

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации

Лекции по физической культуре

учебное пособие

под общей редакцией В. Н. Васильева, И. Ю. Якимович

Томск
Издательство СибГМУ
2016

УДК 613.71(075.8)

ББК 75я73

Л436

Авторы:

В. Н. Васильев, Е. В. Немеров, И. Ю. Якимович, Д. А. Бородин,
В. Л. Бибик, И. К. Подрезов, Е. А. Тимофеев, Н. И. Жукова

Л436 **Лекции по физической культуре** : учебное пособие / В. Н. Васильев, Е. В. Немеров, И. Ю. Якимович и др.; под ред. В. Н. Васильева, И. Ю. Якимович. – Томск: Издательство СибГМУ, 2016. – 207 с.

Данное учебное пособие содержит материал, отражающий современные представления о физиологии двигательной активности, реакциях организма на физическую нагрузку. В пособии представлены сведения о значении образа жизни в формировании индивидуального и популяционного здоровья человека, эффектах долговременной адаптации организма человека к физическим нагрузкам. Пособие дает общие представления о самостоятельной организации тренировок, направленных на развитие физических качеств человека, занятий оздоровительной и производственной физической культурой, особенностях физических тренировок в условиях повышенной температуры окружающей среды. В пособии приведен перечень вопросов для самоконтроля.

Учебное пособие предназначено для студентов 1—5-го курсов медицинского университета, обучающихся по специальностям: «Педиатрия», «Лечебное дело», «Фармация», «Медицинская психология», «Социальная работа», «Медицинская биофизика, биохимия, кибернетика». Учебное пособие «Лекции по физической культуре» подготовлено по дисциплине «Физическая культура» в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования.

УДК 613.71(075.8)

ББК 75я73

Рецензенты:

О. В. Смирнов – к. п. н., доцент кафедры высшего спортивного мастерства ФГБОУ ВПО «Томский государственный педагогический университет».

Л. В. Капилевич – д. м. н., профессор, заведующий кафедрой спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины НИ ТГУ.

Утверждено и рекомендовано к печати Учебно-методической комиссией педиатрического факультета ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России (протокол № 5 от 2015 г.).

© В. Н. Васильев, Е. В. Немеров, И. Ю. Якимович,
Д. А. Бородин, В. Л. Бибик, И. К. Подрезов,
Е. А. Тимофеев, Н. И. Жукова, 2016

© Сибирский государственный медицинский университет, 2016

Лекция 1

ОБРАЗ ЖИЗНИ КАК ВЕДУЩИЙ ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ПОПУЛЯЦИОННОЕ ЗДОРОВЬЕ

В.Н. Васильев

1.1. Здоровье населения и демографический прогноз

Здоровье населения любой страны является важным ресурсом и условием, определяющим ее устойчивое развитие.

Существует много показателей, характеризующих популяционное здоровье: заболеваемость по разным возрастным группам, рождаемость, смертность населения и др. Интегральным расчетным показателем является ожидаемая продолжительность предстоящей жизни при рождении. Он показывает вероятную продолжительность жизни человека в том случае, если все показатели экономики и здравоохранения останутся на протяжении его жизни такими, какими были на момент рождения. Анализ этого показателя в России на протяжении более чем 100 лет показывает очевидный прогресс (табл. 1).

Таблица 1

Изменение средней ожидаемой продолжительности жизни при рождении в России в период 1896–2014 гг.

| Год | Все население | Мужчины | Женщины |
|---------|---------------|---------|---------|
| 1896/97 | 30,54 | 29,4 | 31,7 |
| 1926/27 | 42,93 | 40,2 | 45,6 |
| 1958/59 | 67,91 | 63,0 | 71,6 |
| 1970/71 | 68,93 | 63,21 | 73,55 |
| 1980/81 | 67,61 | 61,53 | 73,09 |
| 1990 | 69,19 | 63,73 | 74,3 |
| 1994 | 63,85 | 57,42 | 71,08 |
| 2000 | 65,34 | 59,03 | 72,26 |
| 2006 | 66,6 | 60,37 | 73,23 |
| 2007 | 67,51 | 61,39 | 73,90 |
| 2008 | 67,88 | 61,83 | 74,16 |
| 2011 | 69,83 | 64 | 75,6 |
| 2012 | 70,2 | 64,5 | 75,8 |
| 2013 | 70,8 | 65,1 | 76,3 |
| 2014 | 70,93 | 65,29 | 76,49 |

В конце XIX века ожидаемая продолжительность жизни на момент рождения составляла около 30 лет. Механизация сельскохозяйственного производства позволила увеличить производство продуктов питания и ликвидировала голод как основную причину смертности населения. В результате к началу 30-х годов прошлого века ожидаемая продолжительность жизни в России увеличи-

лась до 43 лет. Дальнейшее увеличение данного показателя произошло к концу 50-х годов прошлого века, когда он достиг величины 69–70 лет.

Основной причиной роста явилось развитие медицинской помощи населению, включающей программы диспансеризации (своевременная диагностика заболеваний), вакцинации (исчезновение особо опасных инфекционных заболеваний), рост производства фармакологических препаратов, и в первую очередь антибиотиков (резкое снижение смертности от инфекций), медицинское родо-вспоможение (значительное снижение младенческой и материнской смертности). Начиная с этого времени по сегодняшний день показатель стабилизировался в диапазоне от 68 до 72 лет. Сегодня средняя ожидаемая продолжительность жизни при рождении в России составляет около 72 лет.

Картина, казалось бы, вполне благополучная. Но если сравнить динамику ожидаемой продолжительности жизни в России и в других экономически развитых странах, то выявляются существенные различия (рис. 1). Необходимо отметить, что как у мужчин, так и у женщин ожидаемая продолжительность жизни на момент рождения много ниже, чем в развитых странах мира. Так, в 2014 г. наша страна по этому показателю занимала 151-е место среди 220 стран сравнения. В реестр этих стран входят и Германия и Япония, понесшие огромные человеческие и экономические потери во время Второй мировой войны. Необходимо отметить факт большого разрыва этого показателя между мужчинами и женщинами. В России в 2000 г. он составлял примерно 12 лет. Все развитые в экономическом плане страны дружными рядами идут по пути прогресса, а в России уже почти 50 лет происходит в лучшем случае стагнация.

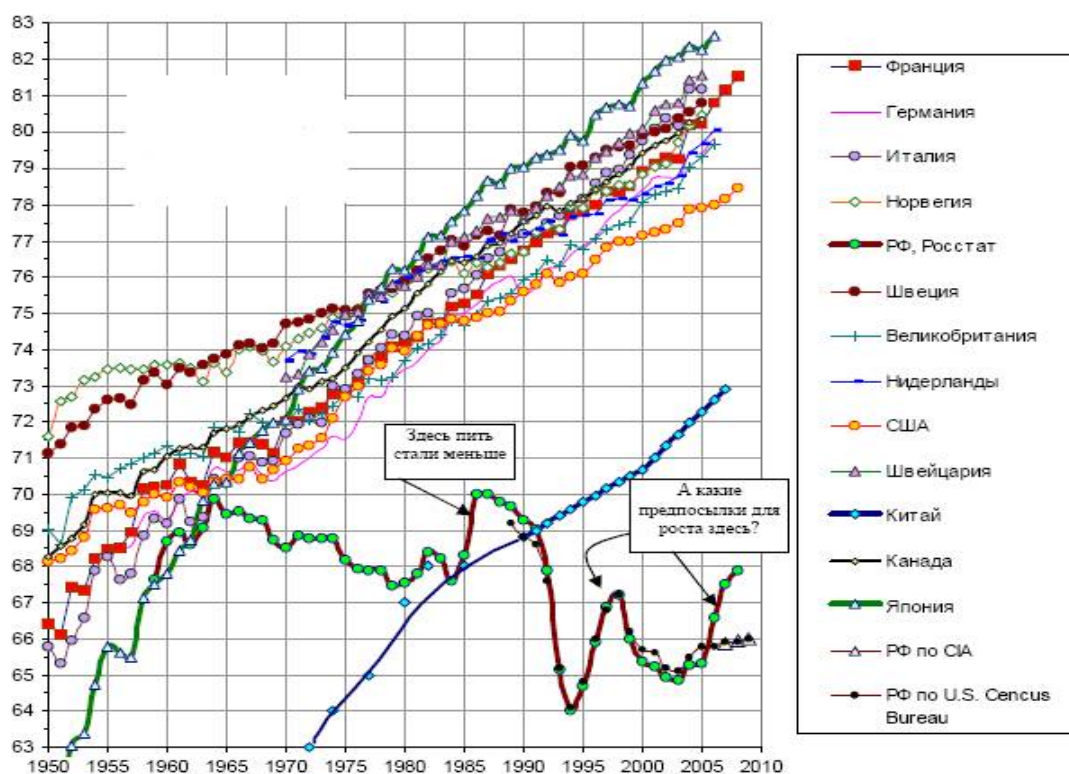


Рис. 1. Средняя продолжительность предстоящей жизни при рождении в России и других странах

Основной причиной является недооценка образа жизни как ведущего фактора, определяющего уровень популяционного здоровья в развитых странах. В середине 60-х – начале 70-х гг. прошлого века в развитых странах мира были проведены исследования, которые показали важную роль образа жизни в формировании здоровья. В ответ на это понимание были разработаны и на государственном уровне внедрены программы коррекции питания, чистой питьевой воды, коррекции избыточного веса, увеличения объема двигательной активности, борьбы с табакокурением, пьянством и наркоманией, экологические программы. В результате за последние 50 лет в большинстве развитых стран средняя ожидаемая продолжительность жизни росла и достигла величины 78–82 года. В течение этого периода времени в Российской Федерации программы здорового образа жизни носили декларативный и пропагандистский характер. Реальную финансовую и юридическую поддержку они получили лишь в последние годы.



Рис. 2. Динамика смертности и рождаемости в России в период 1950—2012 гг. (число случаев на 1000 населения)

Важными демографическими показателями являются рождаемость и смертность населения (рис. 2). В анализируемый временной период рождаемость была наивысшей в 1950 г., затем она снизилась, в период 1970–1990 гг. ситуация стабилизировалась, даже произошел некоторый рост, но начиная с 1990 г. количество детей, рожденных в расчете на 1000 населения, снижалось. В 2000 г на 1000 населения было рождено 9 детей, что в 3 раза меньше, чем в 1950 г.

Одновременно со снижением рождаемости нарастала смертность населения. В тот же период времени с 1950 по 2000 г. она увеличилась в 1,5 раза. Снижение рождаемости на фоне увеличения смертности населения привело к формированию отрицательного роста населения страны в период с 1994 по 2012 г. По данным Совета безопасности ООН, с 1994 по 2015 г. численность населения России снизилась примерно на 10 млн человек. За этот период времени у нашего соседа – Китая – она возросла примерно на 200 млн человек (рис. 3). Изменение социально-экономической ситуации в России в последние 10 лет и введение материнского капитала изменили ситуацию. Рождаемость увеличилась, смертность несколько снизилась, и сегодня Россия выходит на положительный прирост населения.

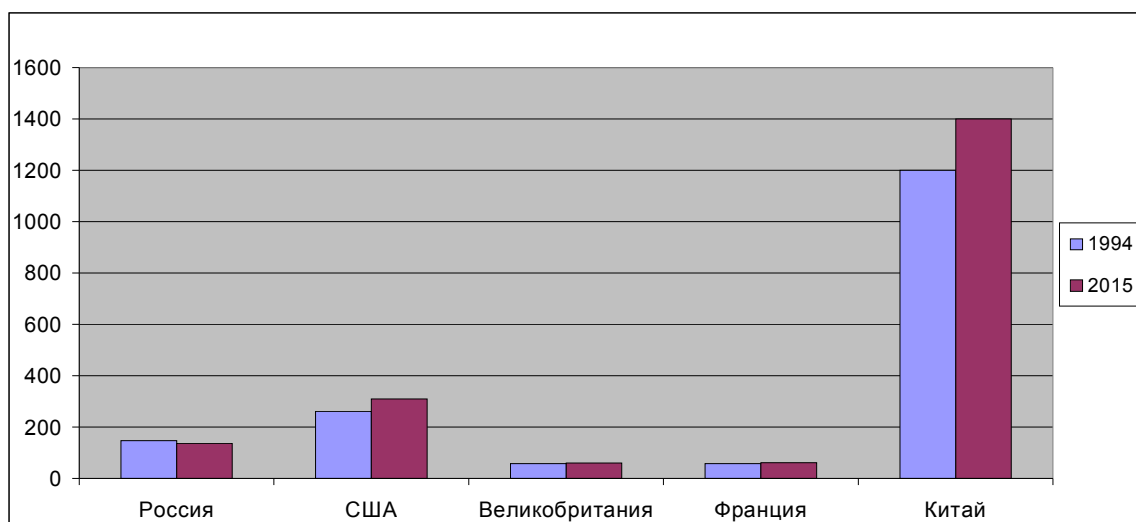


Рис. 3. Прогноз изменения численности населения стран – постоянных членов Совета безопасности ООН в 1994—2015 гг.

Таким образом, почти 20 лет в России сохранялись процессы депопуляции: численность населения снижалась, отрицательную динамику имели качественные показатели популяционного здоровья. Обращает на себя внимание тот факт, что в России среди основных причин смерти одно из ведущих мест занимает смертность от так называемых внешних причин, или преждевременная смертность (рис. 4).

Отличительной особенностью России в сравнении с экономически развитыми странами мира является то, что внешние причины являются основной причиной смерти мужчин трудоспособного возраста. К этим причинам относят смертность от отравлений алкоголем, убийства, самоубийства, транспортный травматизм (рис. 5). Как показывает анализ кривых смертности, она была высокой еще до экономической и политической перестройки в России, остается высокой и по настоящее время.



Рис. 4. Основные классы причин смерти в России в период 2006–2011 гг.



Рис. 5. Структура смертности от внешних причин в России в период 1980–2012 гг.

На фоне развитых в экономическом отношении стран мира Россия выглядит худшим образом. Преждевременная смертность в нашей стране в разы выше, чем в Германии, США, Японии и Франции (рис. 6). По этому показателю в 2002 г. Россия находилась в одном ряду с такими странами мира, как Либерия, Сьерра-Леоне и Демократическая Республика Конго. Т. е. со странами с низким уровнем жизни, высокой смертностью от эпидемий и голода, странами, на территории которых шли военные действия, уносящие десятки тысяч жизней (рис. 7).

Смертность от внешних причин в странах «восьмерки»
 Из книги «Российские реформы в цифрах и фактах», <http://kaivg.narod.ru>

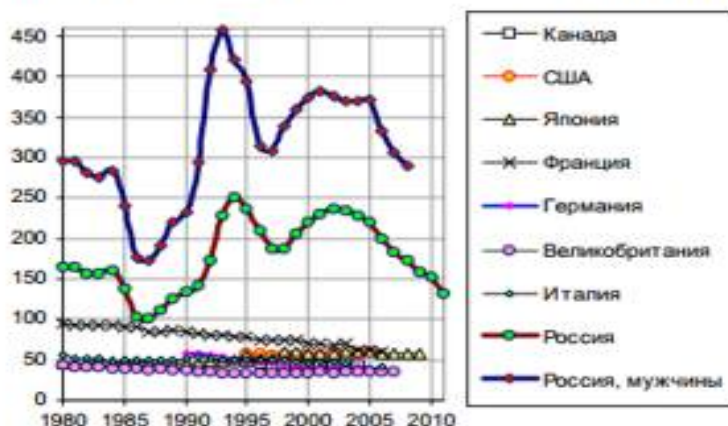
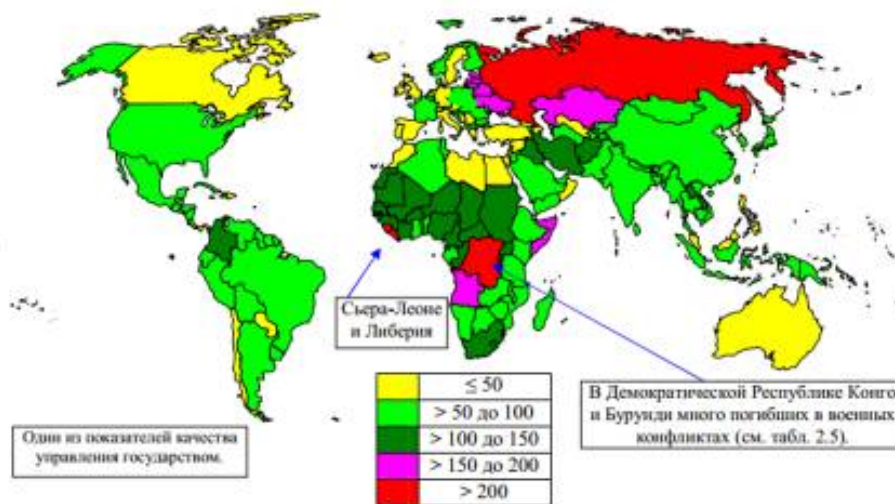


Рис. 2.31. Смертность от внешних причин в странах «восьмерки», на 100 тыс. человек населения. Источники: UN Demographic Yearbook, [L6, L7, L24]; расчет по данным European mortality database (MDB), WHO/Europe; OECD.Stat.

Рис. 6. Смертность от внешних причин в странах «восьмерки» на 100 тысяч человек населения в период 1980–2010 гг.

Смертность от внешних причин в странах мира в 2002 году

Из книги «Российские реформы в цифрах и фактах», <http://kaivg.narod.ru>



Уровень смертности от внешних причин в странах мира в 2002 году, человек на 100000 человек населения. Источник: WHO, Department of Measurement and Health Information: Burden of Disease

Рис. 7. Смертность от внешних причин в странах мира в 2002 г.

Что же происходит в России, какие основные причины высокой преждевременной смертности? Ответ на этот вопрос лежит в выявлении ведущей роли

образа жизни в формировании индивидуального и популяционного здоровья населения.

1.2. Факторы, определяющие индивидуальное здоровье

Здоровье – это состояние полного физического, духовного и социального благополучия, а не только отсутствие болезней и физических дефектов (ВОЗ: Устав. – Женева, 1968). Общепринято выделение следующих факторов, влияющих на состояние здоровья человека: генетические (15 %), экологические (25 %), медицинские (10 %) и образ жизни (50 %) (рис. 8).

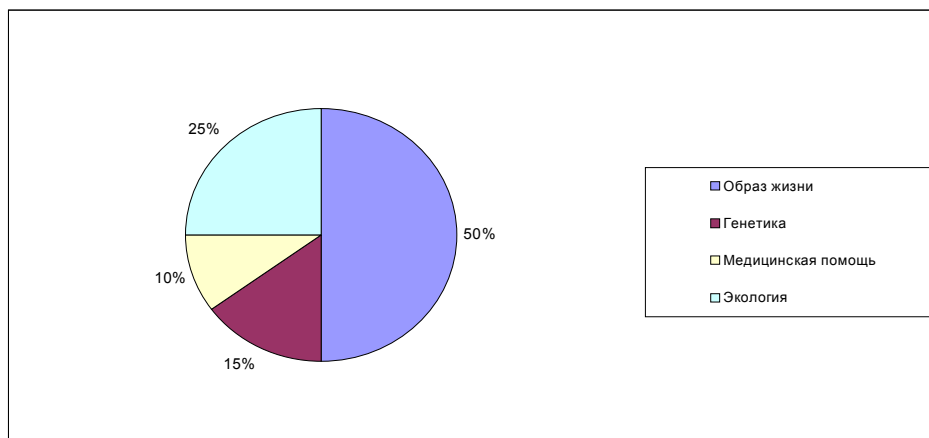


Рис. 8. Факторы, определяющие здоровье человека

Такое процентное разделение вклада разных факторов в формирование здоровья человека типично для развитых стран с высоким уровнем дохода на душу населения, достаточно высоким уровнем медицинской помощи. Но вместе с тем не следует забывать о том, что это соотношение факторов не является универсальным. Оно будет совершенно другим для лиц, проживающих в экологически неблагоприятных районах. Оно будет другим при оценке здоровья у лиц с тяжелыми генетическими дефектами. Можно полагать, что вклад медицинской составляющей будет иным для жителей отдаленных сельских районов, ограниченных в доступности, своевременности и качестве медицинской помощи. В результате научных исследований установлено, что наибольшее значение в формировании здоровья современного человека, в том числе и в России, играет его образ жизни (50 %).

От него, в большей степени, зависит возникновение, течение и исход заболеваний, являющихся основной причиной смерти человека: ишемической болезни сердца (ИБС), рака, транспортного травматизма, цирроза печени, самоубийств (табл. 2). Из этого ряда выбиваются пневмония, в патогенезе которой ведущую роль играют экологические факторы, и сахарный диабет первого типа – генетически детерминированное заболевание.

Тем не менее, при всех условиях наиболее значимым фактором здоровья остается образ жизни человека. Это все то, на что мы можем влиять сознательно, включая выбор места проживания, производственную деятельность, пита-

ние, двигательную активность, режим дня, наше отношение к диспансеризации, вакцинации и другим видам медицинской помощи, способность противостоять стрессам.

Таблица 2

Вклад разных факторов в развитие различных заболеваний и нарушений, % (Голицина И. П., Карасева Т. В., 1966)

| Заболевание | Фактор, определяющий здоровье | | | |
|-------------------------|-------------------------------|--------------|----------|-------------------------|
| | образ жизни | генетический | экология | медицинское обеспечение |
| ИБС | 60 | 18 | 12 | 10 |
| Рак | 45 | 26 | 19 | 10 |
| Диабет | 35 | 53 | 2 | 10 |
| Пневмония | 19 | 18 | 43 | 20 |
| Цирроз печени | 70 | 18 | 9 | 3 |
| Самоубийства | 55 | 25 | 15 | 3 |
| Транспортный травматизм | 65 | 3 | 27 | 5 |

Особо необходимо отметить склонность населения России к саморазрушающему поведению – табакокурению, употреблению алкоголя, перееданию. Употребление наркотиков и наркомания в значительной степени, также зависят от образа жизни. Разработка и внедрение на государственном уровне программ коррекции образа жизни дает существенный прирост популяционного здоровья. Примером является снижение смертности от сердечно-сосудистых заболеваний в США в период с 1950 по 2006 г. (рис. 9). Переломным моментом снижения смертности от этой группы заболеваний в США явился период 1965–1980 гг. – период активного внедрения программ здорового образа жизни.

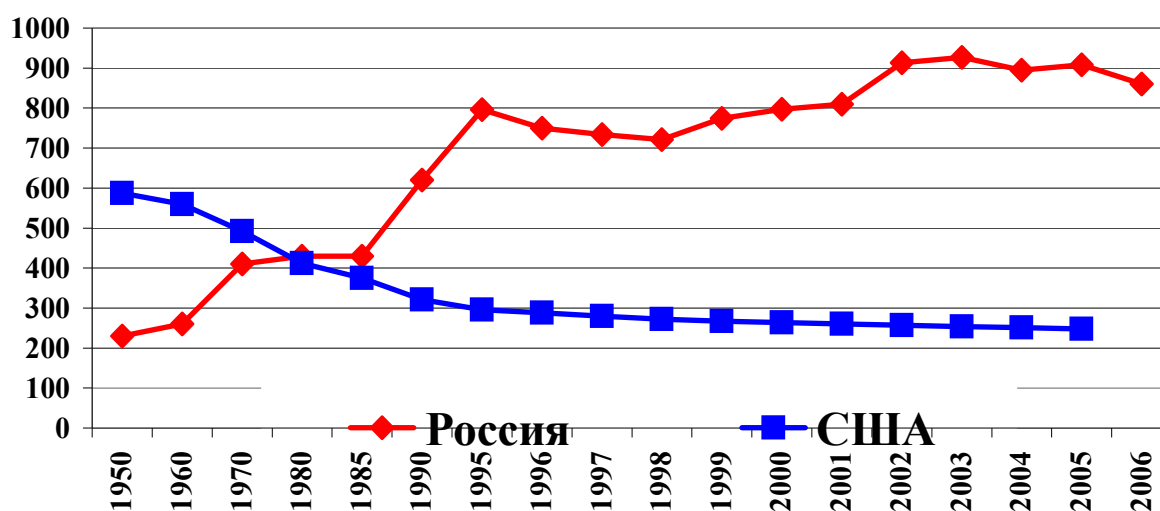


Рис. 9. Динамика смертности от болезней системы кровообращения в США и России (на 100 000 населения)

Основные составляющие нездорового образа жизни:
- низкая мотивация на здоровье;

- неправильное питание;
- дефицит двигательной активности;
- отсутствие навыков саморегуляции стресса;
- злоупотребление алкоголем, курение, наркомания.

Низкая мотивация формирования и сохранения здоровья

Большинство групп населения относится к своему здоровью наплевательски. В юношеском возрасте, когда физиологические ресурсы велики, на первое место выходят приоритеты учебы, отдыха, принадлежности к группе. В зрелом возрасте основные ресурсы отдаются профессиональной деятельности, карьерному росту, зарабатыванию денег для обеспечения семьи. В старческом возрасте люди активно начинают лечиться, пытаются наверстать упущенное. Все хотят быть здоровыми, но реально занимаются своим здоровьем единицы. Важнейшими личностными ценностями цивилизованного человека в свободном обществе является его гуманное отношение к другим людям, к своей жизни, своему здоровью как биологической основе существования. У современного человека потребность в здоровье и здоровом образе жизни должна являться ведущей. От ее реализации зависит продолжительность жизни человека, его физическая и умственная работоспособность, карьерный рост, репродуктивная способность. Потребность быть здоровым включает в себя не только получение знаний о здоровом образе жизни, но и следование этим установкам в своем поведении. К этому относится не только отказ от так называемых вредных привычек, но и своевременное обязательное участие в медицинских осмотрах, контроль двигательной активности, питанием, режимом труда и отдыха, умение регулировать уровень стресса.

Питание

Современное общество в развитых странах устранило проблему голода как ведущего фактора, ограничивающего жизнь человека на протяжении многих тысячелетий. У человека информационного общества неограниченная доступность и потребление продуктов питания находятся в противоречии с низкими энергетическими затратами производственной и бытовой деятельности. В результате такого несоответствия в развитых странах прогрессирует эпидемия избыточного веса. Наряду с этой проблемой существует проблема несбалансированного питания, связанная с дисбалансами между питательными веществами в пищевых рационах. В рамках проблемы питания рассматривается и проблема поступления в организм человека избыточного количества искусственных веществ (красителей, эмульгаторов, разрыхлителей, усилителей вкуса и др.), отравления организма поступающими с продуктами питания ядами и токсинами (инсектицидами, солями тяжелых металлов, органическими ядами и т. д.), гормонов и антибиотиков, используемых в промышленном производстве продуктов питания. Проблема питания рассматривается студентами медицинского университета в процессе изучения нормальной физиологии на втором курсе в отдельном цикле лекций.

Дефицит двигательной активности

Является одним из ведущих факторов снижения здоровья в благополучных группах населения. Этому фактору посвящается отдельная лекция в настоящем учебном пособии.

Отсутствие навыков саморегуляции стресса

Отсутствие стрессоустойчивости типично для большинства людей. Каждый защищается от избыточного напряжения по-своему. Большинство людей не умеют регулировать свое психоэмоциональное напряжение и используют малоэффективные и зачастую разрушающие здоровье средства. К ним относятся употребление алкоголя, наркотиков, курение, «заедание проблем», разгульный образ жизни. Проблему стресса и методов борьбы с ним обсуждают на разных курсах медицинского университета в процессе изучения физиологии, патофизиологии, психологии и психиатрии.

Курение

Долгое время курение табака рассматривалось как «вредная привычка». На самом деле это абиотическое (саморазрушающее) поведение человека. Никотиновая зависимость очень сильная, и страдания человека, бросающего курить, похожи на ломку наркомана. В отличие от других зависимостей (еда, алкоголь, наркотики), курение табака не дает человеку ничего положительного. Последствия курения хорошо изучены и известны большинству студентов со школьной скамьи. У курильщиков на 7–15 лет укорачивается жизнь, формируется ранняя импотенция, у женщин снижается репродуктивная способность, у курильщиков в 7 раз чаще встречается рак бронхов, в 2 раза чаще инфаркт миокарда. Тем не менее, до настоящего времени 27–60 % юношей и 11–38 % девушек являются активными курильщиками, а Россия занимает ведущие места как по потреблению табака на душу населения среди наиболее курящих стран, так и по проценту курящих относительно общего количества населения (рис. 10).

Количество курящих в % от общего количества населения

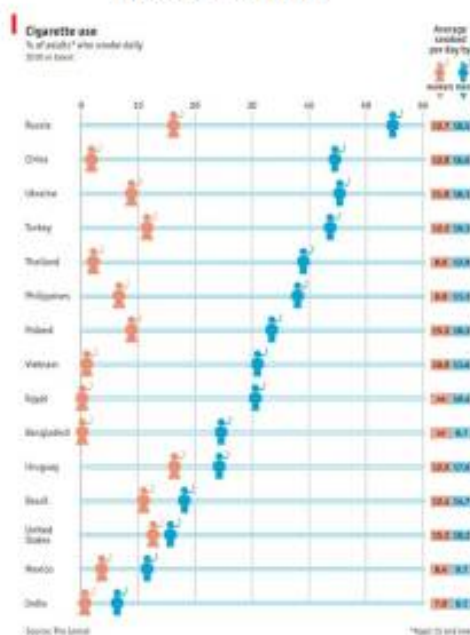


Рис. 10. Количество курильщиков в России и других странах, % относительно общего количества

В плане табакокурения мы далеко опережаем США, Германию, Францию, КНР и находимся примерно на уровне Филиппин и Турции. В США курильщиками являются 12 % женщин и 15 % мужчин. В то же время в России курят около 50 % мужчин и 15 % женщин. Согласно экспертным оценкам, ежегодно в России от последствий табакокурения умирает около 1 млн человек.

Высокий процент курильщиков в России вносит весомый вклад в снижение относительно развитых стран ожидаемой продолжительности жизни. Поэтому курение является второй причиной низкого популяционного здоровья в России.

Алкоголь

В 1987 г. лишь 40 % юношей и 35 % девушек не употребляли алкоголь, согласно данным 1992 г. еще меньше – 21 % юношей и 25 % девушек. В отличие от жителей европейских стран, употребляющих слабоалкогольные напитки, для жителей России характерен так называемый северный стиль употребления алкоголя – разовое употребление ударной дозы водки или спирта.

Исторически Россия являлась одной из наименее пьющих стран Европы. Поэтому тезис о том, что алкоголь – часть русской культуры – является ошибочным. В период с 1860 по 1960 г. потребление алкоголя на душу населения не превышало 3,5–4 литров и было существенно ниже, чем потребление алкоголя в Испании, Италии, Франции, Германии (рис. 11).

Начиная с середины 60-х годов прошлого века в связи с большими затратами СССР на оборону, космические исследования, материальную поддержку стран социалистического лагеря и развивающихся стран сформировался дефи-

цит бюджета, который пополнялся, в том числе, и за счет производства и продажи дешевой водки. Государственная монополия на производство и продажу алкогольных напитков была абсолютной. Производство и продажа самогона карались в законном порядке. Таким образом, финансовые проблемы государства решались за счет биологической склонности населения к пьянству. Вопрос о биологической (генетической) склонности значительной части населения России к употреблению алкоголя обсуждается в специальной литературе, а студенты медицинского университета могут получить эти знания при изучении метаболизма алкоголя в курсе биохимии и при изучении психиатрии. В течение последующих 20 лет потребление алкоголя на душу населения увеличилось в 3 раза – до 10,8 литра. Спаивание населения снизило интегральные показатели популяционного здоровья, увеличило травматизм и снизило производительность труда. Попытка решить проблему посредством ограничения производства и продажи алкогольных напитков в рамках антиалкогольной компании середины 80-х годов прошлого века оказалась неудачной и резко осуждалась широкими массами населения. Тем не менее, в этот период произошло увеличение ожидаемой продолжительности жизни на 2–3 года, снизилось количество самоубийств. Начиная с середины 90-х годов прошлого века произошла либерализация производства и продажи алкогольных напитков. Потребность населения была удовлетворена полностью, а потребление алкоголя на душу населения увеличилось до 18–20 литров!



Рис. 11. Потребление алкоголя на душу населения в России с 1860 по 2010 г., л

Принятые в последние годы меры по увеличению стоимости алкоголя снизили потребление алкоголя до 14 литров на 1 человека в год. Эта цифра огромная. Если из расчетов убрать малолетних детей, беременных женщин, дряхлых стариков и непьющую по разным причинам часть населения, то количество алкоголя на душу активного в плане потребления алкоголя населения достигнет 50 литров в год и более. Что равноценно употреблению 300 мл водки ежедневно.

Эта доза примерно в 3 раза превышает известную дозу в 50 мл чистого алкоголя, являющуюся пороговой для токсического поражения печени. Исходя из этих цифр, становится понятной причина низкой продолжительности жизни в России, особенно мужской части популяции.

Связь потребления алкоголя и продолжительности жизни

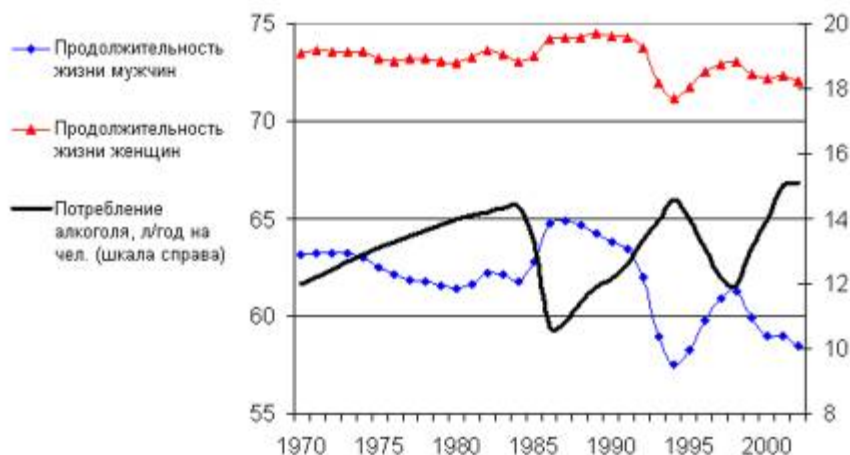


Рис. 12. Связь продолжительности жизни и потребления алкоголя на душу населения в России в период с 1970 по 2000 г.

Смертность от острых отравлений алкоголем не является основным фактором снижения популяционного здоровья. Гораздо большее значение имеют побочные эффекты алкоголизации населения.

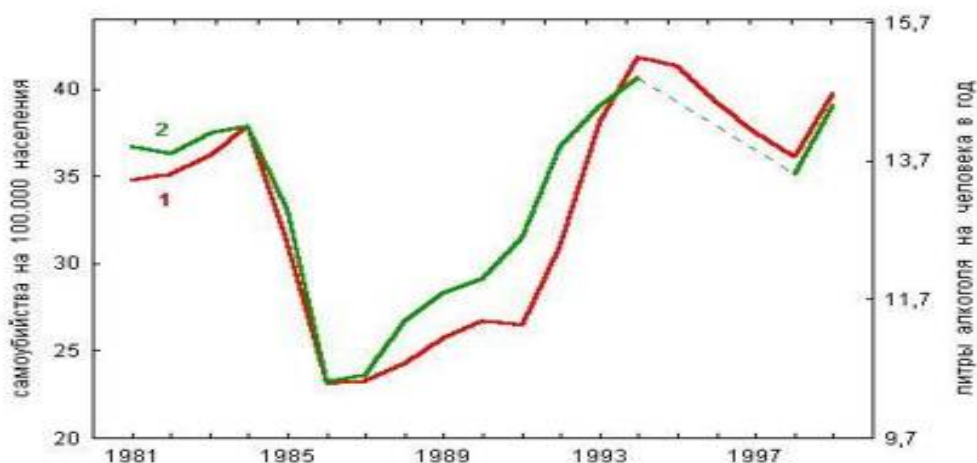


Рис. 13. Динамика самоубийств и потребления алкоголя в России в период 1981–2000 гг.

Не менее 30 % смертей связаны с состоянием опьянения. Это транспортный и производственный травматизм, убийства, самоубийства и другие причины преждевременной смерти. Примером является связь кривых самоубийств на 100 000 населения и потребления алкоголя в литрах на 1 человека (рис. 13). Ко-

эффицент корреляции очень высокий и показывает практически 100 % связь этих кривых. Особенно показателен период антиалкогольной кампании 80-х годов прошлого века, когда уровень самоубийств упал почти на 30 % в течение двух лет.

Показано, что высокий уровень потребления алкоголя является основной причиной смерти в возрасте 20–29 лет.

Таким образом, можно констатировать, что высокий уровень алкоголизации населения в России является ведущей причиной депопуляции и низкого уровня популяционного здоровья.

Наркотики

Медицинское применение наркотиков является необходимым с целью обезболивания больных разного профиля, традиционно в течение многих веков используется в хирургии. До середины 80-х годов прошлого века в России существовало жесткое репрессивное законодательство по отношению к лицам, употребляющим наркотики вне медицинской практики. Любые лица, уличенные в распространении и употреблении наркотиков, получали значительные сроки заключения и подвергались принудительному лечению.

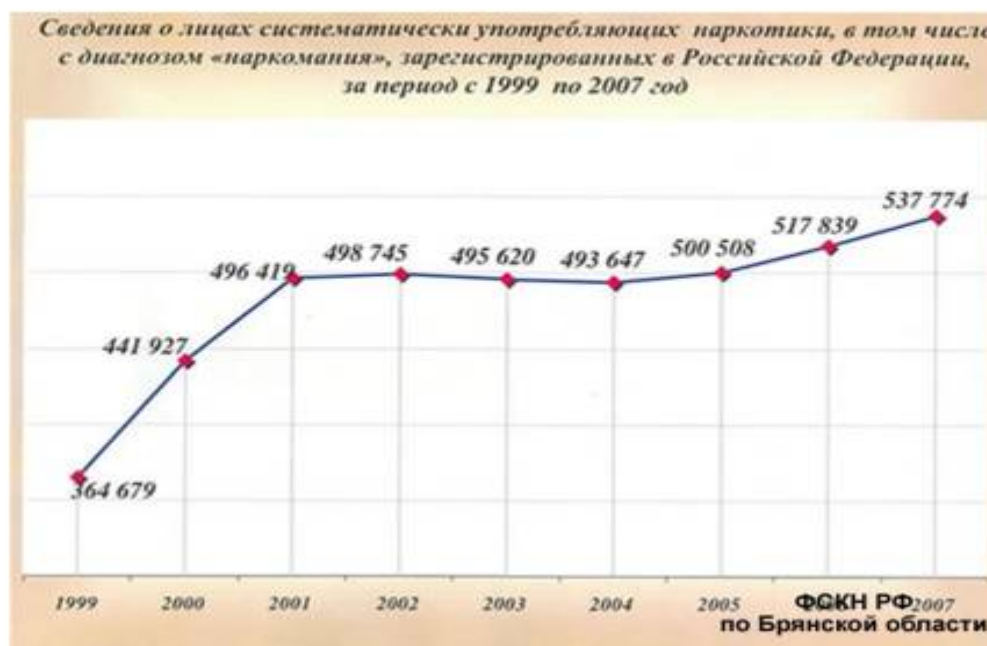


Рис. 13. Динамика количества наркоманов в России в период 1999–2007 гг.

Проблема наркомании являлась актуальной лишь для криминального общества. Среди остальных групп населения России регистрировались единичные случаи. Либерализация общества, а особенно освобождение от уголовной ответственности потребителей наркотиков в период перестройки – всё это привело к эпидемии наркомании (рис. 14). В период экспоненциального роста наркомании в связи со слабым законодательством лишь 9 % продавцов наркотиков подвергались заключению в тюрьмы, а 90 % были условно осужденными.

Способствующим фактором являлась неготовность общества к восприятию опасности употребления наркотиков. Наркотики вошли в молодежную культуру как новая мода. К 2003 г. всего лишь за 10 лет перестройки количество наркоманов в России увеличилось в 20 раз и достигло 3–4 млн.

Эпидемия наркомании вносит негативный вклад в популяционное здоровье населения. Известно, что в среднем наркоманы умирают примерно через 11–12 лет после начала активного потребления наркотиков, при этом их траектория жизни протекает по схеме наркомания – бездомность – бродяжничество – смерть. Наркоман становится разрушителем не только своей жизни, но и экономической жизни своей семьи.

Продажа наркотиков является международным криминальным бизнесом, и на территории России в течение многих лет развивался героиновый проект международной наркомафии. По данным ООН, оборот наркотиков в мире приносит доход около 300 миллиардов долларов в год, из них 7–10 миллиардов долларов приносит Россия. По объективным законам рынка из этих средств не менее 1 миллиарда долларов ежегодно тратится на продвижения товара на рынке. Последнее включает в себя лоббирование ослаблений законодательства по отношению к лицам, участвующим в обороте наркотиков, подкуп должностных лиц, лоббирование дискуссий в средствах массовой информации по либеральному отношению к наркотикам, в частности дискуссии о «легких» наркотиках, вплоть до прямого спонсирования рок-ансамблей с участием наркоманов. Сумма огромная, и противопоставление ей только лишь инструмента пропагандистской деятельности представляется малоэффективным. Дилерская сеть распространителей огромна. Один наркоман привлекает в год 10–15 человек. Ситуация до сегодняшнего дня усугублялась тем, что ежегодно на рынок поступало около 10 новых видов синтетических наркотиков, не включенных в реестр запрещенных к употреблению средств (рис. 15).

НАРКОТИКИ: СТАРЫЕ И НОВЫЕ УГРОЗЫ

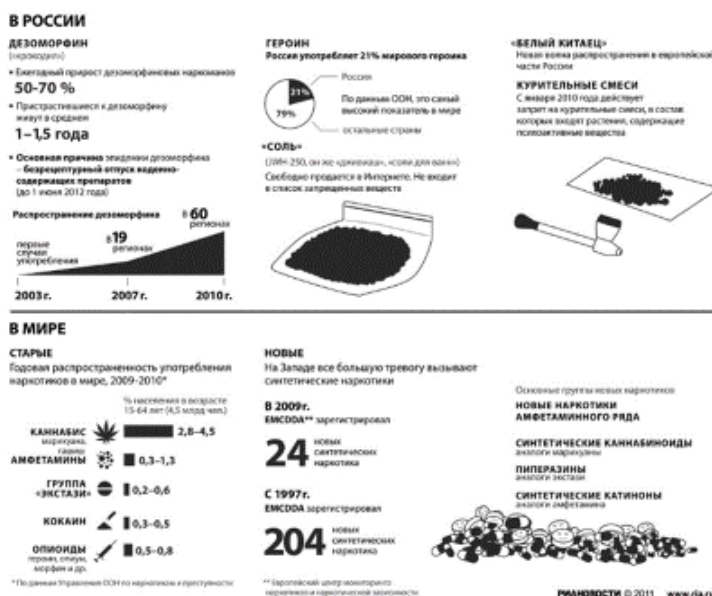


Рис. 15. Наркотики: старые и новые угрозы

На этом основании до 2014 г. лица, уличенные в распространении «новых» наркотиков, уходили от уголовной ответственности. 3 апреля 2015 г. президент России В. В. Путин подписал поправки в закон «О наркотических средствах и психотропных веществах», определяющий порядок оборота новых потенциально опасных психоактивных веществ синтетического или естественного происхождения. На основании этих поправок дано право привлекать к ответственности лиц, распространяющих психоактивные вещества, не входящие в реестр опасных средств. Таким образом, государство реально осознает угрозу распространения наркотиков, а его действия становятся все более эффективными.

