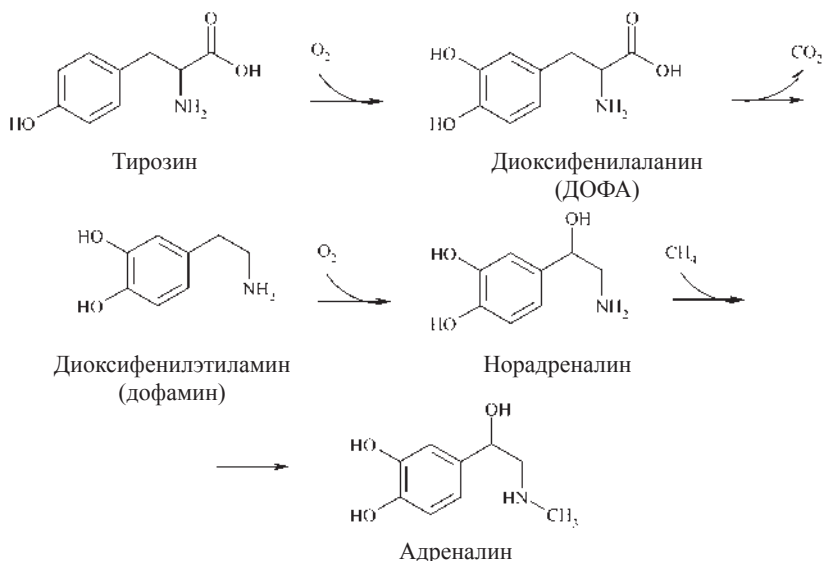


Рис. 31. Схема синтеза адреналина и норадреналина

Однако при выполнении максимальных физических нагрузок тренированными спортсменами уровень катехоламинов в крови достигает более высоких показателей. При длительных физических нагрузках количество катехоламинов доходит до определенного уровня и не изменяется на всем протяжении выполнения работы.

Гормоны поджелудочной железы инсулин и глюкагон контролируют содержание в крови основного энергетического источника — глюкозы, причем они прямо противоположны по действию. Глюкагон способствует высвобождению глюкозы из клеток в кровь, а инсулин, наоборот, снижает уровень глюкозы в крови. Количество глюкагона в крови при мышечных нагрузках постепенно повышается, так как увеличение уровня адреналина при выполнении работы приводит к росту концентрации глюкозы в крови, а она, в свою очередь, стимулирует секрецию глюкагона. Секреция инсулина во время мышечной работы, наоборот, угнетается.

Глюкагон регулирует образование глюкозы из аминокислот белков. Таким образом, он обеспечивает клетки различных органов и тканей необходимой для их функционирования энергией.

Уровень соматотропина (СТГ) (рис. 32) в крови зависит от мощности выполняемой нагрузки и от степени тренированности спортсмена. У хорошо тренированных лиц повышение количества СТГ в крови происходит только при значительных нагрузках. В тренированном организме есть возможности обеспечения соответствия между секрецией и потреблением СТГ и выделения его на повышенном уровне.

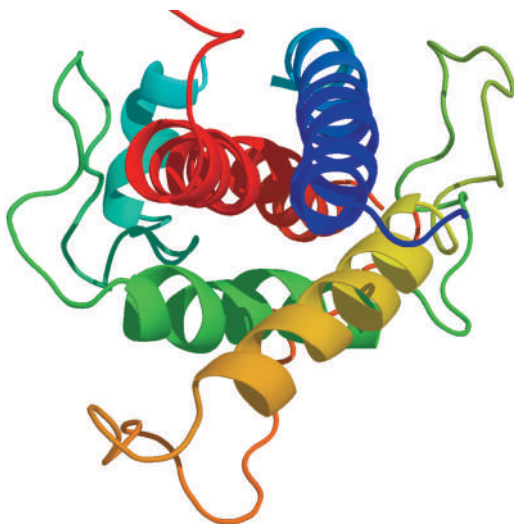
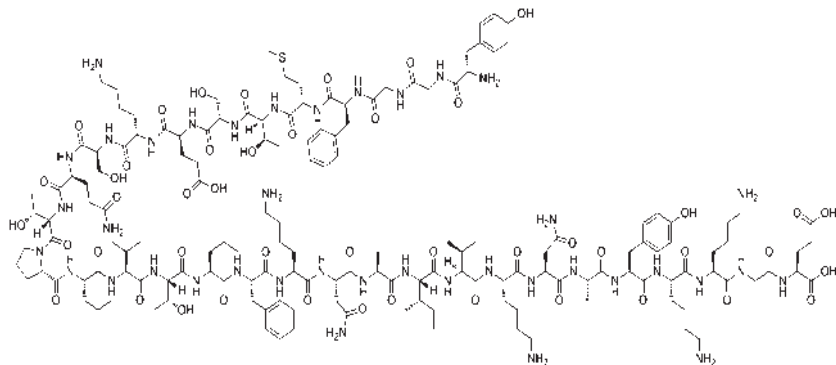


Рис. 32. Строение соматотропина

Во время тренировок и соревнований в кровь выделяются нейропептиды, которые по химической природе являются олигопептидами, образуются в центральной или периферической нервной системе и регулируют функции ЦНС (болеую чувствительность, состояние сон — бодрствование, половое поведение, процессы фиксации информации и др.). Кроме того, нейропептиды управляют вегетативными реакциями организма: регулируют дыхание, артериальное давление, мышечный тонус, температуру тела и т. д.

Бег, велосипедные гонки, гребля, тяжелая атлетика вызывают рост уровня β -эндорфина в крови:



Это один из важнейших нейрогормонов, оказывающий влияние на иммунный ответ и уровень глюкозы.

В литературе имеются данные, подтверждающие факт повышения уровня β -эндорфина в ответ на выполнение упражнений различного характера (аэробных и анаэробных). В ряде работ сообщается о том, что специфичная для β -эндорфина иммунореактивность возрастает после выполнения физической нагрузки в зависимости от ее интенсивности и длительности.

У спортсменов при выполнении физических нагрузок снижается болевой порог под влиянием опиоидных нейропептидов, улучшается настроение. В связи с усилением синтеза и секреции этих гормонов у человека при занятиях оздоровительным бегом появляются положительные эмоции.

Опиоидные пептиды (*Opioid Peptides*) — большая группа физиологически активных пептидов с выраженным сродством к рецепторам опиоидного (морфинного) типа, обнаружены в различных тканях — как в мозге, так и на периферии, обладают широким спектром регуляторной активности. Так, например, эндорфины и энкефалины играют важную роль в системе болевых ощущений, лекарственной зависимости, полового влечения, пищевого насыщения и участвуют в патогенезе ряда психических расстройств, агрессивного поведения.

К стероидным гормонам относятся половые гормоны и кортико-стероиды, в организме они синтезируются из холестерина: кортизол, кортизон, кортикостерон — в коре надпочечников, андрогены (тестостерон) — в семенниках (в клетках Лейдига), эстрогены (эстрадиол, эстриол, эстрол) — в фолликулярных клетках яичников (рис. 33).

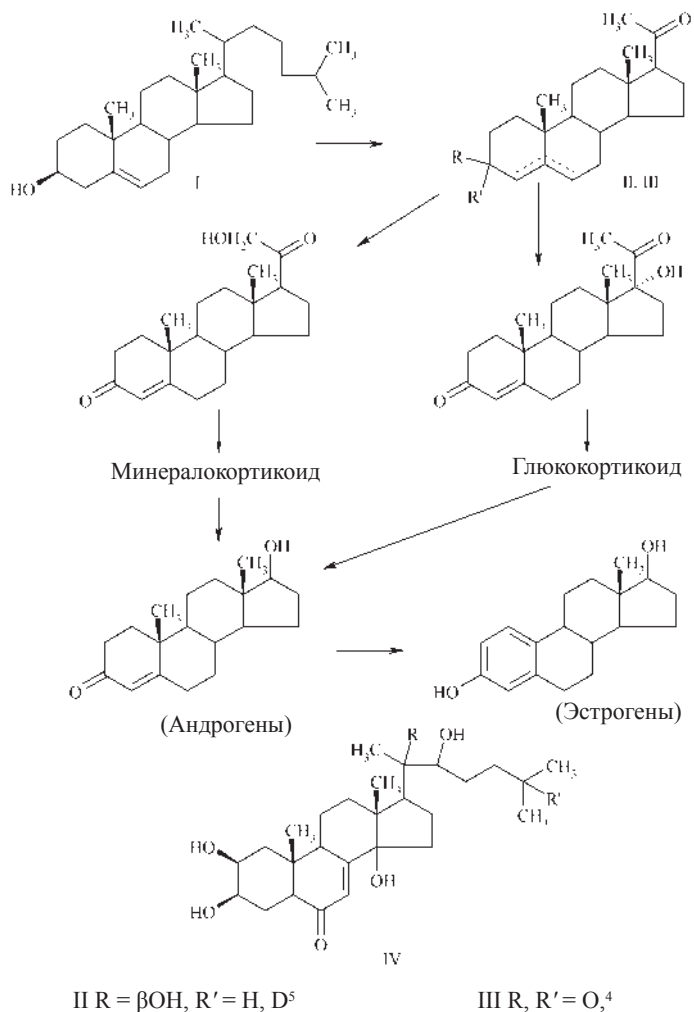
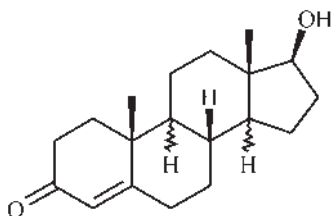


Рис. 33. Схема синтеза стероидных гормонов

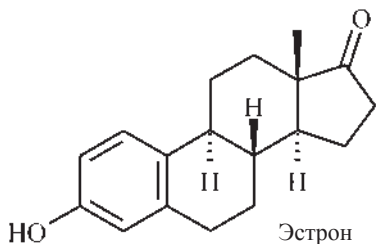
Стероидные гормоны регулируют такие фундаментальные процессы жизни многоклеточного организма, как рост, дифференцировка, размножение, адаптация, поведение.

Уровень стероидных гормонов зависит как от тренированности спортсмена, так и от мощности нагрузки. У нетренированных мужчин при выполнении кратковременных физических упражнений содержание тестостерона увеличивается, а при длительных — снижается. У хорошо тренированных спортсменов уровень тестостерона не снижается даже при выполнении длительной работы (бег на 21 км).

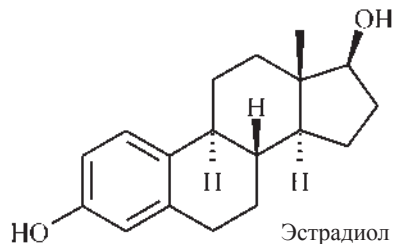


Тестостерон

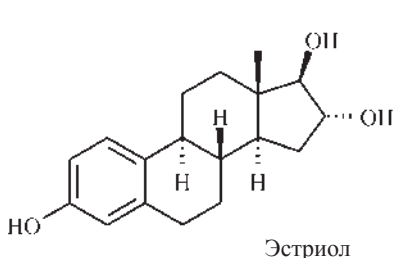
У женщин и нетренированных мужчин при напряженных нагрузках уровень эстрогенов в крови растет, а у тренированных мужчин — снижается.



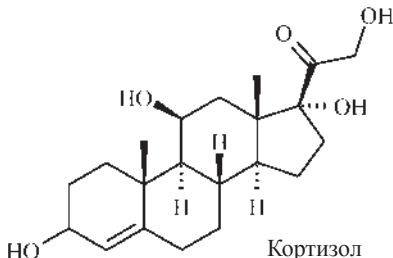
Эстрон



Эстрадиол



Эстриол



Кортизол

Кортизол принимает участие в развитии стрессовых реакций, регулирует углеводный обмен, усиливая синтез глюкозы и гликогена в гепатоцитах и снижая распад глюкозы в мышцах. Следовательно, можно сказать, что физиологический эффект кортизола заключается в сохранении энергетических ресурсов организма. Для кортизола характерен суточный ритм секреции, т. е. его уровень изменяется в зависимости от времени суток: минимальная концентрация гормона наблюдается в вечерние, а максимальная — в утренние часы, в связи с этим при проверке уровня кортизола в крови важно знать оптимальное время для сдачи анализа.

Таким образом, при выполнении достаточно интенсивной и длительной работы происходит повышение уровня адреналина, норадреналина, глюкагона, СТГ, гидрокортизона и других стероидных гормонов, а содержание инсулина в крови при этом снижается. Это обуславливает соответствующие изменения в метаболизме.

Биохимическая характеристика различных видов спорта

Физические упражнения, применяемые в различных видах спорта, отличаются по следующим параметрам:

- 1) по структуре движения;
- 2) величине мышечных напряжений;
- 3) частоте сокращений и расслаблений мышц;
- 4) количеству мышечных групп, участвующих в обеспечении движения;
- 5) длительности выполнения упражнений.

Сравните: спринтерский, марафонский бег и ходьба, игры и поднятие тяжестей, борьба и гребля и т. д. Но многие виды спорта имеют ряд сходных черт, и упражнения, применяемые в этих видах, подразделяют на две группы:

- 1) **циклические** — характеризуются повторностью фаз движения, отличающихся мощностью работы и характером движения (ходьба, бег, конькобежный и лыжный спорт, велосипедный спорт, гребля);

2) *ациклические* — не имеют повторности фаз. Это упражнения кратковременные, однократные, максимальной или субмаксимальной мощности (прыжки, метание, поднятие тяжестей, гимнастика, единоборства, спортивные игры).

Биохимическая характеристика циклических видов спорта

Основное значение для биохимической оценки физических упражнений имеет их мощность. Выделяют 4 зоны мощности работы:

— зона 1 — зона максимальной мощности (предельно возможная продолжительность работы не более 30 с): бег на 100–200 м, прыжки с разбега, плавание на 50 м;

— зона 2 — зона субмаксимальной мощности (предельная продолжительность работы не более 5 мин): бег на 400, 800, 1000 и 1500 м, гребля, бег на коньках на 500, 1500 и 3000 м, плавание на 100, 200 и 400 м;

— зона 3 — зона большой мощности (продолжительность работы до 40 мин): бег на 2, 3, 5 и 10 км, бег на лыжах менее 50 км, бег на коньках на 5 км и 10 км, плавание на 800 м и 1500 м;

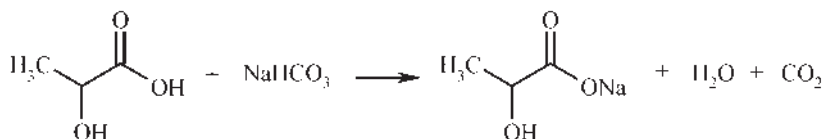
— зона 4 — зона умеренной мощности (продолжительность работы более 40 мин): бег на 15 км и более, спортивная ходьба на 10 км и более, кроссы, лыжные гонки на 50 км, сверхдлинные дистанции в легкой атлетике, плавании, велоспорте.

Бег на 100–200 м и прыжки в длину с разбега

Эти упражнения относятся к первой зоне. Мышцы не обеспечиваются повышенным количеством кислорода, так как кровь не успевает пройти весь большой круг кровообращения. Потребление кислорода никогда не достигает максимального, а относительная величина кислородного долга составляет 95 % и выше. Ресинтез АТФ происходит за счет креатинфосфокиназной реакции, а затем за счет гликолиза (т. е. используются внутримышечные источники энергии). Повышается уровень молочной кислоты: образуется 3–4 г лактата в 1 с.

Эффективность процесса окислительного фосфорилирования измеряется коэффициентом окислительного фосфорилирования $P/O = 2 \div 3$ (ввел его В. А. Белицер). Он показывает, сколько атомов фосфора включено в АТФ на каждый атом кислорода, использованного митохондриями. Если субстрат окисляется с участием НАД⁺, то образуется 3 молекулы АТФ, коэффициент $P/O = 3$. Если же субстрат окисляется с участием ФАД, то коэффициент $P/O = 2$, т. е. образуется 2 молекулы АТФ.

При беге возрастает значение дыхательного коэффициента до 2,0–2,2 в результате усиленного выделения углекислоты, вытесняемой молочной кислотой из бикарбонатов (NaHCO_3):



Величина резервной щелочности (буферная емкость) при этом уменьшается на 40–50 %. Содержание сахара в крови увеличивается или не изменяется, а у малотренированных лиц падает из-за запаздывания мобилизации углеводов из печени. Уровень жира и липидных метаболитов уменьшается, а количество липоидного фосфора возрастает.

Поскольку ресинтез АТФ осуществляется за счет малоэффективного анаэробного фосфорилирования, происходит нарушение баланса АТФ в мышцах. Для упражнений зоны 1 характерна высокая интенсивность обмена веществ, например, расход энергии составляет 3 ккал/с, а при марафоне — лишь 0,3 ккал/с, хотя суммарные энергетические затраты равны 35 ккал и 2000 ккал соответственно.

Общей чертой упражнений зоны 1 является увеличение их «анаэробности» с ростом уровня тренированности. Это проявляется в увеличении относительных размеров кислородного долга. После выполнения таких упражнений все биохимические показатели восстанавливаются через 30–40 мин.

Рассмотрим принцип организации тренировок. В ходе тренировки проводят, во-первых, бег на короткие дистанции (при этом биохимические изменения такие же, но величина их значительно

меньше) и, во-вторых — повторное пробегание. В этом случае биохимические изменения зависят от величины интервалов отдыха. При их постепенном сокращении усиливаются анаэробные биохимические процессы, повышаются возможности анаэробного ресинтеза АТФ, улучшается адаптация к работе в условиях недостаточного потребления кислорода. Основное упражнение в тренировке — скоростной бег максимальной мощности.

Прыжки в высоту и метание

Биохимические характеристики этих упражнений изучены мало, но установлено, что они близки к бегу на 100 м и к гимнастике.

Бег на средние дистанции (400, 800 и 1500 м)

Этот вид относится к упражнениям зоны 2. Характерна высокая интенсивность обмена веществ. Поглощение кислорода максимальное, но не удовлетворяет кислородный запрос, и преобладает также анаэробный ресинтез АТФ.

Величина относительного кислородного долга уменьшается. Он составляет 30–50 %, но с ростом уровня тренированности величина кислородного долга уменьшается, и уменьшается тем больше, чем длиннее дистанция. Основным источником энергии являются углеводы, резко возрастает роль гликолиза (рис. 34).

Уровень сахара в крови значительно растёт, но у малотренированных лиц это выражено в меньшей степени. Повышается выделение молочной кислоты с потом и мочой.

Уровень кислотности (рН) крови и мочи уменьшается, происходит частичное разобщение дыхания и фосфорилирования, температура тела повышается на 1–1,5 °С. Наблюдается альбуминурия, концентрация ВЖК (высшие жирные кислоты, могут быть насыщенные и ненасыщенные) и кетоновых тел не изменяется.

У высокоотренированных спортсменов при беге на 800 м и 1500 м увеличивается количество липидных метаболитов в крови и растёт уровень фосфолипидов. У всех спортсменов, независимо от квалификации, при беге на 400 м нарушается баланс АТФ, а у менее тренированных (II и III разряд) — и при беге на 800 м.

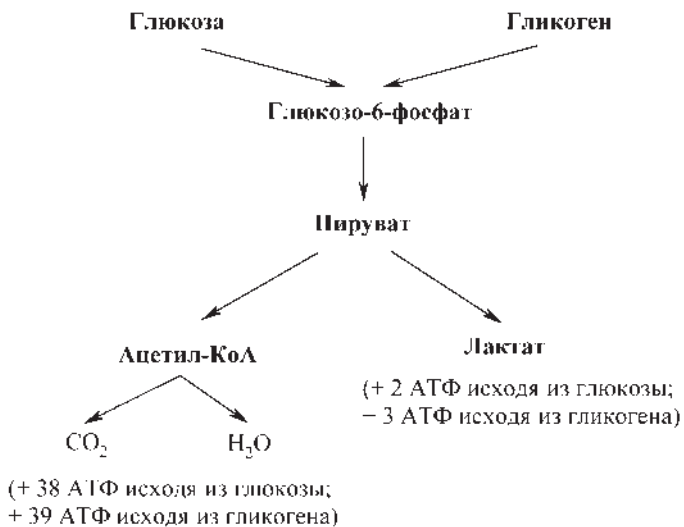


Рис. 34. Схема аэробного и анаэробного гликолиза

В табл. 7 приведено изменение уровня молочной кислоты в организме в зависимости от длины беговой дистанции.

Таблица 7

Выделение молочной кислоты при беге на средние дистанции

Дистанция, м	Уровень молочной кислоты, мг%
400	200–250
800	140–200
1500	160

Характерной особенностью упражнений зоны 2 является возможность возникновения «мертвой точки» по ходу их выполнения. «Мертвая точка» — это внезапное резкое понижение работоспособности, преодолеваемое усилием воли (второе дыхание). При беге на 800 м она возникает на 60–80-й секунде, при беге на 1500 м — на 2–3-й минуте. Но при хорошей тренированности, а также при оптимальной раскладке сил «мертвой точки» может и не быть.

Однако и второе дыхание не является обязательным, спортсмен даже может сойти с дистанции.

Восстановительный период составляет 1–2 ч. Процесс тренировки организуют так же, как и при беге на 100 м. Кроме этого необходимо развивать способность организма переключаться во время работы с анаэробного на дыхательный ресинтез АТФ.

Бег на 3000–10 000 м и спортивная ходьба

Это упражнения зоны 3 — зоны большой мощности. Вначале происходит анаэробный, а затем аэробный ресинтез АТФ из глюкозы, кетоновых тел и свободных ВЖК. Относительная величина кислородного долга составляет 10–30 % от кислородного запаса. Уровень молочной кислоты тем больше, чем короче дистанция (80–150 мг%), в начале дистанции он выше, чем на финише, но при наличии предфинишного состояния снова может повышаться. Содержание сахара в крови растет, но на длинных дистанциях, особенно у малотренированных лиц, падает. Количество жира, ВЖК, кетоновых тел тем больше, чем длиннее дистанция. Растет количество белков в плазме крови, повышается активность ферментов крови. Наблюдаются большие потери воды с потом и выдыхаемым воздухом, потеря в весе составляет 1,5–2 кг.

Восстановление происходит в течение 6–12 ч (иногда за сутки). В этот период спортсмена нужно обеспечить полноценным достаточным питанием, поскольку в полном объеме должны восстановиться израсходованные энергетические запасы. Тренировка должна быть главным образом направлена на повышение возможностей аэробных окислительных процессов, а также и анаэробных, так как они активно участвуют при ускорениях.

Бег на 15, 20, 30 км

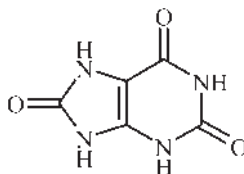
Для этих упражнений характерны большие затраты энергии, в основном за счет углеводов и липидов (табл. 8).

Расход энергии при ходьбе и беге

Деятельность	Расход энергии, ккал в час/кг веса
Ходьба, км/ч:	
менее 3	1,9
5	3,6
6	4
Бег, км/ч:	
8	7,8
9,6	10
10,8	10,9
11,3	11,4
12	12,4
12,8	13,3
13,8	14
14,5	15
16,1	15,9
17,5	17,8

У спортсменов потребность в кислороде составляет около 450 л. Кислородный долг равен 2–10 %. Концентрация молочной кислоты в начале бега выше, чем в конце, выделение ее с потом и мочой невелико. В моче содержатся белки, уровень сахара уменьшается. Чем более тренированный организм, тем это уменьшение выражено в меньшей степени. Инъекции адреналина повышают уровень сахара в крови до нормы без приема пищи.

Интенсивно протекает не только углеводный и жировой, но и белковый обмен. В результате этого повышается количество мочевины в крови и выделение азотсодержащих соединений с мочой. Так, уровень мочевой кислоты повышается в 8–10 раз.



Мочевая кислота

Это указывает на распад нуклеиновых кислот в результате значительного «изнашивания тканей» (рис. 35).

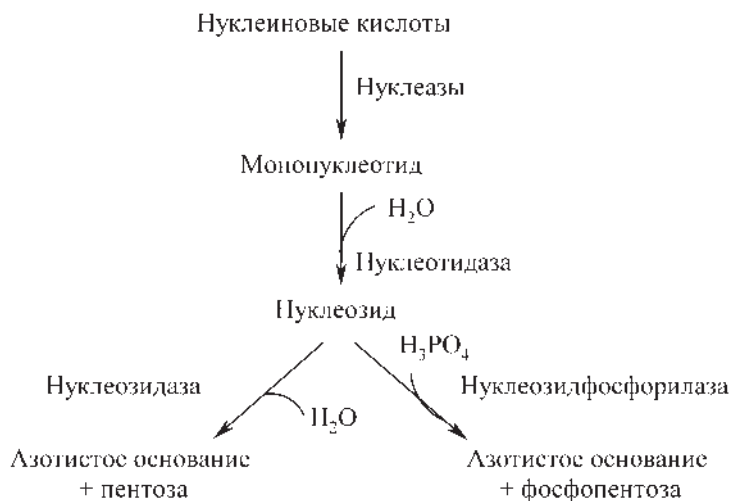


Рис. 35. Распад нуклеиновых кислот

Наблюдаются большие потери фосфатов, аскорбиновой кислоты, воды (потеря в весе составляет 2–4 кг), кровь сгущается. Температура тела повышается до 39,5 °С, следовательно, возможен тепловой удар при занятиях этими видами спорта в условиях высокой температуры и большой влажности воздуха. Восстановление нормального уровня белков, ферментов, ликвидация кислородного долга протекают в течение 2–3 сут.

***Лыжные гонки (у мужчин на 15, 30 и 50 км,
у женщин на 5 км и 10 км)***

Характерно отсутствие нагрузок максимальной и субмаксимальной мощности. По биохимическим процессам лыжные гонки на равнине близки к бегу на 10 км и более (длинные и сверхдлинные дистанции). Кислородный долг составляет 5–15 % кислородного запроса, а под влиянием тренировки еще больше уменьшается.

Уровень молочной кислоты на финише равен 25–40 мг%, а у малотренированных лиц — 100 мг%, рН крови мало изменяется. Содержание белка в моче — 4–10 %. Количество сахара в крови растет на коротких дистанциях и во время эстафеты, падает на дистанции 30 км и больше, а также у малотренированных лиц. Концентрация жира увеличивается, содержание фосфатидов сначала растет, а потом падает. Кроме того, наблюдаются такие изменения:

— в результате обильного потоотделения происходит значительная потеря воды и солей (после гонок концентрация ионов хлора падает на 17 %). Из-за потери воды уменьшается масса тела: при прохождении дистанции 10 км — на 1 кг, 50–70 км — на 2–4 кг (для ограничения потерь воды и возмещения потерь солей в рационе питания следует повышать количество соли до 25–30 г);

— хорошо развиваются аэробные окислительные процессы, поэтому занятия на лыжах — одно из лучших средств для формирования этих процессов у всех спортсменов.

Наименьшие биохимические сдвиги вызывают прогулки и гонки по равнине, а наибольшие — переменные тренировки (5 раз по 100 м; 4 — по 200 м; 3 — по 400 м; 1000 м; 1500 м; 2 раза по 500 м), повторная тренировка (5 раз по 100 м) и переменноповторная тренировка (1500 м; 1000 м; 3 раза по 400 м; 4 — по 200 м; 5 — по 100 м). Такими тренировками в летнее время является бег, а в зимнее — бег на лыжах (табл. 9).

Конькобежный спорт

1. Спринтерские дистанции: 500 м и 1500 м. Нагрузки субмаксимальной мощности. Расход энергии в 2 раза меньше, чем при беге, так как благодаря скольжению делается в 2 раза меньше шагов (табл. 9). Биохимические сдвиги аналогичны сдвигам при беге на средние дистанции (400, 800 и 1500 м).

2. Стайерские дистанции: у мужчин — 5000 м и 10 000 м, у женщин — 3000 м и 5000 м. Работа средней мощности, биохимические сдвиги близки к бегу на длинные дистанции.

**Расход энергии при занятиях конькобежным спортом
и ходьбе на лыжах**

Деятельность	Расход энергии, ккал в час/кг веса
Конькобежный спорт, в общем	6,9
менее 15 км/ч	5,5
Скоростная гонка (соревновательная активность)	15
Фигурное катание	9
Хоккей на льду	7,8
Гимнастика, в общем	4
Дзюдо, карате	10
Ходьба на лыжах, км/ч:	
4	6,9
6–8 (умеренная интенсивность)	7,8
8,1–13 (высокая интенсивность)	9
13 (гонка)	14
Ходьба на лыжах с максимальными усилиями (рыхлый снег, подъем в гору)	16,4
Спуск с горы (умеренная интенсивность), в общем	5,9

Плавание

Характерной особенностью является тот факт, что упражнения выполняются в водной среде, у которой больше плотность и теплопроводность. В связи с этим у спортсмена изменяются условия дыхания и кровообращения; потребление кислорода увеличивается на 35–55 %, так как в воде человек теряет тепла в 4 раза больше, чем в воздухе, повышается теплоотдача, уменьшается потоотделение, усиливается обмен веществ даже без активных движений. По закону Архимеда работа в воде облегчается, однако растут усилия пловца с ростом скорости из-за увеличения сопротивления воды.

1. Короткие дистанции (100 м и и 200 м). На коротких дистанциях работа относится к зоне субмаксимальной мощности. Существенно растет уровень молочной кислоты, падает рН; процент кислородного долга высокий.

2. Средние (400 м) и длинные (800 м, 1500 м) дистанции.

Для средних и длинных дистанций характерны средняя мощность, большая интенсивность аэробных процессов. Наблюдаются самые значительные биохимические изменения. Уровень молочной кислоты в крови и моче, выделение аммиака с мочой повышаются сильнее, чем при беге на ту же дистанцию. У пловцов выделяется меньше молочной кислоты с потом, поэтому меньше сдвиг pH в кислую сторону, меньше потери в весе. Происходит более раннее переключение на использование липидов в качестве источников энергии (рис. 36, 37).

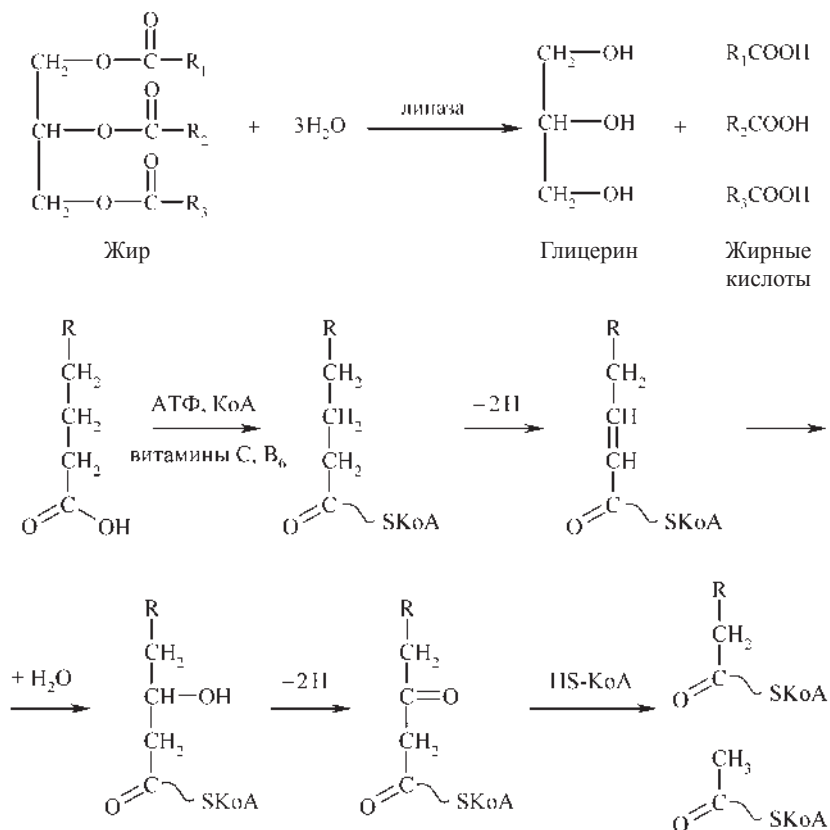


Рис. 36. Схема окисления жирных кислот

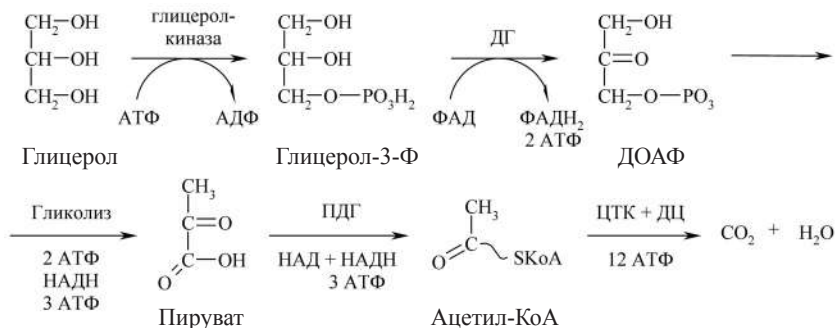


Рис. 37. Схема окисления глицерина

Уровень сахара в крови падает, в связи с чем при дальних заплывах спортсмен нуждается в питании.

Следует отметить, что величина биохимических сдвигов зависит, во-первых, от способа плавания (табл. 10) и, во-вторых, от температуры воды. Самый быстрый способ плавания — кроль. При этом способе плавания энергии расходуется больше, а биохимические сдвиги становятся значительнее. При плавании брассом расход энергии и соответственно биохимические сдвиги меньше.

Таблица 10

Энергетические затраты при плавании

Вид плавания	Расход, ккал/ч				
	на 1 кг массы	на 50 кг массы	на 60 кг массы	на 70 кг массы	на 80 кг массы
Плавание (0,4 км/ч)	3	150	180	210	240
Медленное плавание брассом	6	280	336	392	448
Плавание (2,4 км/ч)	7	329	394	460	526
Медленное плавание кролем	7	350	420	490	560
Плавание быстрым кролем	8	407	489	570	651

Следует отметить, что при уменьшении температуры воды повышаются расход энергии и величина биохимических сдвигов.

Биохимические изменения при ациклических видах спорта

Борьба

Биохимические характеристики мало изучены. Тем не менее можно отметить следующие особенности:

1) в предстартовом состоянии происходит повышенное выделение адреналина, а адреналин обуславливает повышение уровня глюкозы в крови: 1 молекула адреналина вызывает образование 10 тыс. молекул глюкозы (рис. 38);

2) в связи с высоким эмоциональным возбуждением растет уровень сахара в крови до 150–180 мг%;

3) к концу боя до 40–100 мг% повышается содержание молочной кислоты (лактат) в крови, которая образуется в результате анаэробного окисления глюкозы по определенной схеме (рис. 39);

4) восстановление организма происходит за 30–40 мин.

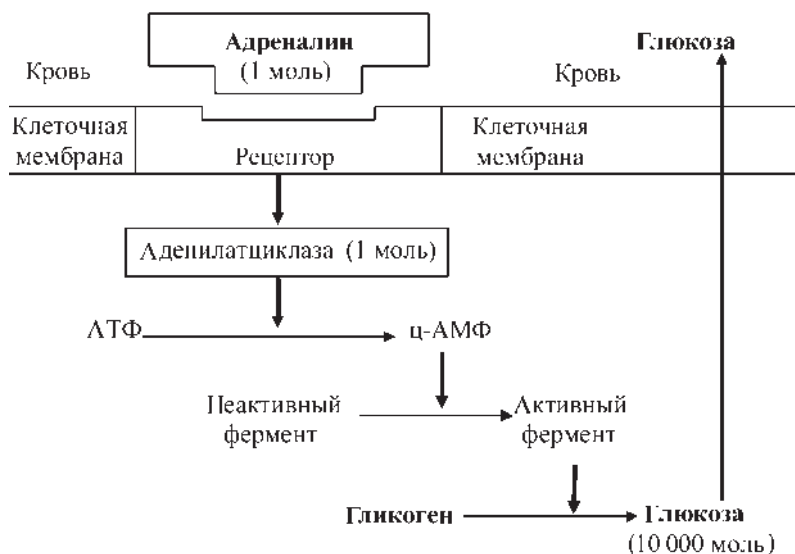


Рис. 38. Механизм передачи сигнала адреналином

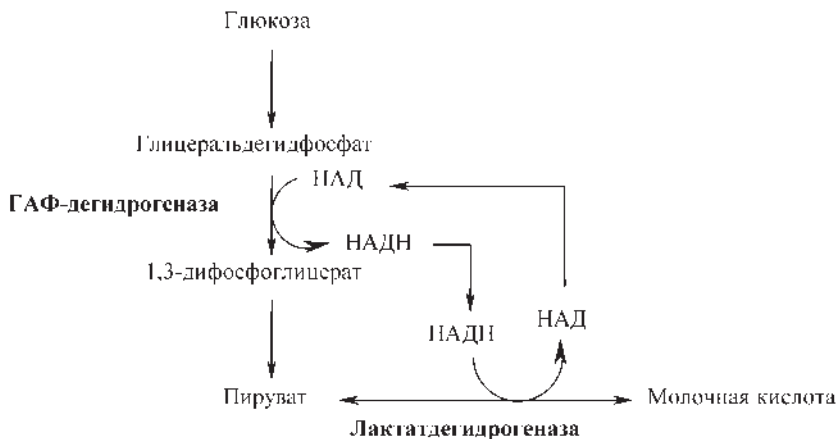


Рис. 39. Схема образования молочной кислоты

Все вышеперечисленные изменения резко выражены у борцов меньших весовых категорий.

Бокс

В качестве источников энергии используются углеводы. Характерна высокая интенсивность гликолиза. Кислородный долг составляет 30 % от кислородного запроса. Уровень лактата все время растет (до 100–150 мг%), так как в перерывах между раундами не происходит восстановления спортсмена. Тренировки характеризуются меньшей мощностью работы, чем соревнования.

Гимнастика

Эти упражнения различаются и по мощности, и по длительности, а значит, и по биохимической характеристике. Одни упражнения мощные, но кратковременные (опорные прыжки, упражнения на снарядах), другие более длительные, но менее мощные (упражнения на бревне). В ходе первых упражнений ресинтез АТФ идет креатинфосфокиназным путем, а затем преобладает аэробный путь (рис. 40).