Распространение наркотиков является реальной угрозой для национальной безопасности России. Исторические примеры тому есть и их множество. В начале XIX века активно развивающийся Китай стал конкурентом колониальным державам Великобритании и Франции. В результате двух опиумных войн династия Цин потерпела поражение, а колониальные державы получили право продажи опиума на территории Китая. В империи Цин начался длительный период ослабления государства и гражданской смуты, что привело к закабалению страны со стороны европейских держав и гигантскому распространению наркомании, деградации и массовому вымиранию населения. Конкурент был устранен.

Таким образом, можно констатировать, что эпидемия наркомании в России не только является значимой причиной депопуляции и низкого уровня популяционного здоровья, но и представляет собой национальную угрозу.

Вопросы для самостоятельного контроля

1. Основные факторы, определяющие популяционное здоровье населения. Рождаемость и смертность населения России.
2. Ожидаемая продолжительность жизни мужчин и женщин в России и демографический прогноз.
3. Факторы, определяющие популяционное здоровье.
4. Образ жизни как ведущий фактор, определяющий уровень здоровья в развитых странах.
5. Пьянство и алкоголизм как значимый фактор, определяющий популяционное здоровье населения России.
6. Эпидемия наркомании в России. Значение мотивации здоровья и здорового образа жизни в борьбе с наркоманией.
7. Курение табака как значимый фактор снижения здоровья населения в России.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Физическая культура и здоровье : учебник / под ред. В. В. Пономаревой. – М., 2001. – С. 35—46.
2. Рубанович В. Б. Основы здорового образа жизни : учебное пособие для вузов / В. П. Рубанович, Р. И. Айзман. – Новосибирск; Москва : АРТА, 2011. – 254 с.

3. Физиологические основы здоровья / под ред. Р. И. Айзмана, А. Я. Тернера. – Новосибирск : Лада, 2001. – 524 с.
4. Казин Э. М. Основы индивидуального здоровья человека / Э. М. Казин, Н. Г. Блинова, Н. А. Литвинова. – М. : Владос, 2000. – 190 с.
5. Айзман Р. И. Теоретические основы безопасности жизнедеятельности / Р. И. Айзман, С. В. Петров, В. М. Ширшова. – Новосибирск : АРГА, 2011. – 208 с.

Лекция 2

РОЛЬ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

В. Н. Васильев

2.1. Здоровье как самостоятельная категория, составляющие здоровья, величина энергетического потенциала как критерий физического здоровья

Здоровье – это состояние полного физического, духовного и социального благополучия, а не только отсутствие болезней и физических дефектов (ВОЗ: Устав. – Женева, 1968).

Наряду с определением ВОЗ существует еще много других. Многие из них на содержательном уровне оценивают здоровье с позиций адаптивных возможностей организма во всем их многообразии. Большие возможности – высокий уровень здоровья. Низкие возможности – низкий уровень здоровья. Человек с высоким уровнем индивидуального здоровья хорошо адаптируется к любым факторам, начиная от физических (холод, тепло, невесомость и т. д.), успешно переносит психические нагрузки, эффективно решает проблемы социального плана (межличностные отношения, социальные потрясения и прочее).

Составляющие здоровья.

Существуют три важнейших составляющих здоровья: физическая, психическая и социальная (рис. 1).

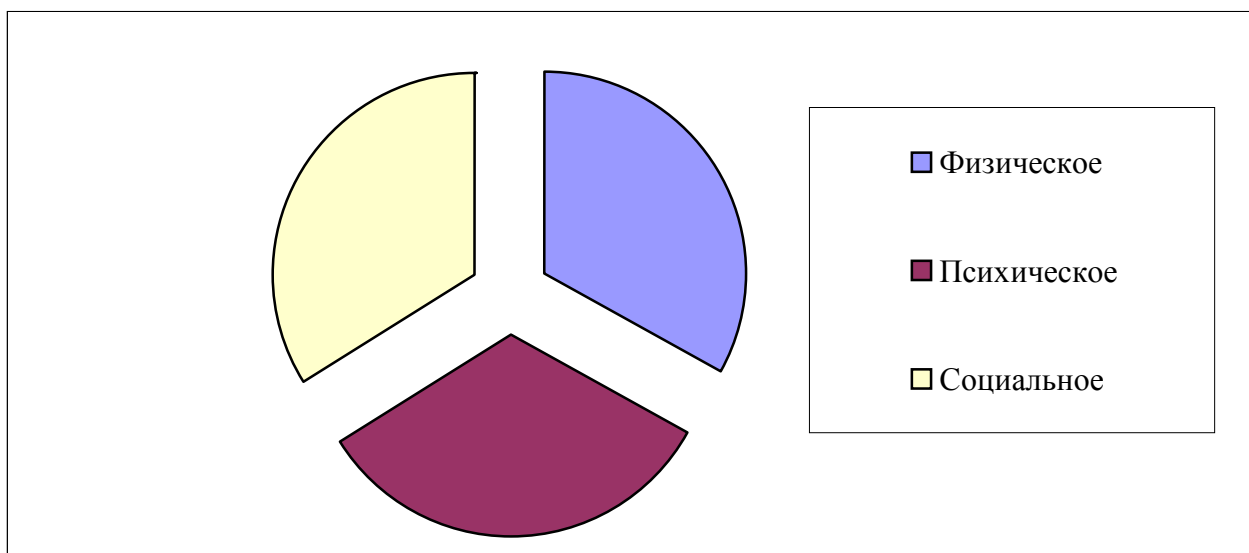


Рис. 1. Составляющие индивидуального здоровья человека

Физическое, или соматическое, здоровье оценивается по различным морфологическим, генетическим, биохимическим, метаболическим, функциональным показателям. Человек с достаточным уровнем соматического здоровья обладает хорошими адаптивными возможностями, выносит нагрузки любого пла-

на. Это могут быть физические нагрузки, температурные, нагрузка гипоксией, десинхронозы, депривация сна, инфекции, травмы и т. д.

Психическое здоровье имеет свои составляющие. К ним можно отнести эмоционально-волевые показатели, интеллект человека, силу и подвижность основных нервных процессов, тип высшей нервной деятельности, психофизиологические показатели, хронотип, тип функционального реагирования, функциональная асимметрия мозга. Часть из них являются наследственно обусловленными, часть приобретается и совершенствуется в процессе индивидуального развития. Естественно, что лучше адаптируется человек со здоровой психикой. Если у него слабы и не развиты такие функции, как интеллект и воля, ослаблены процессы возбуждения и торможения, то его адаптивные возможности ниже.

Социальное (духовное, нравственное) здоровье предполагает наличие осознанных ценностей, отвечающих запросам общества. На базе этих ценностей формируются целевые установки и вектор развития человека. Про таких людей говорят «сильные духом». В противоположность осознанным ценности могут быть неопределенные (размытые). При этом размытыми становятся категории нравственности, профессиональной ориентации, что препятствует четкой ориентации личности в социальной жизни, делает ее уязвимой, снижает адаптационные возможности. Не имеющая четких ценностных ориентиров, личность мечется в поисках решения возникающих социальных проблем. Личностные ценности могут быть противоречивыми (любовь – ненависть), что может являться источником внутриличностного конфликта, источником напряжения. У полноценной (зрелой) личности личностные ценности сбалансированы, реализуются без особых противоречий. Личностные ценности взаимодействуют с такими же ценностями социального окружения. Показано, что лучше адаптируется человек с адекватными общественно признанным ценностям, не входящий в противоречие с ценностями социального окружения.

Таким образом, существуют физическая, психическая и социальная составляющие здоровья. Очевидно, что действующие на человека факторы по-разному влияют на компоненты здоровья, но затрагивают их все. Изменения в любой из них вызывают реакцию других элементов, которые компенсируют за счет своего напряжения возникшие отклонения. У человека с нарушениями соматического здоровья наблюдается изменение настроения (психическая составляющая), предпочтения в социальных контактах. У человека с психическими нарушениями отмечаются соматические проблемы (изменения артериального давления, частоты пульса и дыхания – психосоматические расстройства).

В связи с тем, что составляющие здоровья взаимодействуют, коррекция здоровья должна быть комплексной. В этом плане становится понятным тезис о том, что нужно лечить не только болезнь, но и больного.

Взаимоотношения между процессами здоровья и болезни и состояния, определяемые этими отношениями

Исходя из определения ВОЗ, «здоровье» – это не только отсутствие болезни, что является принципиально важным.

По сути, здоровье – самостоятельная категория, количественно оцениваемая суммой резервов адаптации человека. Существует своя система оценки компонентов здоровья, методология его формирования и укрепления.

Здоровье оценивается по:

1. Уровню и гармоничности физического развития.
2. Резервным возможностям основных физиологических систем.
3. Уровню иммунной защиты и неспецифической резистентности организма.
4. Наличию или отсутствию хронического заболевания, дефекта развития.
5. Психическому здоровью.
6. Уровень морально-волевых и ценностно-мотивационных установок, отражающих духовное и социальное здоровье.

Для человека с высоким уровнем здоровья характерно:

1. Гармоничное развитие физических и духовных сил организма.
2. Динамическое равновесие организма и его функций с факторами внешней среды.
3. Нормальные реакции на внешнее воздействие.
4. Способность организма эффективно приспосабливаться к изменениям внешней среды.
5. Полноценное выполнение социальных функций.
6. Духовное, физическое, умственное и физическое благополучие.
7. Отсутствие симптомов болезней или других нарушений.

Хочу заметить, что все это возможно оценивать количественно с помощью соответствующих методов.

Если речь идет о болезни, то имеются в виду органические или функциональные отклонения, вызванные разными патогенетическими факторами, нарушающими жизнедеятельность и адаптационные возможности человека. По отношению к этим нарушениям адекватными являются такие понятия как профилактика заболеваний, диагностика, лечение и реабилитации в восстановительный период после лечения.

Существуют своя система оценки конкретных признаков заболеваний, соответствующих симптомов и синдромов.

Следовательно, болезнь есть болезнь, а здоровье есть здоровье.

Какие же между ними взаимоотношения?

В настоящее время существует следующая точка зрения. Процессы формирования здоровья и патологические процессы сосуществуют в едином организме. У любого человека есть определенный адаптационный потенциал (здоровье), и у любого человека есть патологические процессы (потенциал болезни). Очень часто они скрыты и могут быть выявлены лишь с помощью высокочувствительных методов.

Количественное соотношение потенциала здоровья и болезни определяет 3 основных состояния человека: относительного здоровья, предболезни (нет явных признаков заболевания, но понижена общая сопротивляемость организма), болезни (манифестация заболевания).

Эти состояния динамичны и могут при изменении потенциалов здоровья и болезни переходить одно в другое.

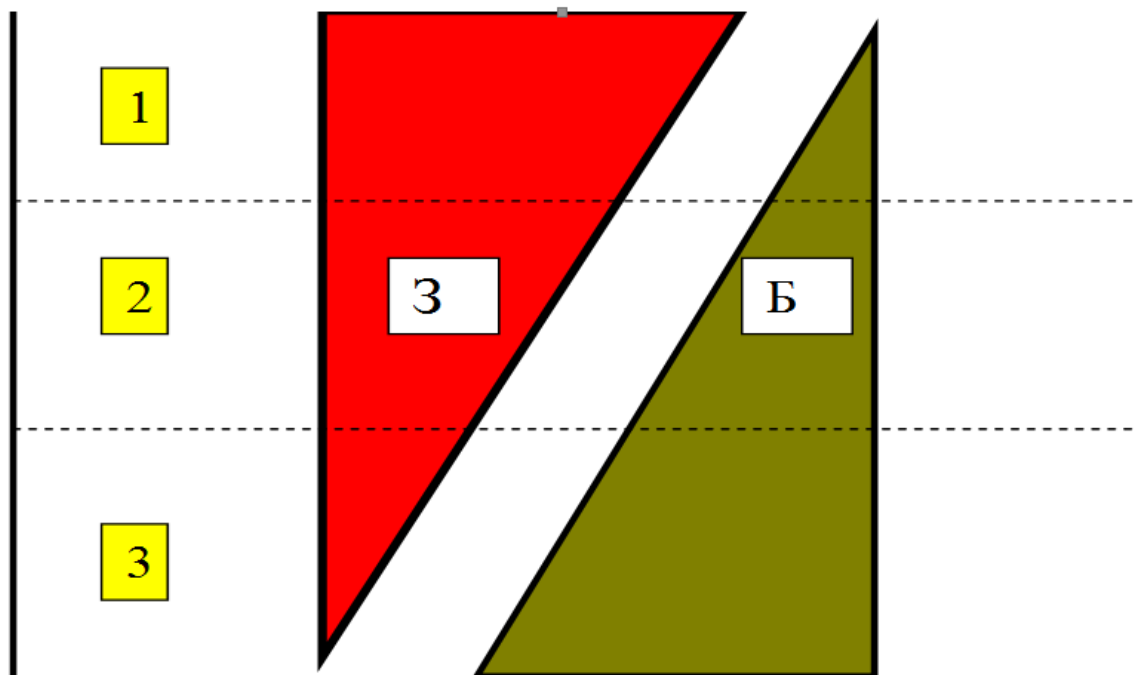


Рис. 2. Взаимоотношения процессов здоровья (З) и болезни (Б); состояния, определяемые этими взаимоотношениями: 1 – состояние относительного здоровья, 2 – состояние предболезни, 3 – болезнь

Некоторые авторы выделяют большее количество переходных состояний:

1. Условное здоровье.
2. Функциональные отклонения.
3. Пограничные состояния.
4. Хронические заболевания.
5. Инвалидность.
6. Полная утрата функций.
7. Смертельный исход.

Возникает вопрос: каким образом процессы здоровья и болезни влияют друг на друга?

Уровень здоровья определяет неспецифическую устойчивость (неспецифическую резистентность) организма и тем самым существенно изменяет течение заболевания. Благодаря этому при высоком уровне здоровья вероятность возникновения любого заболевания меньше, а его течение будет протекать легче. Условно выделяют **критический** уровень здоровья, выше которого организм находится в безопасной зоне, а в том случае, если он снижается ниже критического, увеличивается риск возникновения заболевания (рис. 3).

Проведенные исследования показали, что у лиц с высоким уровнем соматического здоровья существенно ниже заболеваемость (рис. 4).



Рис. 3. Изменение уровня здоровья как фактор риска заболеваний

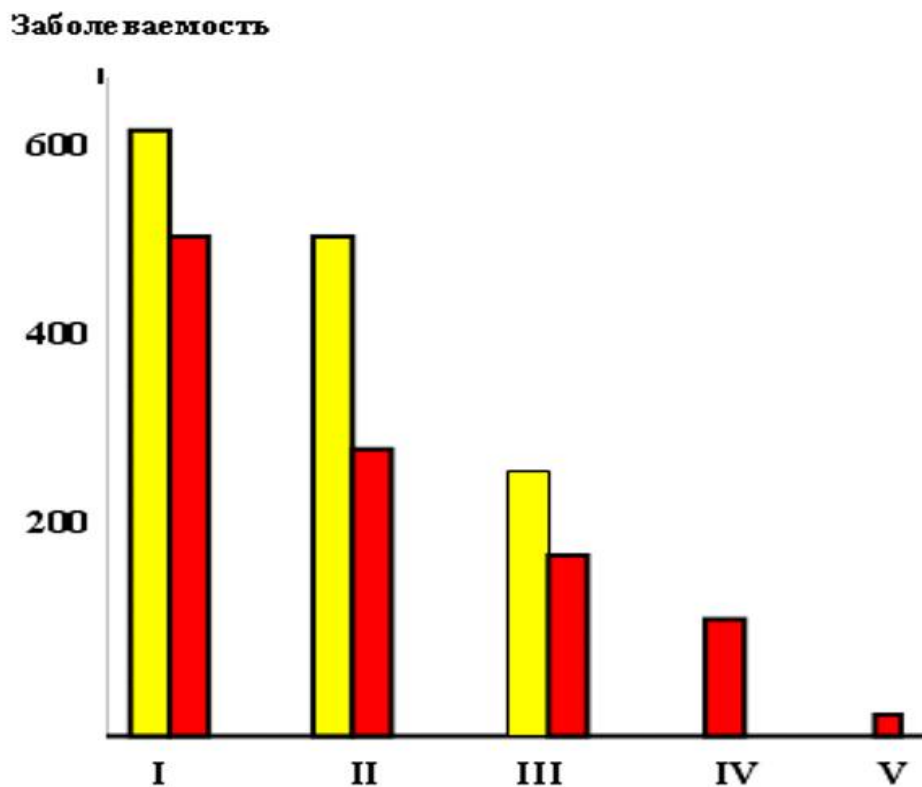


Рис. 4. Распространенность хронических соматических заболеваний у мужчин (светлый цвет) и женщин (темный цвет) в зависимости от группы соматического здоровья

Можно полагать и обратное, когда патологический процесс уменьшает резервы адаптации и тем самым снижает уровень здоровья. Таким образом, все вышеизложенное можно резюмировать в следующих положениях:

- *здоровье и болезнь – самостоятельные категории;*
- *общий потенциал здоровья количественно определяется суммой функциональных резервов физической, психической и духовной адаптации;*

- составляющие здоровья взаимозависимы, и их коррекция должна быть комплексной;
- коррекция здоровья оказывает мощный саногенный эффект на организм в целом.

Величина энергетического потенциала как критерий соматического здоровья

Оценка (диагностика) физического здоровья по прямым показателям проводится на основании определения физического и нервно-психического развития, а также более современного определения биологического возраста и энергетического потенциала организма.

При определении биологического возраста сравнивают существующие физиологические показатели с должными для данной возрастной группы. В результате выявляется несоответствие между календарным и определенным на основании тестов (биологическим) возрастом. На основании такого различия выделяют 5 вариантов степени старения (от «резко замедленного», когда биологический возраст моложе календарного на 9–15 лет, до «резко ускоренного», когда биологический возраст выше календарного на 9–15 лет). Эта методика применяется, имеет хороший эффект как терапевтическая метафора, но ограничена нечетким определением самого понятия возрастной нормы.

Наиболее корректным является оценка уровня здоровья с позиций определения величины энергетического потенциала.

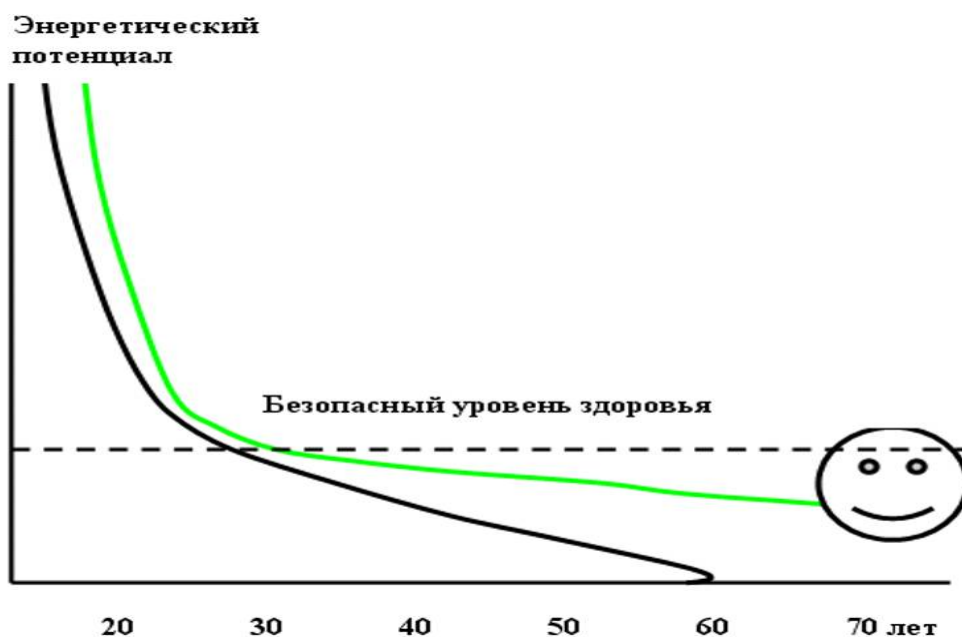


Рис. 5. Зависимость продолжительности жизни от темпа снижения интенсивности внутриклеточного энергообразования у человека

Теоретические предпосылки для такого подхода следующие. Основой жизни является способность организма поддерживать гомеостаз. Т. е. сохранять постоянство физико-химических показателей при изменениях внешней среды, что соответствует принципу устойчивой неравновесности Бауэра. Поддержание

гомеостаза – процесс активный и требует затраты энергии. Лучшие возможности для поддержания гомеостаза имеют организмы, в которых наиболее эффективно происходит образование макроэргических соединений (АТФ, АДФ). В процессе онтогенеза интенсивность процессов внутриклеточного энергообразования снижается и организм прекращает свое биологическое существование тогда, когда уровень образования энергии настолько мал, что не может поддерживать гомеостаз. Динамика снижения этого показателя зависит от многих факторов, в том числе и от образа жизни.

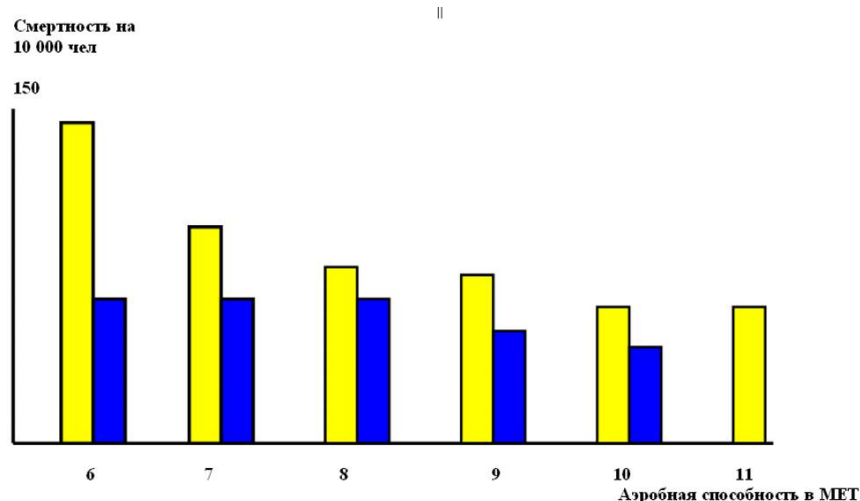


Рис. 6. Показатели смертности на 10000 человек у мужчин (желтый цвет) и женщин (синий цвет) за 12 лет наблюдений в зависимости от аэробного потенциала

Существует два пути образования энергии в организме: кислородзависимый (аэробный) и кислороднезависимый (анаэробный). Их эффективность разная. Аэробный путь (образование АТФ в процессе окисления глюкозы) **в 17 раз** эффективнее анаэробного. Поэтому мощность аэробных процессов характеризует выживаемость организма и его уровень здоровья в том числе, существует обратная связь между величиной аэробного потенциала и смертностью населения (рис. 6).

2.2. Физиологические эффекты двигательной активности

Основное значение движений состоит в том, что с их помощью человек удовлетворяет свои потребности и поддерживает гомеостаз. Одновременно с этим движения являются мощным регулятором внутренней среды организма. Существует облигатная (потребностная, вызывается внешними факторами) и спонтанная (вызывается изменениями метаболизма) двигательная активность. Вместе они составляют общий объем двигательной активности, который является устойчивым фенотипическим признаком. Двигательная активность – частный случай активности организма как важнейшей черты всех живых систем. Функция движения проявляется задолго до рождения, и двигательная активность плода является необходимым условием его развития.

У ребенка двигательная активность проявляется в игровой активности. Ее величина существенно зависит от интенсивности процессов метаболизма. Увеличение потребностной двигательной активности может существенно уменьшить спонтанную активность и наоборот. Необходимо отметить, что у человека в современном информационном обществе, наряду с существующей генотипической потребностью в движениях, объем облигатной двигательной активности, связанной с трудовой деятельностью на производстве и в быту, резко снизился. Если вклад физического труда в производственных процессах XIX века составлял 97 %, то сегодня его вклад не превышает 7 %. Большинство людей по разным причинам недооценивают значение физических упражнений в формировании своего здоровья, 70 % населения России не занимаются физической культурой. В то же время в США 80 млн поклонников оздоровительного бега. Показано, что для нормального развития ребенку требуется 8–12 часов двигательной активности в неделю. В России 60 % мальчиков и 70–80 % девочек гипокинетичны. 60 % студентов имеют выраженный дефицит двигательной активности. Снижение обязательной двигательной активности современного человека может компенсироваться только увеличением дополнительной двигательной активности через развитие физической культуры.

Что же дает двигательная активность человеку? На основе обобщения данных литературы можно выделить 4 группы эффектов, характерных для лиц с нормальным уровнем физической активности.

Первая группа эффектов. Традиционно считается, что основные эффекты двигательной активности определяются ее воздействием на системы, обеспечивающие гомеостаз и энергетический потенциал организма. В процессе долговременной адаптации к двигательной активности организм вырабатывает способность быть устойчивым к недостатку кислорода, естественно возникающему при увеличении интенсивности процессов окисления. Эта устойчивость возрастает в связи с увеличением жизненной емкости легких, функционального резерва системы кровообращения, кислородтранспортной способности крови, плотности капиллярной сети в работающих органах, оптимизации процессов тканевого дыхания. В конечном итоге возрастает энергетический потенциал организма со всеми вытекающими отсюда последствиями увеличения уровня здоровья, продолжительности жизни, снижения заболеваемости.

Примером является зависимость иммунологических реакций от величины двигательной активности. В ситуации пониженной двигательной активности (гипокинезии) показатели иммунитета ниже нормы, так же как и при избыточной двигательной активности (гиперкинезии). Нормальный объем двигательной активности сопряжен с нормальными показателями иммунитета (рис. 7).

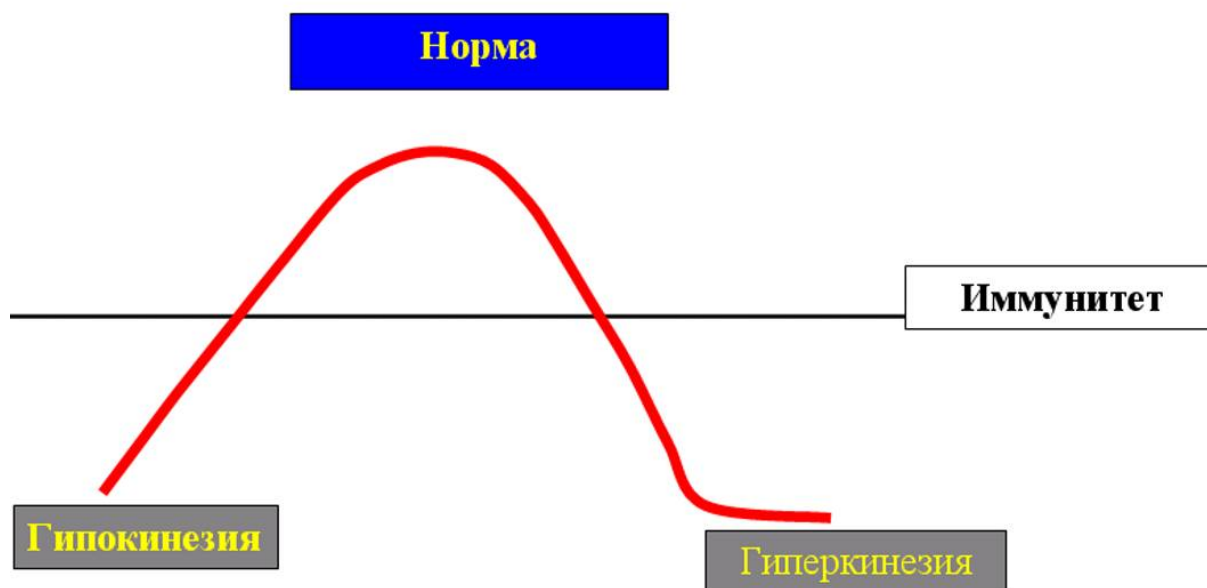


Рис. 7. Зависимость иммунологических реакций от величины двигательной активности

Вторая группа эффектов связана с изменениями гормонального статуса и функций центральной нервной системы, которые проявляются в улучшении психического состояния человека – снижении тревожности, агрессивности, улучшении самооценки, ослаблении психоэмоционального напряжения. Нейрохимической основой для таких изменений психического состояния является увеличение содержания в головном мозге пептидов удовольствия, в частности бета-эндорфина. Экспериментально показано, что у лиц, занимающихся физическими упражнениями, даже базальный уровень нейропептида выше, чем в группе сравнения. Такие нейрохимические изменения являются предпосылкой для формирования кинезофилии – зависимости от движений, когда человек уже не может не заниматься физическими упражнениями. Кинезофилия, в отличие от курения и приема алкоголя, является физиологически оправданной и способствует развитию человека.

Отдельно следует рассмотреть устойчивость к стрессам. В процессе адаптации к двигательной активности, являющейся естественным стрессором, увеличивается мощность стресс-реализующих систем, что позволяет человеку более эффективно реагировать на значимые раздражители (рис. 8). Со стороны центральной нервной системы это проявляется в увеличении ее тонуса, кровотока в головном мозге, оптимизации психических функций внимания, памяти. Одновременно увеличивается активность и стресс-лимитирующей системы. В отличие от лиц, не занимающихся спортом, спортсмены способны к быстрой и мощной мобилизации и столь же эффективно могут расслабляться после прекращения действия стрессора. Таким образом, человек, занимающийся физической культурой, более адекватно реагирует на раздражители и легче переносит стрессы.



Рис. 8. Стресс-реализующая и стресс-лимитирующая системы организма

Третья группа гомеостатических эффектов является наименее известной и состоит в том, что двигательная активность является ведущим фактором реализации генетически детерминированных программ роста и развития. Экспериментально показано, что лишение возможности движений приводит к торможению роста и развития организма. Если новорожденного крысенка лишить возможности двигаться, надев на него гипсовый корсет, то он резко отстает в росте и развитии. Исследованиями профессора И. А. Аршавского доказано, что не только развитие двигательной системы, но и деятельность разных систем органов находится в прямой зависимости от движений. В процессе любой нагрузки (психоэмоциональные факторы, физические факторы, инфекционные и другие заболевания, травмы и т. д.) происходит расходование пластического и энергетического материала. После прекращения действия раздражающего фактора наступает период восстановления, когда организм восстанавливает затраченные ресурсы. В этот период увеличиваются анаболические процессы, синтез белков, фосфолипидов, триглицеридов. Чаще всего период восстановления в количественном плане соответствует периоду работы, но есть исключения. Наиболее опасен психический стресс. Период восстановления является неполноценным и полностью не восполняет затраченные энергетические и пластические вещества, поэтому в условиях длительного стресса организм как бы сгорает в его пламени.

Вторым исключением является двигательная активность. После физической нагрузки в организме не только восстанавливается исходный уровень пластических и энергетических процессов, но и в течение некоторого времени (до трех суток после интенсивной тренировки) он превышает их исходную величину (рис. 9). За счет избыточного анаболизма происходит рост и развитие клеток и тканей. Правило избыточного анаболизма распространяется не только на мышечную ткань, но и на все системы обеспечения жизнедеятельности.

Гипокинетический образ жизни способствует деструктивным изменениям в суставах, связках, костной ткани. Через 4–6 недель постельного режима развиваются деструктивные процессы и организм теряет около 1,7 кг мышечной ткани. Процессы естественного изнашивания белка не компенсируются синтезом. На 26-е сутки появляются признаки атеросклероза.

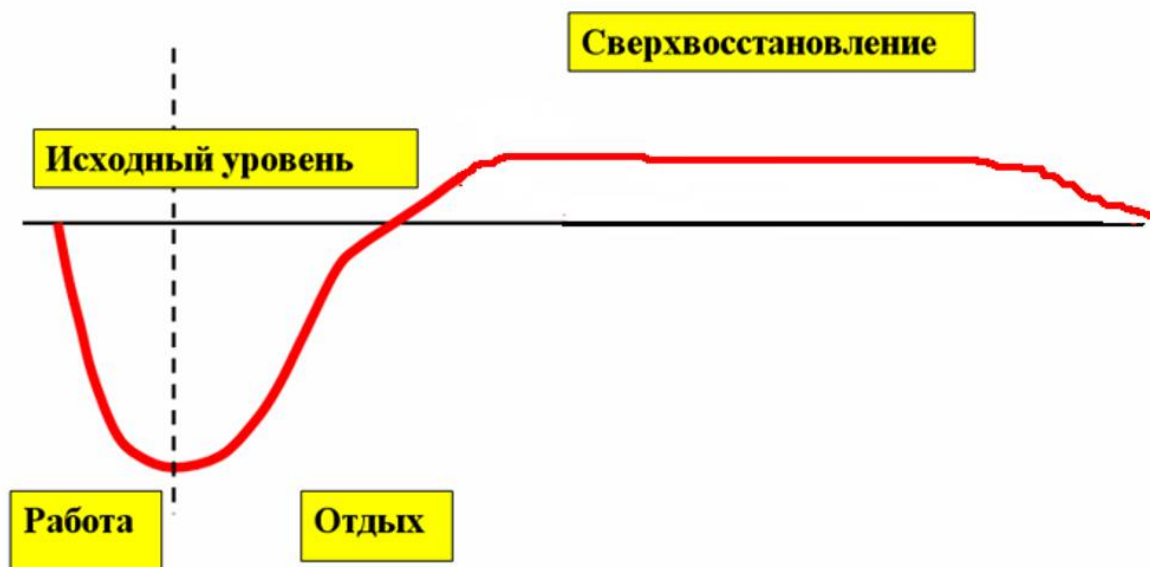


Рис. 9. Схема процессов накопления и расхода пластических и энергетических материалов при двигательной активности

Четвертая группа эффектов связана с изменениями обменных процессов, и в первую очередь углеводного и жирового обменов. В исследованиях на больших группах американцев показано, что при оптимальном уровне двигательной активности (тренировки 3 раза в неделю) в 2 раза увеличивается чувствительность рецепторов к инсулину, что является мощным средством профилактики, а также лечения сахарного диабета второго типа. Двигательная активность изменяет липидный спектр крови, что препятствует развитию раннего склероза. И, наконец, оптимальная двигательная активность способствует снижению массы тела как одного из ведущих факторов риска возникновения заболеваний у современного человека в развитых странах. Применение программ увеличения объема двигательной активности на государственном уровне дает мощный эффект. В США 80 млн поклонников оздоровительного бега. За 10 лет развития оздоровительного бега смертность от инфаркта миокарда снизилась в 2,5 раза. Специалисты Президентского Совета по физической подготовке и спорту США рассматривают бег как наиболее эффективное и экономичное средство в сравнении с другими оздоровительными программами.

Следовательно, двигательная активность является наиболее физиологичным и эффективным способом профилактики и лечения. Все сказанное выше касается не всех нагрузок, но оптимальных, осуществляемых в аэробном режиме (ЧСС 120–140) и с регулярностью 3 раза в неделю.

Избыточная двигательная активность – гиперкинезия – является мощным стрессом и не рассматривается как оздоровительная.

Таким образом, двигательная активность является важнейшей биологической потребностью, которая находится в основании пирамиды потребностей Маслоу (рис. 10). Ее реализация является необходимым условием для осуществления высших биологических и социальных потребностей.



Рис. 10. Иерархическая пирамида потребностей по Маслоу

Потребность в движениях имеет существенные индивидуальные различия. Лица с выраженной потребностью в движениях отличаются высокой эмоциональной реактивностью и исследовательским поведением. Этот фенотипический признак формируется к 30 годам на базе реализации генетических особенностей в конкретной моторной среде.

Потребность в двигательной активности и сама активность взаимосвязаны. У лиц с вынужденно высокой двигательной активностью эта потребность может уменьшаться до нуля (спортсмены в период интенсивных тренировок).

Потребность в движениях может изменяться в результате долговременной адаптации к разным двигательным режимам. Ограничение подвижности приводит к ее снижению, а повышенная двигательная активность усиливает эту потребность.

В ситуации свободного выбора человек выбирает наиболее оптимальную для него нагрузку. Произвольно дозируемая в соответствии с двигательной мотивацией нагрузка соответствует работе средней интенсивности, когда потребление кислорода составляет 47–62 % от максимального. В современной литературе параметры такой нагрузки трактуются как безопасные, эффективные в оздоровительном отношении.

Субъективно оптимальная двигательная нагрузка приводит к одновременной мобилизации стресс-реализующей и стресс-лимитирующей систем. В отличие от навязанной, когда происходит большая активация стресс-реализующей

системы. Критерием «полезной» нагрузки является чувство «мышечной радости». Выделяющиеся опиоидные пептиды сигнализируют о достаточности для стимуляции организма выполненной работы, обеспечивают состояние эйфории, оказывают благоприятное влияние на внутреннюю среду, ограничивают стрессорные эффекты двигательной активности, нормализуют состояние психики.

Таким образом, полезной с позиций оздоровления являются аэробные нагрузки, вызывающие увеличение ЧСС до 120–140, выполняемые не менее 3 раз в неделю. Важным их условием является возможность свободного выбора параметров нагрузки.

Вопросы для самостоятельного контроля

1. Здоровье как самостоятельная категория. Составляющие здоровья человека. Их взаимосвязь. Влияние уровня здоровья на заболеваемость.
2. Общие подходы к количественной оценке здоровья человека. Величина энергетического потенциала как критерий здоровья. Изменение энергетического потенциала при адаптации к физическим нагрузкам.
3. Влияние занятий физическими упражнениями на состояние систем кровообращения, дыхания, крови и энергетический потенциал организма.
4. Влияние физических упражнений на рост и развитие организма.
5. Гомеостатические эффекты занятий физическими упражнениями.
6. Влияние регулярных занятий физическими упражнениями на углеводный и жировой обмена.
7. Изменения стрессоустойчивости у лиц, занимающихся физической культурой.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Физическая культура и здоровье : учебник / под ред. В. В. Пономаревой. – М., 2001. – С. 46—91.
2. Апанасенко Г. Л., Попова Л. А. Медицинская валеология. – Ростов н/Д.: Феникс, 2000. – 248 с.
3. Патофизиология: Учебное пособие / под ред. П. Ф. Литвицкого. – М.: Медицина, 1997. – 752 с.
4. Рубанович В. Б. Основы здорового образа жизни: Учебное пособие для вузов / В. П. Рубанович, Р. И. Айзман. – Новосибирск; Москва: АРТА, 2011. – 254 с.
5. Физиологические основы здоровья / под ред. Р. И. Айзмана, А. Я. Тернера. – Новосибирск: Лада, 2001. – 524 с.
6. Казин Э. М. Основы индивидуального здоровья человека / Э. М. Казин, Н. Г. Блинова, Н. А. Литвинова. – М.: Владос, 2000. – 190 с.
7. Айзман Р. И. Теоретические основы безопасности жизнедеятельности / Р. И. Айзман, С. В. Петров, В. М. Ширшова. – Новосибирск: АРТА, 2011. – 208 с.
8. Аршавский И. А. Физиологические механизмы и закономерности индивидуального развития / И. А. Аршавский. – М.: Наука, 1982. – 269 с.

Лекция 3

ОБЩАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ И СПОРТИВНАЯ ПОДГОТОВКА В СИСТЕМЕ ФИЗИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ

В. Л. Бибик, Е. А. Тимофеев, И. К. Подрезов

Проблема воспитания подрастающего поколения исторически всегда стояла перед обществом и государством в любой общественно-экономической формации, особенно актуальна она сейчас.

«Воспитание – процесс систематического и целенаправленного воздействия на духовное и физическое развитие личности в целях подготовки к производственной, общественной и культурной деятельности». В своем функционировании система воспитания разворачивается в виде процесса, характеризующегося единством двух сторон – воспитания и обучения, который реализуется через систему образования.

3.1. Методические принципы физического воспитания.

В системе образования и воспитания имеют место *общепедагогические принципы*, отражающие основные закономерности обучения (принципы дидактики). Они преломляются в физическом воспитании в виде *общеметодических принципов* и содержат в себе ряд универсальных правил методики, без которых невозможно на высоком качественном уровне решать задачи обучения и воспитания.

Кроме этих принципов в практике физического воспитания имеют место *специфические принципы*, очерчивающие ряд специфических закономерностей физического воспитания, и вытекающие из них правила его системного построения.

Общеметодические принципы

Общеметодические принципы – это отправные положения, определяющие общую методику процесса физического воспитания.

Принцип сознательности и активности

Назначение принципа сознательности и активности в физическом воспитании состоит в том, чтобы сформировать у занимающихся глубоко осмысленное отношение, устойчивый интерес и потребности к физкультурно-спортивной деятельности, а также побуждать их к оптимальной активности.

Принцип наглядности

Принцип наглядности обязывает строить процесс физического воспитания с широким использованием наглядности при обучении и воспитании.

Практическая наглядность в процессе физического воспитания осуществляется в таких формах, как зрительная, звуковая и двигательная.

Принцип доступности и индивидуализации

Принцип доступности и индивидуализации в физическом воспитании означает требование оптимального соответствия задач, средств и методов физического воспитания возможностям занимающихся.

При реализации принципа должна быть учтена готовность занимающихся к обучению, выполнению той или иной тренировочной нагрузки и определена мера доступности заданий.

Специфические принципы физического воспитания

Принцип непрерывности процесса физического воспитания

Сущность принципа непрерывности в физическом воспитании раскрывается в следующих основных положениях.

Первое положение принципа непрерывности предполагает, что процесс физического воспитания является целостной системой, в которой предусматривается последовательность в проведении занятий физическими упражнениями. Последовательность является важнейшим условием процесса обучения движениям и процесса воспитания физических качеств.

Второе положение принципа непрерывности обязывает специалистов по физической культуре и спорту при построении системы занятий обеспечить постоянную преемственность эффекта занятий, устранить большие перерывы между ними с целью исключения разрушающего воздействия того, что было приобретено ранее в процессе занятий физическими упражнениями.

Принцип системного чередования нагрузок и отдыха

Системное чередование нагрузок и отдыха в процессе физического воспитания является важным положением, от которого в конечном итоге зависит суммарный эффект занятий. Оперируя различными вариантами отдыха между занятиями (ординарный жесткий и суперкомпенсаторный), а также величиной и направленностью нагрузок, можно добиться максимального эффекта при достаточно частом проведении занятий с относительно большой напряженностью. Мало того, учитывая гетерохронность (разновременность) восстановления различных сторон оперативной работоспособности, можно так построить систему занятий недельного цикла или одного дня, чтобы не было никаких отрицательных последствий и достигался положительный эффект.