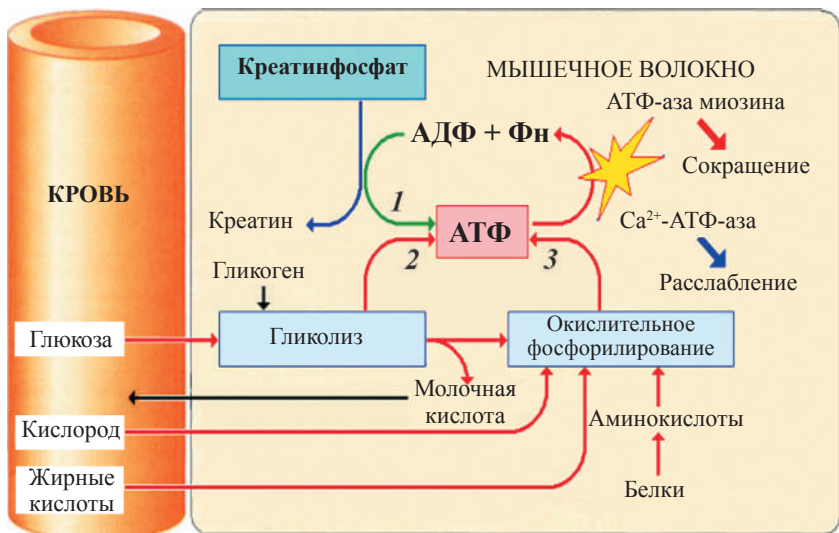


Рис. 40. Схема энергетического обеспечения выполнения нагрузки:
1, 2, 3 — процессы синтеза АТФ

Кислородный долг незначительный и быстро ликвидируется. Существенные биохимические изменения не происходят, так как между гимнастическими упражнениями имеются достаточные промежутки отдыха. Художественная гимнастика вызывает большие биохимические изменения, чем спортивная гимнастика, а их характер одинаков. Гимнастика является хорошим средством для развития координации движений и силы мышечного аппарата.

Спортивные игры

1. Постоянно изменяется мощность и характер деятельности (бег, прыжки, разнообразные удары по мячу), велик общий объем работы. Футболист пробегает за игру 10–15 км, бег умеренной мощности чередуется с бегом со спринтерской скоростью.

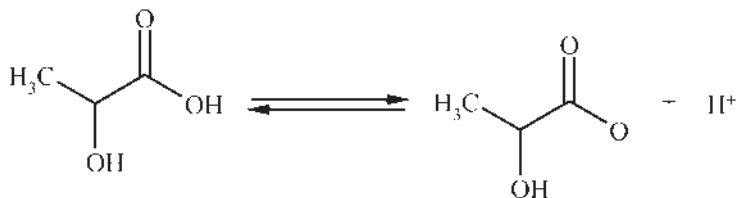
2. Кроме того, непрерывно меняется обстановка, характерно высокое эмоциональное напряжение. В связи с этим происходят значительные биохимические изменения уже в предстартовом состоянии: количество молочной кислоты увеличивается на 50 %

и более, растет уровень сахара в крови (150–200 мг%) и моче. Эти проявления сильнее выражены у волейболистов и баскетболистов, у нападающих и полузащитников в футболе и хоккее.

3. В результате интенсивной мобилизации углеводов во время игры наблюдается высокая концентрация сахара в крови, а также гликозурия.

4. Повышается выделение молочной кислоты с потом и мочой.

5. Резко падает величина рН мочи (среда кислая, рН < 7):



6. Происходят изменения в белковом и пуриновом обмене, о чем свидетельствует усиленное выделение мочевины и мочевой кислоты.

7. Из-за потери воды футболисты теряют в весе 2–5 кг, волейболисты — до 1,5 кг.

8. При тренировках биохимические изменения меньше, чем при соревнованиях.

9. Биохимические сдвиги больше при игре в хоккей с шайбой и футбол; при игре в баскетбол, волейбол, хоккей с мячом, теннис — они меньше.

10. Биохимические изменения в крови выражены в меньшей степени у игроков нападения, полузащитников, защитников, вратарей.

Тяжелая атлетика

Это анаэробные упражнения, связанные с максимальным силовым напряжением за короткое время. В связи с этим ухудшаются условия дыхания и кровообращения. Повышается уровень молочной кислоты и растет ее выделение с мочой. Содержание молочной кислоты тем выше, чем большая работа выполнена спортсменом. Восстановление происходит за 10–20 мин, следовательно, ресинтез АТФ идет за счет креатинфосфокиназной реакции.

Суммарные биохимические изменения зависят от числа подходов к снаряду и величины интервалов отдыха между ними: если они большие, то биохимические показатели успевают восстановиться. Биохимические сдвиги больше у спортсменов среднего и полутяжелого веса, так как у них выше мощность работы на 1 кг веса тела. При толчке расход энергии и биохимические изменения выше, чем при жиме и рывке.

В ходе тренировки мышечная сила развивается более эффективно при работе с большим весом, но в медленном темпе. Однако такая тренировка не развивает выносливость к длительным циклическим нагрузкам, так как вызывает угнетение некоторых окислительных ферментов. Силовая тренировка в более быстром темпе в меньшей степени развивает силу, но создает биохимические предпосылки для развития быстроты и выносливости.

Альпинизм

Работа выполняется на высоте около 3500 м и выше. Восхождение на высоту 6000 м требует длительной и тщательной тренировки, хорошей адаптации. Так как воздух сухой, характерны большие потери воды, быстро падает вес. Так, участники Второй Гималайской экспедиции потеряли 10–12 кг массы тела.

Величина энергетических затрат зависит от характера поверхности (камни, рыхлый снег, лед, крутые склоны, ровная поверхность). При скалолазании требуются большие силовые напряжения, значит значительно больше биохимические изменения, углубляется состояние гипоксии. На больших высотах каждое движение требует отдыха, во время которого происходит анаэробный ресинтез макроэргических соединений в мышцах и ЦНС. При излишней интенсивности движений и при недостаточной подготовленности к высокогорным условиям появляются признаки горной болезни, в основе которой лежит нарушение деятельности ЦНС в результате гипоксии.

Влияние условий среднегорья на биохимические изменения у спортсменов

Различают три горные зоны:

- низкогорье (до 1000 м над уровнем моря);
- среднегорье (до 3000 м над уровнем моря);
- высокогорье (выше 3000 м над уровнем моря).

С ростом высоты падает атмосферное давление: 1000 м — на 12 %, 2000 м — 22 %, 3000 м — 31 %, 5000 м — 50 %. Уменьшается и парциальное давление кислорода: на уровне моря оно составляет 160 мм рт. ст., на высоте 2000 м — 125 мм рт. ст. Поэтому при подъеме в горы ухудшается насыщение гемоглобина крови кислородом и развивается высотная гипоксия.

Горный воздух более сухой, поэтому организм теряет воду, резко возрастает солнечная радиация и ионизация атмосферы (преобладают положительные ионы).

Выполнение интенсивных нагрузок в горах сопровождается большим ростом уровня молочной кислоты в крови, чем при выполнении их на уровне моря. Поэтому возможности выполнения нагрузок при тренировках и соревнованиях ограничены, а восстановительный период более длителен.

Для проведения тренировок и соревнований в условиях среднегорья необходима акклиматизация и постепенное увеличение объема и интенсивности работы. Сначала следует применять нагрузки невысокой интенсивности (прогулки, восхождения, физическая работа), затем повышать интенсивность нагрузок на короткое время и только потом — увеличивать объем работы высокой интенсивности.

Биохимические изменения при выполнении кратковременных скоростно-силовых нагрузок в среднегорье меньше отличаются от биохимических изменений на уровне моря, чем при выполнении более длительных упражнений большой мощности.

Быстрота акклиматизации зависит от уровня тренированности и частоты выездов в горы. Средняя продолжительность акклиматизации составляет 10–12 дней. Быстрее акклиматизируются те спортсмены, у которых на уровне моря преобладают нагрузки субмаксимальной мощности.

В горах резко ограничивается аэробный ресинтез АТФ. В связи с этим упражнения большей длительности выполняются с худшим результатом и являются более трудными для спортсмена. Сюда относятся бег на 400 м, плавание, гребля, велосипедный спорт, бокс, борьба, спортивные игры. Восстановительный период — трудный и затяжной. Для повторного выполнения нагрузок нужны более длительные интервалы отдыха.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. Какие изменения в обмене белков и азотсодержащих веществ происходят при мышечной деятельности?
2. Охарактеризуйте биохимические изменения, вызванные физической нагрузкой: а) в мышцах; б) в печени; в) в миокарде, г) в головном мозге.
3. Какова роль гормональной регуляции обмена веществ при выполнении спортивных упражнений?
4. Чем вызвано увеличение уровня глюкогона в крови спортсменов при физической нагрузке?
5. С чем связано понижение содержания инсулина в крови во время выполнения мышечной работы?
6. Покажите зависимость секреции гормонов от уровня тренированности спортсменов и напряженности мышечной работы на примере:
 - а) адреналина;
 - б) соматотропина;
 - в) стероидных гормонов.
7. По каким параметрам отличаются друг от друга физические упражнения, применяемые в различных видах спорта?
8. Какие упражнения относятся к циклическим? Приведите примеры.
9. Какие упражнения относятся к ациклическим? Приведите примеры.
10. По какому параметру выделяют различные зоны мощности работы?
11. Дайте биохимическую характеристику бегу на разные дистанции.
12. Какие биохимические изменения в организме спортсмена вызывают лыжные гонки? Какие процессы развиваются при занятиях на лыжах у спортсменов?
13. Сравните плавание на разные дистанции по биохимическим изменениям в организме.
14. Какие биохимические изменения происходят в организме при занятиях ациклическими видами спорта:
 - а) борьба;

- б) бокс;
- в) гимнастика;
- г) спортивные игры;
- д) тяжелая атлетика;
- е) альпинизм?

15. Какие климатические особенности характерны для горных зон?

16. Почему при подъеме в горы у человека развивается высотная гипоксия?

17. От чего зависит быстрота акклиматизации спортсмена к горным условиям?

18. Как следует организовывать тренировочный процесс в условиях среднегорья?

19. Какие упражнения являются более трудными для спортсмена и выполняются с худшим результатом в горах?

БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СКОРОСТНО-СИЛОВЫХ КАЧЕСТВ И ВЫНОСЛИВОСТИ СПОРТСМЕНА

Биохимические факторы, определяющие проявление мышечной силы и скорости сокращения

Биохимической основой силы являются структурные белки мышц — актин, миозин и величина АТФ-азной активности миозина (рис. 41).

1. Расслабленное состояние: поперечный мостик не соединен с актином

6. АТФ гидролизуется и поперечные мостики возвращаются в первоначальное положение

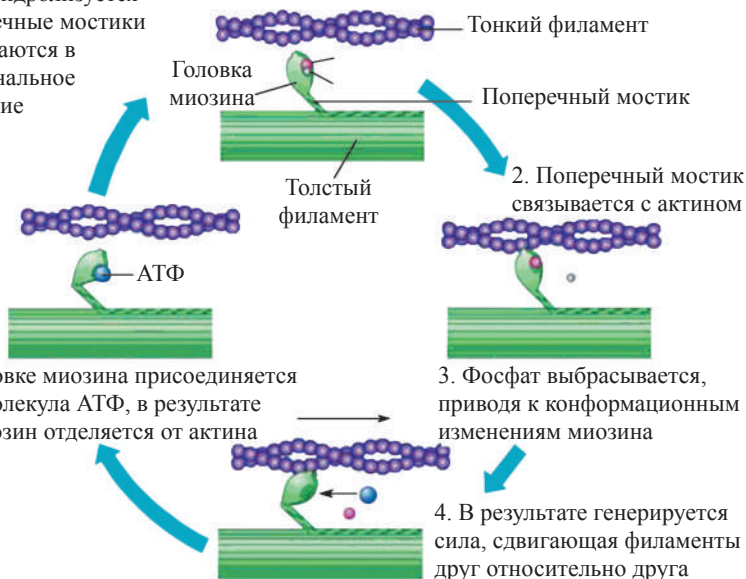


Рис. 41. Механизм сокращения и расслабления мышцы

Сила сокращения мышцы будет тем больше, чем больше ее масса, т. е. чем большим количеством структурных белков она располагает.

Величина максимального мышечного усилия прямо пропорциональна длине саркомера, или длине миозиновых нитей, т. е. степени полимеризации миозина, а также общему содержанию актина. Следует отметить, что степень полимеризации миозина — это генетически обусловленный фактор, он не изменяется под влиянием тренировки, тогда как содержание актина в мышцах находится в линейной зависимости от общего количества креатина. Эти показатели могут быть использованы при контроле за развитием мышечной силы и прогнозировании уровня спортивных достижений в скоростно-силовых упражнениях.

Биохимическая основа быстроты (скорости) также связана с АТФ-азной активностью миозина, т. е. с быстротой мобилизации химической энергии АТФ и превращением ее в механическую энергию мышечного сокращения. Скорость сокращения в мышцах с короткими саркомерами наибольшая, в мышцах с длинными саркомерами — наименьшая. Максимальная скорость сокращения прямо пропорциональна АТФ-азной активности, и в быстро сокращающихся «белых» волокнах она примерно в 4 раза выше, чем в медленно сокращающихся «красных» волокнах.

Биохимические основы связи между силой, скоростью и мощностью сокращения

При движениях человека важны не сила или скорость сокращения сами по себе, а их совместный эффект — мощность усилия.

$$\text{Мощность} = \text{сила} \times \text{скорость}$$

Мощность является линейной функцией от величины суммарной АТФ-азной активности, т. е. общей скорости расщепления АТФ. В быстро сокращающихся «белых» волокнах максимальная мощность равна 155 Вт на 1 кг веса мышц, в медленно сокращающихся «красных» волокнах — 40 Вт/кг.

Биохимические и структурные изменения в мышцах при развитии скоростно-силовых качеств

В процессе тренировки развиваются те биохимические системы, которые имеют наибольшее значение. Силовые упражнения развивают силу, скоростные — быстроту, длительные — выносливость. Однако все эти упражнения в отдельности могут создавать биохимические предпосылки и для развития других качеств.

Для развития скоростно-силовых качеств в настоящее время используются два метода тренировок: метод максимальных усилий и метод повторных предельных упражнений.

Метод максимальных усилий. Предельный объем упражнений с максимальным усилием определяется критической концентрацией креатинфосфата в мышцах (примерно 1/3 от общей алактатной анаэробной емкости). За счет этого количества креатинфосфата можно повторить 5–6 упражнений. При большем повторении возникает локальное утомление, нарушение координации движений и уменьшение мощности. Если концентрация креатинфосфата ниже критической, то усиливается гликолиз и накопление молочной кислоты, резко падает рН. Вследствие этих изменений угнетается миозиновая АТФ-аза, что также приводит к уменьшению максимальной мощности упражнения.

Метод повторных предельных упражнений. Направлен на усиление синтеза сократительных белков актомиозинового комплекса и, следовательно, на увеличение мышечной массы. Величина преодолеваемого сопротивления не более 10 % от максимальной изометрической силы. Упражнения повторяют много раз до отказа. Если величина сопротивления больше 50 %, то кровоток через мышцы резко падает, возникает локальная гипоксия. При этом практически исчерпываются алактатные анаэробные резервы, и в мышцах накапливается свободный креатин, усиливается образование молочной кислоты.

При таких систематических тренировках из-за уменьшения содержания АТФ расщепление белков начинает преобладать над их синтезом и концентрация белков уменьшается. Однако в период отдыха синтез белка усиливается и наступает сверхвосстановление, количество образовавшегося белка превышает дорабочий уровень.

С ростом мышечной массы увеличивается количество миозина, повышается АТФ-азная активность мышц. Все это составляет биохимическую основу качества силы.

Поскольку при силовых упражнениях белки подвергаются наибольшим изменениям, тренировка приводит к усиленному синтезу белка, к росту мышечной массы и АТФ-азной активности мышц. Силовые упражнения сопровождаются анаэробным ресинтезом АТФ, поэтому силовая тренировка приводит к некоторому усилению креатинкиназного и гликолитического ресинтеза АТФ, создавая предпосылки и для развития такого качества, как быстрота. Однако этих побочных явлений недостаточно для достижения высоких спортивных результатов.

Понятие об алактатном, гликолитическом и аэробном компонентах выносливости

В организме есть три различных источника энергии — алактатный, гликолитический и аэробный (табл. 11). Выносливость можно представить как результат различного сочетания параметров мощности, емкости и эффективности этих источников.

В кратковременных упражнениях (10–15 с) высокой интенсивности (90–95 % от максимальной мощности) выносливость зависит от параметров алактатного анаэробного процесса. Наиболее эффективными методами тренировки являются метод непрерывной (длительной) работы и метод повторной (интервальной) тренировки. Отдых должен составлять не менее 2,5–3 мин.

Цель этих методов:

— добиться максимального истощения алактатных анаэробных резервов в работающих мышцах;

— повысить устойчивость ферментов в кислой среде, которая создается в результате накопления H_3PO_4 , АДФ, молочной кислоты.

Для развития гликолитического анаэробного компонента выносливости используются методы однократной предельной, повторной и интервальной работы. При этом упражнения должны обеспечить предельное увеличение анаэробных гликолитических превращений

в мышцах. Для этого упражнение выполняют в течение 30 с — 2,5 мин с предельным усилием, повторяют его 6–8 раз через большие и нерегламентированные интервалы отдыха. Предельное число повторений зависит от уменьшения запасов гликогена в работающих мышцах и уменьшения рН до предела.

Таблица 11

**Биоэнергетические критерии
различных компонентов выносливости**

Критерий	Показатели биоэнергетических систем		
	аэробные	гликолитические анаэробные	алактатные анаэробные
Мощность	Максимальное потребление O_2 , критическая мощность	Максимальный прирост молочной кислоты в крови, максимальное «избыточное» выделение CO_2 , мощность истощения	Скорость распада КрФ, максимальная анаэробная мощность
Емкость	Время удержания максимального потребления O_2 , максимальный O_2 -приход	Максимальное накопление молочной кислоты, общий O_2 -долг, наибольший сдвиг рН	Размеры алактатного O_2 -долга, максимальный расход КрФ, накопление креатина
Эффективность	Кислородный эквивалент работы	Молочнокислый эквивалент работы	Скорость оплаты алактатного O_2 -долга

Интервальная работа выполняется сериями по 3–4 повторения с 10–15-минутным отдыхом для восстановления работоспособности после предельной анаэробной работы.

Для развития аэробного компонента выносливости используют методы однократной непрерывной (объем нагрузки не менее 30 мин) и повторной (общая продолжительность упражнения не менее 3 мин, для вработывания и выхода на стационарное потребление кислорода) работы, а также несколько вариантов интервальной работы. Чем длительнее тренирующие нагрузки, тем в большей степени увеличиваются возможности дыхательного ресинтеза АТФ.

Биохимические факторы, определяющие выносливость

Выносливость — важнейшее физическое качество спортсмена, определяющее общий уровень его работоспособности. Она проявляется в форме продолжительной работы на заданном уровне мощности до первых признаков выраженного утомления. Выносливость зависит не только от свойств мышцы, но и от функциональных возможностей вегетативных систем, состояния ЦНС и внутренней среды организма.

Выносливость измеряется временем работы, выполненной до отказа (предельное время — $t_{пр}$). С биохимической точки зрения выносливость определяется временем функционирования с заданной интенсивностью до полного исчерпания имеющихся энергетических резервов:

$$t_{пр}, \text{ мин} = \frac{\text{Запасы энергии, доступные для расходования, Дж}}{\text{Скорость расхода энергии, Дж/мин}}$$

Биохимической основой выносливости в процессе длительной работы являются потенциальные возможности аэробного ресинтеза АТФ и общая величина энергетических запасов — запасов гликогена в печени и в мышцах.

Выносливость зависит от аэробной и анаэробной производительности. Аэробная производительность измеряется объемом максимально потребляемого кислорода. Анаэробная производительность характеризуется максимальной величиной кислородного долга (рис. 42).

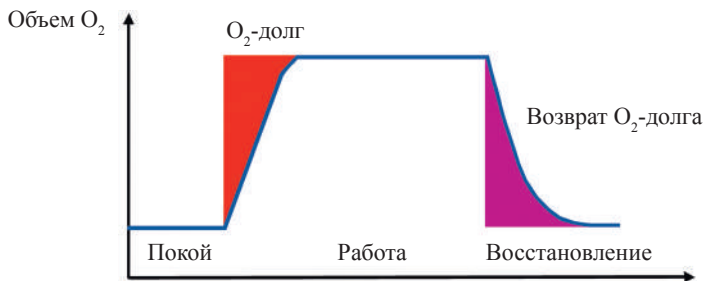


Рис. 42. Потребление кислорода при мышечной работе

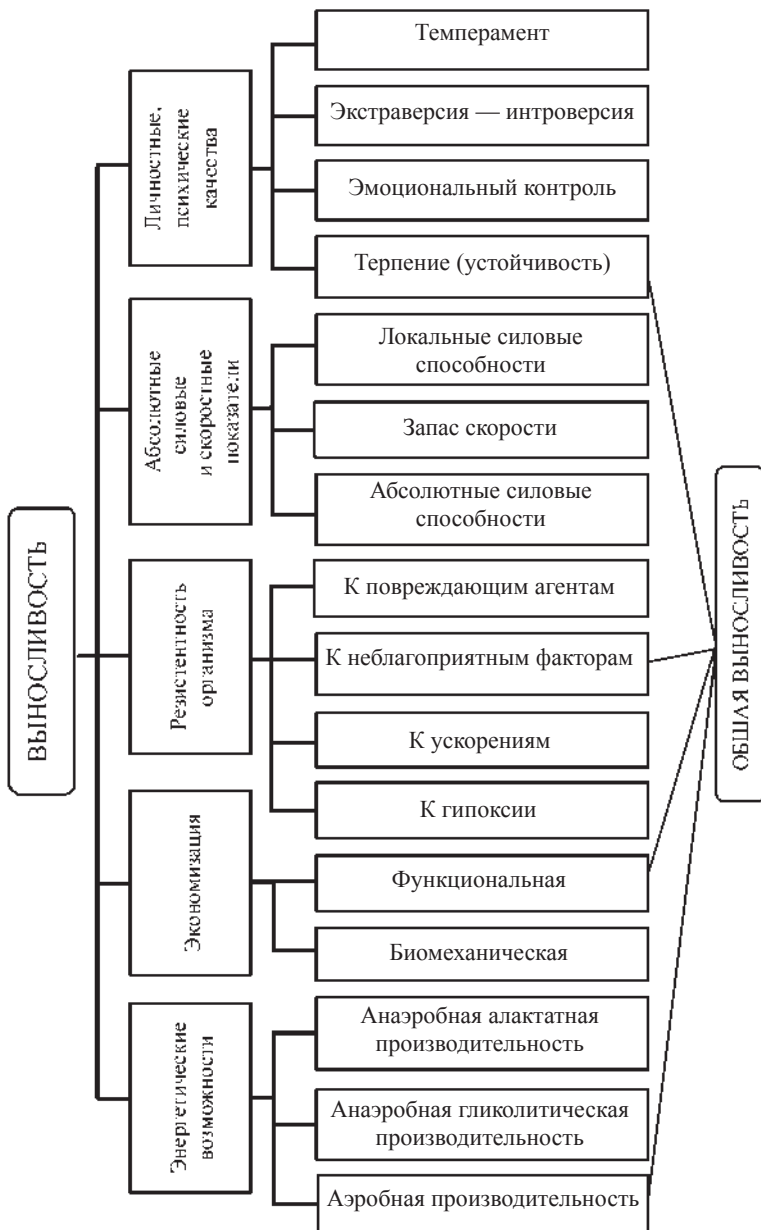


Рис. 43. Компоненты выносливости

В соответствии с интенсивностью и длительностью работы выносливость будет зависеть от величины аэробной и анаэробной производительности или от их сочетания.

Равное использование в подготовке спортсменов физических упражнений различных типов и мощностей способствует развитию и силы, и быстроты, и выносливости (рис. 43). Однако каждое из этих качеств развивается в меньшей степени, чем при специальной тренировке.

Наиболее рационально начинать занятие с упражнений на быстроту и заканчивать упражнениями на выносливость. Силовые упражнения лучше давать в середине или в начале тренировки.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. Что является биохимической основой силы?
2. Что является биохимической основой быстроты (скорости)?
3. Как определить мощность усилия при сокращении мышц?
4. Какие упражнения в процессе тренировки развивают:
 - а) силу;
 - б) быстроту;
 - в) выносливость?
5. Охарактеризуйте методы тренировок для развития скоростно-силовых качеств:
 - а) метод максимальных усилий;
 - б) метод повторных предельных упражнений.
6. Какие биохимические изменения протекают при выполнении силовых упражнений и в восстановительный период после них?
7. Почему силовые упражнения создают биохимические предпосылки для развития качества быстроты?
8. Какие биохимические факторы определяют выносливость?
9. От чего зависит выносливость, в чем она проявляется и чем измеряется?
10. Как определяется выносливость с биохимической точки зрения?
11. Чем измеряется аэробная производительность?
12. Чем характеризуется анаэробная производительность?
13. Какие виды источников энергии в организме вы знаете?

14. В каких упражнениях выносливость зависит от параметров алактатного анаэробного процесса, и какие методы тренировки являются при этом наиболее эффективными?

15. Какие методы тренировки используют для развития гликолитического анаэробного и аэробного компонентов выносливости?

16. В какой последовательности наиболее рационально проводить упражнения на силу, быстроту и выносливость во время тренировочного занятия?

ЗАКОНОМЕРНОСТИ БИОХИМИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ В ПРОЦЕССЕ СПОРТИВНОЙ ТРЕНИРОВКИ

С биологических позиций спортивная тренировка является активной адаптацией, приспособлением человека к интенсивной мышечной деятельности, позволяющим ему развивать большие мышечные усилия и выполнять работу большей интенсивности и длительности. Такая адаптация сопровождается глубокими функциональными изменениями в организме, которые изучаются физиологией спорта. В их основе лежат биохимические изменения, так как всякое изменение функции есть изменение обмена веществ данной ткани или органа и в конечном итоге — организма в целом.

Следует отметить, что биохимические изменения, происходящие в организме под влиянием тренировки, не ограничиваются только мышечной системой, но распространяются на все ткани и органы: кровь, костную систему, печень, сердце, ЦНС и т. д.

Адаптация организма к мышечной деятельности носит фазный характер. Выделяют два этапа адаптации в зависимости от характера и времени реализации приспособительных изменений в организме — срочный и долговременный.

Этап срочной адаптации является реакцией организма на однократное воздействие физической нагрузки. Осуществляются такие процессы во время мышечной работы и выполняют следующие задачи:

- мобилизация энергетических ресурсов;
- транспорт кислорода и субстратов окисления к работающим мышцам;
- удаление конечных продуктов реакций энергетического обмена;
- создание условий для пластического обеспечения работы мышц.

На рис. 44 показана взаимосвязь этапов адаптации.

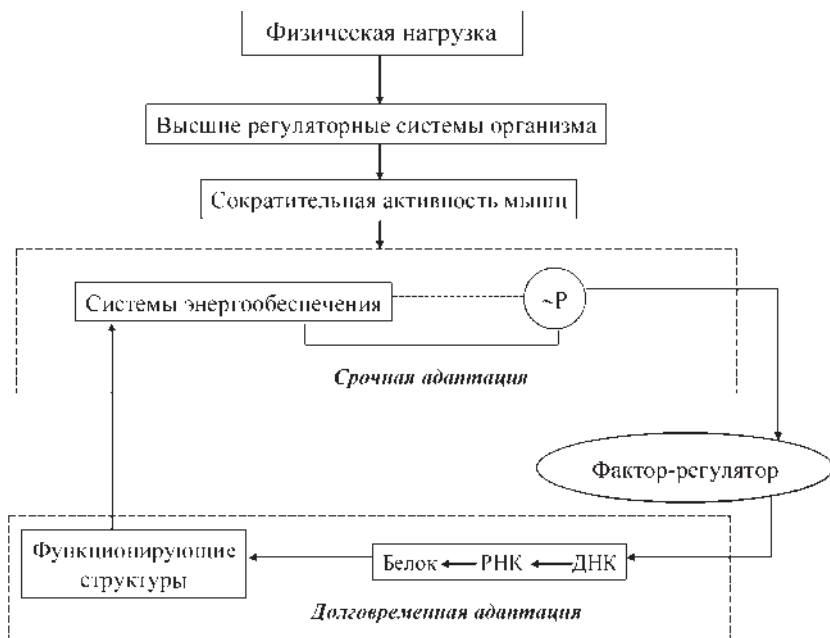


Рис. 44. Взаимосвязь отдельных звеньев срочной и долговременной адаптации

Этап долговременной адаптации сопровождается структурными и функциональными изменениями в организме, приводящими к росту его возможностей. Развивается этот этап в результате многократной реализации срочной адаптации. В процессе долговременной адаптации под влиянием физических нагрузок усиливается синтез нуклеиновых кислот и белков, это приводит к ускоренному образованию клеточных структур и росту мощности их функционирования. Под влиянием мышечной нагрузки увеличивается сократительная активность мышц, что приводит к росту концентрации макроэргических фосфатов в клетке. Эти процессы стимулируют синтез АТФ и восстанавливают нарушенный баланс макроэргов в мышце, что составляет начальное звено срочной адаптации. Срочные адаптационные процессы вызывают усиленный синтез нуклеиновых кислот и белков в результате воздействия на определенные структуры мышц

таких соединений, как креатин, цикло-АМФ, стероидные и некоторые пептидные гормоны.

Закономерности биохимической перестройки мышц под влиянием тренировки

В основе биохимической перестройки мышц под влиянием тренировки лежит взаимозависимость процессов расходования и восстановления функциональных и энергетических потенциалов мышцы. Одной из биохимических основ изменения организма под влиянием тренировки является неизбежно наступающее при мышечной деятельности повышение активности ферментов, сверхвосстановление источников энергии, белков и других макромолекул, затрачиваемых во время работы. Это так называемый ***срочный тренирующий эффект***.

Так как повышенная активность ферментативных систем и сверхвосстановление источников энергии сохраняются в течение некоторого времени после окончания работы, повторная мышечная деятельность может совершаться в более благоприятных биохимических условиях, в большем объеме или с большей интенсивностью. Это, в свою очередь, приводит к дальнейшему повышению функционального уровня. Так, уровень источников энергии и активность ферментов в мышцах после повторной работы, выполненной в фазе сверхвосстановления, оказываются существенно выше, чем после однократной работы, которая выполнялась в период покоя. Это проявление ***оставленного тренирующего эффекта***.

Явления сверхвосстановления распространяются не только на источники энергии, но и на мышечные белки, которые в некоторой степени расходуются во время работы. Во время отдыха происходят ресинтез мышечных белков из продуктов расщепления в мышцах и синтез их из продуктов расщепления резервных белков печени, приносимых к мышцам кровью. Эти процессы лежат в основе увеличения белковой массы мышц, наступающего под влиянием тренировки (рабочая гипертрофия). Различают два типа рабочей гипертрофии мышц (рис. 45):

1) миофибриллярная (происходит увеличение поперечных размеров мышечных волокон в результате роста миофибрилл при силовой тренировке);

2) саркоплазматическая (происходит рост саркоплазмы и увеличение числа митохондрий при развитии выносливости).



Рис. 45. Типы рабочей гипертрофии мышц

Кроме этого в мышцах во время отдыха возрастает активность ферментов гликолиза и синтеза гликогена, происходят и другие биохимические изменения. Многие из них не удастся обнаружить после однократной работы, но при более длительном систематическом упражнении они четко выявляются. Так, в мышцах повышается содержание миоглобина (запасного депо кислорода), а также содержание ряда органических веществ и минеральных элементов, являющихся компонентами субклеточных структур (липоиды), либо активаторами ферментных систем (глутатион, аскорбиновая кислота), либо материалами для построения макроэргических соединений (креатин), либо соединениями, обеспечивающими буферные свойства крови (минеральные элементы). Это проявление *кумулятивных свойств тренировки*.

Таким образом, в мышце в результате работы происходят биохимические изменения, которые неизбежно ведут к повышению функционального уровня. При этом работу и отдых нужно рассматривать как единый процесс, поскольку биохимическая перестройка, начавшаяся во время работы, заканчивается в период отдыха.

Специфичность эффекта тренировки различного характера

Целью тренировки является совершенствование природных показателей спортсмена — скоростных, силовых или выносливости. Поскольку вызываемые тренировкой биохимические изменения являются адаптацией организма к определенному виду мышечной деятельности, следует ожидать, что тренировка в различных физических упражнениях должна приводить к неодинаковым биохимическим изменениям в организме. Это положение было подтверждено опытами на животных и наблюдениями за спортсменами.

Чем больше в процессе тренировки выражен скоростной компонент, чем большей интенсивности нагрузки применяются, тем в большей степени возрастают возможности анаэробного энергетического обеспечения работы (увеличивается содержание КрФ, интенсивность гликолиза). При тренировке на выносливость возрастают возможности аэробных окислительных процессов (гликоген, миоглобин). При силовых нагрузках особенно большие изменения происходят со стороны мышечных белков, содержание которых возрастает наиболее значительно.

Поэтому у представителей тех видов спорта, для которых характерны длительные нагрузки (лыжники, стайеры, марафонцы), с ростом тренированности уменьшается относительная величина кислородного долга, меньшим становится и повышение уровня лактата в крови. Работа по мере повышения тренированности становится все более «аэробной», ресинтез АТФ во время работы все в большей степени осуществляется путем энергетически выгодного дыхательного фосфорилирования. У легкоатлетов-спринтеров, наоборот, с повышением тренированности относительная величина кислородного долга при беге на 100 м несколько увеличивается. Объясняется это тем, что интенсивность работы (быстрота бега) с ростом тренированности возрастает, а длительность работы (время прохождения дистанции) уменьшается, что создает еще худшие условия для снабжения организма необходимым количеством кислорода.

Исследования также показали, что биохимические изменения во внутренних органах и ЦНС зависят от применяемых в тренировке

нагрузок (табл. 12). Адаптация как мышечной системы, так и всего организма, происходящая под влиянием тренировки, является приспособлением не к работе вообще, а к конкретным ее видам. Биохимические изменения специфичны и зависят от характера тренирующих нагрузок.

Таблица 12

Биохимические изменения в мышцах животных под влиянием систематических тренировок различного характера (% от уровня нетренированных животных)

Характер тренировки	КрФ	Гликоген	Миоглобин	Актомиозин	Интенсивность гликолиза	Интенсивность тканевого дыхания
Длительные нагрузки на выносливость (темп — 60 сокращений за 1 мин)	56	153	60	3	37	44
Скоростные нагрузки (темп — 208 сокращений за 1 мин)	168	70	24	13	82	40
Скоростные упражнения с применением силовой нагрузки, увеличивающейся к концу	150	150	40	37	74	20

Следовательно, биохимической основой силы являются прежде всего структурные белки мышц и в особенности сократительный белок миозин и величина его АТФ-азной активности, определяющей способность организма к быстрой мобилизации химической энергии АТФ и превращению ее в механическую энергию мышечного сокращения. При этом сила сокращения и преодоления сопротивления для всей мышцы будет тем больше, чем больше ее масса, т. е. чем большим количеством структурных белков она располагает.

Биохимическая основа быстроты также связана с АТФ-азной активностью миозина, т. е. с быстротой мобилизации химической

энергии. Однако при выполнении большинства спортивных упражнений быстрота не может быть достигнута без скоростной выносливости — способности продолжать быстрые и интенсивные мышечные сокращения во времени. Биохимическая основа скоростной выносливости связана с потенциальными возможностями анаэробного ресинтеза АТФ, а также с адаптацией организма к работе в относительно анаэробных условиях.

Биохимической основой выносливости к длительной работе являются потенциальные возможности дыхательного аэробного ресинтеза АТФ и общая величина запасов жиров (триацилглицериды — ТАГ, рис. 46), а также гликогена в печени и мышцах.

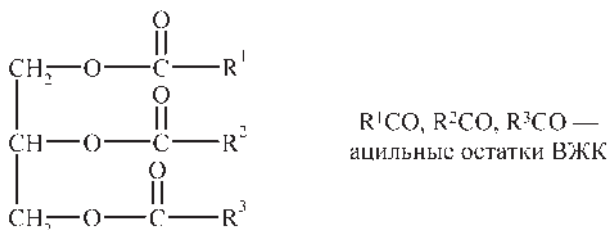


Рис. 46. Структура жиров (триацилглицеридов)

Совершенствование качеств двигательной деятельности в процессе тренировки связано с характером и методикой выполнения физических упражнений. Силовые упражнения развивают прежде всего силу, скоростные — быстроту, длительные — выносливость. Однако упражнения, направленные на развитие какого-то одного качества, могут создавать биохимические предпосылки и для развития других качеств.

При выполнении скоростных упражнений максимальной интенсивности ресинтез АТФ происходит анаэробным путем, поэтому под влиянием тренировки увеличиваются возможности анаэробного ресинтеза АТФ, что является биохимической основой быстроты и скоростной выносливости. В то же время при такой работе затруднен синтез белков, их расщепление преобладает над синтезом и содержание белков в мышце падает. В период отдыха синтез белков усиливается, наступает их сверхвосстановление и содержание

становится выше, чем до работы. Происходит увеличение массы мышц и количества миозина в них, возрастает АТФ-азная активность мышц — это биохимическая основа силы. Кроме того, в период отдыха анаэробный ресинтез АТФ сменяется аэробным окислением и дыхательным фосфорилированием, что приводит к увеличению возможностей аэробного окисления, а это и является биохимической основой выносливости к длительным нагрузкам.

Таким образом, применение в процессе тренировки скоростных нагрузок не только приводит к развитию быстроты и скоростной выносливости, но и создает предпосылки для развития силы и выносливости к длительной работе (наиболее разностороннее влияние на организм спортсмена). В противоположность этому длительные упражнения на выносливость влияют на организм в процессе тренировки наиболее односторонне, а именно — хорошо развивают возможности аэробного ресинтеза АТФ и приводят к увеличению запасов гликогена в печени. На рис. 47 приведена схема синтеза гликогена.

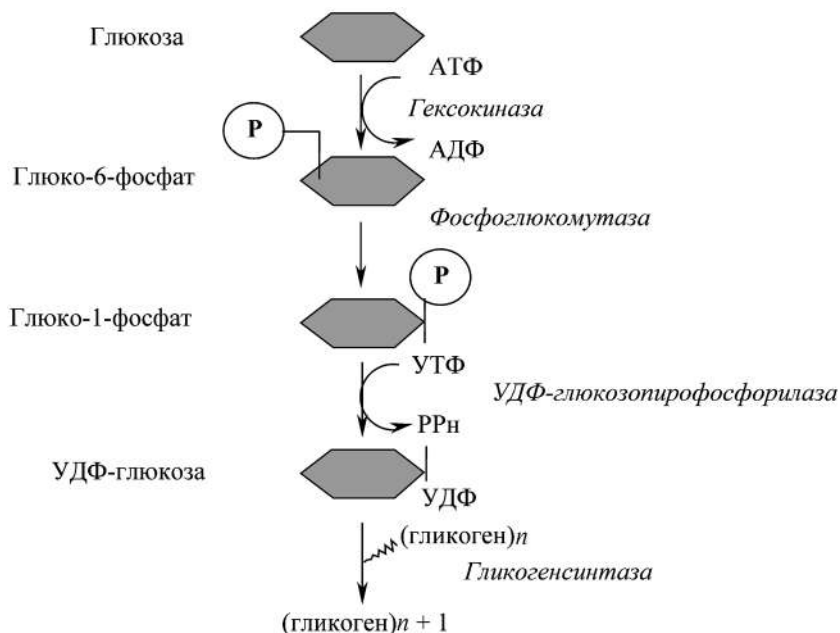


Рис. 47. Схема синтеза гликогена

Тренировка с силовыми упражнениями приводит к увеличению мышечной массы и АТФ-азной активности мышц, кроме того, силовые упражнения в значительной мере сопровождаются анаэробным ресинтезом АТФ, что приводит к некоторому увеличению креатинкиназного и гликолитического ресинтеза АТФ, создавая предпосылки для развития качества быстроты.