Принцип постепенного наращивания развивающе-тренирующих воздействий

Данный принцип обуславливает необходимость систематического повышения требований к проявлению у занимающихся двигательных и связанных с ними психических функций за счет повышения сложности заданий и увеличения нагрузок.

Принцип адаптированного сбалансирования динамики нагрузок

Из этого принципа вытекает три основных положения, в соответствии с которыми определены типичные формы динамики суммарной нагрузки в рамках этапов физического воспитания.

Суммарная нагрузка, используемая в процессе физического воспитания, должна быть такой, чтобы ее применение не вызывало негативных отклонений в здоровье.

По мере адаптации к применяемой нагрузке, т. е. перехода приспособительных изменений в стадию устойчивого состояния, необходимо очередное увеличение параметров суммарной нагрузки.

Использование суммарных нагрузок в физическом воспитании предполагает на отдельных этапах в системе занятий или временное их снижение, или стабилизацию, или временное увеличение.

Принцип циклического построения занятий

Процесс физического воспитания – это замкнутый круговорот определенных занятий и этапов, образующих циклы. В соответствии с этим различают три вида циклов: **микроциклы** (недельные), характеризующиеся повторностью применения упражнений одновременно с их разнонаправленностью, чередованием нагрузки и отдыха; **мезоциклы** (месячные), включающие в себя от 2 до 6 микроциклов, в которых меняются содержание, порядок чередования и соотношение средств; **макроциклы** (годичные), в которых разворачивается процесс физического воспитания на протяжении долговременных стадий.

Принцип возрастной адекватности направлений физического воспитания

Этот принцип обязывает последовательно изменять направленность физического воспитания в соответствии с возрастными этапами и стадиями человека, т. е. применительно к сменяющимся периодам онтогенеза и особенно периодам возрастного физического развития организма (дошкольный, младший, средний, старший возрасты).

Рассмотренные принципы отражают различные закономерности и стороны целостного процесса физического воспитания. Они составляют не сумму, а единство принципиальных методических положений, взаимно обусловленных и дополняющих друг друга. Отступление от одного из принципов может разладить весь сложный процесс физического воспитания и сделать почти бесплодным большой труд преподавателя и его учеников.

3.2. Методы физического воспитания

Под методами физического воспитания понимаются способы применения физических упражнений.

В физическом воспитании применяются две группы методов: специфические (характерные только для процесса физического воспитания) и общепедагогические (применяемые во всех случаях обучения и воспитания).

К специфическим методам физического воспитания относятся:

1. Методы строго регламентированного упражнения.
2. Игровой метод (использование упражнений в игровой форме).
3. Соревновательный метод (использование упражнений в соревновательной форме).

С помощью этих методов решаются конкретные задачи, связанные с обучением технике выполнения физических упражнений и воспитанием физических качеств.

Общепедагогические методы включают в себя:

1. Словесные методы.
2. Методы наглядного воздействия.

Ни одним из методов нельзя ограничиваться в методике физического воспитания как наилучшим. Только оптимальное сочетание названных методов в соответствии с методическими принципами может обеспечить успешную реализацию комплекса задач физического воспитания.

Требования к методам обучения

- Научная обоснованность (с точки зрения познания).
- Соответствие поставленной задачи обучения.
- Обеспечение воспитывающего характера обучения.
- Соответствие методов всей системе принципов обучения.
- Соответствие методов специфике учебного материала, его сложности.
- Соответствие методов индивидуальной и групповой подготовленности учеников.
- Соответствие индивидуальным способностям и особенностям учителя.
- Соответствие условиям занятий.
- Разнообразие методов.

Основы обучения движениям

В построении процесса обучения каждому отдельному двигательному действию можно выделить ряд относительно завершенных этапов, которым соответствуют определенные стадии формирования двигательного умения и навыка.

Этап начального разучивания

На этом этапе преследуется цель – обучение основам техники двигательного действия, формирование умения выполнять его хотя бы в «грубой» форме. Частные задачи на пути к данной цели обычно состоят в том, чтобы:

- а) создать общее представление о двигательном действии и установку на овладение им;
- б) научить частям техники действия, не освоенным ранее;
- в) сформировать общий ритм двигательного акта;
- г) предупредить или устранить ненужные движения и грубые искажения техники действия.

Этап углубленного разучивания

Цель обучения на этом этапе – доведение первоначального, «грубого» владения техникой действия до относительно совершенного. Если на первом этапе осваивалась главным образом основа техники, то на втором осуществляется детализированное освоение ее.

Основные задачи обучения на этом этапе:

- 1) углубить понимание закономерностей движений изучаемого действия;
- 2) уточнить технику действия по ее пространственным, временным и динамическим характеристикам в соответствии с индивидуальными особенностями обучаемых;
- 3) усовершенствовать ритм действия, добиться свободного и слитного выполнения движений;

4) создать предпосылки вариативного выполнения действия.

Этап закрепления и дальнейшего совершенствования

Цель обучения на этом этапе – обеспечение совершенного владения двигательным действием в условиях его практического применения, для чего необходимо решить следующие частные задачи:

- 1) закрепить навык владения техникой действия;
- 2) расширить диапазон вариативности техники действия для целесообразного выполнения его в различных условиях, в том числе при максимальных проявлениях физических качеств;
- 3) завершить индивидуализацию техники действия в соответствии с достигнутой степенью развития индивидуальных способностей;
- 4) обеспечить в случае необходимости перестройку техники действия и ее дальнейшее совершенствование на основе развития физических качеств.

Физические качества человека

Средства и методы развития физических качеств

Физические качества – это функциональные свойства организма, обеспечивающие активную двигательную деятельность. К числу основных физических качеств относят силу, выносливость, ловкость, гибкость и быстроту.

Сила

Сила – способность человека преодолевать внешнее сопротивление или противодействовать ему за счет мышечных усилий.

Режимы работы мышц:

1. Преодолевающий.
2. Уступающий.
3. Динамический.
4. Изометрический (статический).

Виды силовых качеств:

1. Максимальная изометрическая (статическая) сила – показатель силы, проявляемой при удержании в течение определенного времени предельных отягощений.
2. Медленная динамическая (жимовая) сила, проявляемая во время перемещения предметов большой массы, когда скорость практически не имеет значения, а прилагаемые усилия достигают максимальных значения.
3. Скоростная динамическая сила характеризуется способностью человека к перемещению в ограниченное время больших отягощений с ускорением ниже максимального.
4. «Взрывная» сила – способность преодолевать сопротивление с максимальным мышечным напряжением в кратчайшее время.
5. Амортизационная сила характеризуется развитием усилия в короткое время в уступающем режиме работы мышц.
6. Силовая выносливость определяется способностью длительное время поддерживать необходимые силовые характеристики движений.

Средства развития силы

1. Упражнения с внешним сопротивлением.
2. Упражнения с преодолением веса собственного тела.

3. Изометрические упражнения.

Направленность воздействия силовых упражнений определяется:

- 1) видом и характером упражнения;
- 2) величиной отягощения;
- 3) количеством повторений;
- 4) скоростью выполнения движений;
- 5) темпом выполнения;
- 6) продолжительностью интервалов отдыха между подходами.

Методы развития силы.

- Метод максимальных усилий.
- Метод повторных усилий.
- Метод предельных усилий.
- «Ударный» метод.
- Изометрический метод.

Гибкость

Гибкость – это способность выполнять движения с большой амплитудой.

Гибкость рассматривается как морфофункциональное свойство опорно-двигательного аппарата человека, определяющее пределы движений звеньев тела.

Формы проявления гибкости:

1. Активная.
2. Пассивная.

Виды гибкости:

1. Общая гибкость.
2. Специальная гибкость.

Активная гибкость – проявляется за счет собственных мышечных усилий.

Пассивная гибкость – проявляется под воздействием внешних сил.

Общая гибкость характеризуется подвижностью во всех суставах тела и позволяет выполнять разнообразные движения с большей амплитудой.

Специальная гибкость – предельная подвижность в отдельных суставах, определяющая эффективность спортивной или профессионально-прикладной деятельности.

Гибкость зависит от:

1. Эластичности связок и мышц.
2. Строения суставов (формы).
3. От тонуса мышц.
4. Температуры воздуха.
5. Времени суток.
6. Эмоционального состояния.
7. От возраста.
8. От совершенства межмышечной координации.

Методы развития гибкости

1. Метод многократного растягивания.
2. Метод статического растягивания.
3. Метод предварительного напряжения мышц с последующим их растягиванием.
4. Метод совмещенного с силовыми упражнениями развития гибкости.

Средства развития гибкости

Активные упражнения:

- однофазные и пружинистые (сдвоенные, строенные) наклоны маховые и фиксированные;
- статические упражнения (сохранение неподвижного положения с максимальной амплитудой).

Пассивные упражнения:

- поза сохраняется за счет внешних сил

Ловкость

Под ловкостью подразумевается способность человека к быстрому овладению новыми движениями или к быстрой перестройке двигательной деятельности в соответствии с требованиями внезапно изменившейся ситуации.

Ловкость характеризуется координацией и точностью движений.

Координация движений – основной компонент ловкости: способность к одновременному и последовательному согласованному сочетанию движений.

Ловкость зависит от:

- 1) четкой и соразмерной работой мышц, в которой строго согласованы различные по силе и времени мышечные напряжения;
- 2) деятельности ЦНС;
- 3) богатства динамических стереотипов;
- 4) степени развития систем;
- 5) умения управлять мышечным тонусом;
- 6) полноценности восприятия собственных движений и окружающей обстановки;
- 7) устойчивости вестибулярного аппарата.

Средства развития ловкости:

Гимнастические, акробатические, легкоатлетические, спортивно-игровые физические упражнения, единоборства, бокс, борьба, скоростной спуск, слалом. Специальные координационные и упражнения, затрудняющие сохранение равновесия, эффективны для развития точности движений, анализаторных систем, вестибулярной устойчивости, быстроты реакции, чувства дистанции, чувства времени.

Методика воспитания ловкости

Основной принцип – «новизна» упражнений и постепенное повышение их координационной сложности.

Повышение требований:

- 1) к точности движений;
- 2) к их взаимной согласованности;
- 3) к внезапности изменений обстановки.

Методические приемы:

1. Выполнение упражнений оригинальным способом.
2. Зеркальное выполнение.
3. Необычные исходные положения.
4. Изменение скорости, темпа движений.
5. Изменение пространственных границ.
6. Изменение последовательности движений.
7. Введение дополнительных движений.
8. Комплексование видов деятельности.
9. Выполнение без контроля зрения.

Быстрота

Быстрота – способность человека к экстренным двигательным реакциям и высокой скорости движений, выполняемых при отсутствии значительного внешнего сопротивления, сложной координации движения работы мышц и не требующих больших энергозатрат.

Быстрота – способность выполнять двигательное действие в минимально короткое время.

Формы проявления быстроты

1. Быстрота простой и сложной двигательной реакции.
2. Быстрота одиночного движения.
3. Быстрота сложного (многосуставного) движения, связанного с изменением положения тела в пространстве или с переключением с одного действия на другое.
4. Частота ненагруженных движений.

Методы развития быстроты

1. Повторный метод.
2. Расчлененный метод.
3. Сенсорный метод.

Средства развития быстроты

Упражнения, требующие быстрых двигательных реакций, высокой скорости и частоты выполнения движений:

1. Бег со старта из различных исходных положений.
2. Бег с максимальной скоростью.
3. Быстрый бег под гору.
4. Бег с предельной скоростью с «ходу».
5. Быстрый бег в лесу с уклонами и уходами.
6. Бег вверх по лестнице с максимальной частотой.
7. Выполнение ударов рукой, ногой с максимальной скоростью.
8. «Бой с тенью».
9. Подскоки со скакалкой (2–3 вращения).
10. Уклоны от брошенного партнером мяча.
11. Однократные прыжки, тройные, пятерные.
12. Барьерный бег.
13. Метания мяча в цель, на дальность.
14. Прыжок в глубину с мгновенным отталкиванием.

Выносливость

Выносливость понимается как способность совершать работу заданного характера в течение возможно более длительного времени без заметного снижения работоспособности.

Выносливость является необходимой предпосылкой для достижения высоких результатов в любом циклическом виде спорта.

Велико значение упражнений на выносливость для сохранения и укрепления здоровья, повышения общей работоспособности организма, подготовки к трудовой деятельности и общего физического развития человека.

Упражнения на выносливость предъявляют высокие требования к работе сердечно-сосудистой и дыхательной систем и способствуют повышению и улучшению обменных процессов и координации деятельности физиологических систем организма.

Виды выносливости

Общая выносливость – это способность продолжительно выполнять работу, вовлекающую в действие многие мышечные группы и предъявляющую высокие требования к сердечно-сосудистой и дыхательной системам.

Специальная выносливость – это способность эффективно выполнять специфические нагрузки в течение времени, обусловленного требованиями специализации.

В физическом воспитании употребляют термины силовая, прыжковая, статическая и другие виды специальной выносливости.

При развитии выносливости с помощью циклических упражнений нагрузка определяется следующими факторами:

1. Интенсивность упражнения (скорость передвижения).
2. Продолжительность упражнений.
3. Продолжительность интервалов отдыха.
4. Характер отдыха.
5. Число повторений упражнения.

Средства развития выносливости

Для развития выносливости применяются различные упражнения: бег, кросс, лыжные прогулки, езда на велосипеде, плавание, гребля, катание на коньках, а также игры в футбол и т. д. Наиболее доступным и удобным средством развития выносливости является бег.

Методы развития выносливости

При развитии общей и специальной выносливости режим выполнения упражнения можно условно подразделить на непрерывный и прерывный.

Непрерывные методы: равномерный, переменный, контрольный и соревновательный метод.

Прерывные методы: интервальный, повторно-переменный и повторный.

3.3. Формы занятий физическими упражнениями

Основной формой организации занятий по физическому воспитанию является учебно-тренировочное занятие. Характерные признаки учебно-тренировочного занятия:

- проводится под руководством педагога;
- коллектив занимающихся организован и однороден;
- занятия проводятся по разработанной программе;
- занятия проводятся по расписанию.

Учебно-тренировочное занятие принято делить на 3 части: подготовительную, основную и заключительную.

Подготовительная часть. В этой части решаются следующие задачи:

- подготовка центральной нервной системы и вегетативных функций к предстоящей нагрузке;
- подготовка двигательного аппарата к действиям, требующим от занимающихся значительных мышечных усилий.

Основная часть. В основной части решаются главные задачи:

- развитие волевых и физических качеств занимающихся;
- формирование жизненно необходимых и спортивных навыков.

Заключительная часть. В этой части основными задачами являются следующие: 1) содействие более быстрому восстановлению организма после нагрузки в основной части (рекомендуется выполнять упражнения на расслабление, на растягивание, массаж); 2) подведение итога работы.

3.4. Общая и моторная плотность занятия

Для анализа эффективности работы важным показателем является плотность занятий. Общая плотность занятий определяется отношением полезно использованного времени на занятии к директивному (установленному по расписанию) в процентах по формуле:

$$P_{\text{общ}} = \frac{T_{\text{п}} \times 100\%}{T_{\text{о}}}, \text{ где}$$

$P_{\text{общ}}$ – общая плотность занятия;

$T_{\text{п}}$ – время, использованное на полезную (имеющую прямое отношение к занятию). Учитывается время выполнения упражнений, необходимый отдых после них, время на объяснение и показ;

$T_{\text{о}}$ – директивное время, отведенное на учебное занятие по расписанию.

Моторная плотность – это отношение непосредственно потраченного на выполнение упражнений времени к директивному и определяется по формуле:

$$P_{\text{мот.}} = \frac{T_{\text{у}} \times 100\%}{T_{\text{о}}}, \text{ где}$$

$P_{\text{мот}}$ – моторная плотность;

$T_{\text{о}}$ – директивное (общее время);

$T_{\text{у}}$ – время, непосредственно потраченное на выполнение упражнений.

3.5. Общая физическая подготовка. Специальная физическая подготовка

Общая физическая подготовка (ОФП) – это процесс совершенствования двигательных физических качеств, направленных на всестороннее и гармоничное физическое развитие человека.

ОФП способствует повышению функциональных возможностей, общей работоспособности, является основой (базой) для специальной подготовки и достижения высоких результатов в избранной сфере деятельности или виде спорта. Перед ОФП могут быть поставлены следующие задачи:

- достичь гармоничного развития мускулатуры тела и соответствующей силы мышц;
- приобрести общую выносливость;
- повысить быстроту выполнения разнообразных движений, общие скоростные способности;
- увеличить подвижность основных суставов, эластичность мышц;
- улучшить ловкость в самых разнообразных (бытовых, трудовых, спортивных) действиях, умение координировать простые и сложные движения;
- научиться выполнять движения без излишних напряжений, овладеть умением расслабляться.

С общей физической подготовкой связано достижение *физического совершенства* – уровня здоровья и всестороннего развития физических способностей, соответствующих требованиям человеческой деятельности в определенных исторически сложившихся условиях производства, военного дела и других сферах общественной жизни. Конкретные принципы и показатели физического совершенства всегда определяются реальными запросами и условиями жизни общества на каждом историческом этапе. Но в них также всегда присутствует требование к высокому уровню здоровья и общей работоспособности. При этом следует помнить, что даже достаточно высокая общая физическая подготовленность зачастую не может обеспечить успеха в конкретной спортивной дисциплине или в различных видах профессионального труда. А это значит, что в одних случаях требуется повышенное развитие выносливости, в других – силы и т. д., т. е. необходима специальная подготовка.

Специальная физическая подготовка – это процесс воспитания физических качеств, обеспечивающий преимущественное развитие тех двигательных способностей, которые необходимы для конкретной спортивной дисциплины (вида спорта) или вида трудовой деятельности.

Специальная физическая подготовка весьма разнообразна по своей направленности, однако все ее виды можно свести к двум основным группам:

- спортивная подготовка;
- профессионально-прикладная физическая подготовка.

Средства общей физической подготовки.

К средствам физического воспитания относятся физические упражнения, оздоровительные силы природной среды и гигиенические факторы.

Физические упражнения – это двигательные действия, по форме и содержанию соответствующие задачам физического воспитания. Если в целях спортивной тренировки используется бег, то это естественное двигательное действие приобретает рациональные формы. То же самое можно сказать о любых других двигательных действиях, которые возникли первоначально в сфере труда и быта, а затем, видоизменяясь, становились физическими упражнениями – средствами физического воспитания. Взаимосвязь физических упражнений с физическим трудом заключается в том, что, возникнув на основе трудовых действий, упражнения стали средством физкультурно-спортивной практики, подготовки к труду. Число разработанных и используемых в различных видах спорта физических упражнений чрезвычайно велико. Они существенно отличаются друг от друга по форме, по содержанию и по целевой направленности.

Оздоровительные силы природной среды и гигиенические факторы также являются средствами физического воспитания. Такие природные факторы, как солнечная радиация, свойства воздушной и водной среды, служат средствами укрепления здоровья, закаливания и повышения работоспособности человека.

Оздоровительные силы природы используются в процессе физического воспитания в двух направлениях:

- как сопутствующие условия (занятия на открытом воздухе, в условиях горного климата), усиливающие воздействие физических упражнений;
- при организации специальных дозированных процедур (сеансы закаливания, воздушные, солнечные и водные ванны).

Физические упражнения в сочетании с естественными факторами закаливания помогают повысить общую устойчивость организма к ряду неблагоприятных воздействий внешней среды.

Соблюдение гигиенических правил в процессе физического воспитания усиливает положительный эффект физических упражнений. Требования гигиены к режиму нагрузок и отдыха, питания и внешних условий занятий (чистота, освещенность, вентиляция мест занятий) способствуют эффективности проводимых физических упражнений.

3.6. Спортивная подготовка, ее цели и задачи.

Структура подготовленности спортсмена

Понятие о спортивной тренировке

Спортивная подготовка (тренировка) – это целесообразное использование знаний, средств, методов и условий, позволяющее направленно воздействовать на развитие спортсмена и обеспечивать необходимую степень его готовности к спортивным достижениям.

В настоящее время спорт развивается по двум направлениям, имеющим различную целевую направленность – массовый спорт и спорт высших достижений. Их цели и задачи отличаются друг от друга, однако четкой границы между ними не существует из-за естественного перехода части тренирующихся из массового спорта в «большой» и обратно.

Цель спортивной подготовки в сфере массового спорта – укрепление здоровья, улучшение физического состояния и активный отдых.

Цель подготовки в сфере спорта высших достижений – максимально высокие результаты в соревновательной деятельности.

Однако, что касается средств, методов, принципов спортивной подготовки (тренировки), то они аналогичны как в массовом спорте, так и в спорте высших достижений.

Виды подготовки: техническая, физическая, тактическая, морально-волевая

Структура подготовленности спортсмена включает технический, физический, тактический и психический элементы.

Под технической подготовленностью следует понимать степень освоения спортсменом техники системы движений конкретного вида спорта. Она тесно связана с физическими, психическими и тактическими возможностями спортсмена, а также с условиями внешней среды. Изменение правил соревнований, использование иного спортивного инвентаря заметно влияет на содержание технической подготовленности спортсменов.

В структуре технической подготовленности всегда присутствуют так называемые базовые и дополнительные движения.

К базовым относятся движения и действия, составляющие основу технической оснащённости данного вида спорта. Освоение базовых движений является обязательным для спортсмена, специализирующегося в данном виде спорта.

К дополнительным относятся второстепенные движения и действия, элементы отдельных движений, которые не нарушают его рациональность и в то же время характерны для индивидуальных особенностей данного спортсмена.

Физическая подготовленность – это возможности функциональных систем организма. Она отражает необходимый уровень развития тех физических качеств, от которых зависит соревновательный успех в определенном виде спорта.

Тактическая подготовленность спортсмена зависит от того, насколько он овладеет средствами спортивной тактики (например, техническими приемами, необходимыми для реализации выбранной тактики), ее видами (наступательной, оборонительной, контратакующей) и формами (индивидуальной, групповой, командной).

Тактические задачи могут носить перспективный характер (например, участие в серии соревнований, где одно из них главное в сезоне) и локальный, т. е. связанные с участием в отдельном соревновании, конкретном поединке, схватке, заезде, заплыве, игре. При разработке тактического плана учитываются не только собственные технико-тактические возможности, но и возможности партнеров по команде и соперников.

Психическая подготовленность по своей структуре неоднородна. В ней можно выделить две относительно самостоятельные и одновременно взаимосвязанные стороны: волевою и специальную психическую подготовленность.

Волевая подготовленность связана с такими качествами, как целеустремленность (ясное видение перспективной цели), решительность и смелость

(склонность к разумному риску в сочетании с обдуманностью решений), настойчивость и упорство (способность мобилизовать функциональные резервы, активность в достижении цели), выдержка и самообладание (способность управлять своими мыслями и действиями в условиях эмоционального возбуждения), самостоятельность и инициативность. Некоторые из этих качеств могут быть изначально присущи тому или другому спортсмену, но большая их часть воспитывается и совершенствуется в процессе регулярной учебно-тренировочной работы и спортивных соревнований.

Специфика некоторых видов спорта накладывает отпечаток на характер и степень развития отдельных психических качеств у спортсменов. Однако для воспитания волевой подготовленности используются и определенные методические приемы. Практически основой методики волевой подготовки служат следующие требования.

1. Регулярно и обязательно выполнять план тренировочной программы и соревновательных установок.

Это требование связано с воспитанием спортивного трудолюбия, привычки к систематическим усилиям и настойчивости в преодолении трудностей, с четким пониманием невозможности достичь спортивных вершин без соответствующей мобилизации духовных и физических сил. На этой основе реализуется воспитание целеустремленности, настойчивости и упорства в достижении цели, самодисциплина и стойкость.

2. Системно вводить дополнительные трудности.

Это значит постоянно включать дополнительные усложненные двигательные задания, проводить тренировочные занятия в усложненных условиях, увеличивать степень риска, вводить сбивающие сенсорно-эмоциональные факторы, усложнять соревновательные программы.

3. Использовать соревнования и соревновательный метод. Сам дух соперничества в соревнованиях повышает степень психической напряженности спортсмена, а значит, к нему предъявляются дополнительные требования: проявить активность, инициативность, самообладание, решительность, стойкость и смелость.

3.7. Зоны и интенсивность физических нагрузок. Энергозатраты при физической нагрузке. Значение мышечной релаксации

Воздействие физических упражнений на человека связано с нагрузкой на его организм, вызывающей активную реакцию функциональных систем. Чтобы определить степень напряженности этих систем при нагрузке, используются показатели интенсивности, которые характеризуют реакцию организма на выполненную работу. Таких показателей много: изменение времени двигательной реакции, частота дыхания, минутный объем потребления кислорода и т. д. Между тем наиболее удобный и информативный показатель интенсивности нагрузки, особенно в циклических видах спорта – это частота сердечных сокращений (ЧСС). Индивидуальные зоны интенсивности нагрузок определяются с ориентацией именно на частоту сердечных сокращений. Физиологи опреде-

ляют 4 зоны интенсивности нагрузок по ЧСС: О, I, II, III. Разделение нагрузок на зоны имеет в своей основе не только изменение ЧСС, но и различия в физиологических и биохимических процессах при нагрузках разной интенсивности.

Нулевая зона характеризуется аэробным процессом энергетических превращений при частоте сердечных сокращений до 130 уд/мин для лиц студенческого возраста. При такой интенсивности нагрузки не возникает кислородного долга, поэтому тренировочный эффект может обнаружиться лишь у слабо подготовленных занимающихся. Нулевая зона может применяться в целях разминки при подготовке организма к нагрузке большей интенсивности, для восстановления (при повторном или интервальном методах тренировки) или для активного отдыха. Существенный прирост потребления кислорода, а следовательно, и соответствующее тренирующее воздействие на организм происходит не в этой, а в первой зоне, типичной при воспитании выносливости у начинающих.

Первая тренировочная зона интенсивности нагрузки (от 130 до 150 уд/мин) наиболее типична для начинающих спортсменов, так как прирост достижений и потребление кислорода (с аэробным процессом его обмена в организме) происходит у них, начиная с ЧСС, равной 130 уд/мин. В связи с этим данный рубеж назван порогом готовности.

При воспитании общей выносливости для подготовленного спортсмена характерно естественное «вхождение» во вторую зону интенсивности нагрузок. Во *второй тренировочной зоне* (от 150 до 180 уд/мин) подключаются анаэробные механизмы энергообеспечения мышечной деятельности. Считается, что 150 уд/мин – это порог анаэробного обмена (ПАНО). Однако у слабо подготовленных занимающихся и у спортсменов с низкой спортивной формой ПАНО может наступить и при частоте сердечных сокращений 130–140 уд/мин, тогда как у хорошо тренированных спортсменов ПАНО может «отодвинуться» к границе 160–165 уд/мин.

В *третьей тренировочной зоне* (более 180 уд/мин) совершенствуются анаэробные механизмы энергообеспечения на фоне значительного кислородного долга. Здесь частота пульса перестает быть информативным показателем дозирования нагрузки, но приобретают вес показатели биохимических реакций крови и ее состава, в частности количество молочной кислоты. Уменьшается время отдыха сердечной мышцы при сокращении более 180 уд/мин, что приводит к падению ее сократительной силы (при покое: 0,25 с – сокращение, 0,75 с – отдых; при 180 уд/мин: 0,22 с – сокращение, 0,08 с – отдых), резко возрастает кислородный долг.

К работе большой интенсивности организм приспособляется в ходе повторной тренировочной работы. Но самых больших значений максимальный кислородный долг достигает только в условиях соревнований. Поэтому, чтобы достичь высокого уровня интенсивности тренировочных нагрузок, используют методы напряженных ситуаций соревновательного характера (прикидки и т. д.).

Интенсивность и продолжительность тренировки

В разных видах физической деятельности интенсивность тренировки определяется разными параметрами. Например, в аэробных тренировках основным показателем интенсивности является частота сердечных сокращений (ЧСС), а в силовой тренировке – величина отягощения и количество повторений. В данном материале рассмотрим, как определяется интенсивность в аэробных тренировках, а принципы построения силовой тренировки изложим в другой главе.

Определение интенсивности нагрузки по ЧСС заключается в том, что существует максимальная ЧСС ($ЧСС_{max}$) для каждого человека, которая определяется по формуле: $220 - \text{возраст}$. Интенсивность аэробной нагрузки измеряется в процентах от максимальной ЧСС. Например, для человека в возрасте 30 лет максимальная ЧСС равна $220 - 30 = 190$. Если он выполняет нагрузку на пульсе, равном 160 ударов в минуту, то это будет соответствовать нагрузке 85 % от $ЧСС_{max}$.

В зависимости от характера энергообеспечения все аэробные тренировки можно разделить на 5 зон интенсивности (см. таблицу).

| Зона интенсивности | Процент от $ЧСС_{max}$ | Предельная продолжительность нагрузки | Вид энергообеспечения | Общее описание |
|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|---|--|
| Максимальной аэробной мощности | 96—100 | 3—10 минут | Мышечный гликоген | В оздоровительной тренировке не используется |
| Околомаксимальной аэробной мощности | 90—95 | 10—30 минут | Мышечный гликоген, жиры и глюкоза крови | Периодически может использоваться хорошо подготовленными людьми для развития скоростной выносливости. В оздоровительной тренировке также не используется |
| Субмаксимальной аэробной мощности | 80—89 | 30—110 минут | Мышечный гликоген, жиры и глюкоза крови | Используется для развития общей выносливости, укрепления сердечно-сосудистой системы |
| Средней аэробной мощности | 68—79 | 110—180 минут | Жиры, мышечный гликоген, глюкоза крови | Используется для поддержания и развития уровня общей выносливости. Рекомендуются как метод снижения веса |
| Малой аэробной мощности | <67 | >180 минут | Жиры, мышечный гликоген, глюкоза крови | Используется как метод реабилитации после перенесенных заболеваний |

Как видно из таблицы, каждая зона интенсивности имеет свое предельное время продолжительности занятия, которое может варьировать в зависимости от уровня физической подготовки занимающегося. Если проводить тренировку в определенной зоне интенсивности дольше предельно допустимого времени, то очень вероятно, что через несколько таких тренировок наступит переутомление организма и интерес к занятиям пропадет. Если тренировки проводить меньше положенного времени, то эффективность занятия будет очень низкая, что также способствует снижению интереса к занятиям

Вопросы для самостоятельного контроля

1. Физические качества человека. Физическое качество сила. Методы и средства развития силы. Метод максимальных усилий для развития силы.
2. Физические качества человека. Физическое качество сила. Методы и средства развития силы. Метод повторных усилий для развития силы.
3. Физические качества человека. Физическое качество сила. Методы и средства развития силы. Метод предельных усилий для развития силы.
4. Физические качества человека. Физическое качество сила. Методы и средства развития силы. Ударный метод для развития силы.
5. Физические качества человека. Физическое качество гибкость. Определение. Виды гибкости. Методы и средства развития гибкости.
6. Физические качества человека. Физическое качество ловкость. Определение. Методы и средства развития ловкости.
7. Физические качества человека. Физическое качество быстрота. Определение. Методы и средства развития быстроты.
8. Физические качества человека. Физическое качество выносливость. Определение. Непрерывные методы развития выносливости.
9. Физические качества человека. Физическое качество выносливость. Определение. Прерывные методы развития выносливости.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Грачев О. К. Физическая культура: учебное пособие / под ред. Е. В. Харламова. – М.: ИКЦ «МарТ»; Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2005. – 464 с.
2. Матвеев Л. П. Теория и методика физической культуры: Учебник для высших специальных физкультурных учебных заведений / Л. П. Матвеев. – 3-е изд. – СПб.: Лань, 2003. – 160 с.
3. Физическая культура студента: учебник для студентов высших учебных заведений / Ред. В. И. Ильинич. – М.: Гардарики, 2003. – С. 199—203, 376—377.
4. Физическая культура и здоровье: учебник / под ред. В. В. Пономаревой. – М.: ГОУ ВУНМЦ, 2001. – 352 с.

Лекция 4

ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА

И. Ю. Якимович

Введение

Физическая культура – важная составляющая профилактической медицины. «Знание основных положений, характеризующих физическую культуру и спорт, обязательно для врачей различных специальностей. Очевидно, что существующая сеть специальных спортивно-медицинских, лечебно-профилактических учреждений и кабинетов не в состоянии обслужить всех желающих приобщиться к занятиям оздоровительной физкультурой и спортом, лечебной физкультурой (для больных), и в эту работу неизбежно включаются врачи общей лечебной сети. Именно к ним идут люди различных возрастов и состояния здоровья за консультацией по поводу оптимальной физической нагрузки, за допуском к занятиям оздоровительной или лечебной физкультурой, и подчас врачи общей лечебной сети, высококвалифицированные специалисты в своей области, оказываются беспомощными при решении, казалось бы, несложных вопросов. Вот почему врачи общей лечебной сети, а также будущие врачи должны быть хорошо ориентированы в основных принципиальных вопросах физической культуры и спорта» (Епифанова В. А., 1999).

Будущий доктор должен быть компетентным в использовании средств и методов физической культуры для профилактики и лечения заболеваний.

Студент-медик (будущий врач) должен сам владеть методами и средствами физического воспитания и иметь хорошую физическую подготовку.

Профессионально-прикладная физическая культура – одно из направлений физической культуры, используемое в вузах, на производстве, в учреждениях и Вооруженных Силах.

Это система физической подготовки и физкультурно-оздоровительных мероприятий, формирующих прикладные знания, физические, психические и специальные качества, умения и навыки, форма и содержание которых диктуются особенностями влияния на человека условий, характера и организации труда.

Профессионально-прикладная физическая культура включает в себя 2 вида: профессионально-прикладную физическую подготовку (ППФП) и производственную физическую культуру (ПФК).

4.1. Профессионально-прикладная физическая подготовка

ППФП – система специальной физической подготовки, формирующая прикладные знания, физические, психические, специальные качества и связанные с ними способности для психофизической готовности человека к профессиональной деятельности и защите родины.

Цель ППФП – развитие и поддержание требуемого уровня профессионально важных физических и психических качеств.

Задачи ППФП врача:

1. Приобретение необходимых прикладных знаний и методико-практических умений и навыков.

Преимущественное развитие прикладных основных физических качеств:

- ✓ выносливость;
- ✓ быстрота;
- ✓ сила;
- ✓ ловкость;
- ✓ гибкость.

2. Преимущественное развитие прикладных специальных качеств.

Устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов профессиональной деятельности, условий труда:

- ✓ устойчивость к гиподинамии;
- ✓ устойчивость к укачиванию;
- ✓ устойчивость к прямостоянию;
- ✓ быстрота зрительного различия;
- ✓ подвижность нервных процессов.

3. Преимущественное развитие прикладных умений и навыков.

Прикладные упражнения:

- ✓ ходьба;
- ✓ бег;
- ✓ равновесие;
- ✓ лазание и перелезание;
- ✓ бросание и ловля предметов.

4. Преимущественное развитие прикладных психических качеств:

- ✓ внимание: концентрация и устойчивость;
- ✓ оперативное мышление;
- ✓ эмоциональная устойчивость.

волевых качеств:

- ✓ инициативность;
- ✓ смелость;
- ✓ решительность;
- ✓ самообладание;
- ✓ настойчивость;
- ✓ уверенность в своих силах.

Формы ППФП в системе физического воспитания: учебные занятия (обязательные и факультативные), самостоятельные занятия, физические упражнения в режиме дня, массовые оздоровительные, физкультурные и спортивные мероприятия.

Цель практических и теоретических занятий по ППФП для студентов-медиков – овладеть, как будущим специалистами, необходимыми знаниями, которые обеспечат правильное использование средств физической культуры

и спорта для подготовки к профессиональным видам труда с учетом специфики выбранной профессии.

Основные факторы, определяющие ППФП будущего врача

К основным факторам, определяющим конкретное содержание ППФП к конкретной будущей профессии, относятся:

- ✓ форма (виды) труда;
- ✓ условия и характер труда;
- ✓ режим труда и отдыха;
- ✓ особенности динамики работоспособности специалистов в процессе труда;
- ✓ специфика их профессионального утомления и заболеваемости.

Формы (виды) труда

Различают труд физический и умственный.

Профессия врача отнесена к умственному (интеллектуальному) труду и характеризуется:

- ✓ большой нагрузкой на нервно-психическую сферу;
- ✓ требует повышенного напряжения внимания, зрения, слуха, переработки большого объема разнообразной информации, мобилизации памяти;
- ✓ связана со стрессовыми ситуациями;
- ✓ ограниченной двигательной активностью.

Условия и характер труда

Условия труда:

- ✓ продолжительность рабочего времени (фиксированное время работы, скользящий график, ночные, суточные дежурства);
- ✓ уровень механизации и автоматизации производства;
- ✓ комфортность производственной сферы;
- ✓ наличие профессиональных вредностей и др.

Характер труда:

- ✓ особенности преобладающих рабочих поз;
- ✓ величина физической или эмоциональной нагрузки специалиста;
- ✓ особенности средовых условий.

Режим труда и отдыха

Труд и отдых неразрывно связаны между собой в учебной, производственной и других сферах деятельности.

При характеристике режима труда необходимо учитывать продолжительность рабочего дня, рабочей недели, сменный режим работы, ночные, суточные дежурства. Недостаточный отдых ведет к развитию профессионального утомления. Большое значение имеет и то, как организован отдых (ежедневный, еженедельный, ежегодный), и какой он по характеру – пассивный или активный. Пассивный отдых необходимо чередовать с активным отдыхом для наиболее быстрого восстановления работоспособности после физической или умственной работы. Одно из условий эффективного отдыха – чередование периодов работы и отдыха. И. М. Сеченов доказал, что наиболее быстрое восстановление работоспособности после утомительной работы одной рукой наступает не при полном

покое обеих рук, а при работе другой, не работавшей ранее рукой. Переключение с одного вида работы на другой, чередование умственной деятельности с легким физическим трудом устраняет чувство усталости.

Выбор рационального режима отдыха врача-специалиста определяется многими факторами: условиями труда, возрастом, состоянием здоровья, физической подготовленностью.

Динамика утомления и работоспособности

Работоспособность – величина функциональных возможностей организма человека, характеризуется количеством и качеством работы, выполняемой за определенное время.

Утомление – временное состояние органа или целого организма, характеризующееся снижением его работоспособности в результате длительной или чрезмерной нагрузки.

Динамика работоспособности в процессе трудового дня, изменение работоспособности во время работы – естественный процесс.

Динамика работоспособности, основные фазы:

1. Стадия вработываемости – происходит в начале работы первые 20–30 минут, характеризуется постепенным повышением работоспособности.

2. Стадия рабочего возбуждения – в течение 2,5–3 часов работы – максимальный и постоянный уровень работоспособности.

3. Стадия начинающегося утомления – постепенное снижение работоспособности.

4. Стадия вторичного повышения работоспособности, связанного с ожиданием окончания работы (наблюдается не всегда).

Динамика работоспособности после работы

1. Стадия после рабочего возбуждения: после очень тяжелой или напряженной работы наблюдается подъем работоспособности и возбуждения (пример – у студента после сложного, тяжелого экзамена).

2. Стадия после рабочего торможения – резкое снижение работоспособности, угнетение ЦНС, сонливость, апатия.

3. Стадия восстановления работоспособности к первоначальному уровню (рис. 1, 2).

Динамика работоспособности студентов

Учебный день студента, как правило, не начинается с высокой продуктивности труда. В начале занятия не сразу удается сосредоточиться, активно включиться в работу. Первый период – вработывания – характеризуется постепенным повышением работоспособности и некоторыми ее колебаниями. Второй период – оптимальной (устойчивой) работоспособности – имеет продолжительность 1,5–3 часа. Третий период – полной компенсации – отличается тем, что появляются начальные признаки утомления, которые компенсируются волевым усилием и положительной мотивацией. В четвертом периоде наступает неустойчивая компенсация, нарастает утомление, наблюдаются колебания волевого усилия. Продуктивность учебной деятельности снижается. В пятом периоде начинается прогрессивное снижение работоспособности, которое перед окончанием работы может смениться кратковременным ее повышением за счет

мобилизации резервов организма (конечный порыв). Таким образом, работоспособность студентов к середине первого часа достигает высокого уровня (продуктивная работоспособность 92 %) – период вработывания. К концу первого часа она составляет 100 %. В середине второго часа продуктивность находится на уровне 112 %, третьего – 110 %, а четвертого – 102 %. К середине пятого часа она снижается до 94 %, шестого часа – до 86 % (рис. 3).

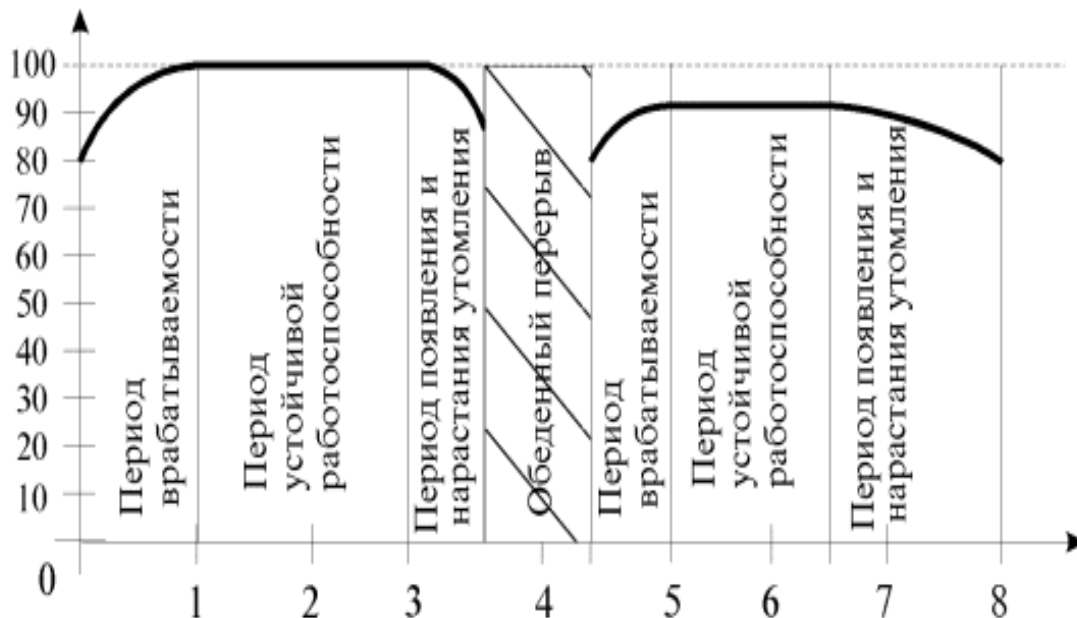


Рис. 1. Динамика работоспособности в течение рабочего дня
По вертикали – работоспособность (%); по горизонтали – часы рабочего времени.