Для достижения высоких спортивных результатов подготовка спортсмена должна быть разносторонней, направленной на развитие биохимических основ всех главных двигательных качеств.

Адаптационные биохимические изменения, лежащие в основе повышения работоспособности в результате систематической тренировки

Мышечная система

1. В процессе тренировки в мышцах происходят определенные биохимические изменения, которые прежде всего отражаются на морфологии мышечных волокон. Так, например, увеличивается их толщина, наступает рабочая гипертрофия (см. рис. 45). Это ведет к увеличению силы мышц и их механической прочности. Внутри клеток мышц изменяется форма ядер, структура двигательных нервных окончаний, т. е. увеличивается число контактов между нервным окончанием и сарколеммой, растет скорость передачи нервных импульсов.

Увеличивается число митохондрий, они претерпевают значительные морфологические и функциональные изменения: становится больше внутримитохондриальных гребней, сокращается расстояние между ними, повышается активность ферментов, локализованных на их внутренних мембранах.

В результате этого возрастает интенсивность транспорта электронов и процессов окислительного фосфорилирования, образуется больше АТФ, возрастают энергетические возможности скелетных мышц.

2. Под влиянием тренировки в мышцах увеличивается содержание миозина, обладающего ферментативными свойствами, что ведет

к усилению способности мышц расщеплять АТФ, т. е. мобилизовать химическую энергию и превращать ее в механическую энергию мышечного сокращения.

3. В мышцах увеличиваются запасы источников энергии, необходимых для ресинтеза АТФ (креатинфосфата, гликогена, липоидов), повышается активность ферментов, катализирующих и аэробные окислительные процессы, и анаэробный гликолиз. Следовательно, повышаются возможности как дыхательного, так и анаэробного ресинтеза АТФ в промежутках между сокращениями.

4. Концентрация АТФ в мышцах под влиянием тренировки не изменяется. Однако значительно возрастает скорость обменных реакций, обновления АТФ. Тренированные мышцы могут выполнить большую работу, чем нетренированные, при одинаковом содержании АТФ.

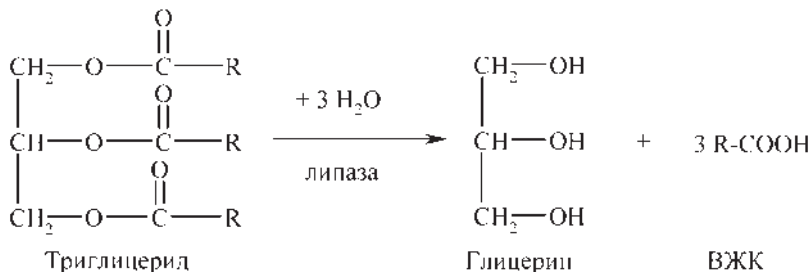
5. Увеличивается содержание миоглобина, который присоединяет кислород более активно, чем гемоглобин. В результате в мышцах возрастает резерв кислорода, который может быть использован в условиях неполного удовлетворения потребности в нем организма.

6. В мышцах увеличивается содержание белков мышечной стромы, отвечающих за механику расслабления мышц. При этом способность к расслаблению мышц улучшается, они становятся более реактивными.

Внутренние органы и кровь

В *печени* увеличивается содержание гликогена и возрастает активность ферментов углеводного, белкового и жирового обмена.

В *подкожной клетчатке и легких* увеличивается активность липаз, ферментов, расщепляющих жиры до глицерина и ВЖК:



Следствием этого является то, что в организме увеличиваются запасы источников энергии, и он получает возможность энергично мобилизовывать их при работе и быстро восстанавливать в период отдыха. Энергетический эффект окисления насыщенных ВЖК можно рассчитать по общей формуле:

$$[(n/2 - 1) \cdot 5 + n/2 \cdot 12] - 1 = (n/2 \cdot 17) - 6,$$

где n — количество атомов углерода в молекуле ВЖК;

$(n/2 - 1)$ — количество циклов β -окисления ВЖК;

5 — выход АТФ в одном цикле β -окисления ВЖК;

$n/2$ — число ацетильных остатков, образующихся при β -окислении ВЖК;

12 — выход АТФ при окислении ацетил-КоА в цикле Кребса до CO_2 и H_2O .

Энергетический эффект окисления триацилглицерида можно рассчитать по общей формуле:

$$22 + 3 \cdot [(n/2 \cdot 17) - 6],$$

где 22 — выход АТФ при окислении глицерина;

3 — количество молекул насыщенных ВЖК в составе одной молекулы триацилглицерида;

$[(n/2 \cdot 17) - 6]$ — выход АТФ при полном окислении ВЖК.

Мышца сердца подобно скелетным мышцам гипертрофируется (см. рис. 28), в ней растет количество миоглобина, повышается интенсивность окислительных процессов, почти вдвое увеличивается задержка в крови сахара и молочной кислоты с последующим окислением. Это приводит к высокому уровню АТФ даже при недостаточном снабжении кислородом.

В **крови** растет количество гемоглобина и эритроцитов, повышается ее кислородная емкость, увеличиваются буферные свойства крови (ее резервная щелочность).

Костная система. Происходит ее утолщение за счет увеличения содержания костного белка (оссеина), повышается содержание минеральных веществ.

ЦНС. Увеличиваются буферные свойства ткани головного мозга, повышается активность окислительных ферментов. В результате

при интенсивной мышечной деятельности содержание КрФ и АТФ в головном мозге длительное время удерживается на высоком уровне, что очень важно для нормального функционирования ЦНС и отдаления времени наступления утомления.

Таким образом, тренировка приводит к увеличению:

- содержания сократительных белков в мышцах;
- возможностей быстрой мобилизации химической энергии и превращения ее в механическую энергию мышечного сокращения;
- возможностей как дыхательного, так и анаэробного ресинтеза богатых энергией фосфорных соединений;
- энергетического потенциала мышц и всего организма, а также возможностей расходования и восстановления этого потенциала;
- возможностей поддержания постоянства условий внутренней среды организма во время интенсивной мышечной деятельности.

Все эти изменения — проявления биохимического приспособления (адаптации) организма к новой, более интенсивной или более длительной мышечной деятельности. Результатом такой адаптации организма, происходящей под влиянием систематических упражнений, является повышение его работоспособности. Тренированный спортсмен может выполнять работу такого объема и интенсивности, которые недоступны нетренированному человеку. При выполнении физических нагрузок, доступных тренированному и нетренированному человеку, величина биохимических изменений в организме и степень напряжения различных функциональных систем у тренированного человека будут значительно меньшими, чем у нетренированного, в то время как восстановление работоспособности и нормализация биохимических соотношений в крови и тканях при отдыхе будут происходить быстрее у тренированного спортсмена, чем у нетренированного.

Биохимическое обоснование принципов спортивной тренировки

Интенсивная работа сопровождается суперкомпенсацией источников энергии и других биохимических ингредиентов в период отдыха. Поскольку период суперкомпенсации, т. е. новых

функциональных возможностей организма, ограничен определенным отрезком времени, после которого последствия от предыдущих нагрузок полностью сглаживаются, однократная физическая нагрузка не может оказать стойкого тренирующего эффекта. Чтобы обеспечить прогрессивное нарастание функциональных возможностей и закрепление их на повышенном уровне, необходимо повторное применение работы. Отсюда вытекает *первый принцип спортивной тренировки — повторность выполнения упражнений.*

Важно определить время выполнения повторной нагрузки. Если осуществлять повторную нагрузку после того, как произошло затухание суперкомпенсации, то положение окажется стационарным (топтание на месте; рис. 48, а).

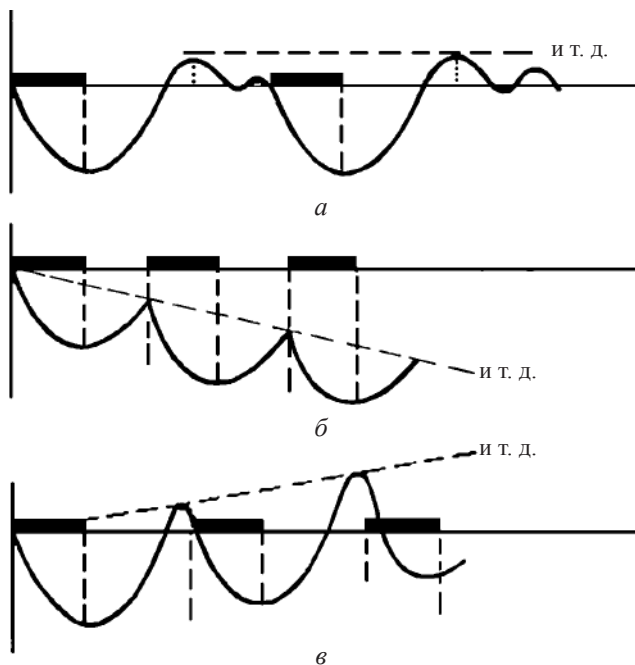


Рис. 48. Взаимоотношение работы и отдыха в процессе тренировки

Если повторную работу начинать в фазе неполного восстановления, результатом будет прогрессивное истощение (рис. 48, б).

И только применяя повторные нагрузки в фазе суперкомпенсации, можно получить тренирующий эффект, т. е. повышение функциональных возможностей организма (рис. 48, в).

Таким образом, можно определить *второй принцип тренировки* — *регулярность*, в основе которой лежит повторение работы в наиболее выгодном для организма состоянии после предыдущей работы.

Однако из этого не вытекает, что всякая повторная работа должна обязательно выполняться в фазе суперкомпенсации. Например, сущность интервального метода тренировки (увеличение нагрузок при неизменном интервале отдыха или уменьшении интервалов отдыха при постоянной величине нагрузки) заключается в том, чтобы в результате повторных нагрузок в фазе неполного восстановления выработать адаптацию организма к тем функциональным и биохимическим сдвигам, которые вызывает выполнение данного упражнения в условиях соревнований. Это может касаться не только одного тренировочного занятия, но и нескольких занятий, рассматриваемых как одна суммарная, большая нагрузка, за которой будет достаточный период отдыха, обеспечивающий начало следующей группы занятий уже в фазе суперкомпенсации после предыдущей работы (рис. 49).

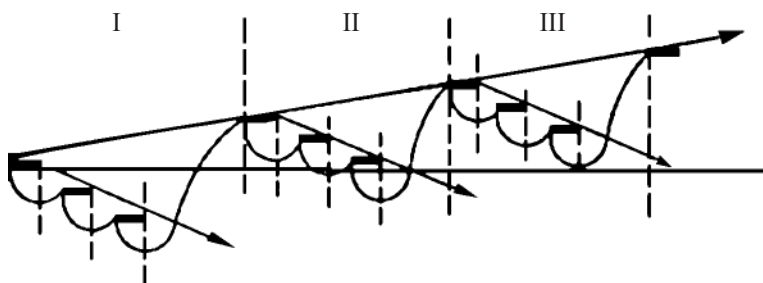


Рис. 49. Схема одного из возможных вариантов «суммированного эффекта» нескольких тренировочных нагрузок:

I, II, III — тренировочные микроциклы

В пределах одного тренировочного занятия показателем достаточности или недостаточности реституции служат определение

уровня молочной кислоты в крови и параметров кислотно-щелочного баланса, а также частота пульса. Если последующие занятия начинаются в фазе неполного восстановления (в пределах 4–5-дневного тренировочного цикла), то определяют изменение процента насыщения крови кислородом и содержание мочевины в крови.

Как уже не раз отмечалось, время наступления, величина и длительность суперкомпенсации зависят от интенсивности и величины расходования энергетических потенциалов. Поэтому после работы разного характера и разной длительности фаза суперкомпенсации наступает в разное время и имеет неодинаковую длительность. Отсюда **третий принцип тренировки — правильное соотношение работы и отдыха**. Каждая работа, каждое физическое упражнение требуют совершенно определенного периода отдыха, обусловленного величиной и характером нагрузки. Это требование тем более важно, что даже после одной и той же работы суперкомпенсация различных биохимических ингредиентов мышцы наступает в разное время (принцип гетерохронности биохимической реституции). Например, суперкомпенсация креатинфосфата наступает быстро, но и быстро проходит, суперкомпенсация гликогена наступает позднее, но и дольше сохраняется, суперкомпенсация мышечных белков наступает еще позднее (табл. 13).

Таблица 13

Время, необходимое для восстановления биохимических процессов в период отдыха после напряженной мышечной работы

Процесс	Время восстановления
Восстановление O_2 -запасов в организме	10–15 с
Восстановление алактатных анаэробных резервов в мышцах	2–5 мин
Оплата алактатного O_2 -долга	3–5 мин
Устранение лактата из мышц и крови	25 % — 10 мин
	50 % — 25 мин
	95 % — 1–1,5 ч
Оплата лактатного O_2 -долга	0,5–1,5 ч

Процесс	Время восстановления
Восстановление запасов гликогена в мышцах	12–48 ч
Восстановление запасов гликогена в печени	12–48 ч
Усиление синтеза ферментов и структурных белков	12–72 ч
Восстановление витаминов и энзимов	24 ч

Следовательно, величина периода отдыха будет зависеть от задач, стоящих перед спортсменом: увеличение уровня КрФ, гликогена или белков.

По мере увеличения в процессе тренировки функциональных возможностей одна и та же работа будет вызывать все меньшие сдвиги (будет выполняться с меньшими энергетическими затратами), а значит, будет сопровождаться все меньшей суперкомпенсацией в восстановительном периоде, т. е. через известное время работа перестанет вызывать тренирующий эффект. Отсюда вытекает **четвертый принцип тренировки — необходимость постепенного увеличения тренировочных нагрузок**. Без соблюдения этого принципа тренировка будет малоэффективной.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. В чем состоит сущность процессов адаптации организма к физическим нагрузкам?
2. Охарактеризуйте два этапа адаптации организма к физическим нагрузкам, пользуясь рис. 44.
3. Что такое срочный тренирующий эффект?
4. Что такое отставленный тренирующий эффект?
5. Охарактеризуйте кумулятивные свойства тренировки.
6. В чем заключается цель тренировки?
7. Охарактеризуйте биохимические изменения, которые вызывают в организме различные спортивные упражнения: а) силовые; б) скоростные; в) длительные.
8. Какие биохимические изменения происходят при тренировке: а) в мышечной системе;

б) во внутренних органах;

в) в ЦНС;

г) в крови?

9. Сравните у тренированных спортсменов и нетренированных лиц:

а) объем и интенсивность физических нагрузок;

б) величину биохимических изменений и степень напряжения различных функциональных систем;

в) восстановление работоспособности и нормализацию биохимических показателей в крови и в тканях в период отдыха.

10. Перечислите основные принципы спортивной тренировки.

11. Как согласуются принципы спортивной тренировки с процессами адаптации организма к мышечной деятельности?

БИОХИМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ЗАНЯТИЯХ ФИЗИЧЕСКИМИ УПРАЖНЕНИЯМИ И СПОРТОМ

При адаптации организма к физическим нагрузкам, перетренировке, а также при патологических состояниях в организме изменяется обмен веществ. Это приводит к появлению в различных тканях и биологических жидкостях характерных метаболитов (продуктов обмена веществ). Они отражают функциональные изменения в организме и могут служить биохимическими тестами либо показателями их характеристики. Поэтому в спорте наряду с медицинским, педагогическим, психологическим и физиологическим контролем используется биохимический контроль за функциональным состоянием спортсмена на различных этапах его подготовки. В годичном тренировочном цикле подготовки квалифицированных спортсменов выделяют разные виды биохимического контроля:

- текущие обследования (ТО) — проводятся повседневно в соответствии с планом подготовки;
- этапные комплексные обследования (ЭКО) — проводятся 3–4 раза в год;
- углубленные комплексные обследования (УКО) — проводятся 2 раза в год;
- обследование соревновательной деятельности (ОСД).

На основании текущих обследований определяют функциональное состояние спортсмена — один из основных показателей тренированности, оценивают уровень срочного и отставленного тренировочного эффекта физических нагрузок, проводят коррекцию физических нагрузок в ходе тренировок.

В процессе этапных и углубленных комплексных обследований спортсменов с помощью биохимических показателей можно оценить кумулятивный тренировочный эффект. При этом биохимический контроль дает тренеру, педагогу или врачу быструю и достаточно объективную информацию о росте тренированности

и функциональных системах организма, а также других адаптационных изменениях.

Задачи биохимического контроля

1. Определение биохимической реакции на нагрузки.
 2. Установление степени тренированности.
 3. Выявление перенапряжений при перетренировке.
- Биохимический контроль помогает установить:

- величину нагрузки;
- правильное соотношение работы и отдыха;
- рост тренированности;
- уровень общей и специальной тренированности;
- рациональность питания.

Организация биохимического контроля

При организации и проведении биохимического обследования особое внимание уделяется выбору тестирующих биохимических показателей. Первостепенное значение приобретают показатели тех звеньев обмена веществ, которые являются основными в обеспечении спортивной работоспособности в данном виде спорта. В ходе биохимического контроля определяют:

- 1) содержание некоторых продуктов углеводного, белкового и липидного обмена;
- 2) показатели кислотно-основного равновесия организма;
- 3) активность ферментов;
- 4) содержание гормонов и их метаболитов.

Для биохимического анализа используют выдыхаемый воздух и биологические жидкости — кровь, мочу, слюну, пот, а также мышечную ткань. Кровь берут из пальца или из мочки уха. Мочу собирают суточную (4 порции за каждые 6 ч) или за 1 ч до работы, во время работы и во время отдыха. Контроль за функциональным состоянием организма в условиях учебно-тренировочного сбора можно проводить с помощью специальных диагностических экспресс-наборов для биохимического анализа мочи и крови. Они

основаны на способности определенного вещества (глюкозы, белка, витамина С, кетоновых тел, мочевины, гемоглобина) реагировать с нанесенными на индикаторную полоску реактивами с изменением окраски. Обычно наносится капля исследуемой мочи на индикаторную полоску «Глюкотест», «Пентафан», «Медитест» и через 1 мин ее окраска сравнивается с индикаторной шкалой, прилагаемой к набору.

Одни и те же биохимические методы и показатели можно использовать для решения различных задач. Так, например, определение содержания лактата в крови используется при оценке уровня тренированности, направленности и эффективности применяемого упражнения, а также при отборе лиц для занятий отдельными видами спорта. В связи с тем, что многие биохимические показатели у тренированного и нетренированного организма в состоянии относительного покоя существенно не различаются, для выявления их особенностей проводят обследование в состоянии покоя утром натощак (физиологическая норма), в динамике физической нагрузки либо сразу после нее, а также в разные периоды восстановления. При обследовании спортсменов применяются различные типы тестирующих физических нагрузок, которые могут быть стандартными и максимальными (предельными).

Стандартные физические нагрузки — это нагрузки, при которых ограничиваются количество и мощность выполняемой работы. Это можно обеспечить с помощью специальных приборов — эргометров. Наиболее часто используют *степэргометрию* (восхождение в разном темпе на ступеньку или лестницу разной высоты, например, Гарвардский степ-тест), *велозэргометрию* (фиксированную работу на велозэргометре), *нагрузки на тредмиле* — движущейся с фиксируемой скоростью ленте. В настоящее время существуют диагностические комплексы, которые позволяют выполнять специальную дозированную физическую нагрузку: *плавательный тредмил*, *гребные эргометры*, *инерционные велозэргометры* и др.

Стандартные физические нагрузки обеспечивают выявление индивидуальных метаболических различий и используются для характеристики уровня тренированности организма.

Максимальные физические нагрузки применяются при определении уровня специальной тренированности спортсмена на разных

этапах подготовки. В данном случае используются нагрузки, наиболее характерные для данного вида спорта. Выполняются они с максимально возможной интенсивностью для данного упражнения.

На результаты исследования влияет состояние здоровья, время тестирования и температура окружающей среды. Более низкая работоспособность наблюдается при повышенной температуре среды, а также в утреннее и вечернее время. К тестированию, как и к занятиям спортом, особенно с максимальными нагрузками, должны допускаться только полностью здоровые спортсмены, поэтому врачебный осмотр следует проводить перед другими видами контроля. Контрольное биохимическое тестирование проводится утром натощак после относительного отдыха в течение суток. При этом должны соблюдаться примерно одинаковые условия внешней среды, которые влияют на результаты тестирования.

Изменение биохимических показателей под воздействием физических нагрузок зависит от степени тренированности, объема выполненных нагрузок, их интенсивности и анаэробной или аэробной направленности, а также от пола и возраста обследуемых. После стандартной физической нагрузки значительные биохимические сдвиги обнаруживаются у менее тренированных людей, а после максимальной — у высокотренированных лиц. При этом после выполнения специфических для спортсменов нагрузок в условиях соревнования в тренированном организме происходят значительные биохимические изменения, которые не характерны для нетренированных людей.

Объекты исследования и основные биохимические показатели

Выдыхаемый воздух используют при исследовании процессов энергетического обмена в организме. В нем определяют количество потребляемого кислорода и выдыхаемого углекислого газа. Соотношение этих показателей отражает интенсивность процессов энергетического обмена, долю анаэробных и аэробных механизмов ресинтеза АТФ.

Кровь — один из наиболее важных объектов биохимических исследований, в ней отражаются все метаболические изменения в тканевых жидкостях и лимфе организма. По изменению состава крови или плазмы судят о гомеостатическом состоянии внутренней среды организма или его изменении при выполнении спортивной нагрузки (табл. 14).

Таблица 14

**Основные химические компоненты цельной крови и плазмы
здорового взрослого человека**

Компоненты крови	Цельная кровь	Плазма
Вода, %	75–85	90–91
Сухой остаток (белок крови), %	15–25	9–10
Общий белок, г/л	—	65–80
Гемоглобин, г/л	120–140 (жен.), 140–160 (муж.)	—
Гематокрит, мл / 100 мл	37–47 (жен.), 40–54 (муж.)	—
Глобулины, г/л	—	20–30
Альбумины, г/л	—	40–50
Мочевина, моль/л	3,30–6,60	3,30–6,60
Мочевая кислота, моль/л	0,18–0,24	0,24–0,29
Креатин, моль/л	0,23–0,38	0,08–0,11
Креатинин, моль/л	0,06–0,067	0,06–0,067
Глюкоза, моль/л	3,30–5,50	3,60–5,50
Молочная кислота, моль/л	—	1,00–2,50
Пировиноградная кислота, моль/л	—	0,07–0,14
Нейтральные жиры, моль/л	1,00–2,60	1,20–2,80
Свободные жирные кислоты, моль/л	—	0,10–0,40
Холестерин общий, моль/л	3,90–5,20	3,90–6,50
Кетоновые тела, моль/л	—	8–30
Ацетоуксусная кислота, моль/л	—	0,05–0,19

Компоненты крови	Цельная кровь	Плазма
Ацетон, моль/л	0,20	0,20–0,30
Лимонная кислота, моль/л	—	0,10–0,15
Аскорбиновая кислота, моль/л	—	0,05–0,10
Билирубин общий, моль/л	—	4–26
pH	7,35–7,45	—

Моча отражает работу почек — основного выделительного органа организма, а также динамику обменных процессов в различных органах и тканях. Поэтому по изменению количественного и качественного состава мочи судят о состоянии отдельных звеньев обмена веществ. С мочой из организма выводятся избыток воды, многие электролиты, промежуточные и конечные продукты обмена веществ, гормоны, витамины, чужеродные вещества (табл. 15). Суточное количество мочи (диурез) в норме в среднем составляет 1,5 л. Мочу собирают в течение суток, что вносит определенные затруднения в проведение исследований. Иногда мочу берут небольшими порциями (например, через 2 ч), при этом фиксируют порции, полученные до выполнения физической работы и после нее.

Таблица 15

Химический состав мочи здорового взрослого человека

Компоненты мочи	Содержание в норме	
	г/сут	ммоль/сут
Органические вещества:	22–46	—
мочевина	20–35	333–583
аминокислоты	До 1,1	8,8
креатинин	1,0–2,0	8,8–17,7
мочевая кислота	0,2—1,2	1,2–7,1
глюкоза	0	0
белок	0	0

Компоненты мочи	Содержание в норме	
	г/сут	ммоль/сут
Неорганические вещества:	15–25	—
хлорид	3,6–9,0	100–250
фосфор неорганический	0,9–1,3	29–45
фосфаты	2,0–6,7	—
натрий	3,0–6,0	130–260
калий	1,5–3,2	38–82
кальций (общий)	0,1–0,25	2,5–6,2
магний	0,1–0,2	4,2–8,4
бикарбонаты	—	0,5 ммоль/л (при pH 5,6)
азот аммиака	0,5–1,0	36–71
pH	4,6–8,0	—

Моча не может быть достоверным объектом исследования после кратковременных тренировочных нагрузок, так как сразу после этого весьма сложно собрать необходимое для ее анализа количество. При различных функциональных состояниях организма в моче могут появляться химические вещества, не характерные для нормального состояния: глюкоза, белок, кетоновые тела, желчные пигменты, форменные элементы крови. Определение этих веществ в моче используют в биохимической диагностике некоторых заболеваний, а также в практике спорта для контроля эффективности тренировочного процесса, состояния здоровья спортсмена.

Слюна используется параллельно с другими биохимическими объектами. В слюне определяют электролиты (Na^+ и K^+), активность ферментов (амилазы), pH. Существует мнение, что слюна, обладая меньшей, чем кровь, буферной емкостью, лучше отражает изменения кислотно-щелочного равновесия организма человека. Однако как объект исследования слюна не получила широкого распространения, поскольку состав ее зависит не только от физических нагрузок и связанных с ними изменений внутритканевого обмена веществ, но и от состояния сытости («голодная» или «сытая» слюна).

Пот в отдельных случаях используется как объект исследования. Необходимое для анализа количество пота собирают с помощью хлопчатобумажного белья или полотенца, которое замачивают в дистиллированной воде для извлечения различных компонентов пота. Экстракт выпаривают в вакууме и анализируют.

Мышечная ткань является очень показательным объектом биохимического контроля мышечной деятельности, однако используется редко, так как образец мышечной ткани необходимо брать *методом игольчатой биопсии*. Для этого над исследуемой мышцей делается небольшой разрез кожи и с помощью специальной иглы берется кусочек (проба) мышечной ткани (2–3 мг), которая сразу замораживается в жидком азоте и в дальнейшем подвергается структурному и биохимическому анализу. В пробах определяют количество сократительных белков (актина и миозина), АТФ-азную активность миозина, показатели энергетического потенциала (содержание АТФ, гликогена, креатинфосфата), продукты энергетического обмена, электролиты и другие вещества. По их содержанию судят о составе, энергетическом потенциале и функциональной активности мышц, а также об изменениях, которые происходят при воздействии однократной физической нагрузки или долговременной тренировки.

При биохимическом обследовании в практике спорта используют следующие **биохимические показатели**:

- энергетические субстраты (АТФ, КрФ, глюкоза, ВЖК);
- ферменты энергетического обмена (АТФ-аза, КрФ-киназа, цитохромоксидаза, лактатдегидрогеназа);
- промежуточные и конечные продукты обмена углеводов, липидов и белков (лактат и пируват, кетоновые тела, мочевины, креатинин, креатин, мочевины, углекислый газ); показатели кислотно-основного состояния крови (рН крови, резервная щелочность или избыток буферных оснований, парциальное давление CO_2);
- регуляторы обмена веществ (ферменты, гормоны, витамины, активаторы, ингибиторы);
- минеральные вещества в биохимических жидкостях (например, бикарбонаты и соли фосфорной кислоты определяют для характеристики буферной емкости крови);

- содержание общего белка, количество и соотношение белковых фракций в плазме крови;
- анаболические стероиды и другие запрещенные вещества в практике спорта (допинги), выявление которых — задача *допингового контроля*.

Показатели углеводного обмена

Глюкоза. Изменение содержания глюкозы в крови при мышечной деятельности зависит от уровня тренированности организма, мощности и продолжительности мышечной нагрузки. При кратковременных физических нагрузках субмаксимальной интенсивности за счет усиленной мобилизации гликогена печени повышается содержание глюкозы в крови. Длительные физические нагрузки вызывают снижение уровня глюкозы в крови. Следует отметить, что у нетренированных лиц это снижение выражено в большей степени, чем у тренированных.

У здорового человека в моче глюкоза отсутствует. Однако она может появиться при интенсивной мышечной деятельности, эмоциональном возбуждении перед стартом и при избыточном поступлении углеводов с пищей (алиментарная *глюкозурия*). Появление глюкозы в моче при физических нагрузках свидетельствует об интенсивной мобилизации гликогена печени.

Молочная кислота. После прекращения работы молочная кислота поступает в кровь постепенно, достигая максимума через 3–7 мин. Содержание молочной кислоты в крови в норме в состоянии относительного покоя составляет 1–1,5 ммоль/л (15–30 мг%). С увеличением мощности нагрузки содержание ее в крови может возрастать у нетренированного человека до 5–6 ммоль/л, у тренированного — до 20 ммоль/л и выше. В аэробной зоне физических нагрузок уровень лактата составляет 2–4 ммоль/л, в смешанной — 4–10 ммоль/л, в анаэробной — более 10 ммоль/л. Условная граница анаэробного обмена соответствует 4 ммоль/л и обозначается как порог анаэробного обмена (ПАНО). Снижение содержания лактата у одного и того же спортсмена при выполнении стандартной работы на разных этапах тренировочного процесса свидетельствует об улучшении тренированности, а повышение — об ухудшении.

Значительные концентрации молочной кислоты в крови после выполнения максимальной работы свидетельствуют о более высоком уровне тренированности при хорошем спортивном результате или о большей метаболической емкости гликолиза, большей устойчивости его ферментов к смещению рН в кислую сторону.

Показатели липидного обмена

Свободные жирные кислоты. Уровень свободных жирных кислот (СЖК) в крови зависит от скорости липолиза триглицеридов в печени и жировых депо. В норме он составляет 0,1–0,4 ммоль/л крови и увеличивается при длительных физических нагрузках.

По изменению содержания СЖК в крови контролируют степень подключения липидов к энергообеспечению мышечной деятельности, а также степень сопряжения между липидным и углеводным обменом. Высокая степень сопряжения этих механизмов энергообеспечения при выполнении аэробных свидетельствует о высоком уровне функциональной подготовки спортсмена.

Кетоновые тела. Уровень кетоновых тел в крови в определенной степени отражает скорость окисления жиров. Содержание кетоновых тел в крови в норме составляет 8 ммоль/л. При накоплении кетоновых тел в крови (до 20 ммоль/л, *кетонемия*) они могут появиться в моче (*кетонурия*), хотя в норме кетоновые тела в моче не выявляются. У здоровых людей это наблюдается при голодании, исключении углеводов из рациона питания, а также при выполнении физических нагрузок большой мощности или длительности. Схема обмена кетоновых тел приведена на рис. 50.

По увеличению содержания кетоновых тел в крови и появлению их в моче определяют переход энергообразования с углеводных источников на липидные при мышечной активности. Более раннее подключение липидных источников указывает на экономичность аэробных механизмов энергообеспечения мышечной деятельности, что взаимосвязано с ростом тренированности организма.

Фосфолипиды. Содержание фосфолипидов (фосфатидилэтанолламин, фосфатидилсерин, фосфатидилхолин; рис. 51) в крови в норме составляет 1,52–3,62 г/л.

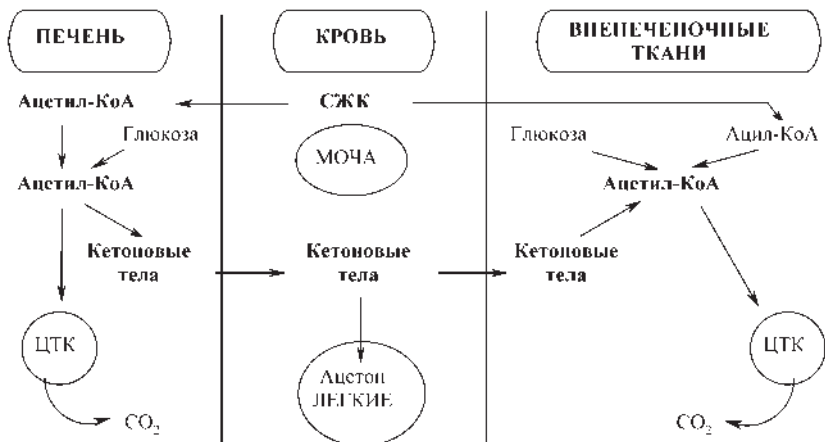


Рис. 50. Обмен кетоновых тел

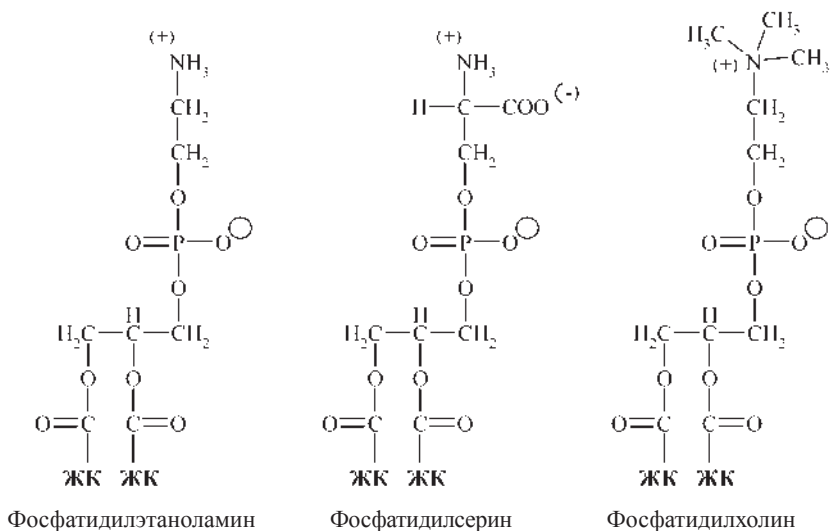


Рис. 51. Формулы основных фосфолипидов

Повышение уровня фосфолипидов в крови наблюдается при диабете, заболеваниях почек, гипофункции щитовидной железы,

а понижение — при жировой дистрофии печени. Для стимуляции синтеза фосфолипидов и снижения содержания в крови триглицеридов в рацион питания спортсменов включают липотропные вещества (холин, метионин, лецитины, фолиевая кислота). Длительные физические нагрузки сопровождаются жировой дистрофией печени, поэтому в спортивной практике используют контроль содержания триглицеридов и фосфолипидов в крови.

Определение уровня общей тренированности

Поскольку уровень общей тренированности нельзя определить в состоянии покоя (за исключением биопсии мышц), используют стандартные нагрузки на велоэргометре.

1. *Тест «максимальное устойчивое состояние»*: работа со скоростью 75 об/мин, мощностью 50 Вт в течение 6 мин. Далее мощность повышают каждые 6 мин на 50 Вт при контроле за частотой пульса. Устойчивое состояние — 170 ударов в минуту, если пульс растет больше, чем на 8 уд/мин, то работу прекращают из-за нарушения устойчивого состояния. Кровь берут до работы, через 3 мин и 10 мин после работы. Этим способом можно определить также *«срочный» тренирующий эффект* (сразу после тренировки).

2. *Тест «вита-максима»*: 2 мин работы, мощность 50 Вт, скорость 75 об/мин. Далее каждые 2 мин мощность повышают на 50 Вт до индивидуального предела (у нетренированных лиц — 200–250 Вт, у тренированных — 500 Вт и выше).

3. *Гарвардский степ-тест* — подъемы на скамейку (рис. 52). Для мужчин высота скамейки — 50 см, темп выполнения работы — 30 подъемов в минуту, время работы — 5 мин. Для женщин высота скамейки — 45 см, темп выполнения работы — 24 подъема в минуту, время работы — 3 мин.

В конце выполнения работы подсчитывают пульс; кровь берут до работы, через 3 мин и 10 мин после работы.

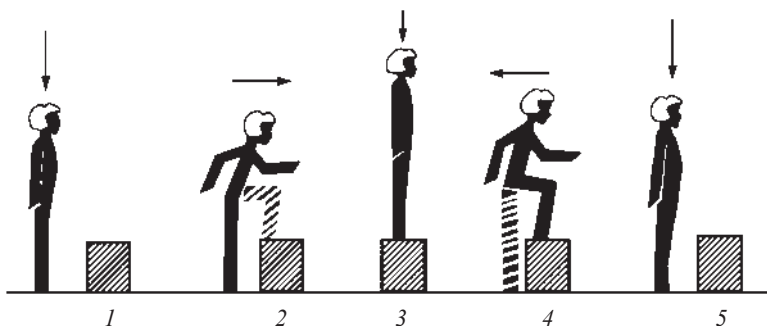


Рис. 52. Гарвардский степ-тест:

1 — исходное положение; 2 — правой ногой подняться на ступеньку; 3 — приставить левую; 4 — спуститься левой; 5 — приставить правую

Эти тесты рекомендуется использовать в тех видах спорта, где лимитирующим фактором служат метаболические изменения и в меньшей степени спортивная техника (бег, ходьба, лыжные гонки, гребля, плавание, велогонки по шоссе, конькобежный спорт). Они помогают оценить *общую тренированность*. Чем выше тренированность, тем меньше сдвиги кислотно-основного равновесия и уровня молочной кислоты; при более высокой концентрации сахара наступает мобилизация ВЖК; уменьшается доля гликолиза при работе и быстрее устраняются молочная кислота и кетоновые тела при отдыхе; меньше мочевины содержится в крови. У менее тренированного человека с увеличением длительности работы количество мочевины все больше растет и сохраняется некоторое время в период отдыха. Нормализация проходит медленнее. Для определения количества мочевины кровь берут утром натощак в состоянии покоя. У здорового человека в норме уровень мочевины составляет 5–6 мМ/л, у высокотренированного — до 7 мМ/л. Под влиянием нагрузок он может увеличиваться от 10 до 100 %. Если нагрузка адекватна функциональным возможностям, то на следующий день утром уровень мочевины в крови нормализуется. Если он остался повышенным, то полного восстановления не произошло. При ежедневном выполнении больших физических нагрузок, не компенсируемых отдыхом, концентрация мочевины все больше возрастает.

Контроль за ходом тренировочного процесса

При контроле за ходом тренировочного процесса делают анализ крови на содержание мочевины в начале, в середине и конце недельного цикла, кровь берут утром натощак в состоянии покоя. При исследовании динамики утреннего содержания мочевины в течение недельных тренировочных циклов возможны три варианта:

- концентрация мочевины постоянна (нагрузка недостаточна);
- концентрация мочевины возрастает в первые дни и нормализуется в конце цикла (нагрузка была велика, но организм к ней хорошо адаптировался);
- концентрация мочевины все время возрастает (есть перегрузка).