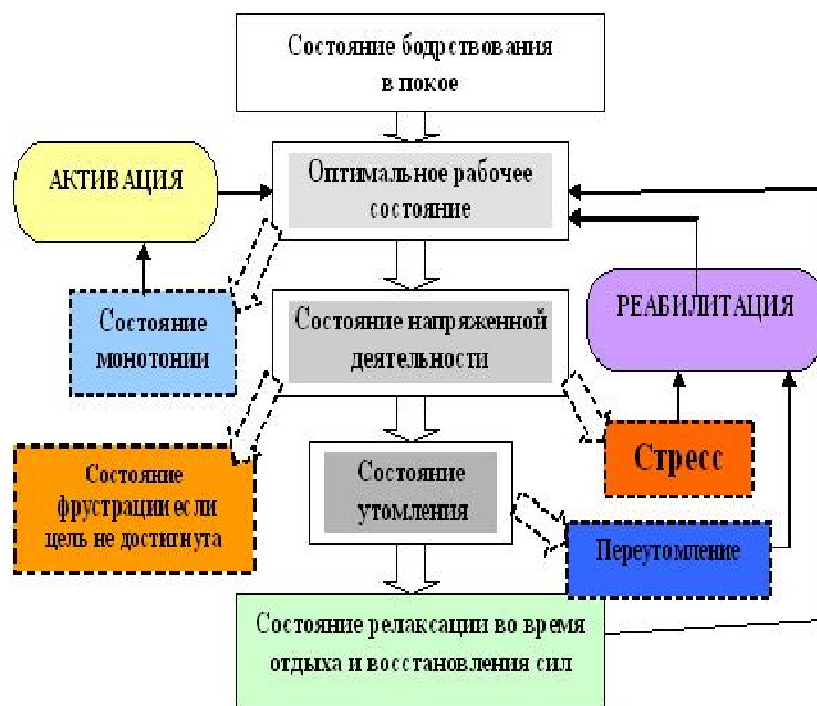


Рис. 2. Возможная динамика состояний человека в труде

Учебный день студентов не ограничивается лишь аудиторными занятиями, а включает также самоподготовку.

Для уровня физической работоспособности студентов изменения в течение учебного дня в целом близки к тем, которые типичны для умственной работоспособности.

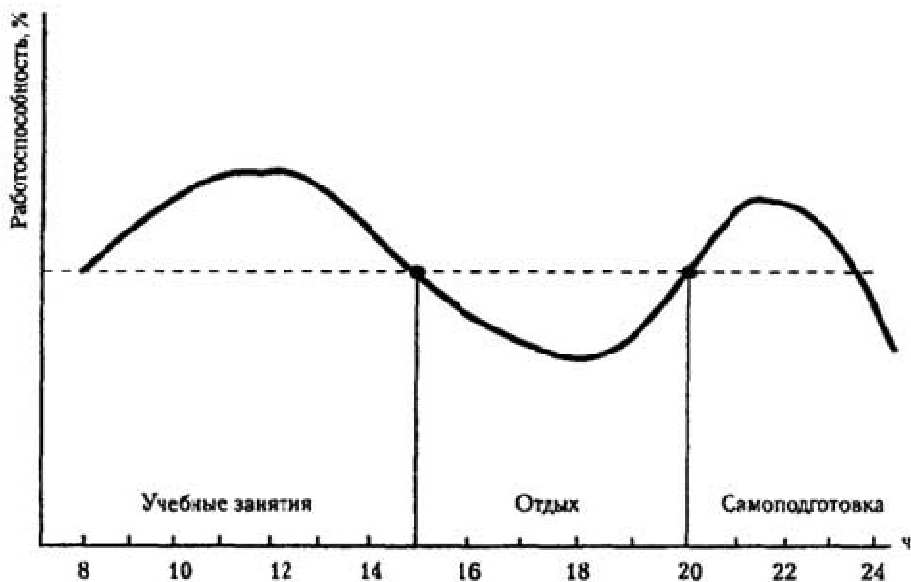


Рис. 3. Работоспособность студентов в процессе учебного дня

Динамика умственной работоспособности в недельном учебном цикле характеризуется последовательной сменой периода вработывания в начале недели (понедельник), что связано с вхождением в привычный режим учебной работы после отдыха в выходной день. В середине недели (со вторника по четверг) наблюдается период устойчивой, высокой работоспособности. К концу недели с пятницы по субботу отмечается процесс ее снижения (рис. 4). Изменение физической работоспособности в течение недели также соответствует динамике умственной работоспособности.

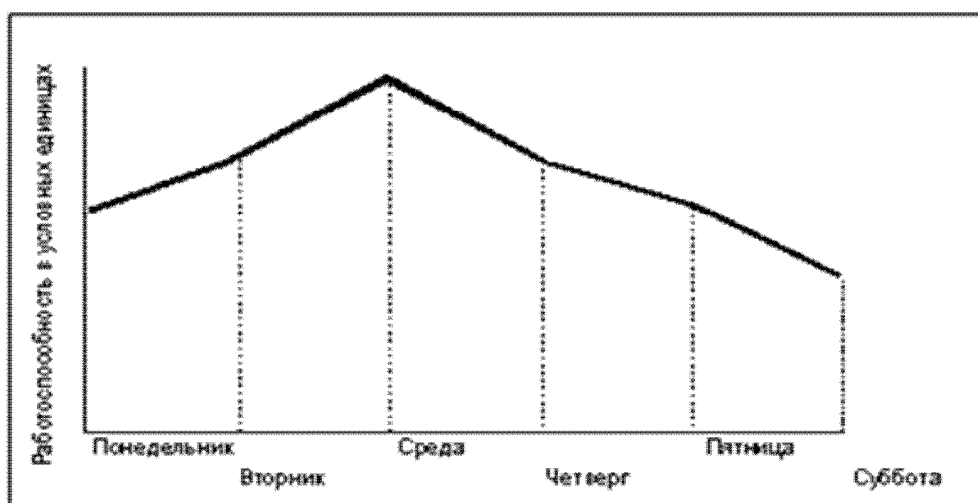


Рис. 4. Колебания работоспособности по дням недели

В начале учебного года в течение 3–3,5 недель (период вработывания) отмечается постепенное повышение уровня работоспособности. Затем наступает период устойчивой работоспособности длительностью 2,5 месяца. В период зачетной сессии, с декабря по январь, за счет интенсивной подготовки к сдаче зачетов и экзаменов увеличивается ежедневная нагрузка в среднем до 11–13 часов в сочетании с эмоциональными переживаниями – работоспособность начинает снижаться. В период самих экзаменов снижение кривой работоспособности усиливается. Во время зимних каникул работоспособность восстанавливается к исходному уровню, и если отдых сопровождается активным использованием средств физической культуры и спорта, то наблюдается явление сверхвосстановления работоспособности. На начало второго семестра период вработывания обычно не превышает 1,5 недели и до середины апреля характеризуется высоким уровнем устойчивости. В зачетную сессию и в период экзаменов снижение работоспособности выражено резче, чем в первом семестре (рис. 5).

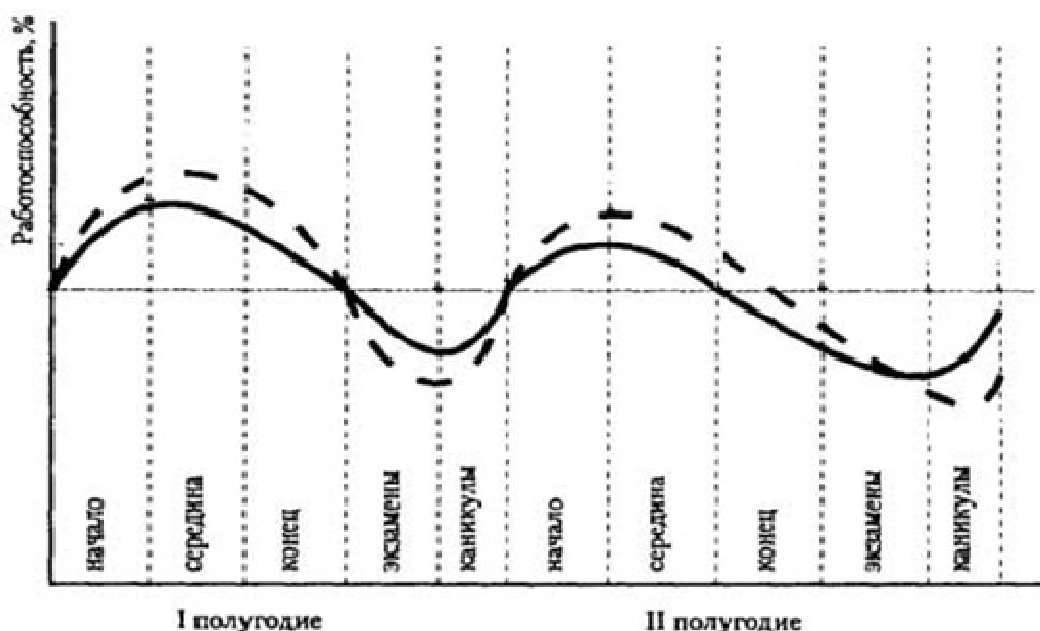


Рис. 5. Изменение умственной (сплошная линия) и физической (пунктир) работоспособности студентов в учебном году

Независимо от его временных параметров (учебный день, неделя, семестр) динамика умственной работоспособности студентов характеризуется последовательной сменой периодов вработывания, устойчивой и высокой работоспособности и периода ее снижения. Это имеет важное значение для планирования мероприятий по оптимизации условий учебной деятельности и отдыха студентов с применением средств физической культуры.

Дополнительные факторы, оказывающие влияние на содержание ППФП врача:

- ✓ индивидуальные (в т. ч. половые и возрастные) особенности людей;

✓ географоклиматические черты регионов, в которых специалисты будут работать.

Особенности профессионально-прикладной физической подготовки различных специальностей

Профессиограмма (от лат. *professio* – специальность+*gramma* – запись) – система признаков, описывающих ту или иную профессию, а также включающая в себя перечень норм и требований, предъявляемых этой профессией или специальностью к работнику.

Профессиограмма врача-терапевта

• Форма труда – умственный труд. Основная работа – до 50 %, письменная – до 30 % и непроизводительная – 20 % рабочего времени.

• Условия и характер труда: рабочий день врача-терапевта длится 6–8 часов, возможны суточные дежурства в среднем 2 раза в месяц.

• Рабочая поза – свободная.

• Ритмичность в работе отсутствует, автоматизированность рабочих мест низка.

• Работоспособность падает через 3,5–4 часа после начала работы.

• Вредные факторы среды: психоэмоциональное напряжение, опасность заражения инфекционными заболеваниями, климатические условия, использование транспортных средств.

Задачи ППФП врача-терапевта

✓ преимущественное развитие прикладных основных физических качеств: общей выносливости, силы, ловкости, гибкости;

✓ преимущественное развитие прикладных специальных качеств: устойчивости к гиподинамии и гипокинезии, устойчивости прямостояния;

✓ преимущественное развитие прикладных психических качеств: внимания, эмоциональной устойчивости, волевых качеств: уверенности в своих силах, выдержки, настойчивости и самообладания.

Профессиограмма врача-педиатра

• Форма труда – умственная деятельность, требует больших физических усилий и выносливости.

• Условия и характер труда: специфическими особенностями являются постоянная ответственность за состояние здоровья и жизнь больных детей; ежедневный контакт с больными детьми и их родителями; наличие внимания и профессиональной памяти.

• Работа врачей в условиях поликлиники и стационара ограничена в движениях, а работа участкового врача-педиатра, напротив, связана с избыточностью движений, а также напряженностью органов зрения и слуха.

• Вредные факторы среды: опасность заражения инфекционными заболеваниями, климатические условия, использование транспортных средств.

Задачи ППФП врача-педиатра

✓ развитие прикладных основных физических качеств – общей выносливости, силы, гибкости;

- ✓ развитие прикладных специальных качеств (устойчивости к гиподинамии и гипокинезии);
- ✓ развитие прикладных психических качеств (внимания, эмоциональной устойчивости и волевых качеств).

Профессиограмма врача-хирурга

- Форма труда – умственный и физический труд

Условия и характер труда: рабочая поза и движения – стоя, несколько согнув тазобедренный сустав, наклонив тело вперед; фиксированная, вынужденная поза, характеризуется длительным статическим напряжением мышц спины и ног, движения рук точные, не всегда больше по силе и амплитуде при постоянном напряжении зрения и внимания. Во время операций отмечается значительное эмоциональное и статическое напряжение, длительное напряжение внимания. К концу рабочего дня развиваются утомление, раздражительность и головная боль, что говорит о выраженном влиянии профессиональной деятельности на функциональное состояние центральной нервной системы.

- Вредные факторы среды: использование во время операции рентгеновских лучей, введение наркоза, наркотических веществ, их наличие в воздухе операционной непосредственно влияют и на организм врача-хирурга. Внешняя среда в операционных неблагоприятна и отличается повышенной температурой (до 28—29°C) и относительной влажностью воздуха 75—80 % при весьма низкой его подвижности.

Задачи ППФП врача-хирурга

- ✓ развитие прикладных основных физических качеств: выносливости, силы и статической выносливости мышц спины и ног, ловкости, быстроты;
- ✓ развитие прикладных специальных качеств: устойчивости к гипокинезии и прямостоянию, быстрого зрительного различения и подвижности нервных процессов;
- ✓ развитие прикладных психических качеств: внимания, эмоциональной устойчивости и волевых качеств (самообладания, уверенности в своих силах).

Профессиограмма провизора (врача-фармацевта)

- Форма труда – умственный труд.

- Условия и характер труда:

монотонность, гипокинезия и гиподинамия, выполнение большого числа манипуляций руками (координационных движений),

преобладание умственной деятельности (переработка поступающей информации, большое число всевозможных вычислений).

Во время работы отмечаются эмоциональное напряжение и напряжение внимания.

- Рабочая поза – вынужденная с наклоном туловища вперед, характерными рабочими движениями являются сгибания и разгибания верхних конечностей, небольшие по мышечным усилиям статического напряжения и динамических движений.

- Продолжительность рабочего дня 6—7 часов при повышенной ответственности за изготовление лекарств и высокой плотности рабочего времени.

- Вредные факторы среды: контакт с химическими реагентами.

Задачи ППФП провизора

- ✓ развитие прикладных основных физических качеств – общей выносливости, силы (укрепление мышц туловища) и статической выносливости мышц спины, ловкости (координации движений рук);
- ✓ развитие прикладных специальных качеств (устойчивости к гипокинезии, гиподинамии и прямостоянию, быстроты зрительного различения и подвижности нервных процессов);
- ✓ развитие прикладных психических качеств (внимания, оперативного мышления).

Профессиограмма врача-лаборанта

Труд врача-лаборанта предъявляет повышенные требования к психической устойчивости, вниманию, способности перерабатывать большой поток информации.

- Форма труда – умственный труд.

•Условия и характер труда: монотонность, гипокинезия и гиподинамия, выполнение большого числа манипуляций руками (координационных движений). Рабочая поза – в основном сидя, возможно статическое напряжение мышц верхнего плечевого пояса, спины.

•Труд врача-лаборанта предъявляет повышенные требования к психической устойчивости, вниманию, способности перерабатывать большой поток информации.

•Вредные факторы среды: производственные пары, газы, пыль (аэрозоли), в связи с чем встречаются заболевания бронхолегочной системы, кожные и аллергические заболевания.

Задачи ППФП врача-лаборанта

- ✓ развитие прикладных основных физических качеств (общей выносливости, силы и статической выносливости мышц спины);
- ✓ развитие прикладных специальных качеств (устойчивости к гипокинезии и гиподинамии, прямостоянию, быстроты зрительного различения и подвижности нервных процессов);
- ✓ развитие прикладных психических качеств (внимания, эмоциональной устойчивости и волевых качеств, а именно инициативности, выдержки и настойчивости).

4.2. Производственная физическая культура

Производственная физическая культура – один из видов профессионально-прикладной физической культуры; смысл ее состоит в оптимизации процесса труда и его воздействия на человека.

Производственная физическая культура – целенаправленная, методически обоснованная система физкультурно-оздоровительных мероприятий, форма и содержание которых диктуются особенностями влияния на человека условий,

характера и организации труда. Это система физических упражнений, направленных на повышение и сохранение дееспособности человека в условиях определенной профессиональной трудовой деятельности и конкретного рабочего места, что достигается снижением накопления утомления в результате работы одних и тех же мышечных групп при выполнении производственного процесса (умственного или физического).

Не следует проводить комплексы упражнений ПФК в обеденный перерыв, в помещениях при температуре воздуха выше 25°C и влажности выше 70 %, при неблагоприятных условиях труда (повышенная запыленность, загазованность).

Цель производственной физической культуры – способствовать укреплению здоровья, повышению эффективности производительности труда.

Задачи производственной физической культуры

- подготовить организм человека к оптимальному включению в профессиональную деятельность;
- активно поддерживать оптимальный уровень работоспособности во время работы и восстанавливать его после ее окончания;
- заблаговременно проводить акцентированную психофизическую подготовку к выполнению отдельных видов профессиональной деятельности;
- осуществлять профилактику возможного влияния на организм человека неблагоприятных факторов профессионального труда в конкретных условиях.

Формы производственной физической культуры

К **первым** относят производственную гимнастику – вводную, физкультурные паузы, физкультминутки, микропаузы активного отдыха, малые игровые формы в межрабочих перерывах (настольный теннис, бильярд, дартс и др.), сеансы в комнатах психофизической разгрузки и др.

Ко **вторым** – послерабочее восстановление – участие в организованных или самостоятельных занятиях на физкультурной базе предприятия (учреждения) и вне ее. Например, восстановительные комплексы упражнений сразу после работы, посещение восстановительных и оздоровительно-профилактических центров на производстве, занятия в специализированных группах здоровья и секциях, в профилакториях, санаториях, на загородных базах отдыха и т. п.

Производственная гимнастика

Производственная гимнастика – это комплексы специальных упражнений, применяемых в режиме рабочего дня, чтобы повысить общую и профессиональную работоспособность, а также с целью профилактики и восстановления.

Основные задачи

- повышение работоспособности во время рабочего дня за счет снижения утомляемости;
- ускорение восстановительных процессов;
- профилактика неблагоприятного влияния факторов труда на организм человека;
- повышение устойчивости организма к их воздействию.

Гимнастика проводится на рабочем месте, в рабочей одежде. Подбор упражнений, очередность и время выполнения, дозировка зависят от условий и характера труда, а также от индивидуальных особенностей (возраст, пол, физическое развитие и уровень физической подготовленности).

Все виды трудовой деятельности разделены на 4 группы:

В 1-ю группу профессий входят работы, связанные с преобладанием небольших физических усилий, малой двигательной активностью, однообразные, требующие внимания (работы на поточно-конвейерных линиях, швей, сортировщиков, штамповщиков).

2-я группа профессий включает работу, в которой сочетаются элементы умственного и физического труда, движения здесь разнообразные, динамичные при умеренных физических нагрузках (медицинские работники, токари, ремонтники, ткачи).

3-я группа профессий состоит из работ, связанных с затратой больших физических усилий (строители, шахтеры).

К 4-й группе профессий относятся работы, связанные с умственным и преимущественно умственным трудом, требующим большого умственного перенапряжения ЦНС, малоподвижные виды деятельности с небольшими затратами физических усилий (инженеры, редакторы, преподаватели, научные работники).

Медицинские работники относятся ко 2-й и 4-й группам профессий.

Методика ПФК зависит от характера и содержания труда и имеет «контрастный» характер:

- чем больше физическая нагрузка в процессе труда, тем меньше она в период активного отдыха, и наоборот;

- чем меньше в активную деятельность включены большие мышечные группы, тем в большей степени они подключаются при занятиях различными формами ПФК;

- чем больше нервно-эмоциональное и умственное напряжение в профессиональной деятельности, тем меньше оно должно быть в разнообразных физических упражнениях ПФК.

При построении комплексов упражнения необходимо учитывать:

1) рабочую позу (стоя или сидя), положение туловища (согнутое или прямое, свободное или напряженное);

2) рабочие движения (быстрые или медленные, амплитуда движения, их симметричность или асимметричность, однообразие или разнообразие, степень напряженности движений);

3) характер трудовой деятельности (нагрузка на органы чувств, психическая и нервно-мышечная нагрузка, сложность и интенсивность мыслительных процессов, эмоциональная нагрузка, необходимая точность и повторяемость движений, монотонность труда);

4) степень и характер усталости по субъективным показателям (рассеянное внимание, головная боль, ощущение болей в мышцах, раздражительность);

5) возможные отклонения в здоровье, требующие индивидуального подхода при составлении комплексов производственной гимнастики;

б) санитарно-гигиеническое состояние места занятий (обычно комплексы проводятся на рабочих местах).

Формы производственной гимнастики

- вводная гимнастика;
- физкультурная пауза;
- физкультурная минутка;
- микропауза активного отдыха.

Вводная гимнастика. Проводится до начала работы и состоит из 5—8 общеразвивающих и специальных упражнений продолжительностью 5—7 минут.

Цель – активизировать физиологические процессы в тех органах и системах организма, которые играют ведущую роль при выполнении конкретной работы. Позволяет легче включиться в рабочий ритм, сокращает период вработываемости, увеличивает эффективность труда в начале рабочего дня и снижает отрицательное воздействие резкой нагрузки при включении человека в работу.

В комплексе упражнений вводной гимнастики следует использовать специальные упражнения, которые по своей структуре, характеру близки к действиям, выполняемым во время работы, имитируют их (акцент выполняется на те мышечные группы и анализаторы, которые в процессе работы будут нести максимальную нагрузку).

Методика составления и проведения комплексов упражнений вводной гимнастики.

Комплексы упражнений составляются по типовой схеме:

1. Упражнения организующего характера.
2. Упражнения для мышц рук, туловища и ног.
3. Упражнения общего воздействия.
4. Упражнения для мышц рук, туловища, ног с маховыми элементами.
5. Специальные упражнения.

Физкультурная пауза. Цель – срочный активный отдых, предупреждение или ослабление утомления, повышение работоспособности в течение рабочего дня. Комплекс состоит из 7—8 упражнений, повторяемых несколько раз в течение 5—10 минут.

Место физкультурной паузы и количество повторений зависят от продолжительности рабочего дня и динамики работоспособности.

При обычном 7—8-часовом рабочем дне с часовым обеденным перерывом при классической кривой изменения работоспособности рекомендуется проводить две физкультурные паузы: через 2—2,5 часа после начала работы и за 1—1,5 часа до ее окончания. Комплекс упражнений физкультурной паузы подбирается с учетом особенностей рабочей позы, движений, характера, степени тяжести и напряженности труда.

Физкультурная пауза при благоприятных санитарно-гигиенических условиях может проводиться на рабочих местах. В некоторых случаях из-за особенностей технологии производства (непрерывный производственный процесс, отсутствие должных санитарно-гигиенических условий) проводить физкультур-

ную паузу невозможно. Это заставляет обратить особое внимание на активное использование ПФК в свободное время.

МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ УПРАЖНЕНИЙ ФИЗКУЛЬТУРНОЙ ПАУЗЫ

Методика составления и проведения комплексов упражнений физкультурной паузы для работников 1-й группы профессий

Схема: упражнения

- В потягивании.
- Для мышц туловища, ног, рук (наклоны, повороты).
- Для мышц туловища, ног, рук динамические с большой амплитудой движения.
- Общего воздействия.
- На расслабление мышц рук.
- На точность и координацию.

Методика составления и проведения комплексов упражнений физкультурной паузы для работников 2-й группы профессий

Схема: упражнения

- В потягивании
- Для мышц туловища, ног, рук с элементами расслабления.
- Для мышц туловища, ног, рук динамические, маховые.
- Общего воздействия.
- На расслабление.

Методика составления и проведения комплексов упражнений физкультурной паузы для работников 3-й группы профессий

Схема: упражнения

- В потягивании с глубоким дыханием и включением элементов расслабления мышц рук и плечевого пояса, туловища, ног в положении сидя или лежа.
- На растягивание, формирование осанки и подвижности суставов.
- Для мышц туловища, ног и рук с элементами координации движений.

Методика составления и проведения комплексов упражнений физкультурной паузы для работников 4-й группы профессий

Схема: упражнения

- В потягивании.
- Для мышц туловища, ног, рук (наклоны, повороты).
- Для мышц туловища, ног, рук динамические с большой амплитудой движения, акцент на нижние конечности.
- Общего воздействия.
- На расслабление мышц рук.
- На внимание, на координацию движений.

Физкультурная минутка относится к малым формам активного отдыха. Это наиболее индивидуализированная форма кратковременной физкультурной паузы, цель которой состоит в том, чтобы локально воздействовать на утомлен-

ную группу мышц. Она состоит из 2—3 упражнений и проводится в течение рабочего дня несколько раз по 1—2 минуте.

Физкультминутки с успехом применяются, когда по условиям организации труда и его технологии невозможно сделать организованный перерыв для активного отдыха, т. е. когда нельзя останавливать оборудование, нарушать общий ритм работы, отвлекать надолго внимание работающего. Физкультминутка может быть использована в индивидуальном порядке непосредственно на рабочем месте, тогда, когда есть потребность в кратковременном отдыхе.

Физкультминутки можно проводить в любых условиях, даже там, где по санитарно-гигиеническим условиям не допускается проведение физкультурной паузы.

Методика составления и проведения комплексов упражнений физкультурной минутки.

Разновидности физкультминуток:

- общего воздействия;
- для улучшения мозгового кровообращения;
- для снятия утомления с плечевого пояса и рук, с туловища и ног;
- физкультурная минутка изометрическая, состоит из упражнений в сопротивлении и напряжении отдельных мышечных групп. Во время выполнения упражнений следует чередовать мышечное напряжение 10—15 секунд с полным мышечным расслаблением. Отдых – 10—20 секунд.

Микропауза активного отдыха. Самая короткая форма производственной гимнастики, длящаяся всего 20—30 секунд.

Цель микропаузы – ослабить общее или локальное утомление путем частичного снижения или повышения возбудимости центральной нервной системы. С этим связано снижение утомления отдельных анализаторных систем, нормализация мозгового и периферического кровообращения. В микропаузах используются мышечные напряжения и расслабления, которые можно многократно применять в течение рабочего дня, приемы самомассажа.

Не только в рабочее время или в течение учебного дня необходимо выполнять комплексы производственной гимнастики, но и во вне рабочее и вне учебное время. Это могут быть самостоятельные занятия, занятия в группах здоровья, общей физической подготовки, спортивных секциях.

Современный труд приводит к перегрузкам одних функциональных систем организма и недогрузкам других, что неблагоприятно сказывается на общей дееспособности человека. Важная роль средств физического воспитания в профилактике неблагоприятных факторов труда и учебной деятельности, в поддержании хорошего состояния здоровья, физической подготовленности и позитивного психоэмоционального фона.

Вопросы для самостоятельного контроля

1. Производственная физическая культура, ее цели и задачи. Формы производственной физической культуры в рабочее время.

2. Профессионально-прикладная физическая подготовка, цель, задачи, средства. Основные и дополнительные факторы, определяющие профессионально-прикладную подготовку будущего врача, провизора.
3. Основные и дополнительные факторы, определяющие профессионально-прикладную подготовку будущего врача. Роль и значение физической культуры в профессиональной деятельности врача. Профессиограмма.
4. Формы производственной физической культуры в рабочее время. Факторы, определяющие содержание производственной гимнастики. Методика составления комплексов упражнений в различных формах производственной гимнастики и определение их места в течение рабочего дня.
5. Методы и средства физической культуры для развития прикладных специальных качеств специалиста (устойчивость к гиподинамии, гипоксии, прямостоянию, эмоциональным нагрузкам).
6. Особенности профессионально-прикладной подготовки врача-хирурга, врача-педиатра, врача-терапевта, врача-стоматолога, провизора, врача-лаборанта.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Виленский Л. Я. Физическая культура как образовательная дисциплина в современной высшей школе // Физическая культура и спорт как фактор информационно-воспитательного пространства современного вуза: Сборник материалов Российской научно-практической конференции / Под ред. Ю. И. Евсеева, Б. А. Кабаргина. – Ростов н/Д: РГЭУ, 2001. – С. 19—25.
2. Грачев О. К. Физическая культура: учебное пособие / под ред. Е. В. Харламова. – М.: ИКЦ «МарТ», 2005. – 16 с.
3. Пономарева В. В. Методика поэтапного обучения студентов медицинских вузов практическим навыкам по использованию средств физической культуры в практической практике врача // Особенности преподавания физического воспитания в медицинских вузах: Сборник материалов научно-практической конференции / под ред. В. В. Пономаревой. – М., 2002. – С. 20—22.
4. Пономарева В. В. Профессионально-прикладная физическая подготовка и профессиональная направленность предмета «Физическая культура» в медицинских вузах // Физическая культура одно из основных немедикаментозных средств оздоровления: Сборник материалов научно-практической конференции 2 июня 2003 г. / под ред. В. В. Пономаревой. – М., 2003. – С. 3—5.
5. Физическая культура студента: Учебник / под ред. В. И. Ильинича. – М.: Гардарики, 2000. – 448 с.
6. Холодов Ж. К., Кузнецов В. С. Теория и методика физического воспитания и спорта: учебное пособие для студентов педагогических вузов. – М.: Академия, 2003. – 480 с.
7. Щербатых Ю. В. Психология труда и кадрового менеджмента в схемах и таблицах. – М.: КноРус, 2011. – 248 с.
8. Якимович В. С. Проектирование системы физического воспитания детей и молодежи в различных образовательных учреждениях. – Волгоград: ВолГАСА, 2002. – 136 с.
9. http://www.e-biblio.ru/book/bib/13_UMK_5kurs/fizra/Book.html

Лекция 5

ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БАКАЛАВРА И СПЕЦИАЛИСТА

Н. И. Жукова

Введение

По данным Научного центра здоровья детей Российской академии медицинских наук, к 2013 году около 80 % подростков имеют функциональные отклонения в состоянии здоровья. По данным ежегодного медицинского осмотра студентов первого курса Сибирского государственного медицинского университета, 50 % из них имеют хронические заболевания и относятся к специальной и лечебной медицинским группам.

С одной стороны, это результат изменения образа жизни – исключение или минимизация таких природных раздражителей, которые составляют биологически необходимый фон жизнедеятельности: закаливание, особенности питания, двигательная активность (всего около 20 % населения систематически занимаются физкультурой в России).

С другой стороны, это результат изменения качества окружающей среды, обусловленного издержками цивилизации (расширение спектра и увеличение силы психоэмоциональных воздействий, факторы неблагоприятной экологии техногенного происхождения, вредные привычки и т. д.).

В обществе недостаточно оценена оздоровительная и воспитательная роль физической культуры. Физическая культура позволяет повысить резерв здоровья и тем самым снизить вероятность развития целого ряда заболеваний, обусловленных как образом жизни, так и негативными воздействиями среды. Врачи различных специальностей должны активно участвовать в приобщении населения страны к занятиям спортом, оздоровительной и лечебной физкультурой. Именно к врачу идут люди различных возрастов и состояния здоровья, за консультацией по поводу оптимальной физической нагрузки, за допуском к занятиям спортом, оздоровительной или лечебной физкультурой. Поэтому врач должен владеть основами теории и методики физических упражнений, быть компетентным в использовании средств физической культуры и спорта для профилактики и лечения заболеваний.

Для овладения данной компетенцией медик должен знать организацию и методику многолетней физической подготовки людей, владеть знаниями научно-биологических и практических основ физической культуры.

5.1. Оздоровительная физическая культура

В профилактической медицине особая роль принадлежит средствам физической культуры в охране и укреплении здоровья. Организм может быть здоро-

вым, если он обладает механизмами, обеспечивающими совершенную адаптацию к стрессовым воздействиям. Эти воздействия могут быть эмоциональными, пищевыми, физическими, к которым относятся и физические нагрузки, если они неадекватны для организма. К физическим стрессовым воздействиям относятся как мышечные перегрузки, так и мышечное бездействие.

Профилактика предполагает предупредительные меры по охране и укреплению здоровья. Физическая культура повышает сопротивляемость в отношении вредных воздействий на организм, является основой первичной профилактики для здоровых людей, выступает средством укрепления здоровья и повышения общей физической подготовленности.

«Первичная профилактика» представляет собой систему социальных, медицинских, гигиенических и воспитательных мер, направленных на предотвращение заболеваний. Базовая физическая культура, профессионально прикладная, утренняя гигиеническая гимнастика, производственная гимнастика, оздоровительная физкультура, самостоятельные занятия физическими упражнениями и многие другие формы физической культуры являются основным средством первичной профилактики.

«Вторичная профилактика» направлена на удлинение сроков ремиссии и на предотвращение рецидивов заболевания. В данном случае физическая культура выступает в качестве важного средства реабилитации (восстановления) нарушенных функций организма и трудоспособности человека. Врач назначает двигательный режим в зависимости от состояния больного, а также от места его пребывания (стационар, амбулаторное наблюдение, дом отдыха, санаторий и т. д.). В двигательный режим входит утренняя гигиеническая гимнастика, лечебная гимнастика, производственная гимнастика – если пациент работает, а если эта нагрузка не покрывает потребностей двигательной активности организма, то добавляется физкультурно-оздоровительная программа.

Оздоровительную функцию выполняют все компоненты физической культуры (спорт, базовая физическая культура, профессионально-прикладная, оздоровительно-реабилитационная и т. д.). Однако в общей системе физической культуры есть компонент, который выполняет оздоровительную функцию наиболее эффективно. Таким компонентом является оздоровительная физическая культура (за рубежом – кондиционная тренировка).

Оздоровительная физическая культура – это система физических упражнений, направленных на повышение физического состояния до безопасного уровня, гарантирующего стабильное здоровье.

Признаки занятия оздоровительной тренировкой.

1. Формирование оздоровительного эффекта. Положительное влияние физических упражнений достигается только при условии активизации защитных механизмов, сопровождающих мышечную работу. Расходование энергетических и пластических ресурсов во время физических упражнений инициирует процессы суперкомпенсации, что делает организм тренированным и одновременно повышает его устойчивость ко многим заболеваниям и вредным воздействиям внешней среды.

2. Повышение уровня физического состояния. Внешне это состояние выражается в более высокой умственной и физической работоспособности. На физиологическом уровне происходит совершенствования функций и систем организма, обеспечивающих мышечную работу. Именно в силу расширения резервных возможностей основных жизнеобеспечивающих систем тренированный организм приобретает повышенную устойчивость к целому ряду заболеваний и многим вредным воздействиям внешней среды.

В отличие от оздоровительной физической культуры, спортивная деятельность регламентирует фактически весь образ жизни спортсмена. В спорте организм приобретает способность развивать физическую работу недоступной ранее мощности, направленную на максимальное увеличение функциональных возможностей организма.

В оздоровительных целях прирост резервных возможностей органов и систем целесообразен лишь до уровня, гарантирующего стабильное здоровье. Оздоровительная тренировка как форма оптимизации двигательного режима органически входит в содержание здорового образа жизни (ЗОЖ).

Оздоровительная физическая культура выполняет следующие функции, имеющие непосредственное отношение к проблеме формирования стабильного здоровья:

1. Образовательная функция – использование оздоровительной физической культуры в общей системе образования с целью формирования жизненно важных двигательных умений и навыков, приобретения специальных знаний в области теории и методики физической культуры, необходимых для ведения здорового образа жизни.

2. Оздоровительная функция – использование средств оздоровительной физической культуры в системе мер, направленных на сохранение и укрепление здоровья с учетом возраста, профессиональной деятельности, наличия заболеваний или психосоматических расстройств.

3. Воспитательная функция – формирование качеств личности и черт характера, позволяющих сформировать оптимальный психологический климат в обществе, коллективе, семье; а также формирование потребности в соблюдении норм здорового образа жизни.

4. Рекреативная функция – использование средств оздоровительной физической культуры в обеспечении полноценного отдыха, восстановлении физических и психических сил с учетом характера и специфики производственного утомления.

Принцип оздоровительной направленности заключается в оптимизации процесса физического воспитания с целью достижения наибольшего и безусловного эффекта укрепления здоровья. Данный принцип регламентирует в первую очередь содержание физкультурно-оздоровительных занятий, которые должны организовываться и проводиться в соответствии со следующими правилами:

- Все нагрузочные средства подбираются, исходя из их оздоровительной ценности как обязательного критерия. Используемые физические упражнения должны, как минимум, обеспечить снижение факторов риска сердечно-

сосудистых заболеваний, занимающих в развитых странах первое место в статистике неинфекционной заболеваемости. Доказана неравнозначность различных видов физических упражнений (типов нагрузки) для решения этой задачи.

- Планирование и регулирование параметров нагрузки должно осуществляться в соответствии с закономерностями укрепления здоровья. Все параметры нагрузки имеют соответствующий диапазон, за нижним пределом которого значимые физиологические сдвиги будут отсутствовать, а за верхним пределом многократно увеличивается вероятность отрицательных эффектов физической тренировки (переутомление, перенапряжение локомоторного аппарата, ухудшение иммунной защиты).

- Используемые нагрузочные средства должны иметь индивидуально-адекватную направленность. Физкультурно-оздоровительные занятия организуются и проводятся для удовлетворения так называемых физкультурных потребностей личности: укрепления сердечно-сосудистой системы, коррекции фигуры и массы тела, повышения физической подготовленности, формирования прикладных двигательных умений и навыков, улучшения психического состояния.

5.1.1. Особенности занятий физическими упражнениями оздоровительной направленности

Соблюдая методические нормы и принципы, при занятиях физическими упражнениями с оздоровительной направленностью необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

- 1) достижение стабильно высокого уровня здоровья, максимальное продление эффективной жизнедеятельности;
- 2) совершенствование основных жизнеобеспечивающих функций и систем организма;
- 3) повышение устойчивости организма к ряду соматических заболеваний и многим вредным воздействиям внешней среды;
- 4) улучшение психоэмоционального состояния;
- 5) достижение высокого уровня физической подготовленности;
- 6) приобретение прикладных двигательных умений и навыков;
- 7) удовлетворение потребности в движении во время активного отдыха;
- 8) коррекция фигуры и массы тела;
- 9) создание у занимающихся убежденности в необходимости использования физических упражнений в жизни.

Укрепление и сохранение здоровья – главный результат деятельности всей системы оздоровительной физической культуры.

Среди большого количества определений здоровья можно выделить следующие:

1. «Здоровье – такое состояние организма человека, когда функции всех его органов и систем уравновешены с внешней средой и отсутствуют какие-либо болезненные изменения... В понятие здоровья вкладываются не только абсолютные качественные, но и количественные признаки, поскольку существует

понятие о степени здоровья... В понятие здоровья входит и социальная полноценность человека» (Большая медицинская энциклопедия).

2. «Здоровье – состояние физического, психического и социального благополучия, а не только отсутствия заболевания или дряхлости» (Всемирная организация здравоохранения).

3. «Здоровье – это комплекс резервных возможностей организма, обеспечивающих социальную активность при максимальной продолжительности жизни» (В. П. Казначеев).

4. «Здоровье – это максимальная производительность органов и систем при сохранении качественных пределов их функций» (Н. М. Амосов).

В практике физической культуры принято оперировать понятиями, которые относятся к физическому здоровью. Основу физического здоровья составляют морфологические и функциональные резервы клеток, тканей, органов и систем органов, обеспечивающие приспособление организма к воздействию различных факторов.

Основным критерием физического здоровья следует считать величину максимального потребления кислорода (МПК) данного индивида. Именно МПК является количественным выражением уровня здоровья, показателем «количества» здоровья. Величина МПК характеризует мощность аэробного процесса, т. е. количество кислорода, которое организм способен усвоить (потребить) в единицу времени (за 1 минуту).

Помимо МПК, важным показателем аэробных возможностей организма является уровень порога анаэробного обмена (ПАНО), который отражает эффективность аэробного процесса. ПАНО соответствует такой интенсивности мышечной деятельности, при которой кислорода уже явно не хватает для полного энергообеспечения. При этом резко усиливаются процессы бескислородного (анаэробного) образования энергии за счет расщепления веществ, богатых энергией (креатинфосфата и гликогена мышц), что приводит к накоплению молочной кислоты. При интенсивности работы на уровне ПАНО концентрация молочной кислоты в крови возрастает от 2,0 до 4,0 ммоль/л, что является биохимическим критерием ПАНО. Кислородная ёмкость крови – это количество кислорода, которое может связать 100 мл артериальной крови. В зависимости от уровня тренированности она колеблется в пределах от 18 до 25 мл. В венозной крови, оттекающей от работающих мышц, содержится не более 6—12 мл кислорода на 100 мл крови. Это означает, что высококвалифицированные спортсмены при напряженной работе могут потреблять до 15—18 мл кислорода из каждых 100 мл крови. Если учесть, что при тренировке на выносливость у бегунов и лыжников минутный объем крови может возрасти до 30—35 л/мин, то указанное количество крови обеспечит доставку к работающим мышцам кислорода и его потребление до 5,0—6,0 л/мин – это и есть величина МПК. Наиболее важным фактором, определяющим и лимитирующим величину максимальной аэробной производительности, является кислородотранспортная функция крови, которая зависит от кислородной емкости крови, а также сократительной и «насосной» функции сердца, определяющей эффективность крово-

обращения. Не менее важную роль играют и сами «потребители» кислорода – работающие скелетные мышцы.

Максимальные значения аэробной мощности отмечены у бегунов на длинные дистанции и у лыжников, а кислородной ёмкости крови – у марафонцев и велосипедистов-шоссейников, т. е. в таких видах спорта, которые требуют максимальной продолжительности мышечной деятельности. Связь между аэробными возможностями организма и состоянием здоровья впервые была обнаружена американским врачом Купером (1970). Он доказал, что люди, имеющие уровень МПК 42 мл/мин/кг и выше, не страдают хроническими заболеваниями и имеют показатели артериального давления в пределах нормы. Более того, была установлена тесная взаимосвязь величины МПК и факторов риска ИБС: чем выше уровень аэробных возможностей, тем лучше показатели артериального давления, холестерина обмена и массы тела, и тем меньше риск возникновения ИБС.

Таким образом, эндогенные (наследственность, конфигурация, пол, возраст) факторы риска ИБС формируются лишь при снижении аэробных возможностей до определенного предела. Предельная (пороговая) величина МПК для мужчин – 42 мл/мин/кг, для женщин – 35 мл/мин/кг, что обозначается как безопасный уровень соматического здоровья.

Абсолютные значения МПК зависят от массы тела, поэтому у женщин эти показатели на 20—30 % ниже, чем у мужчин. Однако при сравнении относительных показателей на 1 кг массы тела эти различия в значительной степени нивелируются.