При тренировке в условиях среднегорья (2000 м над уровнем моря) концентрация мочевины в крови возрастает до 7-го дня непрерывно, а к 14-му дню она нормализуется, хотя нагрузки продолжают возрастать. С помощью этих тестов можно определять *«отставленный» тренировочный эффект*.

Выявление перенапряжений и оценка достаточности периода отдыха

Для выявления перенапряжений и оценки достаточности периода отдыха также определяют уровень мочевины в крови, так как под влиянием нагрузок усиливается расщепление белков. При биохимическом контроле возможны несколько вариантов (рис. 53):

1) при адекватной нагрузке и достаточности периода отдыха уровень мочевины может повыситься на 50–100 %, но уже на следующий день наступает полная нормализация;

2) если нагрузка неадекватна уровню тренированности, то уровень мочевины в крови на следующий день не нормализуется;

3) при систематических перегрузках уровень мочевины в крови растет день ото дня, что свидетельствует о возможности перетренировки.

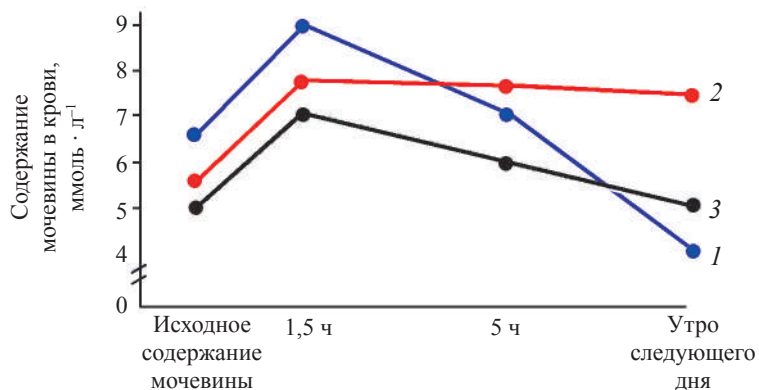


Рис. 53. Содержание мочевины в крови гребцов во время отдыха: 1 — полное восстановление; 2, 3 — разная степень недовосстановления

При напряженной тренировке необходимо ежедневно проверять количество мочевины в крови утром натощак в состоянии покоя. Нормальный уровень (15–20 мг%) показывает, что период отдыха является достаточным и процесс тренировки проходит без вреда для организма.

Определение уровня специальной тренированности

Основное требование — специфичность нагрузок. В этом случае можно исследовать также активность ферментов крови, содержание в крови и моче гормонов, но нагрузки должны быть более длительные. При интенсивной мышечной работе увеличивается выход ферментов из мышц в кровь, а во время отдыха они быстро устраняются. В нетренированном организме ферментемия сохраняется несколько часов или даже дней после нагрузки. Затяжные ферментемии у спортсмена свидетельствуют о препатологическом состоянии. Пробы крови нужно брать до нагрузки, сразу после нее и в периоде отдыха.

Основные гормоны, которые используются при оценке функционального состояния спортсмена, а также их концентрация в крови

в норме и направленность изменения при стандартной физической нагрузке представлены в табл. 16. Величина изменения содержания гормонов в крови зависит от мощности и длительности выполняемых нагрузок, а также от степени тренированности спортсмена.

Таблица 16

Направленность изменений концентрации гормонов в крови при физических нагрузках

Гормон	Концентрация в крови, мг/л	Направленность изменения концентрации гормонов при физических нагрузках
Адреналин	0–0,07	↑
Инсулин	1–1,5	↓
Глюкагон	70–80	↑
Соматотропин	1–6	↑
АКТГ	10–200	↑
Кортизол	50–100	↑
Тестостерон	3–12 (мужчины) 0,1–0,3 (женщины)	↑
Эстрадиол	70–200	↓
Тироксин	50–140	↑

При работе одинаковой мощности у более тренированных спортсменов наблюдаются менее значительные изменения этих показателей в крови. Кроме того, по изменению содержания гормонов в крови можно судить об адаптации организма к физическим нагрузкам, интенсивности регулируемых ими метаболических процессов, развитии процессов утомления, применении анаболических стероидов и других гормонов.

Из гормональных тестов наиболее эффективно исследование выделения с мочой катехоламинов (адреналина и норадреналина), их предшественников (ДОФА и дофамина), а также гормонов надпочечников. В спортивной диагностике определяют содержание гормонов симпатoadреналовой системы (адреналина и продуктов

его обмена) в крови и моче также и для выявления утомления. Эти гормоны отвечают за степень напряжения адаптационных изменений в организме. При неадекватных функциональному состоянию организма физических нагрузках наблюдается снижение уровня не только гормонов, но и предшественников их синтеза в моче, что связано с исчерпанием биосинтетических резервов эндокринных желез и указывает на перенапряжение регуляторных функций организма, контролирующихся адаптационные процессы.

Выделение гормонов с мочой и их метаболизм при физических нагрузках увеличиваются, у тренированных лиц это менее выражено. Однако при нагрузках, близких к пределу, наоборот, эти показатели выше у тренированных людей. Уменьшение выделения гормонов свидетельствует о перенапряжении и близящемся исчерпании резервных возможностей организма.

Оценка развития тренированности и кумулятивного эффекта

Для оценки развития тренированности необходимо исследовать выделение гормонов в динамике, по этапам тренировки.

1. Рост спортивных результатов при снижении или неизменности реакции эндокринной системы свидетельствует о хорошей тренированности и наличии больших резервов: «спортсмен не полностью выложился».

2. Рост результатов с одновременным увеличением гормональной реакции — это показатель хорошей тренированности и более полного использования резервных возможностей.

3. Рост результатов с уменьшением выделения гормонов говорит о том, что спортсмен достиг предела, для данной нагрузки он недостаточно тренирован.

Таким образом, кумулятивный эффект определяется биохимически. Он является следствием биохимических изменений, постепенно накапливающихся в организме в процессе тренировки.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Перечислите задачи биохимического контроля при занятиях физическими упражнениями и спортом.
2. Охарактеризуйте организацию биохимического контроля.
3. Как устанавливают уровень общей тренированности?
4. Охарактеризуйте организацию биохимического контроля за ходом тренировочного процесса.
5. Охарактеризуйте определение уровня специальной тренированности.
6. Как оценивают развитие тренированности с помощью анализа выделения гормонов?
7. Какие объекты исследования и биохимические показатели являются наиболее информативными при контроле за ходом тренировочного процесса?
8. Дайте характеристику методов биохимических исследований в спорте.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Биологическая химия с упражнениями и задачами : учебник / под ред. чл.-кор. РАМН С. Е. Северина. 2-е изд., испр. и доп. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2012. 624 с. : ил.

Волков Н. И. Биохимия мышечной деятельности : учебник для вузов / Н. И. Волков, Э. Н. Несен, А. А. Осипенко, С. Н. Корсун. Киев : Олимп. лит., 2000. 504 с.

Ершов Ю. А. Общая биохимия и спорт : учеб. пособие / Ю. А. Ершов. М. : Изд-во МГУ, 2010. 368 с.

Комов В. П. Биохимия : учебник для вузов / В. П. Комов, В. Н. Шведова. М. : Дрофа, 2004. 640 с.

Михайлов С. С. Спортивная биохимия : учебник для вузов и колледжей физической культуры / С. С. Михайлов. М. : Сов. спорт, 2006. 260 с.

Николаев А. Я. Биохимия / А. Я. Николаев. М. : Мед. информ. агентство, 2001. 496 с.

Проскурина И. К. Биохимия : учеб. пособие / И. К. Проскурина. М. : ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. 240 с.

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОНЯТИЯ

Адаптация — процесс приспособления организма к изменившимся условиям окружающей среды, жизни, рода деятельности.

Адаптогены — препараты растительного и животного происхождения, повышающие сопротивляемость организма к различным экстремальным воздействиям, улучшающие самочувствие, способствующие восстановлению измененных при физической нагрузке функций организма.

Акклиматизация — процесс приспособления организма к новым непривычным климато-географическим условиям.

Алактатная анаэробная выносливость — способность выполнять максимальную работу в отсутствие кислорода.

Анаболизм — совокупность процессов синтеза тканевых и клеточных структур, а также необходимых для жизнедеятельности соединений.

Анаболические стероиды — допинговые препараты, обладающие способностью стимулировать синтез белка в организме и являющиеся аналогами мужских половых гормонов (андрогенов).

Анаэробная выносливость — способность мышц поддерживать работу в условиях недостаточного поступления кислорода.

Анаэробная лактатная выносливость — способность выполнять физическую работу в условиях недостаточного поступления кислорода с накоплением лактата в мышцах.

Анаэробное энергообеспечение — энергообеспечение в условиях недостаточного снабжения мышц кислородом, следствием которого является накопление лактата.

Анаэробный порог — уровень мощности нагрузки или скорости передвижения, выше которых происходит накопление лактата.

Анемия — состояние, характеризующееся уменьшением гемоглобина в крови.

Антидопинговый контроль (допинг-контроль) — система специальных мероприятий, направленная на выявление факта применения допинга участниками соревнований.

Антиоксиданты — препараты, снижающие концентрацию в крови конечных продуктов сгорания жирных кислот (в частности, перекисей),

оказывающих токсическое действие на организм; предохраняют ткани и клетки от самопроизвольного окисления (например, витамин Е, ионол).

Атеросклероз — распространенное хроническое заболевание, характеризующееся возникновением в стенках артерий жировых отложений с образованием фиброзных бляшек, суживающих просвет и нарушающих физиологические функции артерий.

Аэробное энергообеспечение — энергообеспечение при достаточном снабжении мышц кислородом.

Аэробный порог — любая нагрузка, полностью обеспечиваемая аэробным путем до этого уровня.

Белки — высокомолекулярные азотсодержащие вещества, состоящие из аминокислот, связанных между собой пептидными связями.

Бета-блокаторы — допинговые препараты, применяющиеся в спорте для снижения возбуждения ЦНС, снятия стрессовых состояний (анаприлин, окспренолол и др.).

Биопсия — прижизненное взятие кусочка ткани или взвеси клеток для микроскопического исследования с диагностической целью.

Биоритм — циклические колебания интенсивности и характера биологических процессов и явлений в организме:

- **б. годичный** — циклические колебания биоритма в годичном цикле;
- **б. месячный** — циклические колебания биоритма в околемесячном цикле;
- **б. многолетний** — циклические колебания биоритма в многолетнем цикле;
- **б. циркадный** — околосуточный биоритм.

Ватт — единица измерения мощности выполняемой работы (1 Вт = 6,1 кгм/мин).

Величина нагрузки — характеристика тренировочной и соревновательной деятельности, определяемая объемом, интенсивностью нагрузки, ее координационной и психической напряженностью.

Велоэргометрия — метод функционального исследования с применением дозированной физической нагрузки путем вращения ногами или руками педалей велоэргометра.

Весо-ростовой индекс Кетле — отношение массы тела (в г) к росту (в см). В среднем его величина составляет: для мужчин — 370–400, для женщин — 325–375 г/см.

Вирилизация — процесс появления признаков мужеподобности (усы, борода и др.) у женщины, вызванный действием андрогенов.

Вирус — инфекционный агент, неклеточная форма жизни, обладающая геномом — ДНК или РНК, но лишенная собственного синтезирующего

аппарата и способная к размножению лишь в клетках высокоорганизованных организмов.

Витамины — незаменимые компоненты питания органического происхождения, участвующие в регуляции биохимических и физиологических процессов.

Витаминная недостаточность (авитаминозы, гиповитаминозы) — группа заболеваний, развивающихся при недостаточном поступлении в организм одного или нескольких витаминов или полном отсутствии их в пище.

Выносливость — способность противостоять утомлению.

Гарвардский степ-тест (ГСТ) — тест для количественной оценки физической работоспособности по скорости восстановительных процессов после дозированной мышечной работы. Физическая нагрузка — восхождение на ступеньку высотой 50 см для мужчин и 43 см для женщин; время восхождения — 5 мин, количество подъемов — 30 за минуту (1 восхождение за 4 шага). Результаты тестирования выражают в виде индекса ГСТ (ИГСТ):

$$\text{ИГСТ} = (t \cdot 100) / (f_1 + f_2 + f_3) \cdot 2,$$

где t — время восхождения в секундах (фактическое), f_1, f_2, f_3 — сумма пульса за первые 30 с на 2-й, 3-й и 4-й минутах (соответственно) восстановительного процесса.

Гепатопротекторы — лекарственные препараты, осуществляющие защитную функцию клеток печени. В спортивной практике применяются для ускорения восстановительных процессов в организме (карсил, ЛМВ 52, эссенциале и др.).

Гипер — приставка, означающая чрезмерное повышение или увеличение чего-либо.

Гипертрофия — чрезмерное увеличение объема ткани или органа:

- **г. заместительная (викарная)** — встречается при хирургическом лечении некоторых заболеваний (например, при удалении одного из парных органов — почки, легкого и др.);

- **г. компенсаторная** — встречается при заболеваниях, приводящих к снижению функции органа (например, при пороке сердца);

- **г. рабочая (физиологическая)** — встречается при повышенной активности органа или системы (например, гипертрофия скелетных мышц при занятиях спортом).

Гипогликемическое состояние — острое патологическое состояние, связанное с уменьшением содержания глюкозы в крови (гипогликемией).

Гипоксемия — пониженное содержание кислорода в крови.

Гипоксия — понижение содержания кислорода в тканях (кислородное голодание).

Гликолиз — процесс распада глюкозы в анаэробных условиях, конечным продуктом которого является молочная кислота.

Гомеостаз — относительное постоянство большинства показателей внутренней среды (температуры тела, кислотно-щелочного равновесия, насыщения крови кислородом и т. д.) и устойчивость основных физиологических функций организма.

Гормональная регуляция — регуляция жизнедеятельности организма или его отдельных систем, осуществляемая с помощью гормонов.

Гуморальная регуляция организма — регуляция жизнедеятельности органов и систем, осуществляемая биологически активными веществами, растворенными в жидких средах организма.

Двигательная единица — двигательный нерв и группа мышечных волокон, которые он иннервирует.

Десинхроноз (от лат. *de* — приставка, обозначающая отмену, греч. *synchronismos* — совпадение по времени, одновременность и -оз) — болезненное состояние, возникающее у человека при изменении привычного ритма сна и бодрствования при смене временных поясов.

Динамометрия (от греч. *dynamis* — сила и *metreo* — измеряю) — измерение силы мышцы или групп мышц динамометром.

Дисбактериоз кишечный — синдром, характеризующийся нарушением подвижного равновесия микрофлоры, в норме заселяющей кишечник.

Диссимиляция — процесс расщепления органических веществ на более простые соединения, в результате чего освобождается энергия, необходимая для осуществления жизненных функций организма.

Дистрофия (от греч. *dys* — приставка, обозначающая нарушение функции, и *trophe* — питание) — качественные изменения химического состава тканей вследствие нарушения трофики, ведущие к нарушению их структуры и функции:

- **д. миокарда вследствие физического перенапряжения (ДМФП)** — заболевание сердца, связанное с нарушением в нем обменных процессов под влиянием острого или (чаще) хронического перенапряжения сердца при выполнении физической нагрузки. Возникает при наличии несоответствия между функциональными возможностями миокарда и предъявляемой физической нагрузкой.

Диуретики (мочегонные средства) (от греч. *diureo* — выделять мочу) — допинговые препараты, способствующие выведению гормонов и анаболических стероидов. В клинической практике применяются для уменьшения содержания жидкости в тканях при различных заболеваниях. К ним относятся, например, лазикс, фуросемид и др.

Долговременная адаптация — структурные и функциональные изменения в организме, развивающиеся на основе многократной реализации срочной адаптации.

Долгосрочная адаптация — физиологические изменения в организме человека вследствие повторяющихся физических нагрузок в течение недели или месяцев.

Допинг (от англ. *dope* — давать наркотики) — вещества-стимуляторы, временно усиливающие физическую и психическую активность человека.

Дыхательный объем воздуха (ДО) — количество воздуха, которое проходит через легкие при обычном спокойном дыхании. Его величина от 300 до 900 мл (средняя — около 500 мл).

Жизненная емкость легких (ЖЕЛ) — наибольшее количество воздуха, которое можно выдохнуть после максимального вдоха. ЖЕЛ состоит из ДО, резервных объемов вдоха (РОВд) и выдоха (РОВыд).

Избыточная масса тела — масса тела, превышающая нормальную или стандартную для данного индивида в зависимости от пола, роста и телосложения.

Иммунитет (от лат. *immunitas* — избавление от чего-либо) — невосприимчивость организма к инфекционным и неинфекционным агентам и веществам, обладающим антигенными свойствами:

- **и. гуморальный** — обусловленный наличием определенных биологически активных веществ во внутренней среде организма (антител, интерферона, системы комплемента и др.);

- **и. клеточный** — обусловленный активностью определенных клеток (фагоцитов, макрофагов, Т- и В-лимфоцитов и др.).

Интервал отдыха — время отдыха между упражнениями, попытками, занятиями:

- **жесткий интервал отдыха** — интервал отдыха, продолжительность которого недостаточна для восстановления работоспособности до исходного уровня;

- **максимализирующий интервал отдыха** — интервал отдыха, при котором повторная нагрузка задается в фазе сверхвосстановления работоспособности по сравнению с исходным уровнем;

- **неполный интервал отдыха** — интервал отдыха, при котором работоспособность хотя и не восстанавливается, но близка к дорабочему уровню;

- **полный интервал отдыха** — интервал отдыха, достаточный для восстановления до исходного уровня и позволяющий не снижать повторную нагрузку;

- **удлиненный интервал отдыха** — интервал отдыха, продолжительность которого увеличена в 1,5–2 раза по сравнению с полным интервалом.

Инъекция (от лат. *injecto* — вбрасывание) — введение в организм жидкости с помощью шприца.

Кардиореспираторная система — сердечно-легочная система.

Катаболизм — процессов распада тканевых, клеточных структур и сложных соединений для энергетического и пластического обеспечения процессов жизнедеятельности.

Кинезиотерапия (от греч. *kinesis* — движение и *therapeia* — лечение) — лечение движением.

Кислородная емкость крови — общее количество связанного кровью кислорода.

Кислородный дефицит — разность между кислородным запросом и кислородным приходом.

Кислородный долг — это количество потребленного кислорода в восстановительном периоде сверх уровня основного обмена.

Кислородный запрос — количество кислорода, которое необходимо организму для полного удовлетворения энергетических потребностей за счет аэробных процессов.

Контрактура (от лат. *contracto* — стягивание) — стойкое ограничение движений в суставе.

Контроль:

- **к. антидопинговый** — система специальных мероприятий, направленных на выявление допинга в организме спортсмена;

- **к. врачебно-педагогический** — контроль за состоянием спортсменов с помощью методов спортивной медицины и педагогики;

- **к. врачебный** — периодическое комплексное медицинское обследование с целью определения состояния здоровья и уровня подготовленности спортсменов;

- **к. комплексный** — измерение и оценка различных показателей в циклах тренировки в целях определения уровня подготовленности спортсмена (используются педагогические, психологические, биологические, социометрические, спортивно-медицинские и другие методы);

- **к. оперативный** — контроль за оперативным состоянием спортсмена, в частности, за готовностью спортсмена к выполнению очередной попытки, очередного упражнения, к проведению схватки, боя и т. д.;

- **к. текущий** — оценка в микроциклах подготовки результатов контрольных соревнований, динамики нагрузок и их соотношений, регистрация и анализ повседневных изменений уровня подготовленности спортсмена, уровня развития его техники и тактики;

- **к. этапный** — измерение и оценка в конце этапа (периода) или в специально организованных условиях подготовки различных показателей

соревновательной и тренировочной деятельности спортсмена, динамики нагрузок и спортивных результатов.