Представляют интерес данные о величине максимальной аэробной мощности у населения стран с различным уровнем двигательной активности. Наиболее высокие значения МПК отмечаются у жителей Швеции (58 мл/кг) – страны с традиционно высоким уровнем развития массовой физической культуры. На втором месте – жители США (49 мл/кг). Самый низкий показатель аэробной производительности у населения Индии (36,8 мл/кг), большая часть которого склонна к пассивному, созерцательному образу жизни.

Учитывая методологические и организационные сложности оценки физического здоровья, большую популярность в оздоровительной физической культуре приобрели так называемые комплексные тесты.

Диагностическая шкала соматического здоровья, разработанная Г. Л. Апанасенко и Р. Г. Науменко, включает в себя: оценку показателей физического развития, функционального состояния дыхательной и сердечно-сосудистой систем, данные нагрузочного тестирования – физической подготовленности.

Количественная оценка уровня физического состояния (УФС) дает ценные сведения о состоянии здоровья и функциональных возможностей организма, что позволяет принять необходимые меры профилактики заболеваний и укрепления здоровья. Установлено, что развитие хронических соматических заболеваний происходит на фоне снижения УФС до определенной критической величины. Так, при массовом обследовании лиц с различным физическим состоянием (Апанасенко Г. Л., 1988) обнаружено, что заболеваемость возрастала параллельно снижению УФС. В группе обследованных с высоким УФС не обнару-

жено хронических соматических заболеваний. В группе лиц с УФС выше среднего заболевания выявлены у 6 % всех обследованных. В группе лиц со средним УФС имеются различные хронические заболевания уже у 25 % обследованных. Аналогичные данные получены Е. А. Пироговой (1985) при обследовании жителей г. Киева в возрасте 18—75 лет. Различные нарушения в деятельности сердечно-сосудистой системы обнаружены лишь в группе обследованных с III и IV уровнями физического состояния, что составило 7 % всех наблюдаемых. При этом отмечались снижение сократительной и «насосной» функций сердца, повышение артериального давления. У мужчин старше 50 лет с УФС ниже среднего в ряде случаев диагностированы атеросклероз и коронарная болезнь сердца, некоторые из них перенесли инфаркт миокарда.

Таким образом, безопасный уровень соматического здоровья, гарантирующий отсутствие болезней, имеют лишь люди с высоким уровнем физического состояния. Понижение УФС сопровождается прогрессирующим ростом заболеваемости и снижением функциональных резервов организма до опасного уровня, граничащего с патологией.

Средний уровень физического состояния, очевидно, может расцениваться как критический. Дальнейшее снижение УФС уже ведет к клиническому проявлению болезни с соответствующими симптомами. Следовательно, уровень соматического (физического) здоровья соответствует вполне определенному уровню физического состояния, которое складывается из следующих составляющих: физического развития, физической подготовленности и функциональных возможностей занимающихся.

В связи с этим важнейшей задачей профилактической медицины является обследование всего взрослого населения с целью диагностики УФС и его повышение с помощью средств оздоровительной физической культуры.

5.1.2. Оптимальность параметров физической нагрузки

На основании двигательной потребности подбираются нагрузочные средства. Их использование в общих чертах повторяет спортивную тренировку, поскольку для достижения оздоровительного эффекта необходим прирост функциональных возможностей организма. Организм становится тренированным, соответственно приобретает повышенную устойчивость к вредным воздействиям внешней среды и заболеваниям, обеспечивает укрепление и сохранение здоровья, формирует оптимальный фон для жизнедеятельности человека. Соответственно подбираются средства и методика оздоровительной тренировки. Соблюдение принципа оздоровительной направленности осуществляется при помощи рационального подбора параметров нагрузки. В оздоровительной тренировке, так же, как и в спортивной, различают следующие основные компоненты нагрузки, определяющие ее эффективность: тип нагрузки, величину нагрузки, продолжительность (объем) и интенсивность, периодичность занятий (количество раз в неделю), продолжительность интервалов отдыха между занятиями.

Тип нагрузки. Адаптационные изменения, происходящие под влиянием физических упражнений, зависят от вида упражнений, структуры двигательно-

го действия. Это связано с тем, что упражнения различной направленности вызывают неоднозначные, иногда даже противоположные, структурно-функциональные перестройки. В оздоровительной тренировке можно выделить три основных типа упражнений избирательной направленности, которые различаются по периодичности, мощности и объему:

1. Циклические упражнения аэробной направленности, способствующие развитию общей выносливости (ходьба, бег, плавание, велосипед), проводимые непрерывно в течение 30 и более минут умеренной мощности.

2. Циклические упражнения смешанной аэробно-анаэробной направленности, развивающие общую и специальную (скоростную) выносливость (бег в гору, упражнения с отягощениями, сопротивлением, тренажеры), длительность работы от 15 секунд до 3 минут с числом повторений 3—5 раз с периодами отдыха.

3. Ациклические упражнения, стимулирующие как аэробную, так и анаэробную производительность (спортивные и подвижные игры, тяжелая атлетика).

В зависимости от характера энергообеспечения все циклические упражнения делятся на 4 зоны тренировочного режима:

1. Анаэробный режим – скорость бега выше критической (выше уровня МПК). В оздоровительной тренировке не используется.

2. Смешанный аэробно-анаэробный режим – скорость между порогом анаэробного обмена ПАНО и МПК. Периодически может использоваться хорошо подготовленными бегунами для развития специальной (скоростной выносливости) при подготовке к массовым соревнованиям.

3. Аэробный режим – скорость между аэробным порогом и ПАНО. Используется для поддержания и развития общей выносливости.

4. Восстановительный режим – скорость ниже аэробного порога. Используется как метод реабилитации после перенесенных заболеваний.

Приоритет циклических аэробных упражнений подчеркивают большинство авторов оздоровительных программ. Это связано с профилактической эффективностью упражнений на развитие выносливости в отношении атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний. Данные упражнения также обеспечивают увеличение общей неспецифической резистентности организма, что имеет большое значение в условиях постоянного ухудшения экологической обстановки. Вместе с тем следует отметить, что оздоровительная эффективность занятий физическими упражнениями не может быть ограничена только аэробными упражнениями. В обеспечении жизнедеятельности человека большое значение имеют все физические качества, однако их вклад в общий объем тренировочных занятий зависит от возраста.

С увеличением возраста уменьшается объем скоростно-силовой нагрузки, свыше 40 лет практически исключается объем скоростной выносливости, больше делается акцент на увеличение процента объема общей выносливости.

Величина нагрузки. Согласно рекомендациям Американского института спортивной медицины (АИСМ), оздоровительные задачи могут быть решены, если используется любая двигательная деятельность, в которой участвуют

большие группы мышц. Данная работа должна быть непрерывной, ритмичной и иметь аэробную направленность.

По степени воздействия на организм в оздоровительной физической культуре (так же, как и в спорте) различают величины нагрузки: пороговые, оптимальные, пиковые, а также сверхнагрузки.

Пороговая нагрузка – это нагрузка, которая дает необходимый оздоровительный эффект: возмещение недостатка двигательной активности, повышение функциональных возможностей организма и снижение факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний.

Компенсация недостающего объема движения может быть достигнута при недельном объеме бега около 3 часов (3 раза в неделю по 1 часу). Повышение функциональных возможностей у начинающих бегунов наблюдается при объеме медленного бега, равном 15 км в неделю. Выполнение 12-недельной тренировочной программы с использованием 5-километровых пробежек 3 раза в неделю дает прирост МПК на 14 %. Данный тренировочный объем также эффективен в профилактике болезней сердечно-сосудистой системы. Одновременно с ростом тренированности наблюдается отчетливое понижение артериального давления до нормальных величин, нормализация липидного обмена. Сочетание тренировок с рациональным питанием позволяет успешно бороться с избыточной массой тела. Таким образом, величина минимальной нагрузки, обеспечивающая достижение оздоровительного эффекта, составляет 15 км в неделю, или 3 занятия по 30 минут в аэробном режиме с использованием других видов физических упражнений.

Оздоровительная эффективность физических упражнений зависит от уровня функционального состояния организма занимающихся. Например, установлено, что у лиц с низким уровнем МПК (30 мл/мин/кг) может быть достигнут его прирост на 30,2 % через 8 недель занятий аэробными упражнениями. У тех, кто начал тренировку с уровнем МПК от 30 до 35 мл/мин/кг, этот показатель повысился на 13,3 %, а у исследуемых с МПК выше 35 мл/мин/кг существенных изменений зафиксировано не было.

Оптимальная нагрузка – это нагрузка такого объема и интенсивности, которая дает максимальный оздоровительный эффект для данного индивида. Оптимальная нагрузка должна быть индивидуально сбалансированной. Зона оптимальных нагрузок ограничена снизу уровнем пороговых, а сверху – максимальных нагрузок. Оптимальные нагрузки для подготовленных бегунов составляют 40—60 минут 3—4 раза в неделю (в среднем 30—40 км в неделю). Дальнейшее увеличение количества пробегаемых километров нецелесообразно. Подобное форсирование не только не способствует дополнительному приросту функциональных возможностей организма, но создает опасность травмирования опорно-двигательного аппарата. Также существует угроза перетренированности с соответствующими отрицательными последствиями для иммунной и сердечно-сосудистой систем.

Максимальная длина тренировочной дистанции в оздоровительном беге не должна превышать 20 км. Задача оздоровительной тренировки – укрепление здоровья путем развития общей выносливости и работоспособности.

Интенсивность нагрузки. Интенсивность нагрузки зависит от скорости и длительности бега. Она определяется по частоте сердечных сокращений (ЧСС) или в % от МПК.

Нулевая зона тренировочного режима – скорость ниже аэробного порога. Применяется как метод реабилитации после перенесенных заболеваний, у спортсменов используется с целью восстановления после физических нагрузок. ЧСС не превышает 120—130 уд/мин.

Пороговой величиной интенсивности нагрузки, обеспечивающей минимальный оздоровительный эффект, принято считать нагрузку на уровне 50 % от МПК, или 65 % от максимальной ЧСС (190 минус возраст). Соответствует ЧСС около 120 уд/мин – для начинающих и 130 уд/мин – для подготовленных бегунов. Тренировка при ЧСС ниже указанных величин малоэффективна для развития выносливости, поскольку ударный объем крови в этом случае не достигает максимальной величины, а сердце не до конца использует свои резервные возможности. Взрослым же людям, только приступившим к занятиям, рекомендуется двигательная активность средней или минимальной интенсивности (диапазон частоты сокращений сердца 80–65 % от максимальной величины ЧСС) и большей продолжительности.

Оптимальная величина интенсивности нагрузки, допустимая у людей среднего возраста в процессе физкультурно-оздоровительных занятий и обеспечивающая максимальный оздоровительный эффект, соответствует интенсивности 80 % МПК, при этом ЧСС составляет 150 уд/мин.

Пиковая величина интенсивности нагрузки – ЧСС выше 150 уд/мин – означает переход в зону смешанного аэробно-анаэробного энергообеспечения. Данный уровень может выполняться только хорошо подготовленными лицами. Средние (оптимальные) величины ЧСС, приведенные в этих рекомендациях, соответствуют формуле (190 минус возраст) и предназначены для хорошо подготовленных бегунов. Такая тренировка продолжительностью 30—60 минут для указанной возрастной группы дает максимальный оздоровительный эффект. Для физически не подготовленных лиц и людей преклонного возраста такая нагрузка может вызвать отрицательный эффект.

Частота занятий. При построении тренировочных программ необходимо учитывать степень выраженности и длительность сохранения следового эффекта (отставленный эффект физической тренировки). Как и другие параметры нагрузки, частота занятий имеет оптимальный диапазон, за границами которого оздоровительный эффект отсутствует, или, напротив, возрастает риск перетренированности. Например, 2-разовые занятия в неделю могут и не дать положительного эффекта. При разовых тренировках существенных изменений в организме вообще ожидать не стоит. Можно достичь лишь определенного противодействия недостатку двигательной активности, т. е. уровня минимума двигательной активности.

Для достижения значимого физиологического эффекта при нечастых занятиях физическими упражнениями необходимо увеличить нагрузку. Например, для обеспечения выраженного следового эффекта, делающего целесообразными 2-разовые занятия в неделю, необходимо выполнять мышечную работу (при

ЧСС 120 уд/мин – 130 уд/мин) не менее 90 минут. Подобный режим непосилен нетренированным или пожилым людям. Более рациональными считаются 3-разовые занятия. Длительность тренировки при этом должна достигать 45 минут. Далее, по мере увеличения количества занятий в неделю, снижается их длительность

Рациональная кратность физической нагрузки также зависит от исходного состояния организма. При низком и ниже среднего уровнях физического состояния рекомендуются 4—5-кратные занятия, обеспечивающие наиболее выраженную стимуляцию различных сторон физической подготовленности. Для лиц с физическим состоянием среднего и выше среднего уровня достаточно трехкратных занятий в неделю. При низких объемах и интенсивности физической нагрузки на производстве и в быту физкультурно-оздоровительная программа строится по принципу тренирующего режима, а при больших физических и эмоциональных нагрузках – щадяще-тренирующего режима. При этом в конце дня следует назначать комплекс расслабляющих и дыхательных упражнений.

Интервалы отдыха. Интервалы отдыха между занятиями зависят от величины тренировочной нагрузки. Они должны обеспечивать полное восстановление работоспособности до исходного уровня или же до фазы суперкомпенсации. Тренировка в фазе недовосстановления недопустима для занимающихся оздоровительной физической культурой, поскольку может вызвать перенапряжение и ухудшение функционального состояния организма. Этот подход используется в спорте, где, таким образом, достигается «встряска» адаптационных механизмов и обеспечивается более выраженный следовой эффект. Очевидно, что данный подход выходит за рамки оздоровительных задач. Поэтому в физкультурно-оздоровительных занятиях чем больше величина тренировочной нагрузки, тем более продолжительными должны быть интервалы отдыха. Например, 3-разовая тренировка с использованием средних по величине нагрузок (30—60 минут) как раз и потребует для восстановления около 48 часов. При малых нагрузках (15—30 минут) восстановление работоспособности завершается в течение нескольких часов, поэтому тренировки могут проводиться 5—6 раз в неделю.

Эффекты физической тренировки. Воздействие оздоровительной тренировки на организм можно зафиксировать непосредственно во время занятия и по его окончании, а также на протяжении длительного времени после тренировочного курса. По временному признаку и характеру структурно-функциональных перестроек соответственно говорят как о срочном, следовом эффекте, так и об отставленном эффекте физической тренировки. Первый эффект обусловлен процессами, происходящими во время мышечной деятельности. Второй эффект связан с механизмами восстановления после работы. С практической же точки зрения, наибольший интерес представляет третий эффект – долговременный (кумулятивный), благодаря которому тренированный организм приобретает повышенную устойчивость к негативным воздействиям окружающей среды.

Срочный эффект. Физиологические процессы, сопровождающие физические упражнения, играют большую роль в обеспечении устойчивости организ-

ма к психическому стрессу. Активная мышечная деятельность сопровождается усиленной утилизацией стрессорных гормонов, уравниванием процессов возбуждения и торможения. Эти изменения уменьшают неблагоприятные вегетативные компоненты психического напряжения. В ситуациях, сопряженных с бурным расходом психической энергии (например, операторская деятельность, экзаменационный стресс и т. п.), выполнение направленных физических упражнений способствует защите организма от последствий неблагоприятных психовегетативных реакций.

Профилактическую действенность срочного эффекта можно наблюдать в повышении устойчивости организма к утомлению. Применение специально подобранных и дозированных упражнений способствует значительному увеличению фазы повышенной работоспособности при выполнении разного рода работы. Это явление, получившее название «феномен активного отдыха», было впервые обнаружено И. М. Сеченовым, а в наши дни используется в форме производственной гимнастики.

Таким образом, процессы, сопровождающие физические упражнения, способствуют быстрому достижению ряда благотворных эффектов, в основном охватывающих центральную нервную систему. Однако повышения устойчивости организма к природным воздействиям при этом не происходит.

Следовой эффект. Определенное увеличение неспецифической резистентности можно наблюдать во время следового эффекта физической тренировки. Он разворачивается сразу после окончания упражнения или однократной мышечной тренировки и продолжается еще на протяжении некоторого времени.

Гораздо более значительную пользу имеет следовой эффект для нормализации психического состояния человека. После завершения физической нагрузки повышается тонус парасимпатической нервной системы, которая активизирует восстановительные процессы. Эта фаза восстановления зависит от тяжести нагрузки и может продолжаться до двух часов. В центральной нервной системе происходит усиление процессов торможения, которые вызывают снижение тонуса двигательных центров и последующее расслабление скелетной мускулатуры. Этот расслабляющий эффект также способствует снижению психической тревоги, нормализации эмоционального состояния человека.

Долговременный эффект. Повышение общей неспецифической резистентности организма будет достигнуто только в том случае, если физическая работа выполнялась систематически в течение достаточно длительного времени. Формирование долговременного эффекта адаптации к физической нагрузке защищает тренированный организм от заболеваний сердца и сосудов, повышает устойчивость ко многим вредным воздействиям внешней среды.

Основной результат физической тренировки заключается в увеличении способности организма выполнять мышечную работу такой продолжительности или интенсивности, которая не под силу нетренированному. Со стороны физиологических систем тренированный организм отличается более экономное функционирование в покое и при умеренных физических нагрузках. А при максимальных нагрузках функциональная мобилизация достигает предельно воз-

можных величин, которые принципиально невозможны для нетренированного организма.

Существенным достижением адаптации к физическим нагрузкам является увеличение мощности и экономичности функционирования аппарата внешнего дыхания и кровообращения. В результате регулярных занятий упражнениями (преимущественно на выносливость) совершенствуется функция дыхания: увеличиваются сила и мощность дыхательных мышц, жизненная емкость легких, максимальная вентиляция легких. Со стороны системы кровообращения наблюдаются следующие явления: возрастает мощность сердечной мышцы, увеличиваются возможности кровоснабжения органов и тканей, улучшается состав крови. Названные изменения обеспечивают расширение резервных возможностей механизма аэробного энергообразования, являющегося основой энергопотенциала организма. Именно от ёмкости механизмов энергообразования зависят надежность и стабильность работы биологических систем при экстремальных воздействиях внешней среды. Надо отметить, что такие изменения характерны при развитии физического качества выносливости, но не наступают под влиянием тренировки на развитие силы и скорости.

5.1.3. Средства оздоровительной физической культуры

Циклические аэробные упражнения в оздоровительной физической культуре

Циклические аэробные упражнения обладают уникальной способностью повышать резервные возможности ключевых жизнеобеспечивающих систем. Характер и степень выраженности оздоровительных эффектов при занятии циклическими аэробными упражнениями делают их незаменимым средством оздоровительной физической культуры. В первую очередь необходимо отметить защитные возможности аэробных упражнений в отношении ишемической болезни сердца (ИБС). При регулярной мышечной работе аэробной направленности происходит нормализация жирового (липидного) обмена и артериального давления. Выраженный эффект у людей среднего возраста достигается спустя 3 месяца систематического бега (3 раза в неделю по 30 минут). Даже у 60-летних нетренированных мужчин спустя 12 месяцев регулярных занятий бегом (не менее 30 минут 3—4 раза в неделю) произошли выраженные благоприятные изменения в липидном обмене. С помощью циклических упражнений можно значительно уменьшить или полностью нейтрализовать риск развития коронарной болезни, связанной с повышением артериального давления. Снижение артериального давления в среднем на 5—8 мм рт. ст. наблюдается уже после 14-недельной тренировочной программы (бег 30 минут 3 раза в неделю). Если сравнивать бегунов со стажем с людьми, ведущими малоподвижный образ жизни, то различие в уровне липидов высокой и низкой плотности, а также холестерина может достигать 50 %. Значение аэробной тренировки особенно велико для лиц старшей возрастной группы. Но и более молодым людям также необходимо совершенствовать аэробные источники энергообразования.

Специальные биохимические исследования обнаружили у людей с длительным беговым стажем в крови повышенный уровень веществ, обладающих антиоксидантными свойствами. Биологические антиоксиданты выполняют противораковую функцию. Они защищают генетический аппарат клетки от повреждений со стороны токсических веществ, предотвращая тем самым мутацию клеток. Профилактическая эффективность физической тренировки подчеркивается Американским онкологическим обществом, которое с 1985 г. начало рекомендовать физическую тренировку в борьбе с онкологическими заболеваниями.

Особенностью циклических упражнений является удобство в дозировании нагрузки. Она варьируется дистанцией и скоростью ее преодоления. Все параметры нагрузки поддаются точной стандартизации, что дает возможность оценить степень функциональной напряженности органов и систем, обеспечивающих мышечную работу. Методика оценки тяжести аэробных упражнений также хорошо изучена. Контроль нагрузки не требует специальных навыков и оборудования. Достаточно измерить частоту сердечных сокращений и соотнести рациональный объем, интенсивность мышечной работы с затратами организма на их обеспечение.

Однако различные виды циклических упражнений отличаются друг от друга структурой двигательного акта и особыми внешними условиями его выполнения. Рассмотрим специфику наиболее популярных аэробных упражнений, используемых в оздоровительной физической культуре.

Наиболее доступными видами циклических физических упражнений являются ходьба и бег. Они основаны на естественных двигательных стереотипах и не требуют специального разучивания техники. К тренировкам можно приступать с минимальным уровнем физической подготовленности. Для этого существуют специальные тренировочные программы постепенного повышения нагрузки путем сочетания ходьбы и бега. Перечень медицинских противопоказаний также минимален, возможны даже занятия ходьбой и бегом с целью лечения заболеваний. Единственные «всепогодные» упражнения, которые к тому же не требуют специального инвентаря и оборудования.

Аэробные упражнения включают в себя большую разновидность двигательных действий, которые объединяет аэробный характер энергообеспечения. В рамках оздоровительной физической культуры целесообразными считаются только такие аэробные упражнения, которые могут выполняться длительное время и охватывать работой большую группу мышц (около 2/3 от мышечной массы тела).

Плавание и ходьба на лыжах более «требовательны» к уровню физической подготовленности. Выполнение этих упражнений в режиме оздоровительной тренировки требует освоения специфических, нестереотипных двигательных действий. Причем уровень освоения техники должен быть закреплен в виде навыка. В противном случае мощность нагрузки будет выше за счет нерациональной техники. Отличительной особенностью данных видов упражнений являются особые внешние условия выполнения мышечной работы, что может повышать их оздоровительную ценность.

При занятиях плаванием сопутствующим оздоровительным фактором является водная среда. Уже само пребывание в воде (без выполнения каких-либо движений) вызывает увеличение расхода энергии на 50 % (по сравнению с уровнем покоя), поддержание тела в толще воды требует увеличения расхода энергии уже в 2–3 раза. Это связано с тем, что теплопроводность воды в 25 раз больше, чем воздуха, а осуществление дыхательных актов затруднено увеличенным давлением на грудную клетку. Вследствие высокого сопротивления воды на 1 м дистанции расходуется в 4 раза больше энергии, чем при ходьбе с аналогичной скоростью. Практическое отсутствие давления на позвоночник и суставы, горизонтальное положение туловища позволяют использовать плавание при некоторых расстройствах опорно-связочного аппарата. Для достижения необходимого оздоровительного эффекта занятий плаванием необходимо длительно поддерживать скорость, при которой ЧСС находится в оптимальном диапазоне тренирующего воздействия. Это возможно только при освоении правильной техники плавания.

Применение в оздоровительной тренировке ходьбы на лыжах возможно только при соответствующих климатических условиях. Регулярные занятия лыжами существенно увеличивают холодоустойчивость. В отличие от бега и плавания при ходьбе на лыжах задействуются практически все мышечные группы. Не случайно основоположник аэробики К. Купер ставит ходьбу на лыжах на первое место, оценивая ее даже выше, чем бег. Техника ходьбы на лыжах осваивается быстрее плавания. Однако для начинающих среднего и пожилого возрастов может представлять определенные трудности.

Ациклические аэробные упражнения в оздоровительной физической культуре

Игровые тренировки. В содержании оздоровительной и спортивной тренировки есть много общего. Занятия физическими упражнениями в оздоровительных или спортивных целях вызывают специализированные адаптационные изменения, благодаря которым организм приобретает способность развивать физическую работу недоступной ранее мощности. В спорте данный процесс имеет непрерывный характер, направленный на максимальное увеличение функциональных возможностей организма. В оздоровительной физической культуре прирост резервных возможностей органов и систем целесообразен лишь до определенного уровня, гарантирующего стабильное здоровье.

Высокий эмоциональный фон тренировки может заглушить сигналы утомления, что многократно увеличивает риск перенапряжения и травматизма. Известно, что самый высокий удельный вес травм приходится на период, предшествующий завершению занятий. Неблагоприятные последствия тренировки в максимальной степени проявляются, когда в силу различных причин происходит снижение физических кондиций, а уровень технической подготовленности сохраняется. Двигательный навык обладает высокой степенью прочности и способен удерживаться даже после очень большого перерыва в занятиях. Функциональные же возможности организма, уровень его физической подготовленности без систематических тренировок быстро ухудшаются. Определенную сложность при проведении игровой тренировки представляет дозирование

физической нагрузки. Она регулируется продолжительностью и интенсивностью игры, размерами площадки, количеством игроков в команде, интервалами отдыха, правилами игры. При этом отсутствуют четкие критерии регулирования интенсивности нагрузки. Фактически все определяется личностными особенностями играющих и уровнем их технической подготовленности. Например, у игроков одной команды с одинаковым уровнем физической подготовленности выраженность вегетативных сдвигов во время игры может сильно различаться.

В большей степени задачам оздоровительной тренировки соответствуют игры с выраженной физической нагрузкой. Тяжесть нагрузки напрямую зависит от характера игрового противоборства, которое может осуществляться в бесконтактном и контактном виде.

В играх без непосредственного соприкосновения с противником (бесконтактные игры) происходит поочередное владение мячом играющими, которые расположены на отдельных участках площадки, разделенной сеткой. Объем беговой нагрузки в этих играх, как правило, небольшой, однако технические действия отличаются высокой интенсивностью. Суммарный объем физической нагрузки более выражен в индивидуальных видах (теннис, бадминтон), чем в командных (волейбол).

Гимнастические упражнения в оздоровительной тренировке

Ритмическая гимнастика. Особенность ритмической гимнастики состоит в том, что темп движений и интенсивность выполнения упражнений задаются ритмом музыкального сопровождения. В зависимости от выбора применяемых средств занятие может нести преимущественно атлетический, танцевальный, психорегулирующий или смешанный характер. Характер энергообеспечения, степень усиления функций дыхания и кровообращения зависят от вида упражнений. Мощность нагрузки во время занятий ритмической гимнастикой задается темпом музыки.

На занятиях с оздоровительной направленностью выбор темпа движений должен осуществляться таким образом, чтобы тренировка носила в основном аэробный характер (с увеличением ЧСС до 130—150 уд/мин). Тогда наряду с улучшением функций опорно-двигательного аппарата (увеличением гибкости, силы мышц, подвижности в суставах) возможно и повышение уровня общей выносливости, но в значительно меньшей степени, чем при выполнении циклических упражнений

Серия упражнений партерного характера (в положениях лежа, сидя) оказывает наиболее стабильное влияние на систему кровообращения. ЧСС не превышает 130—150 уд/мин, т. е. не выходит за пределы аэробной зоны; потребление кислорода увеличивается до 1,0—1,5 л/мин.

К видам ритмической гимнастики с преимущественным развитием аэробных возможностей организма относятся аквааэробика, кардиофанк, стритфанк, степаэробика, джазгимнастика, шейпинг, силовая аэробика и др. В серии упражнений, выполняемых в положении стоя, локальные упражнения для верхних конечностей также вызывают увеличение ЧСС до 130—140 уд/мин. Глобальные танцевальные движения (наклоны, глубокие приседания с увеличением пульса до 160—180 уд/мин) не соответствуют принципам оздоровительной

тренировки. Наиболее нагрузочными являются серии беговых и прыжковых упражнений, в которых ЧСС может достигать 180—200 уд/мин, а потребление кислорода – 2,3 л/мин, что соответствует 100 %-ному показателю максимального потребления кислорода. Мышечная работа при этом обеспечивается в основном за счет анаэробных источников и не отвечает критериям оздоровительной тренировки.

Заключение

Подбор оптимальной физической нагрузки является главной задачей практики оздоровительной физической культуры. Все нагрузочные средства подбираются исходя из их оздоровительной ценности, как обязательного критерия, они должны обеспечить, как минимум, снижение факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний. Содержание оздоровительной тренировки зависит от медицинской группы занимающихся, уровня их функционального состояния. Специфический эффект оздоровительной тренировки заключается в повышении аэробной работоспособности. Коррекция нагрузки во время занятия осуществляется на основании оценки частоты сердечных сокращений и по признакам утомления. Занятия в каждой группе проводятся по мере нарастания тренирующего воздействия и делятся на этапы: втягивающий, основной и поддерживающий. Для получения оздоровительного эффекта частота занятий и промежутки отдыха должны обеспечить полное восстановление работоспособности организма до исходного уровня.

Требование к занятию ОФК

Занятия должны обеспечить:

- профилактику сердечно-сосудистых заболеваний;
- направленность тренировочного процесса на повышение уровня физического состояния;
- участие в работе больших групп мышц не менее 60 %;
- оптимальную продолжительность выполнения упражнений;
- ритмичный характер мышечной деятельности;
- энергообеспечение работы мышц в основном за счет аэробных процессов (60 %);
- использование физических упражнений, не требующих высокой двигательной подготовленности и специального инвентаря;
- физические упражнения должны быть доступными;
- исключение из занятий травмоопасных и излишне нагрузочных упражнений;
- формирование физкультурных знаний, необходимых для самостоятельных занятий физическими упражнениями.

Вопросы для самостоятельного контроля

1. Особенности занятий физическими упражнениями с оздоровительной направленностью. Понятие необходимости ежедневного применения средств физической культуры в своей профессиональной деятельности.
2. Параметры нагрузки при занятиях физическими упражнениями с оздоровительной направленностью. Принципы оздоровительной направленности. Тип нагрузки.
3. Величина физической нагрузки. Продолжительность, объем и интенсивность физической нагрузки. Периодичность занятий. Продолжительность интервала отдыха между занятиями.
4. Использование средств оздоровительной физической культуры для профилактики, реабилитации и лечения больных. Оздоровительное значение упражнений различной направленности.
5. Оценка реакции организма на физическую нагрузку и ее коррекция. Периодичность занятий. Стадии утомления. Продолжительность интервала отдыха между занятиями.
6. Требование к занятиям ОФК. Оценка реакции организма на физическую нагрузку и ее коррекция. Периодичность занятий. Стадии утомления. Продолжительность интервала отдыха между занятиями.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Естественно-научные основы физической культуры и спорта: учебник / под ред. А. В. Самсоновой, Р. Б. Цаллаговой. – М.: Советский спорт, 2014. – 464 с.
2. Никитушкин В. Г. Основы научно-методической деятельности в области физической культуры и спорта: учебник для вузов. – М.: Советский спорт, 2013. – 280 с.
3. Физическая культура и здоровье: учебник / под ред. В. В. Пономаревой. – М.: ГОУ ВУНМЦ, 2001. – 352 с.
4. Грачев О. К. Физическая культура: учебное пособие / под ред. Е. В. Харламова. – М.: ИКЦ «МарТ»; Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2005. – 416 с.

Лекция 6

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Е. В. Немеров

Введение

Для лучшего понимания роли физической активности в формировании здорового образа жизни, профилактике распространенных заболеваний, поддержании необходимого уровня физической подготовки необходимо начать с базового понятия – физическая нагрузка.

Определение

Физическая активность человека, требующая больше энергии, чем её вырабатывается в покое, является **физической нагрузкой**.

Это самое простое определение, отражающее ключевую сущность термина «переход от состояния покоя к движению».

Физическая нагрузка – любая физическая активность, требующая больше энергии, чем образуется в организме в покое, и нарушающая гомеостаз. Физическая активность проявляется чередованием сокращения и расслабления скелетных мышц, обеспечивающих движения в одном или нескольких суставах.

На ранних этапах развития человечества физическая активность являлась главным условием его выживания. В дальнейшем основным видом человеческой деятельности был тяжелый физический труд, который негативно отражался на качестве и продолжительности жизни. Поэтому физическая нагрузка начала изучаться в разделе физиологии – физиологии труда.

Для нас интересно отметить, что с позиции физиологии труда нагрузка (в том числе физическая) не рассматривалась как изолированное понятие, а понималась как задача перед организмом, требующая выполнения определенной работы. Эффективность последней тесно связана с напряжением многих систем и органов. На современном этапе, когда роль физического труда стремительно снижается, физическая нагрузка изучается в другом разделе физиологии – физиологии физической нагрузки, физической активности и более полным представляется данный термин.

Физиологии физической нагрузки – раздел физиологии, который изучает как сопряжение функций организма во время физической нагрузки, так и ее влияние на структуры и функции организма (Rapanek P. E., 2001).

Предметом изучения являются немедленные и долговременные реакции организма на физическую нагрузку, а также (положительное) влияние физических упражнений на здоровье человека. Исследования производятся на различных уровнях: целого организма, систем органов, органном, тканевом и клеточном. Исследованию физической нагрузки посвящены многие подразделы биомеханики, физиологии мышечной системы и ее тренировки. Широко используется в клинической медицине: при диагностике коронарной недостаточности,

при проведении реабилитации (определении толерантности к физической нагрузке). Составляет фундамент спортивной медицины.

6.1. Физиология скелетных мышц

Физическая нагрузка реализуется в результате согласованных действий скелетной мускулатуры. Рассмотрим основные характеристики их структуры и функции. Взаимодействие человека с внешней средой не может осуществляться без сокращений его мышц. Производимые при этом движения необходимы как для выполнения простейших манипуляций, так и для выражения самых тонких мыслей и чувств – посредством речи, письма, с помощью мимики или жестов. Масса мышц намного больше, чем других органов; они составляют 40—50 % массы тела. Мышцы – это «машины», преобразующие химическую энергию непосредственно в механическую (работу) и в теплоту. Деятельность их, в частности механизм укорочения и генерирования силы, сейчас можно достаточно детально объяснить на молекулярном уровне с использованием физических и химических законов.



Рис. 1. Структура скелетных мышц: организация цилиндрических волокон в скелетной мышце, прикрепленной к костям сухожилиями

Понятие скелетная, или поперечно-полосатая мышца относится к группе мышечных волокон, связанных соединительной тканью (рис. 1). Обычно мышцы прикреплены к костям пучками коллагеновых волокон – сухожилиями, находящимися на обоих концах мышцы. В некоторых мышцах одиночные волокна имеют такую же протяженность, как и вся мышца, но в большинстве случаев волокна короче и часто располагаются под углом к продольной оси мышцы. Есть очень длинные сухожилия, они прикреплены к кости, удаленной от конца мышцы. Например, некоторые мышцы, осуществляющие движения

пальцев рук, находятся в предплечье; шевеля пальцами, мы чувствуем, как двигаются мышцы кисти. Эти мышцы соединены с пальцами посредством длинных сухожилий.

Что такое скелетная мышца?

Один грамм ткани скелетной мышцы содержит примерно 100 мг «сократительных белков» – актина (молекулярная масса 42000) и миозина (молекулярная масса 500 000).

Скелетная мышца, например, бицепс, по виду кажется единым образованием, но на самом деле состоит из тканей нескольких типов. В состав каждой мышцы входят длинные тонкие цилиндрические **мышечные волокна (клетки)**, вытянутые по всей ее длине; поэтому они могут быть очень длинными. Каждая многоядерная мышечная клетка (волокно) окружена параллельными мышечными волокнами, с которыми связана слоем соединительной ткани под названием «эндомизий». Эти волокна собраны в пучки, скрепленные слоем соединительной ткани, под названием «перимизий». Такая упакованная группа, или связка, волокон называется мышечным пучком. Группы пучков с прилегающими к ним сосудами и нервами связаны друг с другом с помощью еще одного слоя соединительной ткани под названием «эпимизий». Собранные вместе и окруженные эпимизием пучки, которые тянутся по всей длине скелетной мышцы, покрыты сверху слоем соединительной ткани, называемым фасцией.

Какова функция фасции в скелетной мышце?

Фасция – это упругая, плотная и прочная соединительно-тканная оболочка, которая покрывает мышцу целиком и, выходя за ее пределы, образует фиброзное сухожилие. Фасция образована посредством слияния всех трех внутренних слоев соединительной ткани скелетной мышцы. Фасция отделяет мышцы друг от друга, уменьшает трение при движении и формирует сухожилие, с помощью которого мышца прикрепляется к костному скелету. Этому компоненту мышц обычно не уделяется должного внимания. Тем не менее многие специалисты полагают, что для свободного неограниченного движения мышцы, а следовательно, и сустава совершенно необходимо свободное движение фасции.

Почему скелетная мышца называется поперечно-полосатой?

При изучении с помощью светового микроскопа основной характеристикой волокон скелетной мышцы оказалось чередование светлых и темных полос, поперечных по отношению к длинной оси волокна. Поэтому скелетные мышцы были названы **поперечно-полосатыми**. Поперечная исчерченность волокон скелетной мышцы обусловлена особым распределением в их цитоплазме многочисленных толстых и тонких «нитей» (филаментов), объединяющихся в цилиндрические пучки диаметром 1—2 мкм – миофибриллы (рис. 2).

Мышечное волокно практически заполнено миофибриллами, они тянутся по всей его длине и на обоих его концах соединены с сухожилиями. Миофибриллы состоят из сократительных филаментов (белков). Основных сократительных микрофиламентов два – миозин и актин. Структурное расположение этих белков придает скелетной мышце вид перемежающихся светлых и темных полос. Каждая темная полоса (полоса, или диск, А) соответствует участку, где актиновые и миозиновые белки перекрываются, тогда как более светлая полоса

– участку, где их перекрытия нет (полоса, или диск, I). Перегородки, называемые Z-пластинками, разделяют их на несколько компартментов-саркомеров – длиной примерно по 2,5 мкм.

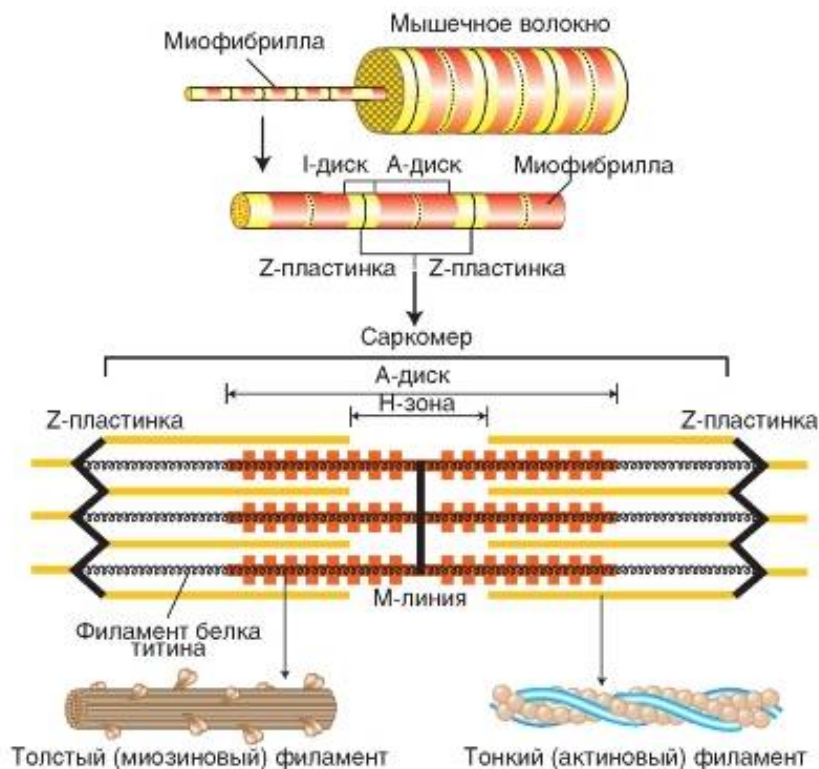


Рис. 2. Структура скелетных мышц: структурная организация филаментов в волокне скелетной мышцы, создающая картину поперечных полос

Что является структурной единицей мышечной ткани скелетной мышцы?

Структурной единицей мышечной ткани скелетной мышцы являются **мышечные клетки**, которые существенно отличаются от других мышечных тканей, прежде всего от гладких мышц.

Гладкое мышечное волокно – это **веретеновидная клетка** диаметром от 2 до 10 мкм. В отличие от многоядерных волокон скелетных мышц, которые после завершения дифференцировки уже не могут делиться, гладкие мышечные волокна обладают единственным ядром и способны к делению на протяжении всей жизни организма. Деление начинается в ответ на разнообразные паракринные сигналы, часто – на повреждение ткани.

Поперечно-полосатые мышцы скелета состоят из множества функциональных единиц – мышечных волокон, которые расположены в общем соединительно-тканном футляре. Каждое волокно скелетной мышцы – это тонкое (диаметром 0,01—0,1 мм), вытянутое на 2—3 см, **многоядерное образование – симпласт** – результат слияния многих клеток. **Ядра в волокне расположены около его поверхности.** Пучки мышечных волокон окружены коллагеновыми волокнами и соединительной тканью; между волокнами также находится коллаген. На конце мышц коллаген вместе с соединительной тканью образует сухожилия, которые служат для прикрепления мышц к разным частям скелета.

Каждое волокно окружено мембраной – сарколеммой, которая по своему строению сходна с плазматической мембраной.

Основной особенностью мышечного волокна является наличие в его цитоплазме – саркоплазме большого количества тонких нитей – миофибрилл, расположенных вдоль оси волокна. Миофибриллы состоят из чередующихся светлых и темных участков – дисков, что придает мышечному волокну поперечную исчерченность (полосатость).

Что такое саркомер?

Это минимальная сократительная единица скелетной мышцы.

Рассмотрим более детально **структуру саркомеров**, которая схематически показана на рисунке 3.

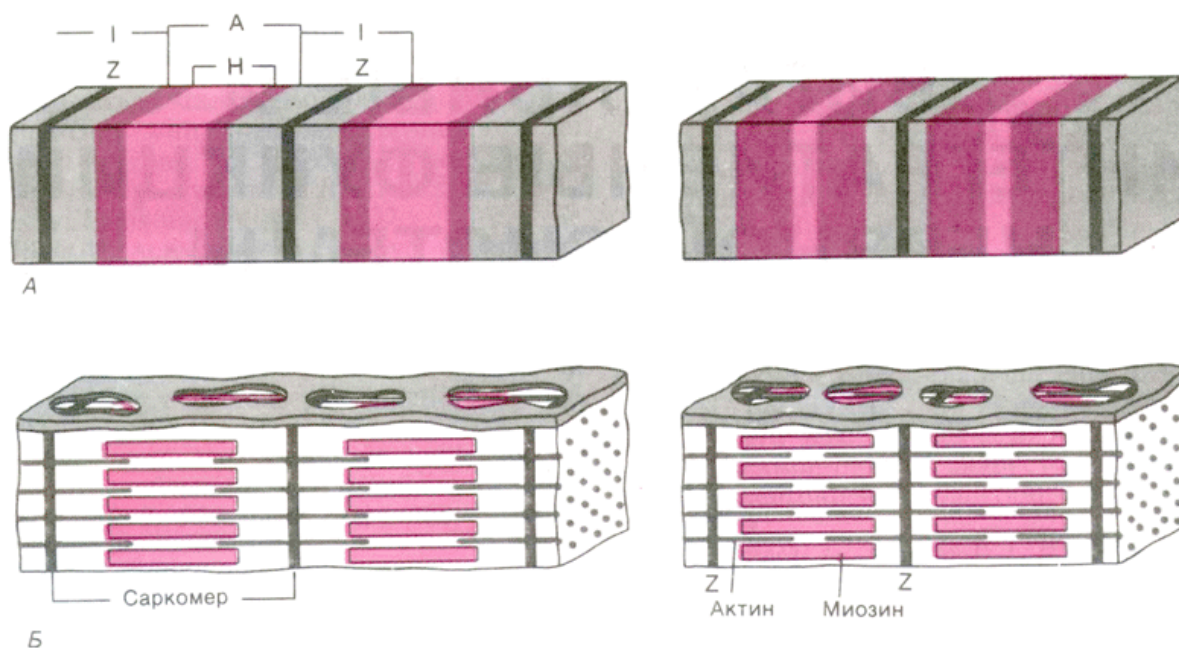


Рис. 3. Организация миозиновых и актиновых нитей в расслабленном и сократившемся саркомере

С помощью светового микроскопа в них можно видеть регулярно чередующиеся поперечные светлые и темные полосы. Согласно теории Хаксли и Хансон, такая поперечная полосатость миофибрилл обусловлена особым взаиморасположением актиновых и миозиновых филаментов. Сердину каждого саркомера занимают несколько тысяч «толстых» нитей миозина диаметром примерно по 10 нм. На обоих концах саркомера находятся около 2000 «тонких» (толщиной по 5 нм) нитей актина, прикрепленных к Z-пластинкам наподобие щетинок в щетке.

Толстые филаменты сосредоточены в средней части каждого саркомера, где они лежат параллельно друг другу; эта область выглядит как широкая темная (анизотропная) полоса, называемая **А-полосой**. В обеих половинах саркомера находится по набору тонких филаментов. Один конец каждого из них прикреплен к так называемой **Z-пластинке** (или Z-линии, или Z-полосе) – сети

из переплетающихся белковых молекул, а другой конец перекрывается с толстыми филаментами.

Саркомер ограничен двумя последовательно расположенными Z-полосами. Таким образом, тонкие филаменты двух соседних саркомеров закреплены на двух сторонах каждой Z-полосы.

Светлая (изотропная) полоса – так называемая **I-полоса** – расположена между краями A-полос двух соседних саркомеров и состоит из тех участков тонких филаментов, которые не перекрываются с толстыми филаментами. Z-полоса делит I-полосу пополам.

В пределах A-полосы каждого саркомера различают еще две полоски. В центре A-полосы видна узкая светлая полоска – **H-зона**. Она соответствует промежутку между противостоящими друг другу концами двух наборов тонких филаментов каждого саркомера, т. е. включает только центральные части толстых филаментов. Посередине H-зоны находится совсем тонкая темная **M-линия**. Это сеть белков, соединяющих центральные части толстых филаментов. Кроме того, от Z-полосы к M-линии идут филаменты белка титина, связанные одновременно с белками M-линии и с толстыми филаментами. M-линия и титиновые филаменты поддерживают упорядоченную организацию толстых филаментов в середине каждого саркомера. Таким образом, толстые и тонкие филаменты не являются свободными, незакрепленными внутриклеточными структурами.

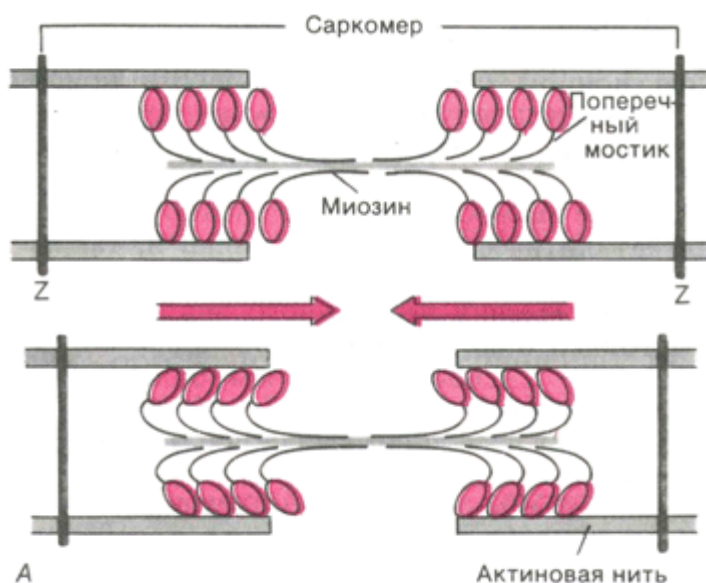


Рис. 4. Функция поперечных мостиков. А. Модель механизма сокращения

Обсудим собственно механизм мышечного сокращения

Каким образом взаимодействуют актин и миозин?

Активные участки молекулы актина, способные связывать глобулярные головки миозина, располагаются на ней на некотором расстоянии друг от друга. Когда эти активные участки открыты, миозиновая головка самопроизвольно связывается с актиновым филаментом и образует поперечный мостик. При снабжении миозиновой головки достаточным количеством энергии глобуляр-

ная головка подтягивает актин по направлению к центру саркомера, что часто называют храповым движением. Это движение укорачивает саркомер.

Работа поперечных мостиков (рис. 4). Во время сокращения каждая миозиновая головка может связывать миозиновую нить с соседними актиновыми. Движение головок создает объединенное усилие, как бы «гребок», продвигающий актиновые нити к середине саркомера. Сама биполярная организация молекул миозина обеспечивает противоположную направленность скольжения актиновых нитей в левой и правой половинах саркомера. В результате однократного движения поперечных мостиков вдоль актиновой нити саркомер укорачивается только на 2×10 нм, т. е. примерно на 1 % своей длины. За счет ритмичных отделений и повторных прикреплений миозиновых головок актиновая нить может подтягиваться к середине саркомера, подобно тому, как группа людей тянет длинную веревку, перебирая ее руками. Следовательно, когда принцип «вытягивания веревки» реализуется во множестве последовательных саркомеров, повторяющиеся молекулярные движения поперечных мостиков приводят к макроскопическому движению. При расслаблении мышцы миозиновые головки отделяются от актиновых нитей. Поскольку актиновые и миозиновые нити могут легко скользить друг относительно друга, сопротивление расслабленных мышц растяжению очень низкое. Их можно снова растянуть до исходной длины, приложив совсем небольшое усилие. Следовательно, удлинение мышцы во время расслабления носит пассивный характер.

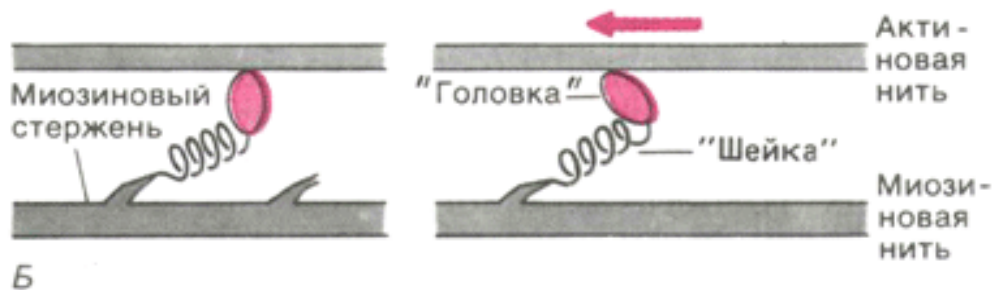


Рис. 5. Функция поперечных мостиков. Б. Модель механизма генерирования силы поперечными мостиками: слева – до, справа – после «гребка»

Генерирование мышечной силы. Благодаря упругости поперечных мостиков саркомер может развивать силу даже без скольжения нитей относительно друг друга, т. е. в строго изометрических экспериментальных условиях.

Рисунок 5 Б иллюстрирует такой процесс генерирования изометрической силы. Сначала головка миозиновой молекулы прикрепляется к актиновой нити под прямым углом. Затем она наклоняется под углом примерно 45° , возможно, благодаря притяжению между соседними точками прикрепления на ней и на актиновой нити. При этом головка действует как миниатюрный рычаг, приводя внутреннюю упругую структуру поперечного мостика (видимо, «шейки» между головкой и миозиновой нитью) в напряженное состояние. Возникающее в результате упругое растяжение достигает лишь около 10 нм. Упругое натяжение,

создаваемое индивидуальным поперечным мостиком, так слабо, что для развития мышечной силы, равной 1 мН, нужно объединить усилия, по крайней мере, миллиарда таких соединенных параллельно мостиков. Они будут тянуть соседние актиновые нити, как команда игроков тянет канат. Даже при изометрическом сокращении поперечные мостики не находятся в непрерывно напряженном состоянии (это наблюдается только при трупном окоченении). На самом деле каждая миозиновая головка уже через сотые или десятые доли секунды отделяется от актиновой нити; однако через такое же короткое время следует новое прикрепление к ней. Несмотря на ритмичное чередование прикреплений и отделений с частотой порядка 5–50 Гц, сила, развиваемая мышцей в физиологических условиях, остается неизменной (исключение – летательные мышцы насекомых), так как статистически в каждый момент времени в прикрепленном, обуславливающем напряжение, состоянии находится одно и то же количество мостиков.

Что такое цикл поперечного мостика?

Цикл поперечного мостика – это термин, описывающий взаимодействие глобулярной головки миозина с активным участком молекулы актина. Формированию поперечного мостика способствуют 2 фактора: повышение внутриклеточной концентрации ионов кальция и присутствие аденозинтрифосфата (АТФ). Один цикл поперечного мостика состоит из:

- активации миозиновой головки;
- обнажения активного участка молекулы актина в присутствии кальция;
- самопроизвольного формирования поперечного мостика;
- поворота глобулярной головки, сопровождающегося продвижением актиновой нити и укорочением саркомера;
- отцепления поперечного мостика.

Цикл после завершения может повторяться или останавливаться. Поворот миозиновой головки называется также рабочим ходом.

Чем предотвращается спонтанное взаимодействие миозина и актина после отцепления поперечного мостика? Каков механизм циклического формирования поперечного мостика – повторяющегося взаимодействия глобулярной головки миозина с активным участком молекулы актина?

Для понимания всего этого необходимо внимательнее рассмотреть строение миозина и особенно актина.

Миозин

Это единое название большой семьи протеинов, имеющих определенные отличия в клетках разных тканей. Миозин присутствует у всех эукариотов. Около 60 лет назад было известно 2 типа миозина, которые сейчас называют миозин I и миозин II. Миозин II являлся первым из числа открытых миозинов, и именно он принимает участие в мышечном сокращении. Позднее были открыты миозин III и миозин V (рис. 6 В).

В последнее время показано, что миозин II участвует в мышечном сокращении, тогда как миозин I и миозин V вовлечены в работу подмембранного (кортикального) цитоскелета. В настоящее время идентифицировано более 10 классов миозина. На рисунке 6 Г показано 2 варианта схемы строения миозина,

который состоит из головки, шейки и хвоста. Молекула миозина состоит из 2 больших полипептидов (тяжелых цепей) и 4 меньших (легких цепей). Эти полипептиды составляют молекулу с двумя глобулярными «головками», которые содержат оба вида цепей, и длинным стержнем («хвостом») из двух переплетенных тяжелых цепей. Хвост каждой молекулы миозина располагается вдоль оси толстого филамента, а две глобулярные головки выступают по бокам. На каждой глобулярной головке находятся по 2 участка связывания: для актина и для АТФ. Участки связывания АТФ обладают также свойствами фермента АТФазы, гидролизующей связанную молекулу АТФ.

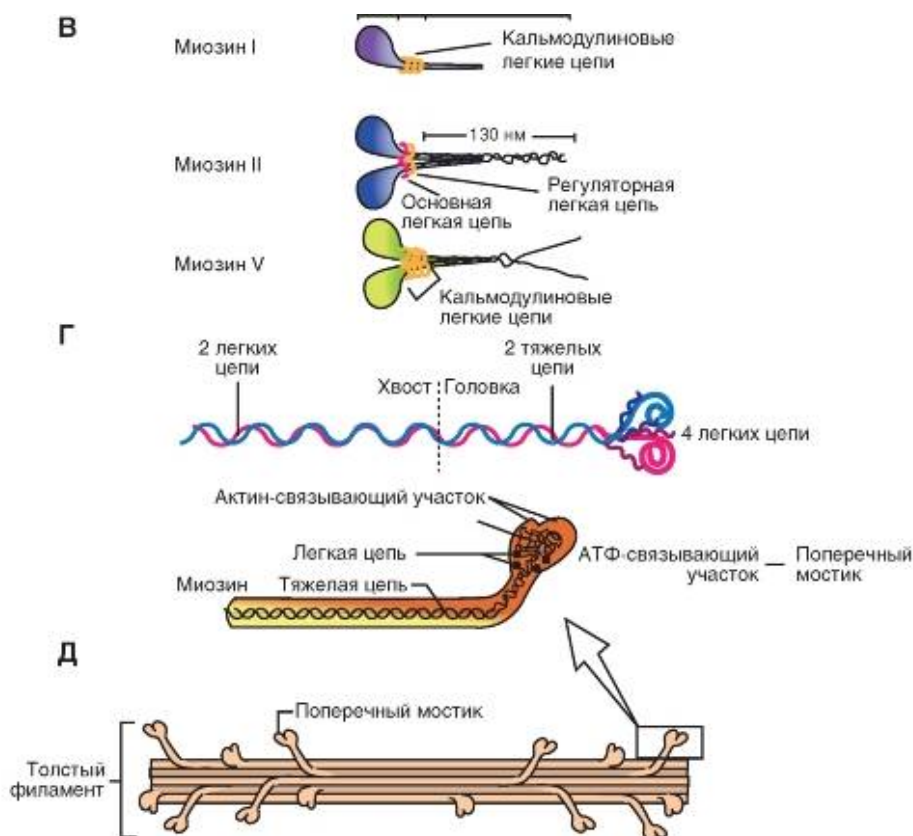


Рис. 6. Строение миозина



Рис. 7. Строение актина

Молекула актина

Это глобулярный белок, состоящий из одного полипептида, который полимеризуется с другими молекулами актина и образует две цепи, обвивающие друг друга (рис. 7 А). Такая двойная спираль представляет собой остов тонкого филамента. На каждой молекуле актина есть участок связывания миозина. В покоящемся мышечном волокне взаимодействие между актином и миозином предотвращают 2 белка – **тропонин** и **тропомиозин** (рис. 7 Б).

Тропомиозин – стержневидная молекула из двух полипептидов, обвивающихся друг около друга; молекула соответствует в длину примерно семи мономерам актина. Цепи из молекул тропомиозина, уложенные конец в конец, располагаются вдоль всего тонкого филамента. Молекулы тропомиозина частично прикрывают участки **связывания каждой молекулы актина**, мешая контакту миозина с актином. В таком блокирующем положении молекула тропомиозина удерживается тропонином.

Тропонин – гетеротримерный белок. Он состоит из тропонина Т (отвечает за связывание с одиночной молекулой тропомиозина), тропонина С (связывает ион Ca^{2+}) и тропонина I (связывает актин и ингибирует сокращение). Каждая молекула тропомиозина связана с одной гетеротримерной молекулой тропонина, которая регулирует доступ к участкам связывания миозина на семи мономерах актина, прилегающих к молекуле тропомиозина.

Чем предотвращается спонтанное взаимодействие миозина и актина?

В желобках двойной спирали актина располагаются 2 дополнительных регуляторных белка, которые предотвращают самопроизвольное взаимодействие актина и миозина. Эти белки, тропонин и тропомиозин, играют важную роль в процессе сокращения скелетной мышцы. Функция тропомиозина заключается в том, что в покое он закрывает (защищает) активные участки актинового филамента. Тропонин имеет три связывающих участка: один служит для связывания ионов кальция (тропонин С), другой прочно прикреплен к молекуле тропомиозина (тропонин Т), третий связан с актином (тропонин I). В покое эти регуляторные белки закрывают связывающие участки на молекуле актина и препятствуют формированию поперечных мостиков. Все эти микроструктурные компоненты вместе с митохондриями и другими органеллами клетки окружены клеточной мембраной, называемой сарколеммой.

А. Актиновая и миозиновая нити на продольном сечении волокна. Б. Они же на его поперечном сечении.

Исследования с помощью рентгеноструктурного анализа (малоугловое рентгеновское рассеяние) показали, что в отсутствие Ca^{2+} , т. е. при расслабленном состоянии миофибрилл, длинные молекулы тропомиозина располагаются так, что блокируют прикрепление поперечных миозиновых головок к актиновым нитям. И напротив, когда Ca^{2+} связывается с тропонином, тропомиозин попадает в желобок между двумя мономерами актина, обнажая участки прикрепления для поперечных мостиков (рис. 8).

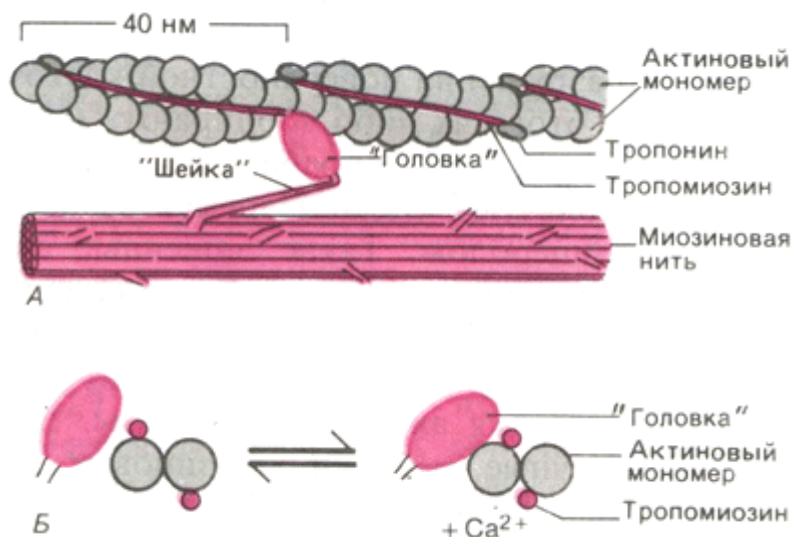


Рис. 8. Действие Ca^{2+} во время активации миофибриллы

Если активные участки закрыты, то каким образом взаимодействуют актин и миозин?

Когда внутри клетки повышается концентрация ионов кальция, они связываются с тропонином С. Это приводит к изменениям конформации тропонина. В результате изменяется также трехмерная структура тропомиозина и обнажается активный участок молекулы актина. Сразу после этого головка миозина самопроизвольно связывается с активным участком актинового филамента, образуя поперечный мостик, который начинает двигаться и способствует укорочению саркомера. Наличие или отсутствие в клетке кальция частично регулируется сарколеммой (специализированной клеточной мембраной скелетной мышцы).

Какова функция кальция в скелетных мышцах?

Кальций обеспечивает открытие участков актиновой нити, связывающих миозин. Ионы кальция внутри клетки хранятся в СР(саркоплазматическом ретикуломе) и высвобождаются после деполяризующей стимуляции. После высвобождения кальций диффундирует и связывается с белком – тропонином С. В результате конформация белка изменяется, он тянет молекулу тропомиозина и обнажает активные участки молекулы актина. Активные участки остаются открытыми все время, пока продолжается связывание кальция с тропонином С.

Хранение и высвобождение ионов кальция. Расслабленная мышца содержит более 1 мкмоль Ca^{2+} на 1 грамм сырой массы. Если бы соли кальция не были изолированы в особых внутриклеточных хранилищах, обогащенные его ионами мышечные волокна находились бы в состоянии непрерывного сокращения.

Источником поступления Ca^{2+} в цитоплазму служит **саркоплазматический ретикулум** мышечного волокна.

Саркоплазматический ретикулум мышц гомологичен эндоплазматическому ретикулуму других клеток. Он располагается вокруг каждой миофибриллы наподобие «рваного рукава», сегментами которого окружены А- и I-полосы

(рис. 9). Концевые части каждого сегмента расширяются в виде так называемых **латеральных мешков** (терминальных цистерн), соединенных друг с другом серией более тонких трубок. В латеральных мешках депонируется Ca^{2+} , высвобождающийся после возбуждения плазматической мембраны (рис. 10).

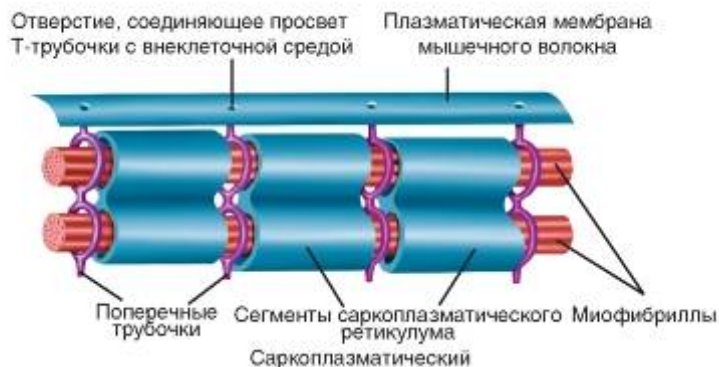


Рис. 9. Схема организации саркоплазматического ретикулума, поперечных трубочек и миофибрилл

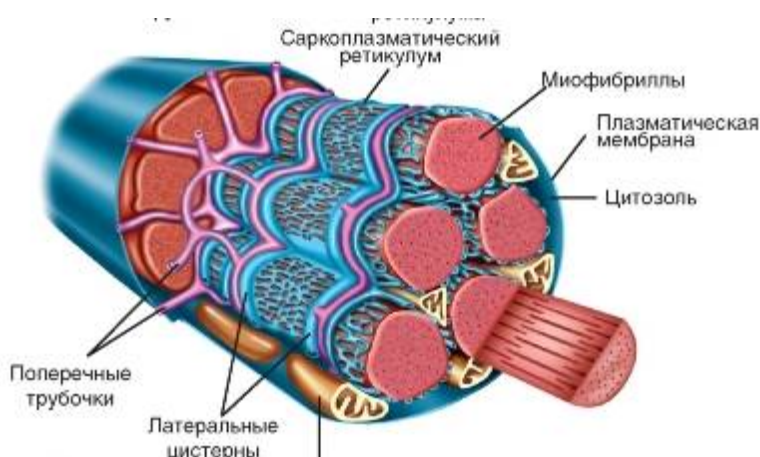


Рис. 10. Схема анатомической структуры поперечных трубочек и саркоплазматического ретикулума в индивидуальном волокне скелетной мышцы

Что такое поперечные трубочки (Т-трубочки)?

Инвагинации на поверхности сарколеммы, расположенные на некотором расстоянии друг от друга. Благодаря Т-трубочкам внеклеточная жидкость может тесно контактировать с внутренними микроструктурами клетки. Т-трубочки представляют собой продолжение сарколеммы и также способны передавать потенциал действия на внутреннюю поверхность клетки. С Т-трубочками тесно взаимодействует саркоплазматический ретикулум (СР).

Что такое саркоплазматический ретикулум?

Специализированный эндоплазматический ретикулум, который состоит из везикул, ориентированных вдоль сократительных волокон скелетной мышцы. Эти везикулы осуществляют хранение, высвобождение во внутриклеточную жидкость и обратный захват ионов кальция. Специализированные расширенные участки СР называются концевыми цистернами. Концевые цистерны нахо-

дятся в непосредственной близости от Т-трубочки и вместе с СР составляют структуру под названием триада. Особенности строения сарколеммы и триад играют важную роль в обеспечении саркомера ионами кальция, необходимыми для цикла поперечных мостиков.

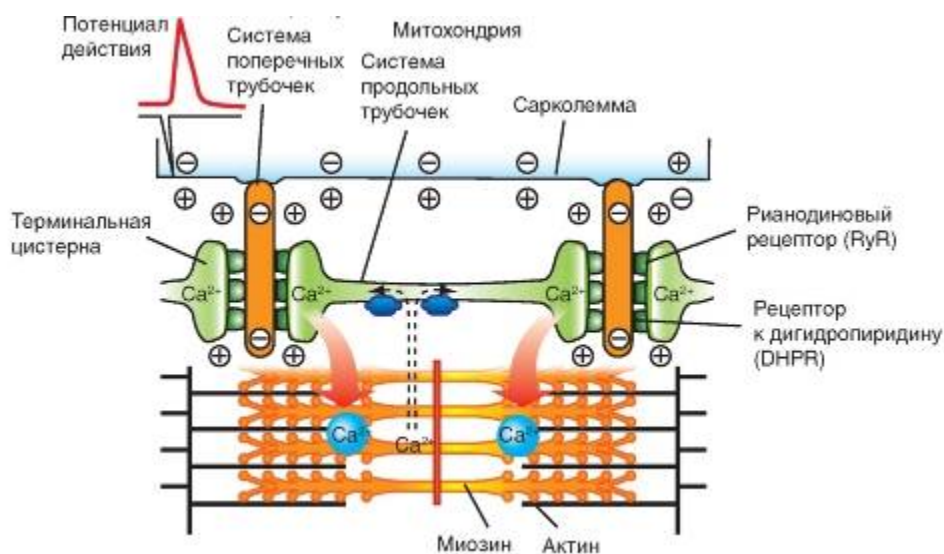


Рис. 11. Роль саркоплазматического ретикулула в механизме сокращения скелетной мышцы

Возникнув в плазматической мембране (рис. 11), потенциал действия быстро распространяется по поверхности волокна и по мембране Т-трубочек вглубь клетки. Достигнув области Т-трубочек, прилегающей к латеральным мешкам, потенциал действия активирует потенциалзависимые «воротные» белки мембраны Т-трубочек, физически или химически сопряженные с кальциевыми каналами мембраны латеральных мешков. Таким образом, деполяризация мембраны Т-трубочек, обусловленная потенциалом действия, приводит к открыванию кальциевых каналов мембраны латеральных мешков, содержащих Ca^{2+} в высокой концентрации, и ионы Ca^{2+} выходят в цитоплазму. Повышение цитоплазматического уровня Ca^{2+} обычно бывает достаточным для активации всех поперечных мостиков мышечного волокна.

Процесс сокращения продолжается, пока ионы Ca^{2+} связаны с тропонином, т. е. до тех пор, пока их концентрация в цитоплазме не вернется к низкому исходному значению. Мембрана саркоплазматического ретикулула содержит Са-АТФазу – интегральный белок, осуществляющий активный транспорт Ca^{2+} из цитоплазмы обратно в полость саркоплазматического ретикулула. Как только говорилось, Ca^{2+} высвобождается из ретикулула в результате распространения потенциала действия по Т-трубочкам; для возвращения Ca^{2+} в ретикулум нужно гораздо больше времени, чем для его выхода. Именно поэтому повышенная концентрация Ca^{2+} в цитоплазме сохраняется в течение некоторого времени, и сокращение мышечного волокна продолжается после завершения потенциала действия.

Подведем итог. Сокращение обусловлено высвобождением ионов Ca^{2+} , хранящихся в саркоплазматическом ретикулуме. Когда Ca^{2+} поступает обратно в ретикулум, сокращение заканчивается и начинается расслабление.

Каковы особенности сарколеммы?

Электрический заряд на сарколемме, как и на других селективно проницаемых и возбудимых мембранах, образуется вследствие неодинакового распределения ионов. Проницаемость сарколеммы изменяется при стимуляции ацетилхолиновых рецепторов, расположенных в нервно-мышечном соединении. После достаточной стимуляции сарколемма может проводить деполяризирующий сигнал (потенциал действия) по всей своей длине, а также в уникальную проводящую систему Т-трубочек.

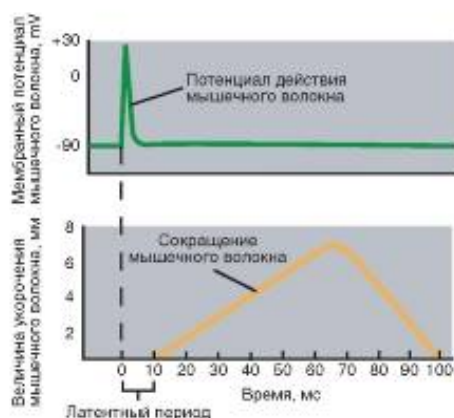


Рис. 12. Феномен электромеханического сопряжения

Феномен электромеханического сопряжения

- соотношение между временным ходом потенциала действия в мышечном волокне и возникающим в результате этого сокращением мышечного волокна с последующим его расслаблением.

Электромеханическое сопряжение

Это последовательность процессов, в результате которых потенциал действия плазматической мембраны мышечного волокна приводит к запуску сокращения мышцы или к так называемому циклу поперечных мостиков, который будет продемонстрирован далее.

Плазматическая мембрана скелетных мышц электрически возбудима и способна генерировать распространяющийся потенциал действия посредством механизма, аналогичного тому, который действует в нервных клетках. Потенциал действия в волокне скелетной мышцы длится 1—2 мс и заканчивается раньше, чем появятся какие-либо признаки механической активности (рис. 12). Начавшаяся механическая активность может продолжаться более 100 мс. Электрическая активность плазматической мембраны не оказывает прямого влияния на сократительные белки, а вызывает повышение цитоплазматической концентрации ионов Ca^{2+} , которые продолжают активировать сократительный аппарат и после прекращения электрического процесса.

Что представляет собой сопряжение возбуждения и сокращения (ВС сопряжение)?

Запуск нервным импульсом сокращения скелетной мышцы. При нормальных условиях скелетная мышца в покое слегка натянута. Это свидетельство минимального или слабого связывания актина с миозином. Нервный импульс, достигший терминального нервного окончания, передается на ацетилхолиновый рецептор. В скелетной мышце этот рецептор представлен специализированным образованием, которое называется двигательной концевой пластинкой.

Двигательная концевая пластинка представляет собой участок сарколеммы с множеством складок, расположенный в непосредственной близости от нервного окончания. Выделенный нервным окончанием ацетилхолин диффундирует через синаптическую щель и связывается с рецепторами, расположенными на многочисленных складках постсинаптической мембраны (концевой пластинки сарколеммы). Лиганд-рецепторное взаимодействие повышает проницаемость мембраны для натрия, что вызывает местную деполяризацию (потенциал действия концевой пластинки). Потенциал действия концевой пластинки распространяется по сарколемме в разных направлениях и проводится по Т-трубочкам внутрь мышечного волокна. Деполяризация триады (концевая цистерна, Т-трубочка и СР) вызывает высвобождение во внутриклеточную жидкость депонированных в СР ионов кальция. При наличии высокой концентрации ионов кальция и достаточного количества энергии запускается цикл поперечных мостиков. Гидролиз вновь синтезированных молекул АТФ реактивирует миозиновые головки, которые присоединяются к другим активным участкам молекулы миозина. Циклическая работа поперечных мостиков продолжается до тех пор, пока имеются свободные ионы кальция и достаточное количество АТФ.

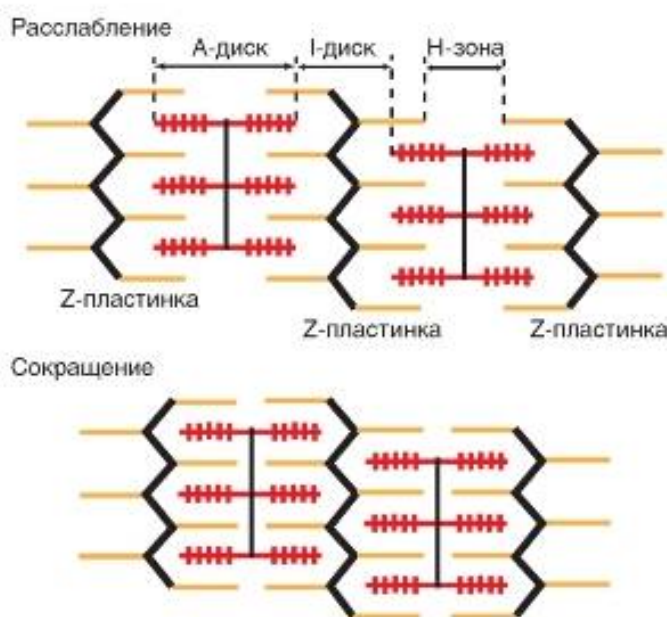


Рис. 13. Модель скользящих нитей

Что такое теория скользящих нитей?

Эта теория объясняет, каким образом фиксированные толстые и тонкие филаменты перемещаются друг относительно друга и обеспечивают сокращение саркомера. Перемещение, происходящее во время цикла поперечных мостиков, обусловлено скольжением молекулы актина по миозину. Повторяющееся присоединение и отделение ряда поперечных мостиков приводит к тому, что параллельно расположенные филаменты скользят друг по другу, сокращая тем самым расстояние между двумя соседними г-линиями. Таким образом саркомер укорачивается. Сокращение саркомера приводит к возникновению некоторой силы.

Модель скользящих нитей

Во время генерирования силы, укорачивающей мышечное волокно, перекрывающиеся толстые и тонкие филаменты каждого саркомера, подтягиваемые движениями поперечных мостиков, сдвигаются друг относительно друга. Длина толстых и тонких филаментов при укорочении саркомера не изменяется (рис. 13). Этот механизм мышечного сокращения известен как **модель скользящих нитей**.

6.2. Биоэнергетика мышечной деятельности

Основы энергообеспечения мышечной деятельности

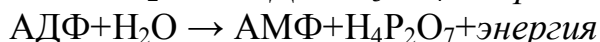
Ни одно движение не может быть выполнено без затрат энергии. Биоэнергетические возможности организма являются наиболее важным фактором, лимитирующим его физическую работоспособность.

АТФ – аденозинтрифосфорная кислота, или аденозинтрифосфат – единственный универсальный и прямой источник энергии для мышечного сокращения.

Единственным универсальным и прямым источником энергии для мышечного сокращения служит аденозинтрифосфат (АТФ); без него поперечные «мостики лишены энергии и актиновые нити не могут скользить вдоль миозиновых, сокращения мышечного волокна не происходит. АТФ относится к высокоэнергетическим (макроергическим) фосфатным соединениям, при расщеплении (гидролизе) которого выделяется около 10 ккал/кг свободной энергии. При активизации мышцы происходит усиленный гидролиз АТФ, поэтому интенсивность энергетического обмена возрастает в 100—1000 раз по сравнению с уровнем покоя.

Непосредственным источником энергии для мышечного сокращения (в результате превращения энергии от химических реакций в механическую энергию) является АТФ – аденозинтрифосфорная кислота, или аденозинтрифосфат. При возбуждении под влиянием нервного импульса в мышечном волокне с помощью фермента аденозинтрифосфатазы его роль выполняет сам мышечный белок миозин. Все другие высвобождающие энергию реакции в ней, например аэробное и анаэробное расщепление углеводов и распад креатинфосфата, не обеспечивают этот процесс непосредственно; они служат только для непрерывного воспроизводства главного «топлива» – АТФ.

Актин и миозин, как говорилось выше, представляют собой белковые структуры, прямо участвующие в механическом сокращении, а АТФ – единственное вещество в мышце (исключение составляют только редкие нуклеозидтрифосфаты), которое ими может непосредственно утилизироваться. Веберу и Портцелю удалось получить гелеобразные сократительные нити актина и миозина (актомиозиновые нити), способные сокращаться так же, **как живые мышцы, используя АТФ (только АТФ!) в качестве источника энергии.** Это подтверждает непосредственное участие АТФ в мышечном сокращении.



Справедливость такого вывода не вызывает сомнений с тех пор, как было продемонстрировано гидролитическое расщепление АТФ до АДФ и фосфата во время сокращения мышцы.

АТФ легко расщепляется на АДФ (аденозиндифосфат) и 1 молекулу фосфорной кислоты. При этом освобождается много энергии (около 8 ккал), которая превращается в механическую. Это обеспечивает взаимное перемещение нитей актина и миозина, что и ведет, собственно, к сокращению мышцы.

Каким образом мышца преобразует химическую энергию в механическую? Вероятно, это важнейший вопрос современных молекулярных исследований мышц.

АТФ гидролитически расщепляется и за счет этого энергетически используется в мышце с помощью особого фермента – АТФазы миозина, причем этот процесс активируется актином.

Последовательность событий, начиная от связывания головки миозина с тонким филаментом актином и до момента, когда система готова к повторению процесса, называется рабочим **циклом поперечных мостиков.**

Каждый цикл состоит из 4 основных фаз (рис. 14).

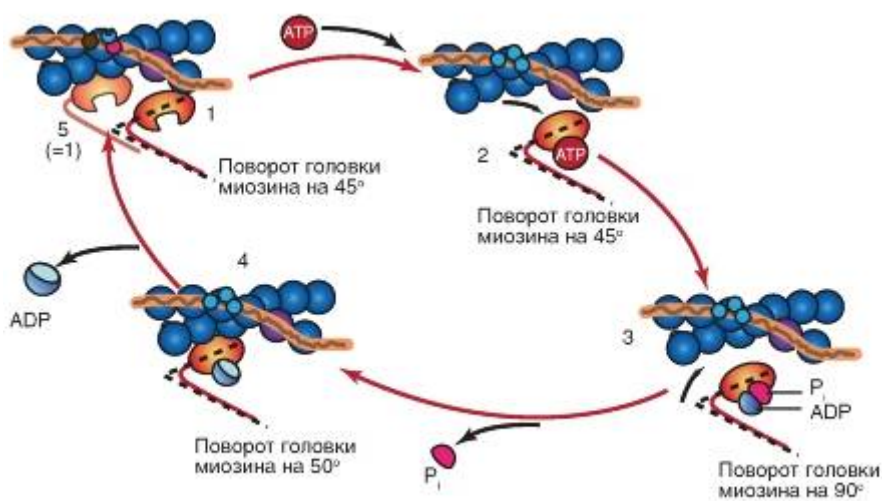


Рис. 14. Роль АТФ в рабочем цикле поперечных мостиков

Фаза 1 – головка миозина прочно связана с молекулой актина в актомиозиновый комплекс. Для отделения головки миозина в цитозоле необходим АТФ, и его подход к миозину показан стрелкой на схеме.

Фаза 2 – если головка миозина связывается с АТФ, то уменьшается аффинность головки миозина к актину. Из-за уменьшения аффинности головка миозина отделяется от молекулы актина. При устранении действия на головку миозина АТФ цикл продолжается дальше. В мышце это происходит исключительно благодаря расщеплению АТФ до АДФ+P_i в результате работы фермента АТФазы миозина. Этот шаг зависит от наличия Mg²⁺.

Фаза 3 – если на головке миозина после расщепления АТФ на АДФ и P_i оба, АДФ и P_i, связаны. При этом головка миозина выпрямляется. Аффинность образования актомиозинового комплекса опять повышается, и головка миозина может вновь присоединить молекулу актина со слабой связью.

Фаза 4 – инициация слабой связи переходит быстро в более сильную связь с головкой миозина, нагруженной АДФ. Переход в это состояние представляет собой собственно ступень генерации силы. Этот процесс объясняют вращением головки миозина, благодаря которой поворот миозина осуществляет сдвиг на шаг филамента актина.

В цикле поперечных мостиков АТФ выполняет две разные роли:

- 1) гидролиз АТФ поставляет энергию для движения поперечного мостика;
- 2) связывание (но не гидролиз) АТФ с миозином сопровождается отделением миозина от актина и создает возможность повторения цикла поперечных мостиков.

Потребление АТФ во время сокращения

Сейчас известно, что миозиновые головки, взаимодействующие с актином, сами содержат каталитически активные центры для расщепления АТФ. АТФаза миозина активируется актином в присутствии Mg²⁺. Следовательно, при физиологическом ионном составе среды, т. е. в присутствии Mg²⁺, АТФ расщепляется, высвобождая АДФ и фосфат, только в случае прикрепления головки миозина к активирующему белку-актину (при отсутствии актина образующийся АДФ не высвобождается, а блокирует на несколько секунд каталитический центр миозина и, таким образом, происходит дальнейшее расщепление АТФ).

В каждом цикле прикрепления-отделения поперечного мостика АТФ расщепляется только 1 раз (вероятно, 1 молекула на каждый мостик). Следовательно, чем больше мостиков находится в активном состоянии, тем выше скорость расщепления АТФ и сила, развиваемая мышцей; значит, эта скорость (интенсивность метаболизма), как правило, пропорциональна силе, развиваемой мышцей. Скорость мышечного сокращения тем выше, чем быстрее движутся поперечные мостики, т. е. чем больше «гребков» они совершают в единицу времени. В результате быстрые мышцы потребляют в единицу времени больше и сохраняют при тоническом напряжении меньше АТФ (энергии), чем медленные. Поэтому для поддержания позы используются преимущественно медленные мышечные волокна (типа I), богатые миоглобином, а для быстрых движений бедные им «белые» (типа IIВ) или светлые (типа IIА) волокна.

Механизм действия АТФ. АТФ связывается с миозиновой головкой после завершения «гребка», давая энергию для разделения взаимодействующих сократительных белков – актина и миозина. Почти сразу же после этого миозиновые головки отделяются от актина, а АТФ расщепляется до АДФ и фосфата. Продукты гидролиза остаются на короткое время связанными с каталитическим центром, что необходимо для нового присоединения поперечного мостика к актину и следующего генерирующего силу «гребка», во время которого происходит высвобождение АДФ и фосфата. Затем для отделения поперечного мостика с ним должна связаться новая молекула АТФ и начинается новый цикл. Ритмичная активность поперечных мостиков, т. е. циклы их прикрепления к актину и отсоединения от него, обеспечивающие мышечное сокращение, возможны только при гидролизе АТФ, а значит, при активации АТФазы. Если расщепление АТФ заблокировано, мостики не могут прикрепляться к актину,

Функции АТФ в процессе сокращения скелетной мышцы.

1. В результате вызываемого миозином гидролиза АТФ поперечные мостики получают энергию для развития тянущего усилия.
2. Разрыв связи между миозином и актином после завершения рабочего хода.
3. Энергетическое обеспечение процесса депонирования кальция в саркоплазматическом ретикулуме (гидролиз АТФ под действием Са-АТФазы саркоплазматического ретикулума поставляет энергию для активного транспорта Ca^{2+} в латеральные мешки саркоплазматического ретикулума, что приводит к снижению цитоплазматического Ca^{2+} до исходного уровня. Соответственно, сокращение завершается, и мышечное волокно расслабляется).

Какое количество АТФ содержится в организме?