Коферменты — продукты биотрансформации витаминов, которым принадлежит биокаталитическая активность в организме. В спортивной практике синтезируемые химическим путем к. применяются для ускорения восстановительных процессов. К ним относятся, например, кокарбоксилаза, рибофлавин, пиридоксальфосфат и др.

Креатинкиназная реакция — взаимодействие креатинфосфата с АДФ, катализируемое креатинкиназой, в результате которого образуется АТФ.

Кумулятивный тренировочный эффект — возникает как результат последовательного суммирования следов многих нагрузок или большого числа срочных и отставленных эффектов. В кумулятивном тренировочном эффекте воплощаются биохимические изменения, связанные с усилением синтеза нуклеиновых кислот и белков и наблюдаемые на протяжении длительного периода тренировки. кумулятивный тренировочный эффект выражается в приросте показателей работоспособности и улучшении спортивных достижений.

Кумуляция — накопление.

Лейкопения (от греч. *leucos* — белый и *penia* — бедность) — пониженное содержание лейкоцитов в крови.

Лейкоцит (от греч. *leucos* — белый и *cytus* — клетка) — форменный элемент крови, имеющий ядро.

Лейкоцитоз (от лат. *leucocytosis*) — повышенное содержание лейкоцитов в крови.

Максимальная вентиляция легких (МВЛ) — количество воздуха, проходящее через легкие при максимально частом и глубоком дыхании за 1 мин. Величина МВЛ у нетренированных людей составляет: у мужчин — 100–180 л, у женщин — 70–120 л, у спортсменов: у мужчин — 350 л, у женщин — 250 л.

Максимальное потребление кислорода (МПК) — наибольшая для данного человека скорость потребления кислорода во время работы с участием большой (более 50 %) мышечной массы. У хорошо тренированных спортсменов МПК достигает: у мужчин — 4–6 л/мин, у женщин — 3–4 л/мин.

Массаж (от фр. *massage*) — совокупность научно обоснованных и практически проверенных приемов механического дозированного и рефлекторного воздействия на организм человека с целью укрепления здоровья, профилактики и лечения заболеваний.

Метаболизм (изменение, превращение) — обмен веществ в организме, совокупность процессов *анаболизма* и *катаболизма*.

Метаболиты — вещества, образовавшиеся в организме в результате различных биохимических реакций в процессе обмена веществ.

Минутный объем сердца (крови) (МОС, МОК) — количество крови, выбрасываемое левым (правым) желудочком сердца в 1 мин. В покое МОК равен 4,5–5,5 л.

Минутный объем дыхания (МОД) — количество воздуха, проходящего через легкие за 1 мин. В покое МОД составляет 5–12 л/мин. При физической нагрузке у нетренированных людей может достигать 60–120 л/мин, у спортсменов — 200–250 л.

Миоглобинурия — наличие в моче миоглобина. Наблюдается при патологическом распаде мышечного белка.

Миозит (от греч. *mys* — мышца) — воспаление скелетных мышц.

Миотонометрия — метод измерения тонуса (твердости) мышц. Единица измерения — миотон (100 миотонов соответствует твердости стекла). Хорошее функциональное состояние нервно-мышечной системы характеризуется тонусом напряжения выше 70 миотонов.

Миокард — сердечная мышца, обеспечивающая сокращения сердца и формирующая его желудочки и предсердия.

Миофибриллы — структурные единицы мышечного волокна.

Митохондрии — органоиды, в которых протекают окислительно-восстановительные реакции, обеспечивающие клетки энергией.

Молочная кислота (лактат) — конечный продукт гликолиза. Уровень ее в крови позволяет судить о состоянии в работающих мышцах процессов аэробного окисления и анаэробного гликолиза (в последнем случае повышается содержание лактата в крови). В норме концентрация ее в крови составляет 0,33–0,78 ммоль/л. После тренировки эта величина повышается до 17,5 ммоль/л.

Мышечное волокно — структурная единица мышцы.

Незаменимые аминокислоты — аминокислоты, не синтезируемые в организме, а поступающие в него с пищей.

Нейрогуморальная регуляция функций — регулирующее и координирующее влияние нервной системы и содержащихся в крови, лимфе и тканевой жидкости биологически активных веществ на процессы жизнедеятельности организма человека и животных.

Обмен веществ — совокупность химических и физических превращений, происходящих в организме и обеспечивающих его жизнедеятельность во взаимосвязи с внешней средой. Состоит из процессов ассимиляции и диссимиляции.

Общий адаптационный синдром — совокупность взаимосвязанных и последовательно сменяющих друг друга изменений в организме,

возникающих в ответ на действие любого чрезвычайного или патологического раздражителя и направленных на повышение неспецифической резистентности организма.

Оксигеметрия (от лат. *oxigenium* — кислород, *haima* — кровь и *metreo* — измеряю) — метод определения насыщения артериальной крови кислородом.

Оксигенотерапия (от лат. *oxigenium* — кислород и греч. *therapia* — уход, лечение) — лечебное применение кислорода.

Основной обмен — один из показателей интенсивности обмена веществ и энергии в организме; выражается количеством энергии, необходимой для поддержания жизни в состоянии полного физического и психического покоя, натошак, в условиях теплового комфорта.

Патогенез (от греч. *pathos* — страдание, болезнь и *genesis* — происхождение, развитие) — учение об общих закономерностях развития, течения и исхода болезней.

Патология (от греч. *pathos* — страдание, болезнь и *logos* — учение, наука) — наука о болезнях, болезненных состояниях организма.

Патологическая:

- **п. реакция** — элементарная реакция клетки, ткани, органа на патогенный раздражитель, выходящая за пределы физиологической нормы;

- **п. состояние** — сходные с патологическим процессом медленно развивающиеся изменения в организме, часто являющиеся выражением процесса старения. Например, климакс, ухудшение зрения и слуха с возрастом и др.;

- **п. процесс** — длительные изменения в организме, формирующиеся из нескольких патологических реакций и оставляющие длительные структурно-функциональные нарушения. Например, воспалительный процесс и др.

Перенапряжение — изменения в организме, возникающие при резком несоответствии нагрузки (в основном физической) функциональным возможностям организма.

Перетренированность — патологическое состояние, проявляющееся в дезадаптации, нарушении достигнутого в процессе тренировки уровня функциональной готовности, регуляции деятельности систем организма, оптимального соотношения между корой головного мозга и нижележащими отделами нервной системы, двигательным аппаратом и внутренними органами.

Переутомление — накопление (кумуляция) утомления в результате неправильного режима, не обеспечивающего восстановления сил.

Печеночный болевой синдром — патологическое состояние, основным симптомом которого являются острые боли в правом подреберье, возникающие у спортсменов во время выполнения длительных интенсивных тренировочных и соревновательных нагрузок.

Пик нагрузки — наивысшая тренировочная нагрузка в данном периоде тренировки.

Пик спортивной формы — оперативное состояние спортсмена, находящегося в состоянии спортивной формы, определяющее достижение самых высоких для него результатов. Связано со стечением большинства благоприятных факторов внешней и внутренней среды.

Порог анаэробного обмена (ПАНО) — зона аэробно-анаэробного перехода, характеризующаяся значительными изменениями в энергетике мышечного сокращения, увеличением концентрации лактата в крови при повышении интенсивности выполняемой нагрузки.

Проба (тест) — специальная тестирующая процедура для оценки функционального состояния отдельных органов, систем или физической работоспособности; проводится в стандартных условиях:

- **п. Генчи** — задержка дыхания на выдохе;
- **п. клиностатическая** — определение разности ЧСС при переходе из положения стоя в положение лежа. Применяется для оценки активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы организма спортсменов;
- **п. Летунова** — трехмоментная функциональная проба с физической нагрузкой, предназначенная для оценки адаптации организма спортсмена к скоростной работе и к работе на выносливость. Состоит из следующих нагрузок: 20 приседаний за 30 секунд, 15-секундный бег на месте в максимальном темпе и 3-минутный бег на месте в темпе 180 шагов/мин. Оценка пробы — качественная, с определением типов реакции (нормотонический, гипертонический, гипотонический, дистонический и ступенчатый);
- **п. пальценосовая** — при закрытых глазах необходимо указательными пальцами поочередно дотронуться до кончика носа (из положения руки вперед). С помощью пробы оценивают состояние динамической координации нервной системы;
- **п. ортостатическая** — определение разности ЧСС при переходе из положения лежа в положение стоя. Оценивается активность симпатического отдела вегетативной нервной системы;
- **п. Розенталя (спирометрическая кривая)** — пятикратное измерение ЖЕЛ, проводимое через 15-секундные промежутки времени;

- **п. Ромберга** — определение времени устойчивости в стойке на одной ноге (без обуви) с касанием пяткой другой ноги коленной чашечки опорной. Руки при этом вытянуты вперед, пальцы раздвинуты (без напряжения), глаза закрыты. С ее помощью оценивают статическую координацию нервной системы;

- **п. форсированная ЖЕЛ** — определяется так же, как ЖЕЛ, но при максимально быстром (форсированном) выдохе. Характеризует состояние бронхиальной проходимости;

- **п. Штанге** — задержка дыхания на вдохе (80–90 % от максимального).

Протеинурия — повышенное содержание белка в моче.

Профилактика (от греч. *prophylacticos* — предохранительный) — предупредительно-оздоровительные мероприятия, направленные на сохранение и укрепление здоровья.

Психостимуляторы — допинговые препараты, оказывающие стимулирующее влияние на функции головного мозга, активизирующие психическую и физическую деятельность организма. Например, кофеин, сиднокарб, сиднофен и др.

Пульс (от лат. *pulsus* — удар) — толчкообразные ритмические колебания стенок сосудов, вызываемые выбрасыванием крови из сердца при сокращении.

Работоспособность — потенциальная возможность человека выполнять целесообразную мотивированную деятельность на заданном уровне эффективности в течение определенного времени.

Реабилитация (от лат. *re* — вновь и *habilis* — удобный) — комплекс медицинских, педагогических и социальных мероприятий, направленных на восстановление нарушенных функций организма, а также социальных функций и трудоспособности больных, инвалидов.

Релаксация (от лат. *relaxatio* — ослабление напряжения) — 1) расслабление скелетной мускулатуры; 2) снятие психического напряжения.

Ригор — устойчивое, непроходящее сокращение мышц.

Сарколема — электровозбудимая мембрана мышечной клетки.

Саркомер — основная функциональная единица миофибриллы.

Саркоплазма — жидкость, находящаяся внутри мышечной клетки.

Саркоплазматический ретикулум — система трубочек, связанная с миофибриллами и содержащая запасы кальция для осуществления мышечных сокращений.

Седативные средства (от лат. *sedo* — успокаивать) — допинговые препараты, оказывающие успокаивающее действие на центральную нервную

систему. В клинической практике применяются для лечения нервно-психических заболеваний.

Сердечные гликозиды — допинговые препараты, стимулирующие сердечную деятельность (усиливают систолу, удлиняют диастолу, замедляют ритм, улучшают приток крови к желудочкам, увеличивают ударный объем сердца). В клинической практике применяются для лечения сердечно-сосудистых заболеваний.

Симпатомиметические амины — допинговые препараты, стимулирующие работу центров дыхания и кровообращения (например, адреналин, эфедрин, мезатон и др.). В клинической практике применяется для лечения различных заболеваний.

Система отрицательной обратной связи — первичный механизм, благодаря которому эндокринная система поддерживает гомеостаз.

«Спортивное сердце» — медицинский термин, которым обозначается вполне здоровое сердце, характеризующееся комплексом структурных и функциональных особенностей, обеспечивающих ему высокую адаптивность и производительность при мышечной работе.

Спортивная медицина — 1) отрасль медицины, изучающая здоровье, физическое развитие и функциональные возможности организма в связи с воздействием на него занятий физической культурой и спортом; 2) наука, изучающая положительные и отрицательные влияния различных по степени физических нагрузок (от гипо- до гиперкинезии) на организм здорового и больного человека с целью определения оптимальных физических нагрузок для укрепления и восстановления здоровья, повышения уровня функционального состояния, роста спортивных достижений, а также профилактики и лечения различных заболеваний (определение А. Г. Дембо).

Срочная адаптация — ответ организма на однократное воздействие физической нагрузки.

Стимуляторы кроветворения — препараты железа, стимулирующие функцию кроветворных органов. У спортсменов применяют при тренировках в условиях среднегорья, при переутомлении и т. п. (гемостимулин, кобамамид и др.).

Стресс (от англ. *stress* — напряжение) — состояние напряжения реактивности организма, возникающее у человека при действии чрезвычайных раздражителей и проявляющееся общим адаптационным синдромом.

Тейп — лейкопластырная повязка, применяемая в спорте для функционального лечения травм и заболеваний опорно-двигательного аппарата и в профилактических целях.

Терморегуляция — процесс поддержания температуры тела в определенных границах, обеспечивающий нормальное протекание жизненных функций независимо от колебаний температуры внешней среды.

Тест PWC_{170} — субмаксимальный тест для определения физической работоспособности физкультурников и спортсменов. В практике спорта применяют два варианта теста — велоэргометрический и со специфической нагрузкой. Чаще используют первый: испытуемый выполняет две 5-минутные нагрузки разной мощности (W_1 и W_2) с 3-минутным перерывом. В конце каждой нагрузки определяется ЧСС (f_1 и f_2). Величину PWC_{170} определяют графически или по формуле:

$$PWC_{170} = W_1 + (W_2 - W_1) \cdot ((170 - f_1) / (f_2 - f_1)).$$

Токсины — биологически активные вещества бактериального, растительного или животного происхождения, способные при попадании в организм человека или животного вызывать заболевание или их гибель.

Травма (от греч. *trauma* — рана, повреждение) — нарушение целостности и функций тканей в результате воздействия внешних факторов.

Транквилизаторы (от лат. *tranquillo* — успокаиваю) — допинговые препараты, подавляющие патологические страхи, напряжение, беспокойство. В клинической практике применяются для лечения нервно-психических заболеваний.

Тредмил (тредбан) — бегущая дорожка, предназначенная для проведения функциональных проб с возможностью изменения угла наклона и скорости движения.

Тренировка — составная часть подготовки спортсмена — специализированный педагогический процесс, построенный на основе системы упражнений и направленный на воспитание и совершенствование определенных способностей, обуславливающих готовность спортсмена к достижению наивысших результатов.

Тренируемость — способность организма адаптироваться к определенной нагрузке.

Ударный (систолический) объем сердца (крови) (УОС, УОК) — количество крови, поступающее в аорту при каждом сокращении сердца. В норме равен 60–70 мл. Во время физической нагрузки достигает 150–170 мл, у спортсменов более 200 мл.

Утомление — временное объективное снижение работоспособности под влиянием длительного воздействия нагрузки, сопровождающееся потерей интереса к работе (преобладанием мотивации на прекращение деятельности), негативными эмоциональными и физиологическими реакциями.

Фагоцитоз (от греч. *phagos* — пожирающий и *cytos* — клетка) — процесс активного захватывания и поглощения микроорганизмов, разрушенных клеток и инородных частиц одноклеточными организмами или особыми клетками (фагоцитами).

Факторы риска — факторы, способствующие развитию заболеваний, преждевременному старению и сокращению продолжительности жизни. К ним относят гипокинезию, избыточный вес, курение, психические стрессы и др.

Фармакология (от греч. *pharmacion* — лекарство и *logos* — наука, учение) — наука о действии лекарственных средств на организм человека и животных.

Фермент (энзим) (от лат. *fermentum* — брожение) — сложное органическое вещество белковой природы, катализатор химических процессов в организме.

Физиотерапия (от греч. *physis* — природа и *therapeia* — уход, лечение) — лечение физическими методами (водой, светом, температурой и др.).

Физическая работоспособность (от англ. *physical working capacity* — *PWC*) — определенное состояние организма, позволяющее выполнить тот или иной объем физической работы.

Фонофорез (от греч. *phono* — звук, голос и *phoresis* — несение, перенос) — метод сочетанного воздействия ультразвуковых колебаний и лекарственных веществ. В спорте процедуры фонофореза выполняют с гидрокортизоном, анальгином, финалгоном, мумие и др., в смеси с вазелином.

Хлорэтил — препарат, применяемый в спорте для местной анестезии. При распылении анестетик быстро испаряется, отнимает у тканей теплоту, что приводит к их замораживанию и снижению чувствительности.

Хронический (от греч. *chronos* — время) — долго длящийся.

Цианоз (от греч. *cyanos* — темно-синий) — синюшное окрашивание кожных покровов.

Цирроз (от греч. *kirrhos* — желтый, рыжий) — разрастание плотной соединительной ткани, замещающей специфические элементы органа, с исходом в сморщивание.

Частота дыхания — количество дыхательных циклов в 1 минуту. У здоровых нетренированных людей составляет 14–18, у спортсменов — 8–16 циклов/мин.

Часы биологические — способность человека ориентироваться во времени, основанная на строгой периодичности биологических процессов,

обусловленных изменением геофизических факторов (свет и тьма, работа и отдых и др.).

Экзогенный — возникающий вследствие внешних причин.

Электрофорез (электро- и греч. *phoresis* — несение, перенос) — введение в организм человека лекарственных веществ через неповрежденную кожу или слизистые под влиянием постоянного тока.

Эндогенный — возникающий, развивающийся в организме вследствие внутренних причин.

Эндокринная система — система желез, вырабатывающих гормоны и выделяющих их непосредственно в кровь.

Эндокринология (от греч. *endon* — внутри, *crino* — отделяю и *logos* — учение) — наука, изучающая железы внутренней секреции (эндокринные).

Эритропения — пониженное, по сравнению с нормальным, содержание эритроцитов в крови.

Эритропоэтин — гормон, стимулирующий образование эритроцитов.

Эритроцит — безъядерный форменный элемент крови, содержащий гемоглобин.

Эритроцитоз — повышенное, по сравнению с нормальным, содержание эритроцитов в крови. Норма находится в пределах: у мужчин — 4,5–5,5 млн/мм³, у женщин — 4–4,5 млн/мм³.

Эффект отсроченный — изменения в состоянии организма, наблюдаемые после окончания предыдущего занятия до начала очередного.

Эффект отставленный — эффект, остающийся после выполнения упражнения и меняющийся в зависимости от динамики восстановительных процессов.

Эффект срочный (ближний) — процессы, происходящие в организме непосредственно во время выполнения упражнения, и изменения функционального состояния организма, возникающие к концу упражнения в результате его выполнения.

Учебное издание

Селезнева Ирина Станиславовна
Иванцова Мария Николаевна

**БИОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ
ПРИ ЗАНЯТИЯХ ФИЗКУЛЬТУРОЙ
И СПОРТОМ**

Учебное пособие

Заведующий редакцией	<i>М. А. Овечкина</i>
Редактор	<i>Н. В. Чапаева</i>
Корректор	<i>Н. В. Чапаева</i>
Оригинал-макет	<i>Л. А. Хухаревой</i>

Подписано в печать 12.03.2019. Формат 60 × 84^{1/16}.
Бумага офсетная. Цифровая печать. Усл. печ. л. 9,53.
Уч.-изд. л. 7,8. Тираж 40 экз. Заказ 48

Издательство Уральского университета
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ
620083, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел.: +7 (343) 389-94-79, 350-43-28
E-mail: rio.marina.ovechkina@mail.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ
620083, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел.: +7 (343) 358-93-06, 350-58-20, 350-90-13
Факс: +7 (343) 358-93-06
<http://print.urfu.ru>

Для заметок

Для заметок