Судя по всему вышеизложенному, требуется колоссальное количество АТФ. В скелетных мышцах при их переходе от состояния покоя к сократительной активности – в 20 раз (или даже в несколько сотен раз) резко одномоментно повышается скорость расщепления АТФ.

Однако запасы АТФ в мышцах сравнительно ничтожны (около 0,75 % от ее массы) и их может хватить лишь на 2—3 секунды интенсивной работы.

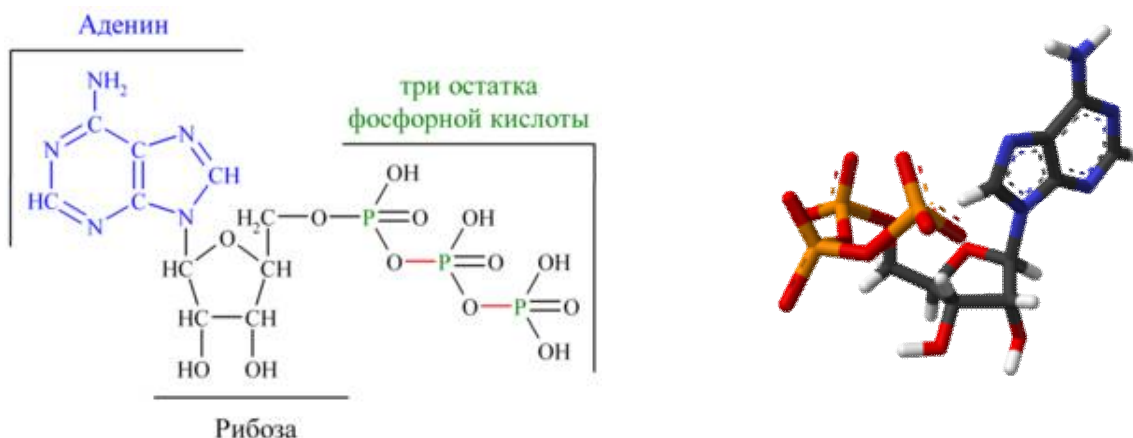


Рис. 15. Аденозинтрифосфат (АТФ, АТР)
Молярная масса 507 г/моль

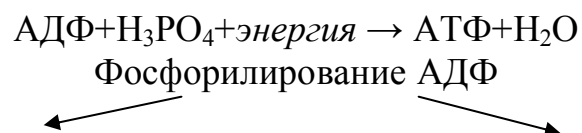
Это происходит потому, что АТФ – крупная тяжелая молекула (рис. 15). АТФ представляет собой нуклеотид, образованный азотистым основанием аденином, пятиуглеродным сахаром рибозой и тремя остатками фосфорной кислоты. Фосфатные группы в молекуле АТФ соединены между собой высокоэнергетическими (макроэргическими) связями. Подсчитано, что если бы в организме содержалось **количество АТФ**, достаточное для использования в течение одного дня, то вес человека, даже ведущего сидячий образ жизни, был бы на 75 % больше.

Чтобы поддерживать длительное сокращение, молекулы АТФ должны образовываться в процессе метаболизма с такой же скоростью, с какой они расщепляются во время сокращения. Поэтому АТФ является одним из самых часто обновляемых веществ: так, у человека продолжительность жизни 1 молекулы АТФ менее 1 минуты. В течение суток 1 молекула АТФ проходит в среднем 2000—3000 циклов ресинтеза (человеческий организм синтезирует около 40 кг АТФ в день, но содержит в каждый конкретный момент примерно 250 г), то есть запаса АТФ в организме практически не создаётся, и для нормальной жизнедеятельности необходимо постоянно синтезировать новые молекулы АТФ.

Таким образом, для поддержания активности мышечной ткани на определенном уровне необходим быстрый ресинтез АТФ с той же скоростью, с какой он расходуется. Это происходит в процессе рефосфорилирования, при соединении АДФ и фосфатов

Синтез АТФ – фосфорилирование АДФ

В организме АТФ образуется из АДФ и неорганического фосфата за счет энергии, освобождающейся при окислении органических веществ и в процессе фотосинтеза. Этот процесс называется *фосфорилированием*. При этом должно быть затрачено не менее 40 кДж/моль энергии, которая аккумулируется в макроэргических связях:



Субстратное фосфорилирование АТФ. Окислительное фосфорилирование АТФ

Фосфорилирование АДФ возможно двумя способами: субстратное фосфорилирование и окислительное фосфорилирование (используя энергию окисляющихся веществ). Основная масса АТФ образуется на мембранах митохондрий в ходе окислительного фосфорилирования Н-зависимой АТФ-синтазой. Субстратное фосфорилирование АТФ не требует участия мембранных ферментов, оно происходит в процессе гликолиза или путём переноса фосфатной группы с других макроэргических соединений.

Реакции фосфорилирования АДФ и последующего использования АТФ в качестве источника энергии образуют циклический процесс, составляющий суть энергетического обмена.

Существуют три способа образования АТФ во время сокращения мышечного волокна.

Три основных пути ресинтеза АТФ:

- 1) креатинфосфатная (КФ) система;
- 2) гликолиз;
- 3) окислительное фосфорилирование

Креатинфосфатная (КФ) система

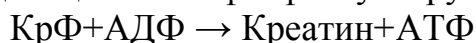
- фосфорилирование АДФ путем переноса фосфатной группы от **креатинфосфата**;

- анаэробный креатинфосфатный ресинтез АТФ.



Рис. 16. Креатинфосфатная система ресинтеза АТФ в организме

Для поддержания активности мышечной ткани на определенном уровне **необходим быстрый ресинтез АТФ**. Это происходит в процессе рефосфорилирования, при соединении АДФ и фосфатов. Наиболее доступным веществом, которое используется для ресинтеза АТФ, в первую очередь является креатинфосфат (рис. 16), легко передающий свою фосфатную группу на АДФ:



КрФ – это соединение азотсодержащего вещества креатинина с фосфорной кислотой. Концентрация его в мышцах составляет примерно 2–3 %, т. е. в 3–4 раза больше по сравнению с АТФ. Умеренное (на 20–40 %) снижение содержания АТФ сразу же ведет к использованию КрФ. Однако при максимальной работе запасы креатинфосфата также быстро истощаются. Благодаря фосфорилированию АДФ креатинфосфатом обеспечивается очень быстрое образование АТФ в самом начале сокращения.

В течение периода покоя концентрация креатинфосфата в мышечном волокне возрастает до уровня, примерно в 5 раз превышающего содержание АТФ. В начале сокращения, когда начинаются снижение концентрации АТФ и увеличение концентрации АДФ вследствие расщепления АТФ под действием АТФазы миозина, реакция сдвигается в сторону образования АТФ за счет креатинфосфата. При этом переход энергии совершается с такой большой скоростью, что в начале сокращения концентрация АТФ в мышечном волокне изменяется мало, в то время как концентрация креатинфосфата падает быстро.

Хотя АТФ образуется за счет креатинфосфата очень быстро, посредством единственной ферментативной реакции (рис. 16), количество АТФ лимитировано исходной концентрацией креатинфосфата в клетке. Чтобы мышечное сокращение могло продолжаться дольше нескольких секунд, необходимо участие двух других, упоминавшихся выше, источников образования АТФ. После начала сокращения, обеспечиваемого за счет использования креатинфосфата, подключаются более медленные, требующие участия многих ферментов пути окислительного фосфорилирования и гликолиза, благодаря которым скорость образования АТФ увеличивается до уровня, соответствующего скорости расщепления АТФ.

Какая система синтеза АТФ самая быстрая?

Система КФ (креатинфосфата) – это самая быстрая система ресинтеза АТФ в организме, поскольку она включает в себя только одну ферментативную реакцию. Она осуществляет перенос высокоэнергетического фосфата прямо с КФ на АДФ с образованием АТФ. Однако способность этой системы ресинтезировать АТФ ограничена, так как запасы КФ в клетке невелики. Поскольку эта система не использует для синтеза АТФ кислород, ее считают анаэробным источником АТФ.

Сколько КФ хранится в организме?

Общих запасов КФ и АТФ в организме хватило бы менее чем на 6 секунд интенсивной физической нагрузки.

В чем преимущество анаэробной выработки АТФ с использованием КФ?

Система КФ/АТФ используется во время кратковременной интенсивной физической нагрузки. Она расположена на головках молекул миозина, т. е. непосредственно в месте потребления энергии. Система КФ/АТФ используется в том случае, когда человек совершает быстрые движения, например, быстро поднимается в гору, выполняет высокие прыжки, бежит стометровку, быстро поднимается с кровати, убегает от пчелы или отскакивает в сторону от грузовика при переходе улицы.

Гликолиз

- фосфорилирование АДФ в цитоплазме;
- расщепление гликогена и глюкозы в анаэробных условиях с образованием молочной кислоты и АТФ.

Для восстановления АТФ с целью продолжения интенсивной мышечной деятельности в процесс включается следующий источник энергообразования – ферментативное расщепление углеводов в бескислородных (анаэробных) условиях.

Процесс гликолиза схематично представлен следующим образом (рис. 17).

Появление в процессе гликолиза свободных фосфатных групп делает возможным ресинтез АТФ из АДФ. Однако при этом кроме АТФ образуются две молекулы молочной кислоты.

Процесс гликолиза более медленный по сравнению с креатинфосфатным ресинтезом АТФ. Длительность работы мышц в анаэробных (бескислородных) условиях ограничена в связи с исчерпыванием запасов гликогена или глюкозы и в связи с накоплением молочной кислоты.

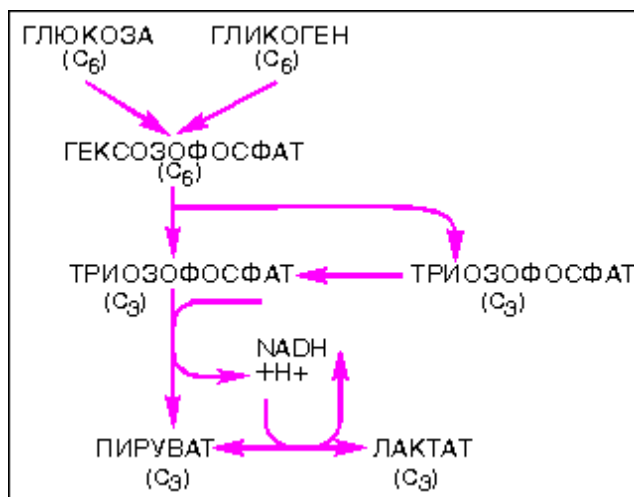
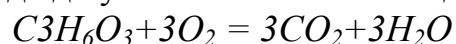


Рис. 17. Общая схема гликолиза

Анаэробное образование энергии путем гликолиза производится **неэкономно с большим расходом гликогена**, так как используется только часть содержащейся в нем энергии (молочная кислота при гликолизе не используется, хотя **содержит значительные запасы энергии**).

Конечно, уже на этом этапе часть молочной кислоты окисляется некоторым количеством кислорода до углекислого газа и воды:



Образующаяся при этом энергия идет на ресинтез углевода из других частей молочной кислоты. Однако ограниченное количество кислорода при очень интенсивной физической нагрузке оказывается недостаточным для поддержания реакций, направленных на преобразование молочной кислоты и ресинтез углеводов.

Откуда берется АТФ для физической активности, продолжающейся более 6 секунд?

При **гликолизе** АТФ образуется без использования кислорода (анаэробно). Гликолиз происходит в цитоплазме мышечной клетки. В процессе гликолиза углеводы окисляются до пирувата или лактата и выделяются 2 молекулы АТФ (3 молекулы, если начинать расчет с гликогена). При гликолизе АТФ синтезируется быстро, но медленнее, чем в системе КФ.

Что является конечным продуктом гликолиза – пируват или лактат?

Когда гликолиз протекает медленно, и митохондрии адекватно акцептируют восстановленный НАДН, конечным продуктом гликолиза является пируват. Пируват превращается в ацетил-КоА (реакция, требующая НАД) и подвергается полному окислению в цикле Кребса и ЦПЭ. Когда митохондрии не могут обеспечить адекватное окисление пирувата или регенерацию акцепторов электронов (НАД или ФАДН), пируват превращается в лактат. Превращение пирувата в лактат уменьшает концентрацию пирувата, что предотвращает ингибирование реакции конечными продуктами, и гликолиз продолжается.

В каких случаях основным конечным продуктом гликолиза оказывается лактат?

Лактат образуется в том случае, когда митохондрии не могут адекватно окислять пируват или регенерировать достаточное количество акцепторов электронов. Это происходит при низкой ферментативной активности митохондрий, при недостаточном кислородном обеспечении, при высокой скорости гликолиза. В целом образование лактата усиливается во время гипоксии, ишемии, при кровотечении, после употребления углеводов, при высокой концентрации гликогена в мышцах, при гипертермии, вызванной физической нагрузкой.

Какими другими способами может метаболизироваться пируват?

Во время физических упражнений или при недостаточно калорийном питании пируват превращается в заменимую аминокислоту аланин. Синтезированный в скелетных мышцах, аланин с током крови попадает в печень, где превращается в пируват. Затем пируват превращается в глюкозу, которая поступает в кровоток. Этот процесс аналогичен циклу Кори и называется аланиновым циклом.

Окислительное фосфорилирование

– фосфорилирование АДФ в митохондриях;
– аэробное окисление питательных веществ с образованием углекислого газа и воды.

При менее интенсивной нагрузке – при умеренной мышечной активности – когда к мышечным клеткам доставляется достаточное количество кислорода, происходит образование АТФ преимущественно путем **окислительного фосфорилирования** – аэробное окисление углеводов и жиров с образованием углекислого газа, воды и АТФ. В течение первых 5—10 минут главным ресурсом для этого служит гликоген. В последующие ~30 минут доминирующими становятся источники энергии, доставляемые кровью, причем глюкоза и жирные кислоты участвуют примерно в одинаковой мере. На более поздних этапах сокращения преобладает утилизация жирных кислот, а глюкоза расходуется меньше. Процесс протекает в митохондриях – энергетических станциях клеток – длительный путь, включающий цикл Кребса (ЦТК – цикл трикарбоновых кислот) и электрон-транспортную цепь (где собственно происходит окисление), детально описанный в учебниках биохимии.

Любые питательные вещества, которые могут превращаться в ацетил-КоА, метаболизируются в цикле Кребса и в процессе окислительного фосфорилирования.

Окислительное фосфорилирование включает в себя превращение пирувата в ацетил-КоА и, в конечном счете, его полное окисление до углекислого газа и воды. Это превращение совершается в цикле Кребса и в цепи переноса электронов (ЦПЭ). Реакции общего пути катаболизма происходят в матриксе митохондрий, и восстановленные коферменты передают водород непосредственно на компоненты ЦПЭ, расположенные во внутренней мембране митохондрий.

Пути получения энергии мышечной клеткой взаимосвязаны и могут пересекаться. Сначала рассмотрим этот процесс на примере использования самого универсального источника энергии – глюкозы (рис. 18).

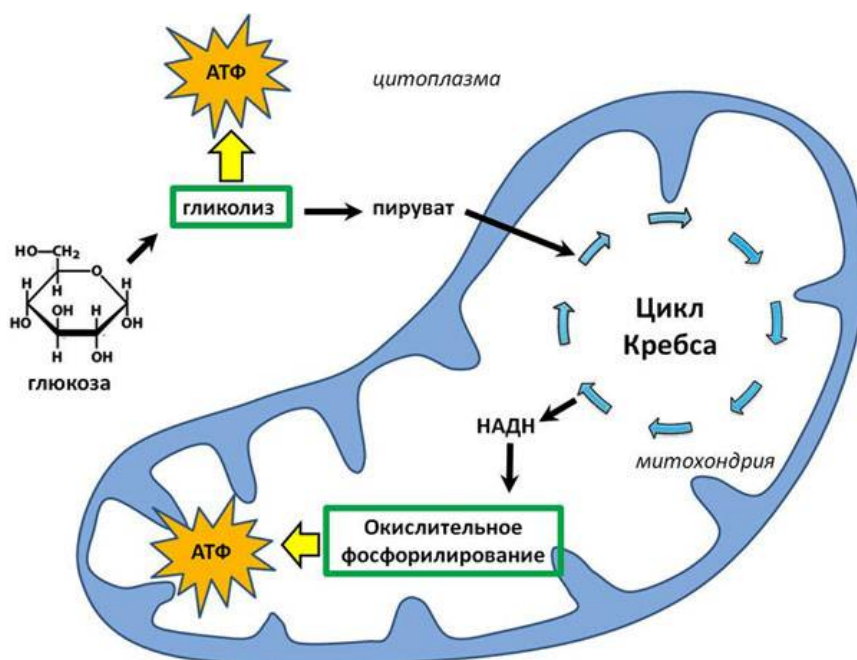


Рис. 18. Схема получения энергии мышечной клеткой

В цитоплазме молекула глюкозы превращаются в пируват в процессе гликолиза. Параллельно с этим синтезируется АТФ. Гликолиз не требует присутствия кислорода. Однако образовавшийся пируват может быть и дальше использован клеткой для получения энергии, в этом случае получится синтезировать гораздо больше АТФ, чем при гликолизе. Этот процесс, который носит название окислительного фосфорилирования, происходит в митохондриях, и для него клетке уже нужен кислород. Пируват попадает в митохондрию, где вступает в цикл Кребса. Основным продуктом этого цикла является NADH (НАДАН) (читается «над-аш»). NADH вступает в процесс окислительного фосфорилирования, который протекает во внутренней мембране митохондрии. В результате синтезируется АТФ, причем в гораздо большем количестве, чем при гликолизе.

Какие вещества используются в различных метаболических путях?

Для гликолиза могут использоваться только углеводы. Почти все легко усваиваемые углеводы могут превращаться в глюкозу или запасаться в форме гликогена. Гликоген и глюкоза метаболизируются в процессе гликогенолиза и гликолиза. Любые питательные вещества, которые могут превращаться в ацетил-КоА (рис. 19), метаболизируются в цикле Кребса и в процессе окислительного фосфорилирования. В частности жиры расщепляются до глицерина, который затем превращается в пируват и жирные кислоты. Жирные кислоты окисляются в митохондриях в процессе β -окисления до ацетил-КоА. Белки расщепляются до аминокислот, которые после дезаминирования (удаления NH_3) превращаются в пируват или в ацетил-КоА и поступают в цикл Кребса. Ни в одной реакции цикла Кребса и β -окисления не используется кислород, однако если ЦПЭ не включается, то возникает дефицит акцепторов электронов (НАД,

ФАДН), что приводит к замедлению, а затем и полному прекращению обмена веществ.

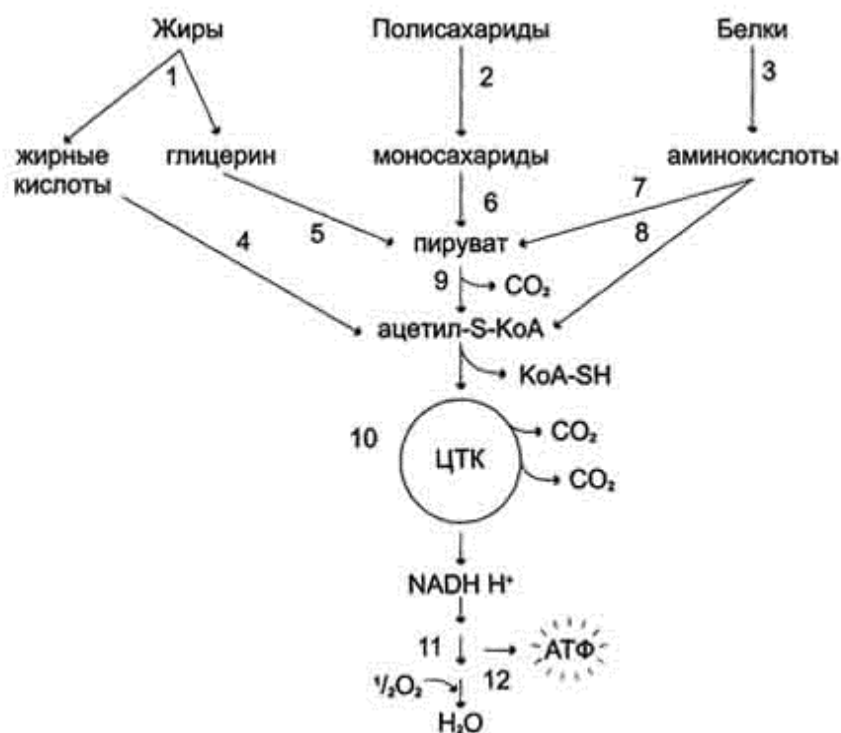


Рис. 19. Катаболизм основных пищевых веществ

1—3 – пищеварение; 4—8 – специфические пути катаболизма; 9—10 – заключительный (общий) катаболизма; 11 – ЦПЭ; 12 – окислительное фосфорилирование

Превращение пирувата в ацетил-КоА происходит при участии набора ферментов, структурно объединённых в пируватдегидрогеназный комплекс (ПДК). Ацетильный остаток – ацетил-КоА далее окисляется в цикле лимонной кислоты до CO_2 и H_2O . В этих реакциях окисления принимают участие NAD- и FAD-зависимые дегидрогеназы, поставляющие электроны и протоны в ЦПЭ, по которой они передаются на O_2 .

Таким образом, каждый оборот цикла лимонной кислоты сопровождается синтезом 11 молекул АТФ путём окислительного фосфорилирования. Одна молекула АТФ образуется путём субстратного фосфорилирования.

Известно, что при аэробном окислении из одной молекулы молочной кислоты происходит ресинтез в углевод 4–6 других молекул молочной кислоты, а окисление углеводов в полных кислородных условиях сопровождается значительно большим освобождением энергии для ресинтеза глюкозы, чем при анаэробном процессе. В связи с этим в аэробных условиях глюкоза может образовывать в 19 раз больше АТФ по сравнению с анаэробными. Следовательно, аэробный путь энергообеспечения является более эффективным и экономичным (рис. 20).

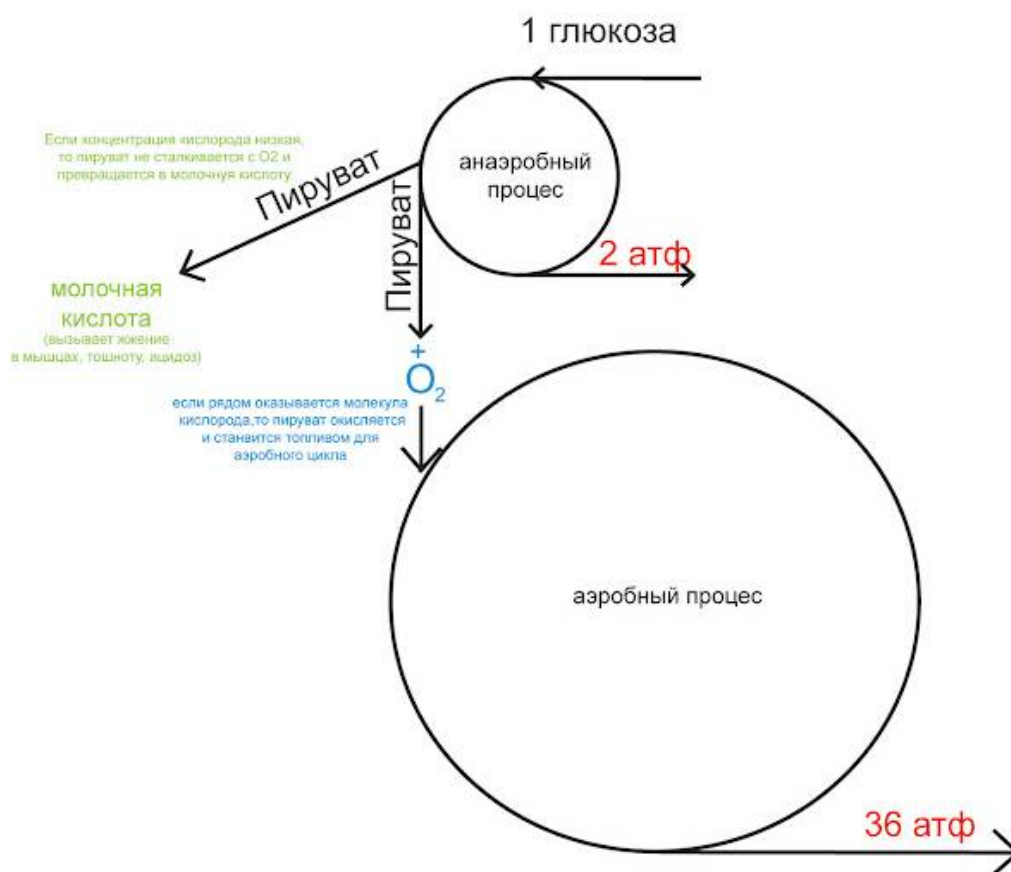


Рис. 20. Эффективность и экономичность основных путей энергообеспечения

Сравним три пути ресинтеза АТФ.

Таблица 1

Сравнение трех путей ресинтеза АТФ

| | Креатинфосфатный | Гликолиз | Окислительное фосфорилирование |
|-------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------------------------|
| Локализация | Сократительный участок мышцы | Цитоплазма | Митохондрия |
| Субстрат | КФ | Глюкоза/гликоген | Пируват (или ацетил-коэнзим А [КоА]) |
| Продукт | Креатин+Pi | Пируват или лактат | Углекислый газ и вода |
| Количество стадий | 1 | 11 | 11+перенос электронов |
| Выход АТФ, молекул | 1 | 2 | 30 |
| Использование кислорода | Нет | Нет | Да |
| Скорость | Быстрый | Быстрый | Медленный |
| Тип | Анаэробный | Анаэробный | Аэробный |

Как показано на рисунке 21, в первые секунды почти вся энергия обеспечивается аденозинтрифосфатом (АТФ); следующим источником служит креатинфосфат (КФ). Анаэробный процесс – гликолиз достигает максимума при-

близительно через 45 секунд, тогда как за счет окислительных реакций мышца не может получить основную часть энергии ранее чем через 2 минуты.

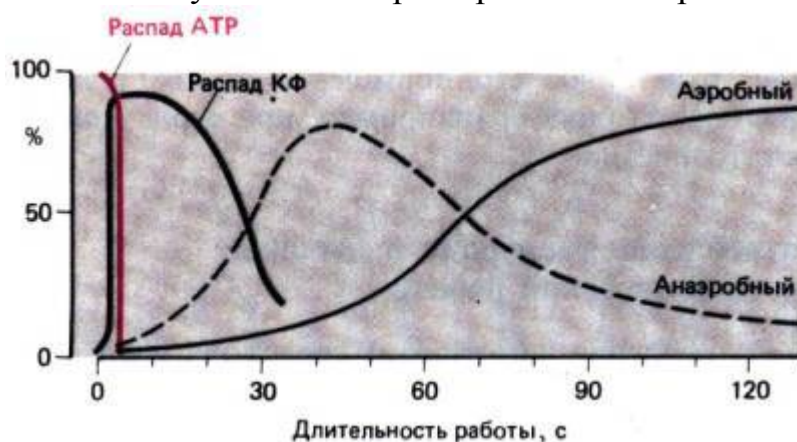


Рис. 21. Последовательность включения разных путей синтеза АТФ в начале легкой физической нагрузки

Даже при легкой работе (рис. 21) получение энергии происходит по анаэробному пути в течение короткого переходного периода после начала работы; в дальнейшем метаболизм осуществляется полностью за счет аэробных реакций (рис. 21) с использованием в качестве субстратов глюкозы, а также жирных кислот и глицерола. В отличие от этого во время тяжелой работы получение энергии частично обеспечивается анаэробными процессами. Кроме этих «узких мест» в процессах энергообеспечения и тех, что временно возникают сразу же после начала работы (рис. 21), при экстремальных нагрузках образуются «узкие места», связанные с активностью ферментов на различных этапах метаболизма.

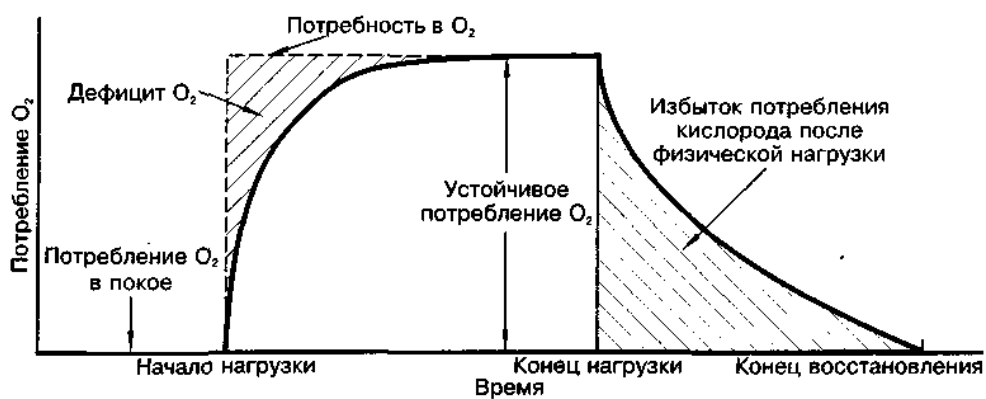


Рис. 22. Потребление кислорода во время легкой динамической работы постоянной интенсивности

Пути ресинтеза АТФ и их вклад в энергообеспечение мышечной деятельности будут зависеть от интенсивности, длительности нагрузок и способности систем обеспечить энергетические процессы в мышце кислородом.

Как показано на рисунке 22, способность нашего организма адекватно удовлетворять потребности мышц в кислороде далека от совершенства. Когда

вы начинаете выполнять упражнение, система транспорта кислорода (дыхание и кровообращение) не сразу поставляет необходимое количество его активным мышцам. После начала работы требуется некоторое время для увеличения интенсивности аэробных энергетических процессов в мышце. Лишь через несколько минут достигается стабильный уровень потребления кислорода, при котором полностью функционируют аэробные процессы, однако потребность организма в кислороде резко повышается именно в момент начала выполнения упражнения. В этот период дефицит энергии компенсируется за счет легкодоступных **анаэробных энергетических резервов** (АТФ и креатинфосфата). Количество макроэргических фосфатов невелико по сравнению с запасами гликогена, однако они незаменимы как в течение указанного периода, так и для обеспечения энергией при кратковременных перегрузках во время выполнения работы. Поглощение кислорода и, следовательно, образование АТФ увеличиваются до того момента, пока не будет достигнуто устойчивое состояние, при котором образование АТФ адекватно его потреблению при работе мышц. Постоянный уровень потребления кислорода (образование АТФ) поддерживается, пока не изменится интенсивность работы. Между началом работы и увеличением потребления кислорода до какого-то постоянного уровня происходит задержка, называемая *кислородным долгом или дефицитом*. *Дефицит кислорода* – период времени между началом мышечной работы и ростом потребления кислорода до достаточного уровня.

На рисунке 22 показано потребление кислорода до, во время и после лёгкой равномерной работы. Показаны дефицит кислорода и избыток потребления кислорода после физической нагрузки.

Что такое дефицит кислорода?

Период времени между началом физической нагрузки и увеличением поглощения кислорода до достаточного уровня; то есть длительность выравнивания разницы между поглощением кислорода в первые минуты работы и потребностью в кислороде для синтеза достаточного количества АТФ. Потребность в АТФ возрастает мгновенно, однако для достижения необходимого уровня поглощения кислорода требуется некоторое время; в результате чего создается дефицит кислорода. Существуют различные точки зрения на механизмы обеспечения АТФ в этот период. Возможно, АТФ синтезируется в процессе анаэробного метаболизма или поступает из запасов клетки, возможно, просто измерение количества АТФ запаздывает по сравнению с его содержанием. При тренировках дефицит кислорода уменьшается, что свидетельствует о возможности более быстрого подключения систем, обеспечивающих быструю доставку кислорода при физической нагрузке.

Кислородный дефицит (дефицит кислорода)

- разность между кислородным запросом и кислородным приходом;
- период времени между началом физической нагрузки и увеличением поглощения кислорода до достаточного уровня;
- длительность выравнивания разницы между поглощением кислорода в первые минуты работы и потребностью в кислороде для синтеза достаточного количества АТФ.

Потребление кислорода после физической нагрузки

В первые минуты восстановления, хотя мышцы уже не работают активно, потребность в кислороде уменьшается не сразу. Наоборот, потребление кислорода остается повышенным в течение некоторого времени (рис. 22). Это избыточное потребление кислорода, превышающее необходимую величину в покое, называется кислородным долгом. В последнее время более распространено определение «избыточное потребление кислорода после физической нагрузки». Это дополнительное количество к обычно потребляемому количеству кислорода.

«Избыток» потребления кислорода в восстановительном периоде (*кислородный долг*) – результат множества физиологических процессов. По окончании мышечной работы запасы богатых энергией соединений (креатинфосфата и гликогена) в мышце снижены. Для восстановления запасов обоих соединений нужна энергия, поэтому мышца, уже находясь в состоянии покоя, продолжает некоторое время усиленно потреблять кислород.

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

Различают кислородный долг, который идет на окисление молочной кислоты – *лактатный кислородный долг* – и на восстановление КрФ и АТФ – *алактатный кислородный долг*.

Тренировка на выносливость ведет к уменьшению кислородного дефицита в начале работы в связи с совершенствованием кардиореспираторной системы.

Таким образом, по характеру энергообеспечения мышечной деятельности физические нагрузки делятся на аэробные и анаэробные. Однако это деление относительное, так как при большинстве физических упражнений в большей или меньшей степени присутствуют оба вида энергообеспечения. Зоны их действия частично перекрываются. Сравните энергетические пути с точки зрения их использования во время физических нагрузок. В процессе выработки энергии все эти пути взаимодействуют. Однако во время кратковременной интенсивной нагрузки преобладает анаэробное окисление, тогда как аэробное окисление преобладает, если физическая активность продолжается более 5 минут. Различия аэробного и анаэробного метаболизма обобщенно представлены в следующей таблице (табл. 2).

Таблица 2

Различия аэробного и анаэробного метаболизма

| | Метаболизм | |
|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| | анаэробный | аэробный |
| Тип активности | Короткая, взрывная | Продолжительная (> 2 минут) |
| Интенсивность активности | Высокая | Низкая или умеренная |
| Пример | Толкание ядра, бег на 100 м | Бег 1500 м и более |
| Основная система | АТФ-КФ, гликолиз | Цикл Кребса, ЦПЭ |
| Активаторы | АДФ, АМФ, P _i | АДФ, НАД, P |
| Ингибиторы | АТФ | АТФ, НАДН |
| Тип ответа | Немедленный и быстрый | Замедленный, но продолжительный |



Рис. 23. Примерный вклад аэробных и анаэробных энергоисточников на разных дистанциях легкоатлетического бега, % (Коц М. Я., 1986)

Пути ресинтеза АТФ и их вклад в энергообеспечение мышечной деятельности будут зависеть от интенсивности, длительности нагрузок и способности систем обеспечить энергетические процессы в мышце кислородом.

При однократных кратковременных нагрузках максимальной интенсивности ресинтез АТФ происходит за счет энергии КрФ. При более длительных интенсивных нагрузках в течение 10–20 секунд ресинтез АТФ совершается за счет распада углеводов, т. е. процессов гликолиза. При еще более длительных нагрузках – за счет аэробного окисления углеводов и жиров. На рисунке 23 рассматривается зависимость вклада того или иного вида энергообеспечения от длительности физических нагрузок на примере динамического упражнения (легкоатлетический бег), причем интенсивность и продолжительность работы находятся в обратной зависимости (с увеличением длительности работы уменьшается ее интенсивность).

Аэробные возможности организма проявляются в упражнениях большой и умеренной интенсивности, где в процессе работы можно полностью покрыть (удовлетворить) кислородный запрос. К числу наиболее важных факторов, определяющих аэробную производительность человека, следует отнести функциональные возможности кислородно-транспортной системы; запасы гликогена в мышцах и печени; способность мышц к окислению жиров (это в основном касается упражнений средней мощности и длительной работы: марафон, длительная ходьба и т. д.); мощность систем тканевого дыхания, зависящую от структурной организации и активности ферментов митохондриального комплекса; содержание миоглобина; степень васкуляризации мышц и совершенство регуляторных механизмов, которые обеспечивают необходимое кровоснабжение во время работы.

При кратковременных нагрузках высокой интенсивности, когда невозможно доставить адекватное запросам количество кислорода к работающим мышцам и во внутренней среде организма наступают выраженные сдвиги, основное значение имеет анаэробная производительность. Ведущими физиологическими системами, лимитирующими анаэробные возможности, являются: мощность внутриклеточных анаэробных ферментативных систем; общие запасы в мышцах энергетических веществ, которые служат субстратом анаэробных превращений; степень совершенства компенсаторных механизмов, обеспечивающих поддержание внутреннего гомеостаза в анаэробных условиях мышечной деятельности; уровень развития тканевых адаптаций, позволяющих выполнять напряженную работу при выраженных изменениях во внутренней среде организма (накопление молочной кислоты и т. д.); психическая устойчивость человека и ее мотивация; центральная нервная регуляция; скоростно-силовые свойства нервно-мышечного аппарата.

При выполнении анаэробно-аэробных нагрузок ведущими физиологическими системами и механизмами являются: емкость и мощность гликолитической энергосистемы рабочих мышц, функциональные свойства нервно-мышечного аппарата, кислородно-транспортные возможности организма и окислительные возможности работающих мышц.

При недостаточном поступлении кислорода во время нагрузки и участии анаэробных процессов в энергообеспечении мышечной деятельности в организме происходит накопление продуктов анаэробного распада: АДФ, креатина, молочной кислоты. После работы эти продукты выводятся из организма или преобразовываются в углеводы, АТФ, КрФ с участием кислорода.

Условия, необходимые для энергообеспечения физической нагрузки аэробным путем: 1) достаточная плотность митохондрий в мышечных волокнах, позволяющая поддерживать ресинтез АТФ аэробным путем; 2) отсутствие чрезмерного накопления продуктов обмена, ограничивающих скорость биохимических реакций в цикле Кребса при данной нагрузке; 3) достаточная доставка кислорода.

При невыполнении любого условия, а тем более всех их вместе образование АТФ начинает происходить анаэробным путем.

Запас энергии в мышцах мужчин массой 75 кг:

- за счет АТФ – 1,5 ккал;
- за счет КрФ – 3,5 ккал;
- за счет гликогена – 1200 ккал;
- за счет жира – 50 000 ккал.

Все ли скелетные мышцы используют одни и те же источники АТФ и создают одинаковую силу?

Одинаковы ли волокна скелетных мышц по своим механическим и метаболическим особенностям?

Нет. Скелетные мышцы содержат разные типы мышечных клеток с различной морфологией и физиологией. Это проявляется в неодинаковых скоростях проведения и сокращения, способности генерировать силу и метаболических возможностях.

Волокна скелетных мышц неодинаковы по своим механическим и метаболическим особенностям.

Основные характеристики типов волокон скелетных мышц:

1) в зависимости от максимальной скорости укорочения – волокна быстрые и медленные;

2) в зависимости от главного пути образования АТФ – волокна оксидативные и гликолитические.

На основании двух рассмотренных характеристик (скорость укорочения и тип метаболизма) можно выделить три типа волокон скелетных мышц.

6.3. Типы волокон скелетных мышц

1. **Медленные оксидативные волокна** (тип I) – низкая активность миозиновой АТФазы и высокая окислительная способность (рис. 24 А).

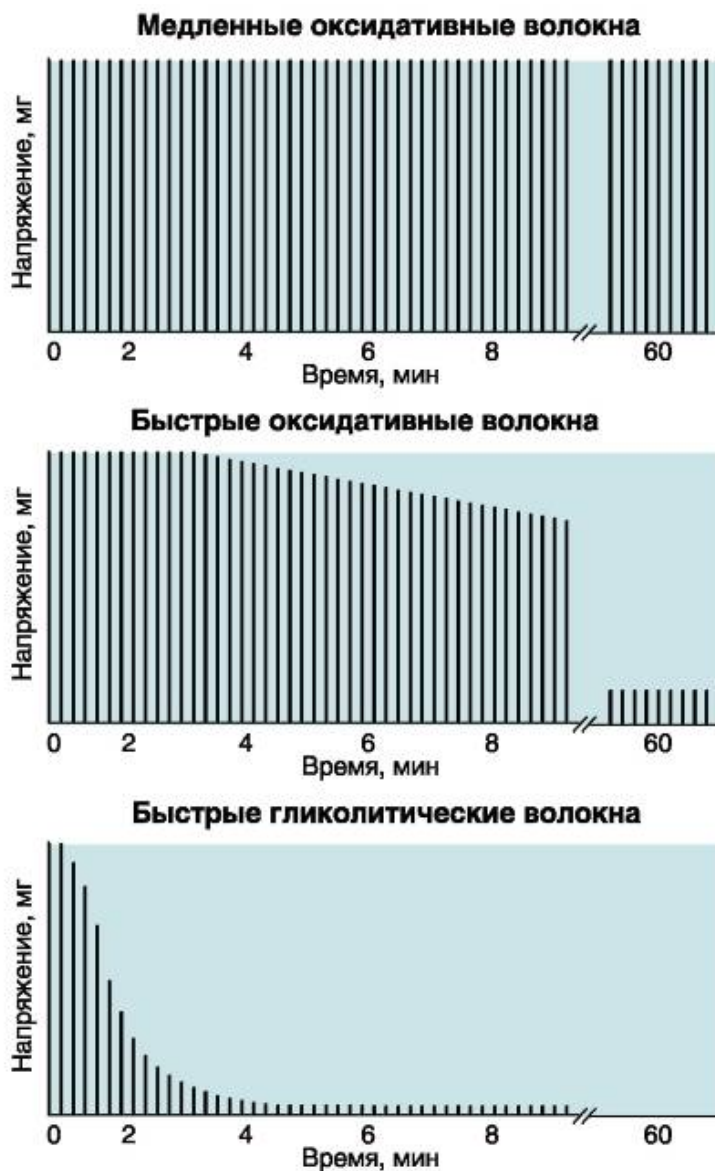


Рис. 24. Типы волокон скелетных мышц. Скорость развития утомления в волокнах скелетных мышц трех типов

2. **Быстрые оксидативные волокна** (тип IIa) – высокая активность миозиновой АТФазы и высокая окислительная способность (рис. 24 Б).

3. **Быстрые гликолитические волокна** (тип IIб) – высокая активность миозиновой АТФазы и высокая гликолитическая способность (рис. 24 В).

Отметим, что не обнаружен четвертый теоретически возможный вариант – медленные гликолитические волокна.

Что такое БОГВ, МОВ и БГВ?

Это гистохимические профили, соответствующие быстрым окислительно-гликолитическим (БОГВ), медленным окислительным (МОВ) и быстрым гликолитическим (БГВ) волокнам скелетной мышцы.

Рассмотренные три типа мышечных волокон характеризуются разной устойчивостью к утомлению. На рисунке 24 каждая вертикальная линия соответствует сократительному ответу на короткое тетаническое раздражение. Сократительные ответы в период между 9-й и 60-й минутами пропущены

Быстрые гликолитические волокна утомляются через короткое время, тогда как медленные оксидативные волокна очень выносливы, что позволяет им длительно поддерживать сократительную активность практически при постоянном уровне напряжения. Быстрые оксидативные волокна занимают промежуточное место по способности противостоять развитию утомления.

Таблица 3 – Характеристики трех типов волокон скелетных мышц

| | Тип мышцы | | |
|--|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| | Медленные аэробные (тип I) | Быстрые аэробные (тип IIa) | Быстрые анаэробные (тип IIb) |
| Скорость работы миозина | низкая | высокая | высокая |
| Главный путь образования АТФ | окислительное фосфорилирование | окислительное фосфорилирование | гликолиз |
| Содержание миоглобина | высокое (красные мышцы) | высокое (красные мышцы) | низкое (белые мышцы) |
| Количество капилляров | много | много | мало |
| Количество митохондрий | много | много | мало |
| Активность гликолиза | низкая | средняя | высокая |
| Активность окислительного фосфорилирования | высокая | средняя | низкая |
| Запас глюкозы (в форме гликогена) | низкий | средний | высокий |
| Продолжительность работы | высокая | средняя | низкая |
| Скорость сокращения | низкая | высокая | высокая |
| Диаметр волокна | малый | средний | большой |

Характеристики трех типов волокон скелетных мышц обобщены в таблице 3.

В некоторых волокнах много митохондрий и, следовательно, обеспечивается высокий уровень окислительного фосфорилирования; это **оксидативные волокна**. Количество образующейся в них АТФ зависит от снабжения мышцы кровью, с которой поступают молекулы кислорода, и богатых энергией соединений. Волокна этого типа окружены многочисленными капиллярами. Кроме того, в них присутствует связывающий кислород белок – **миоглобин**, который увеличивает скорость диффузии кислорода, а также выполняет функцию кратковременного кислородного депо в мышечной ткани. Благодаря значительному содержанию миоглобина оксидативные волокна окрашены в темно-красный цвет; их часто называют **красными мышечными волокнами**. В **гликолитических волокнах**, наоборот, мало митохондрий, но высокое содержание ферментов гликолиза и большие запасы гликогена. Эти волокна окружены относительно небольшим числом капилляров, и миоглобина в их ткани немного, что соответствует ограниченному использованию кислорода. Вследствие недостатка миоглобина гликолитические волокна выглядят светлыми и получили название **белых мышечных волокон**.

Быстрые и медленные мышечные волокна содержат изоферменты миозина, расщепляющие АТФ с разной максимальной скоростью, чему соответствует различная максимальная скорость рабочего цикла поперечных мостиков и, следовательно, разная максимальная скорость укорочения волокна. Высокая АТФазная активность миозина характерна **быстрым волокнам**, более низкая АТФазная активность – **медленным волокнам**. Хотя в быстрых волокнах скорость рабочего цикла примерно в 4 раза выше, чем в медленных, поперечные мостики обоих типов генерируют одинаковую силу. Волокна варьируют по своим биохимическим особенностям и по размерам: у гликолитических волокон диаметр существенно больше, чем у оксидативных. Это сказывается на величине развиваемого ими напряжения. Что касается числа толстых и тонких филаментов на единицу площади поперечного сечения, то оно примерно одинаково для всех типов скелетных мышечных волокон. Таким образом, чем больше диаметр волокна, тем большее число параллельно задействованных толстых и тонких филаментов участвует в генерировании силы, тем больше максимальное напряжение мышечного волокна. Отсюда следует, что гликолитическое волокно, имеющее больший диаметр, развивает в среднем более значительное напряжение по сравнению с напряжением оксидативного волокна.

Влияет ли тип мышечного волокна на его работу?

Точно это неизвестно. Сравнительное обследование лучших спортсменов говорит о том, что состав мышечных волокон у людей, занимающихся разными видами спорта, различается. Например, у спринтеров от 55 до 75 % от общего числа мышечных волокон относится к быстрым, тогда как у бегунов на длинные дистанции от 60 до 90 % составляют медленные волокна. Хотя это отличие предполагает, что для успехов в определенном виде спорта имеет значение тип мышечных волокон, исследования показали, что состав волокон у людей, занимающихся одним и тем же видом спорта, сильно различается. Очевидно, что состав волокон является лишь одним компонентом успеха, и нельзя игнорировать сложное физиологиче-

ское взаимодействие других систем и роль тренировок, типа личности и психологической составляющей.

Каким образом сокращение скелетной мышцы приводит к движению?



Рис. 25. Мышцы и кости действуют как система рычагов.

А – Мышцы-антагонисты, осуществляющие сгибание и разгибание предплечья

Опорно-двигательный аппарат действует как система рычагов.

Сокращающаяся мышца передает усилие костям через сухожилия. Если усилие достаточно, то при укорочении мышцы кости перемещаются. При сокращении мышца развивает только тянущее усилие, так что кости, к которым она прикреплена, по мере ее укорочения подтягиваются друг к другу. При этом может происходить **сгибание** конечности в суставе (флексия) или **разгибание** (экстензия) – выпрямление конечности (рис. 25А). В этих противоположно направленных движениях должны участвовать, по крайней мере, две разные мышцы – сгибатель и разгибатель. Мышечные группы, осуществляющие движения сустава в противоположных направлениях, называют **антагонистами**.

Как показано на рисунке 25А, при сокращении двуглавой мышцы плеча (*m. biceps*) рука сгибается в локтевом суставе, тогда как сокращение мышцы-антагониста – трехглавой мышцы плеча (*m. triceps*) заставляет руку разгибаться. Обе мышцы создают при сокращении только тянущее усилие по отношению к предплечью.

Группы мышц-антагонистов необходимы не только для сгибания и разгибания, но и для движения конечностей в стороны или для вращения. Некоторые мышцы при сокращении могут создавать 2 типа движения в зависимости от сократительной активности других мышц, действующих на ту же конечность. Например, при сокращении икроножной мышцы (*m. gastrocnemius*) нога сгибается в колене, например, во время ходьбы (рис. 25Б).



Рис. 25. Мышцы и кости действуют как система рычагов

Б – Сокращение икроножной мышцы приводит к сгибанию нижней конечности, когда четырехглавая мышца бедра расслаблена, или к разгибанию, когда последняя сокращается, не позволяя коленному суставу сгибаться.

Однако, если икроножная мышца сокращается одновременно с четырехглавой мышцей бедра (*m. quadriceps femoris*), которая выпрямляет ногу в голени, коленный сустав не может согнуться, так что движение возможно только в голеностопном суставе. Происходит разгибание стопы, т. е. человек приподнимается на кончиках пальцев ног – «встает на цыпочки».

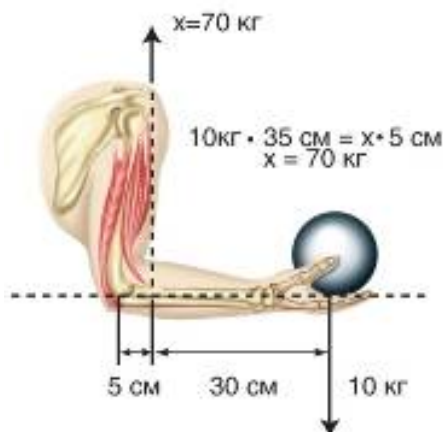


Рис. 25. Мышцы и кости действуют как система рычагов

В – Механическое равновесие сил, действующих на предплечье, когда рука держит груз 10 кг.

Мышцы, кости и суставы тела представляют собой системы рычагов. Принцип действия рычага можно проиллюстрировать на примере сгибания предплечья (рис. 25В): двуглавая мышца оказывает тянущее усилие, направленное вверх, на участок предплечья примерно на расстоянии 5 см от локтевого сустава. В рассматриваемом примере кисть руки удерживает нагрузку 10 кг, т. е. на расстоянии примерно 35 см от локтя действует направленная вниз сила величиной 10 кг. Согласно законам физики, предплечье находится в состоянии механического равновесия (т. е. суммарная сила, действующая на систему, равна нулю), когда произведение направленной вниз силы (10 кг) на расстояние от места ее приложения до локтя (35 см) равно произведению изометрического напряжения мышцы (X) на расстояние от нее до локтя (5 см). Итак, $10 \times 35 = 5 \times X$; отсюда $X = 70$ кг. Отметим, что работа этой системы механически невыгодна, поскольку сила, развиваемая мышцей, гораздо больше, чем масса удерживаемой нагрузки (10 кг).



Рис. 25. Мышцы и кости действуют как система рычагов

Г – Рычажная система руки действует как усилитель по отношению к скорости сокращения двуглавой мышцы плеча, увеличивая скорость перемещения кисти.

Система является также усилителем диапазона перемещений кисти (при укорочении мышцы на 1 см кисть перемещается на 7 см)

Однако механически невыгодные условия работы большинства механизмов мышечных рычагов компенсируются за счет повышения маневренности. На рисунке 25Г показано, что укорочению двуглавой мышцы на 1 см соответствует перемещение кисти на расстояние 7 см. Поскольку укорочение мышцы на 1 см и перемещение кисти на 7 см совершаются за одно и то же время, скорость движения кисти в 7 раз больше, чем скорость укорочения мышцы. Система рычагов играет роль усилителя, благодаря которому небольшие относительно медленные движения двуглавой мышцы преобразуются в более быстрые движения кисти. Так мяч, брошенный подающим игроком баскетбольной команды, летит со скоростью примерно 150—160 км/ч, хотя мышцы игрока укорачиваются во много раз медленнее.

А прыжок фигуриста с вращением в 2 или 4 оборота? Как координируется работа мышц при броске баскетбольного мяча в корзину?

Каким образом сокращение скелетной мышцы приводит к движению?

Регуляция двигательных функций обеспечивается за счет интеграции многих частей центральной и периферической нервной системы. Каждая из них играет важную роль в обеспечении как повседневных двигательных реакций, так и высокопрофессиональных спортивных навыков.

Основные компоненты двигательной функции:

1. Двигательная зона коры (формирует приблизительный план действий).
2. Подкорковые зоны (управляют сознательными движениями).
3. Мозжечок и базальные ядра (обеспечивают временную и пространственную точность выполнения движений).
4. Таламус (передающий центр).
5. Нейроны спинного мозга (проводящая система).
6. Двигательные концевые пластинки скелетной мышцы (рецепция и преобразование сигнала).
7. Мышечные рецепторы (рецепция и передача сигнала).
8. Проприорецепторы (коррекция ошибок).

При правильном функционировании всех перечисленных систем двигательная зона коры принимает импульсы из подкорковых участков и вместе с мозжечком инициирует и модифицирует (с помощью проприорецепции и зрительной информации) эфферентный сигнал определенной частоты и интенсивности. Когда этот сигнал достигает определенной скелетной мышцы, происходит движение. В дополнение к этому центральная нервная система контролирует нейроэндокринные реакции, поставляющие субстраты для энергетического метаболизма

Поэтому необходимо рассмотреть состояние этой проблемы к данному моменту.

6.4. Роль нервной системы в регуляции движений

Мы рассмотрели, как мышцы, развивая усилие, воздействуют на кости, к которым они прикреплены, производя, таким образом, движение. Этот процесс невозможен без участия нервной системы. Как скелет остается неподвижным до тех пор, пока мышцы не приложат усилие, так и мышцы не могут сокращаться до тех пор, пока их не возбуждает нервная система. Нервная система планирует, начинает и координирует все движения человека. Эта роль нервной системы – контроль движений человека

Нервная система влияет на всю физиологическую деятельность организма человека. Нервы образуют своеобразную сеть, по которой электрические импульсы передаются практически во все участки тела, а также принимаются из них. Головной мозг действует как компьютер, интегрируя поступающую информацию, подыскивая нужный ответ и затем инструктируя соответствующие части тела, как поступить. Таким образом, нервная система обеспечивает коммуникацию и координацию взаимодействий между всеми тканями организма, а также с внешним миром.

Основная единица нервной системы – нейрон. Обычный нейрон состоит из тела, или сомы, дендритов и аксона. Тело содержит ядро. От тела отходят отростки – дендриты и аксон. Сбоку по направлению к аксону клетка сужается, образуя аксонный холмик, который играет важную роль в передаче импульсов.

Нейроны содержат множество дендритов. Это – рецепторы нейронов. Большинство импульсов, поступающих в нерв из соседних нейронов, как правило, поступают в нейрон через дендриты и затем передаются телу нейрона. Наряду с этим нейроны, как правило, имеют лишь один аксон. Это нейромедиатор нейрона, передающий импульсы из тела клетки. Аксон разветвляется, образуя окончания, или терминальные фибриллы. Окончания аксона расширяются, образуя крошечные выпуклости, так называемые синаптические холмики. В них содержится множество пузырьков (мешочков), наполненных химическими соединениями – нейромедиаторами, обеспечивающими связь нейронов друг с другом (речь об этом пойдет далее).

Дендриты – ветвящиеся короткие отростки, воспринимающие сигналы от других нейронов, рецепторных клеток или непосредственно от внешних раздражителей. Дендрит проводит нервные импульсы к телу нейрона. *Аксоны* – длинный отросток, для проведения возбуждения от тела нейрона. Уникальными способностями нейрона являются: *способность генерировать электрические заряды – передавать информацию с помощью специализированных окончаний – синапсов.*

По функциям нейроны подразделяются на:

– эфферентные (рецепторные, чувствительные), передающие информацию от органов чувств в центральные отделы нервной системы;

- эфферентные (двигательные, моторные; лат. *effereus* – выносящий), посылающие импульсы к различным органам и тканям. Они находятся главным образом в передних рогах спинного мозга и в специализированных центрах головного мозга;

- вставочные (замыкательные, кондуктивные, промежуточные), служащие для переработки и переключения импульсов. ЦНС на 90 % состоит из вставочных нейронов.

Тела эфферентных нейронов находятся в ЦНС (или в симпатических и парасимпатических узлах). Их аксоны идут к рабочим органам (мышцам или железам). Различают 2 вида рабочих, или исполнительных, органов: анимальные – поперечно-полосатые (скелетные) мышцы и вегетативные – гладкие мышцы и железы. Соответственно этому имеются нервные окончания аксонов эфферентных нейронов двух типов: двигательные и секреторные. Первые (мотонейроны) оканчиваются на мышечных волокнах, образуя бляшки, которые в поперечно-полосатых мышцах представляют аксомышечные синапсы. Нервные окончания неисчерченной (гладкой) мышечной ткани образуют вздутия, в которых также содержатся синаптические пузырьки. Секреторные окончания контактируют с железистыми клетками.

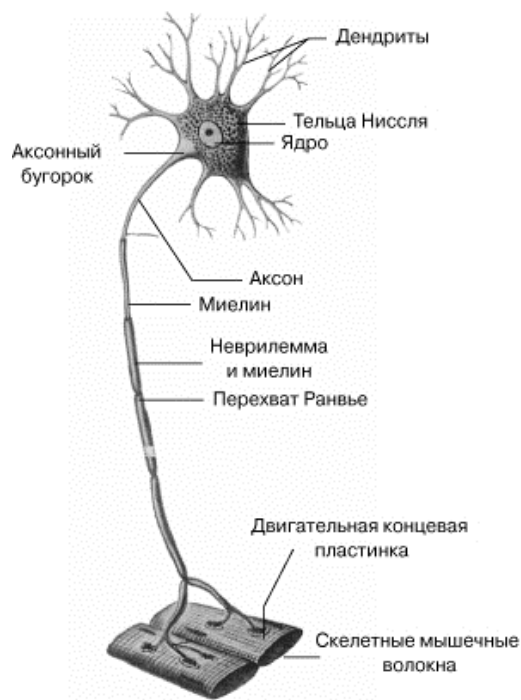


Рис. 26. Мотонейрон (двигательный нейрон)

Управление сократительной активностью мышцы осуществляется с помощью большого числа *мотонейронов* – нервных клеток, тела которых лежат в спинном мозге, а длинные ответвления – *аксоны* в составе двигательного нерва подходят к мышце (рис. 26). Войдя в мышцу, аксон разветвляется на множество веточек, каждая из которых подведена к отдельному волокну, подобно электрическим проводам, присоединенным к домам. Мотонейроны (нейроны эфферентные, двигательные, моторные).

Мотонейрон и мышечные волокна, которые он иннервирует, составляют двигательную единицу (рис. 27).

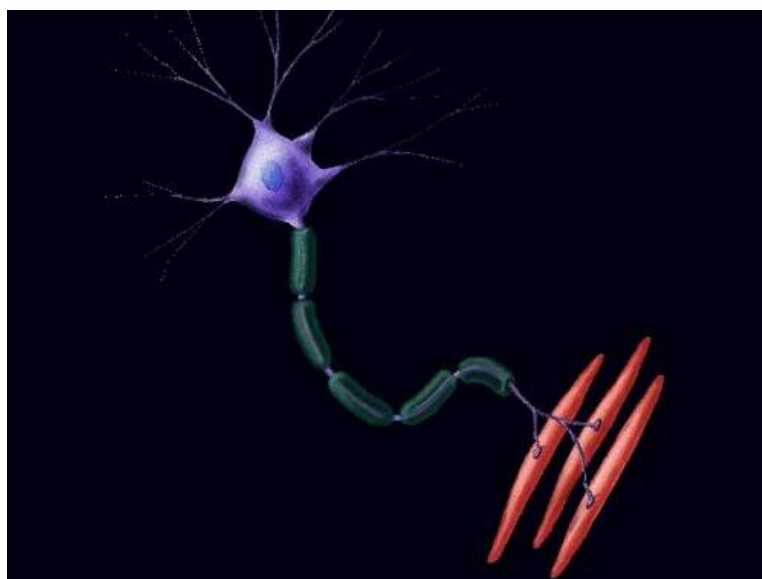


Рис. 27. Двигательная единица

Таким образом, один мотонейрон управляет целой группой волокон, которая работает как единое целое.

Двигательная единица (моторная единица) – группа мышечных волокон, иннервируемых одним двигательным нейроном, сочетание моторного нейрона и возбуждаемых им волокон мышцы.

Когда нейрон посылает сигнал, все мышечные волокна в такой единице отвечают одновременно. В крупных мышцах в 1 единице может быть до 2 тысяч волокон, тогда как в очень маленьких мышцах их всего 10—20. Сила мышечного сокращения зависит от того, сколько моторных единиц сокращается в ответ на импульсы от головного мозга, какие типы клеток вовлечены в сокращение и какое напряжение развивает каждая клетка. Изменяя число моторных единиц, вовлекаемых в работу данной мышцы, наше тело осуществляет тонкую настройку мышечной силы, требующейся ему в разных ситуациях постоянно меняющейся повседневной жизни.

При подходе аксона к поверхности мышечного волокна миелиновая оболочка заканчивается, и он образует терминальную часть (нервное окончание) в виде нескольких коротких отростков, располагающихся в желобках на поверхности мышечного волокна (аксон мотонейрона разделяется на множество ветвей, каждая из которых образует одно соединение с мышечным волокном). Таким образом, один мотонейрон иннервирует много мышечных волокон, но каждым мышечным волокном управляет ветвь только от одного мотонейрона. Мышечные волокна одной двигательной единицы находятся в одной и той же мышце, но не в виде компактной группы, а рассеяны по ней. Когда в мотонейроне возникает потенциал действия, все они получают стимул к сокращению.

Мышцы, контролирующие выполнение тонких движений (например, движения глаз), имеют небольшое количество мышечных волокон на один двигательный нейрон. В мышцах, имеющих более общие функции, содержится много волокон на двигательный нейрон. Мышечные волокна определенной двигательной единицы гомогенны относительно типа волокна. Следовательно, вы не найдете двигательную единицу, содержащую как быстро, так и медленно сокращающиеся волокна. Считается, что характеристики двигательного нейрона определяют тип волокна в данной двигательной единице.

Что такое двигательная единица?

Двигательная единица состоит из α -мотонейрона и всех иннервируемых им мышечных волокон. Все волокна одной двигательной единицы относятся к одному типу (БОГВ, МОВ или БГВ).

Дайте определение понятия «коэффициент иннервации».

Коэффициент иннервации показывает, сколько мышечных волокон иннервируется одним α -мотонейроном. Низкий коэффициент означает, что один нейрон иннервирует лишь несколько волокон. Такие мотонейроны контролируют тонкую моторику, поскольку активация двигательных единиц в различных сочетаниях обеспечивает плавно изменяющиеся сокращения. Более высокий коэффициент иннервации означает, что один нейрон иннервирует большое количество мышечных волокон.

В соответствии с законом «все или ничего» надпороговая стимуляция такого нейрона вызывает сокращение всех иннервируемых им волокон. Высокий коэффициент иннервации поддерживает сильные сокращения ценой потери точности. Стимулируя различные – по виду и по количеству – двигательные единицы, ЦНС может вызывать разнообразные мышечные движения.

Мышцы, контролирующие движения глаз (экстраокулярные мышцы), имеют коэффициент иннервации 1:15, что означает, что 1 нейрон обслуживает всего 15 мышечных волокон. Наоборот, икроножная и передняя большеберцовая мышцы имеют коэффициент иннервации порядка 1:2 000.

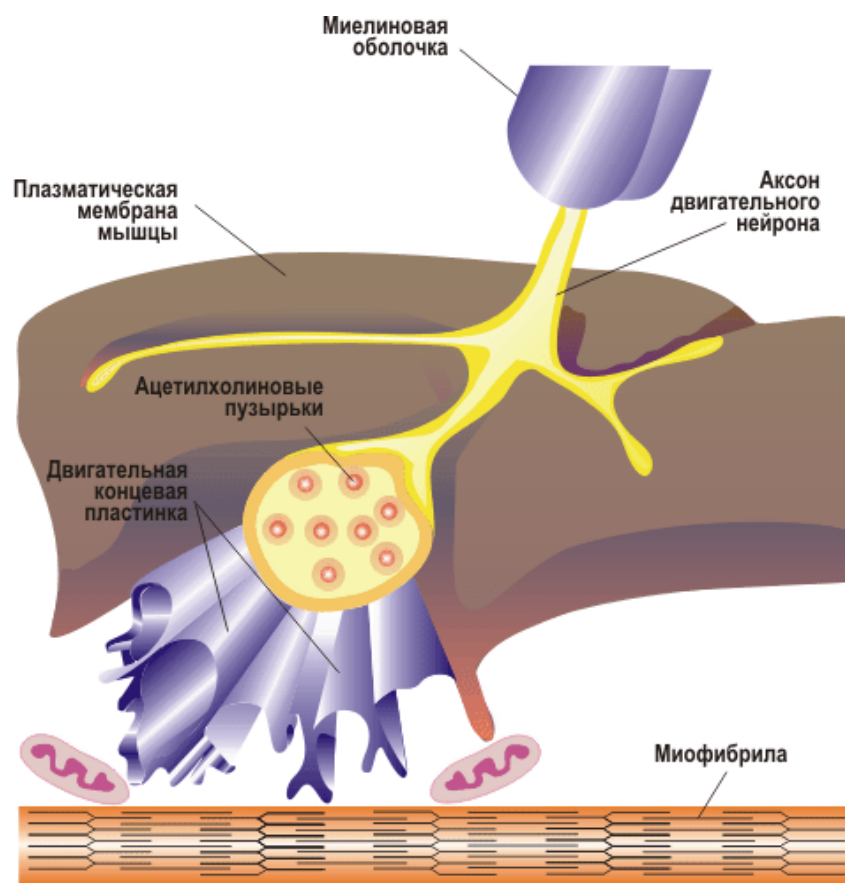


Рис. 28. Нервно-мышечное соединение, нервно-мышечный синапс

Если связь между нейронами осуществляется с помощью синапсов, то их связь с мышечными волокнами происходит в нервно-мышечном соединении. Нервно-мышечное соединение выполняет ту же функцию, что и синапс, включает пресинаптическое окончание аксона, синаптическую щель и рецепторы на сарколемме мышечного волокна. В нервно-мышечном соединении импульс принимает мышечное волокно.

При подходе аксона к поверхности мышечного волокна миелиновая оболочка заканчивается, и он образует терминальную часть (нервное окончание) в виде нескольких коротких отростков, располагающихся в желобках на поверхности мышечного волокна. Область плазматической мембраны мышечного волокна, лежащая непосредственно под нервным окончанием, обладает особыми свойствами и называется **двигательной концевой пластинкой**.

Структура, состоящая из нервного окончания и двигательной концевой пластинки, – это **нервно-мышечное соединение** (нервно-мышечный синапс) (рис. 28). Синаптическая мембрана аксона и постсинаптическая мембрана мышечного волокна разделены синаптической щелью. В этой области мышечное волокно не имеет поперечной исчерченности, характерно скопление митохондрий и ядер. Терминали аксонов содержат большое количество митохондрий и синаптических пузырьков с медиатором ацетилхолином.

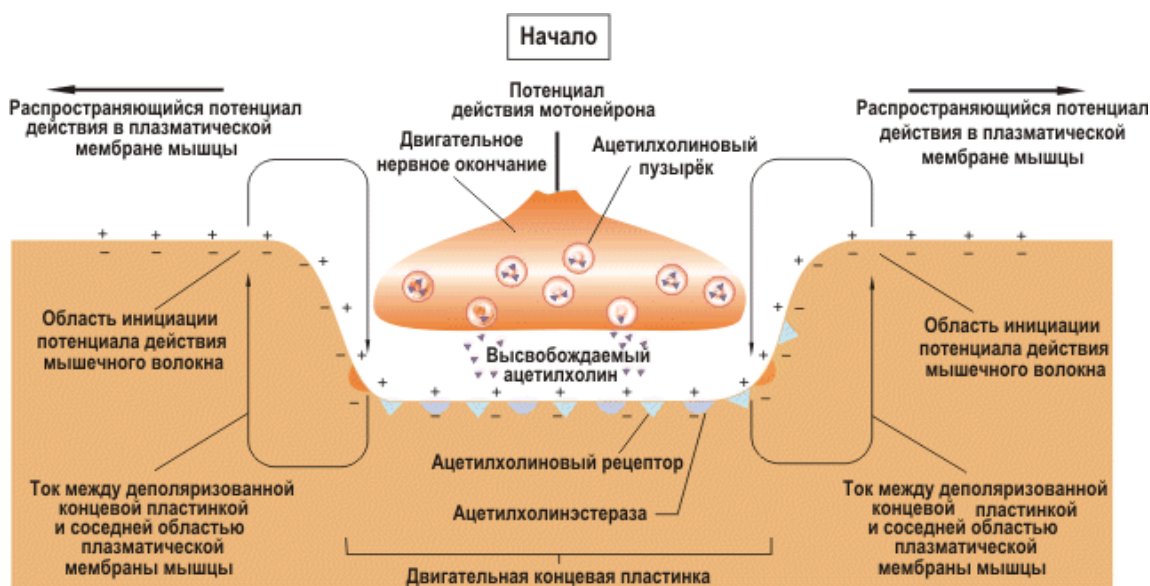


Рис. 29. Генерирование потенциала действия в плазматической мембране мышечного волокна

События в нервно-мышечном соединении, приводящие к генерированию потенциала действия в плазматической мембране мышечного волокна, представлены на рисунке 29.

Когда моторный нейрон активизирован, он выпускает медиатор ацетилхолин в нейромышечном соединении. Ацетилхолин распространяется по нему и достигает рецепторов на мышечной мембране. Это заставляет натрий быстро проникать в мышечную мембрану, а калий – немедленно покидать ее – процесс деполяризации мышечной мембраны. Когда эта мембрана деполяризована, открываются каналы кальция в мышце. Так кальций проникает во внутриклеточное пространство мышцы. Кальций связывается с белком тропонином на актиновой нити (представьте себе тропонин контрольно-пропускным пунктом между миозиновыми и актиновыми нитями. Тропонин блокирует движение миозина и актина, когда находится в покое). И тогда с помощью АТФ миозиновые и актиновые нити могут скользить мимо друг друга. Это вызывает сокращение мышцы – удивительно сложный процесс, начинающийся с сигнала моторного нейрона. Важно, что большинство нервно-мышечных соединений расположены в срединной части мышечного волокна, откуда возникший потенциал действия распространяется к обоим его концам. Таким образом, каждый потенциал действия мотонейрона, как правило, вызывает потенциал действия в каждом мышечном волокне своей двигательной единицы.

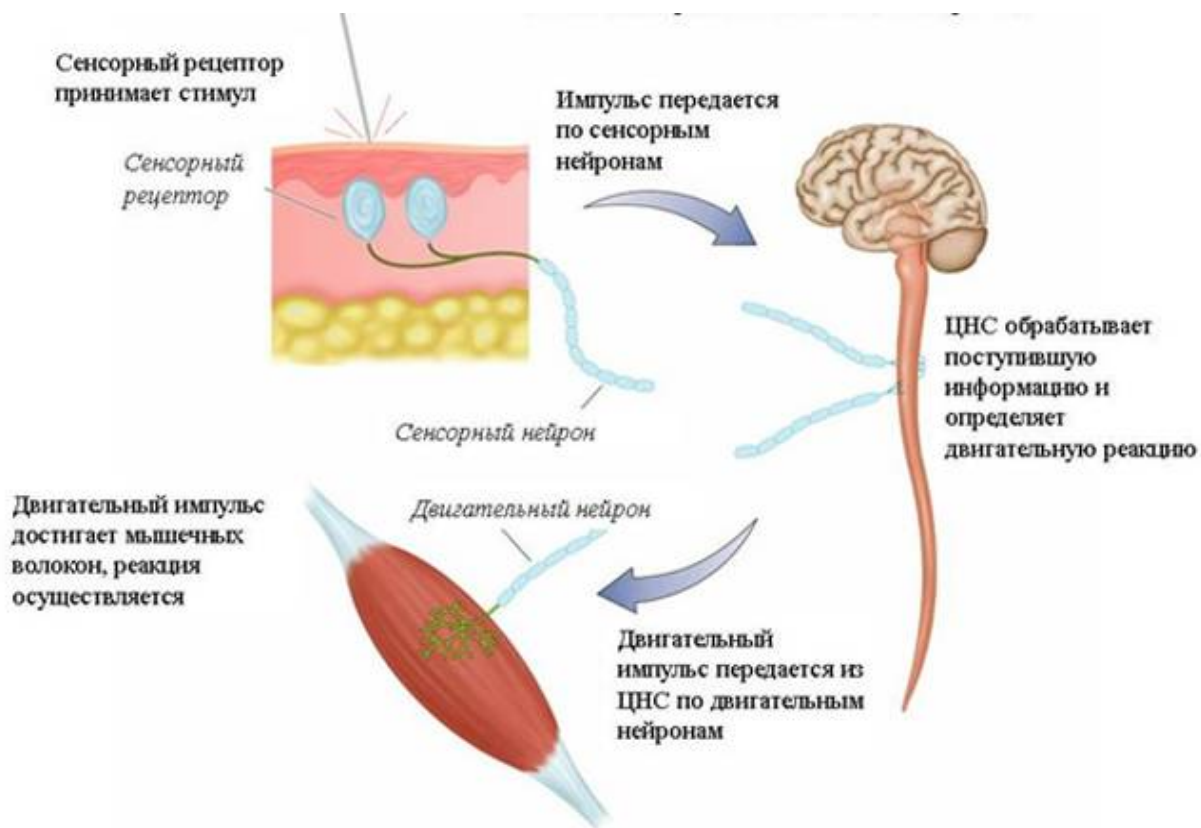


Рис. 30. Сенсорно-двигательная интеграция

Как происходит управление движениями?

Сокращая мышцы, мы изменяем положение частей тела, т. е. производим движение. В двигательной деятельности человека различают *непроизвольные движения*, происходящие без участия сознания и представляющие собой безусловные рефлексы, либо автоматизированные двигательные навыки, а также произвольные движения – сознательно управляемые целенаправленные действия. Произвольные движения человека сознательно управляются (контролируются) нервной системой посредством механизма сенсорно-двигательной интеграции. Любое движение можно рассматривать как двигательную реакцию на определенный внешний или внутренний стимул.

Что понимается под термином «сенсорно-двигательная интеграция»?

Сенсорно-двигательная интеграция – это:

- механизм, посредством которого нервная система управляет (контролируют) произвольные движения человека;
- взаимодействие сенсорного и двигательного отделов нервной системы, в результате чего осуществляется выполнение двигательных реакций;
- процесс последовательного функционирования сенсорного и двигательного отделов нервной системы, чтобы тело прореагировало на сенсорный стимул;
- процесс последовательного взаимодействия сенсорного и двигательного отделов нервной системы, в результате чего осуществляется управление (контроль) движениями человека.

Сенсорно-двигательная интеграция представляет собой процесс, посредством которого ПНС передает сенсорный импульс ЦНС, где он интерпретируется, после чего посылается в соответствующий двигательный сигнал, направленный на то, чтобы вызвать необходимую двигательную реакцию.

Процесс, который называется сенсорно-двигательной интеграцией, показан на рисунке 30. Чтобы тело прореагировало на сенсорный стимул, сенсорный и двигательный отделы нервной системы должны функционировать вместе в такой последовательности событий:

- 1) сенсорные рецепторы принимают сенсорный стимул;
- 2) сенсорный импульс передается по сенсорным нейронам в ЦНС;
- 3) ЦНС обрабатывает поступившую сенсорную информацию и определяет наиболее подходящую реакцию на нее;
- 4) сигналы реакции передаются из ЦНС по двигательным нейронам;
- 5) двигательный импульс передается мышце и реакция осуществляется.

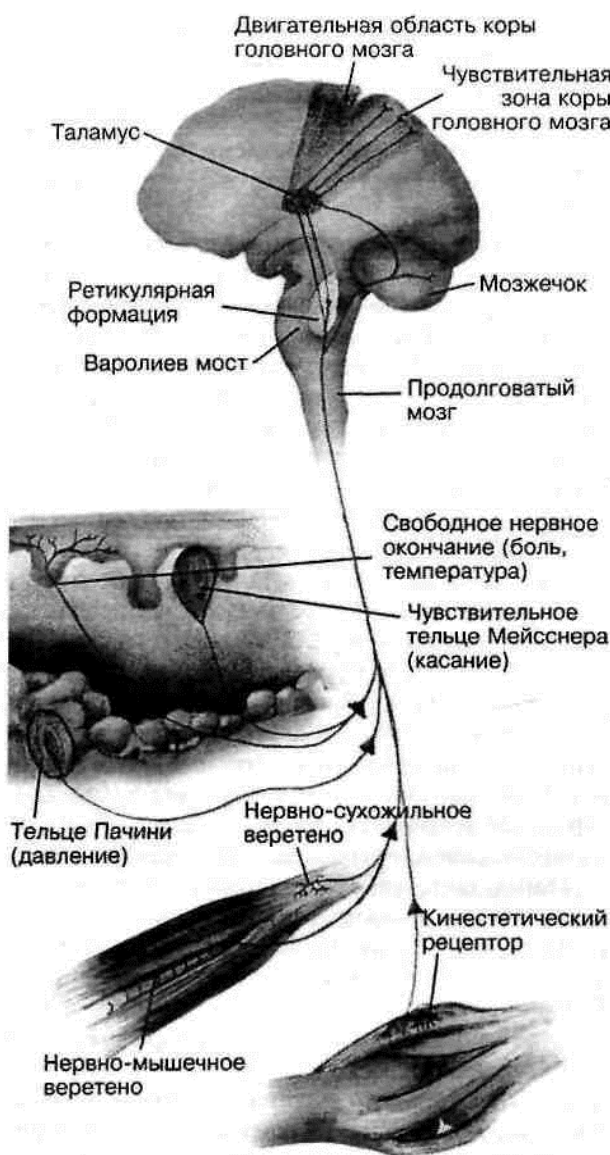


Рис. 31. Чувствительные рецепторы и пути к спинному и головному мозгу

Сенсорный импульс

Ощущения и физиологический статус организма определяют сенсорные рецепторы. Импульсы вследствие сенсорного стимулирования передаются через сенсорные нервы в спинной мозг. Достигнув его, они «включают» локальный рефлекс на данном уровне или идут в более высокие участки спинного мозга или в головной мозг. Сенсорные пути к головному мозгу могут прерываться в сенсорных участках ствола мозга, в мозжечке, таламусе или коре головного мозга. На рисунке 31 показаны сенсорные рецепторы, а также их нервные пути к спинному мозгу и различным участкам головного мозга.

Функции **интеграционных центров** различны:

- сенсорные импульсы, которые прерываются (заканчиваются) в спинном мозге, здесь и интегрируются. Реакцией обычно является простой двигательный рефлекс, представляющий собой наипростейший тип интеграции;

- сенсорные импульсы, заканчивающиеся в нижней части ствола мозга, вызывают подсознательные двигательные реакции более высокого уровня и более сложные, чем рефлексы спинного мозга, контроль при передвижении, пребывании в положении сидя или стоя;

- сенсорные импульсы, которые заканчиваются в мозжечке, также участвуют в реализации подсознательного контроля движения. Это центр координации, делающий наши движения более плавными, координируя действия различных сокращающихся мышечных групп. Мозжечок вместе с базальными ядрами головного мозга координирует все тонкие и грубые движения тела. Без контроля со стороны мозжечка все выполняемые движения были бы нескоординированными и неконтролируемыми;

- сенсорные сигналы, заканчивающиеся в таламусе, достигают уровня сознания, и человек начинает различать все возможные ощущения;

- когда сенсорные сигналы попадают в кору головного мозга, человек может дискретно локализовать сигнал. **Основная чувствительная зона коры головного мозга, расположенная в постцентральной извилине (в теменной доле)**, принимает общие сенсорные импульсы от рецепторов кожи, а также проприорецепторов мышц, сухожилий и суставов. В этом участке имеется «карта» всего тела. Стимулирование в определенном участке распознается, и его точное нахождение сразу же становится известным. Таким образом, эта часть головного мозга постоянно обеспечивает нас информацией обо всем, что нас окружает, и о нашей взаимосвязи с окружающей средой.

Двигательный контроль

После поступления в ЦНС сенсорного импульса сразу же возникает реакция двигательного нейрона, независимо от уровня, на котором «остановился» импульс. Контроль скелетных мышц осуществляют импульсы, проводимые двигательными (эфферентными) нейронами, которые берут начало в одном из трех уровней: 1) спинном мозге; 2) нижних участках головного мозга; 3) двигательном участке коры головного мозга.

По мере перемещения уровня осуществления контроля от спинного мозга к двигательной области коры головного мозга увеличивается сложность движений от простых рефлексов к усложненным движениям, выполнение которых

требует участия мыслительных процессов. Двигательные реакции более сложных движений, как правило, берут свое начало в двигательной зоне коры головного мозга. Некоторые двигательные пути показаны на рисунке 32.



Рис. 32. Двигательные пути нервной системы

Теперь мы можем связать воедино две системы на основании сенсомоторной интеграции. Простейшей ее формой является рефлекс, с него мы и начнем.

Рефлекторная деятельность. Рефлексы представляют собой простейшую форму нервной интеграции. Рефлекс представляет собой заранее запрограммированную реакцию. В любой момент при передаче сенсорными нервами особых импульсов ваше тело реагирует мгновенно и одинаково. К тому времени, когда вы осознанно ощутите особый стимул, после того как сенсорные импульсы будут переданы в чувствительную зону коры головного мозга, рефлекторная деятельность, скорее всего, завершится. Вся нервная деятельность протекает очень быстро, однако рефлекс – наиболее быстрый режим реакции, поскольку не требует принятия решения. Возможна лишь одна реакция – нет необходимости рассматривать варианты. Рассмотрим два рефлекса, которые помогают контролировать мышечную функцию.

Первый из них включает особую структуру – нервно-мышечное веретено.

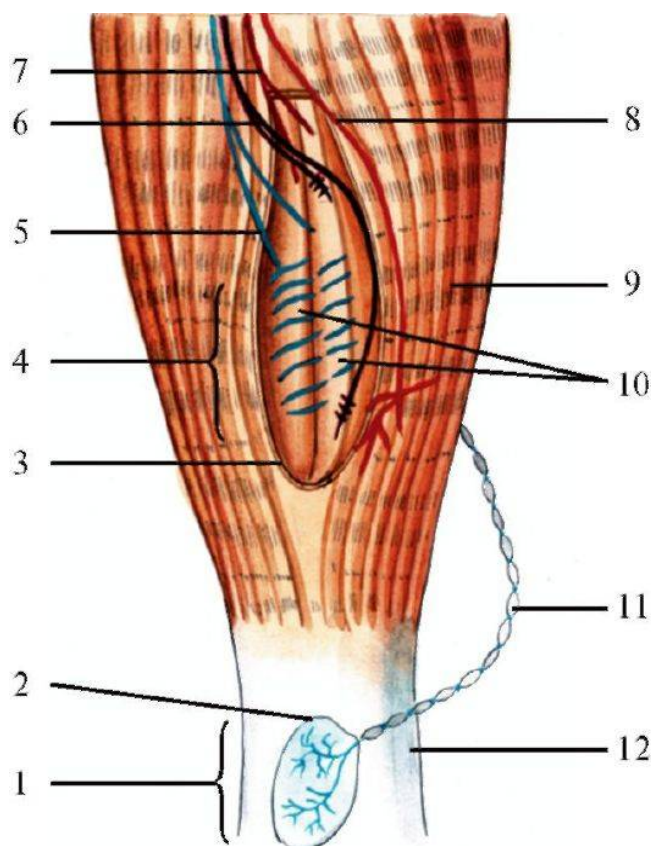


Рис. 33. Нервно-мышечное веретено. Нервно-сухожильное веретено

1 – Сухожильный орган Гольджи; 2 – капсула; 3 – соединительная капсула; 4 – мышечное веретено; 5 – первичное чувствительное окончание (волокна Ia типа); 6 – вторичное чувствительное окончание (волокна II типа); 7 – гамма-эфферентное двигательное волокно к интрафузальным мышечным волокнам; 8 – альфа-эфферентное двигательное волокно к экстрафузальным мышечным волокнам; 9 – экстрафузальные мышечные волокна; 10 – интрафузальные мышечные волокна; 11 – чувствительное волокно; 12 – сухожилие.

Нервно-мышечные веретена

Нервно-мышечные веретена (рис. 33) находятся между обычными волокнами скелетной мышцы, так называемыми экстрафузальными (снаружи веретена) волокнами. Нервно-мышечное веретено состоит из 20–24 маленьких особых мышечных волокон, которые называются интрафузальными (внутри веретена), и нервных окончаний (сенсорных и двигательных, связанных с ними). Оболочка соединительной ткани окружает нервно-мышечные веретена и прикрепляется к внутреннему слою экстрафузальных волокон. Интрафузальные волокна контролируются специальными двигательными нейронами – гамма-двигательными нейронами. Альфа-двигательные нейроны контролируют экстрафузальные (обычные) волокна.

Центральный участок интрафузального волокна не может сокращаться, так как не содержит или содержит очень мало актиновых и миозиновых филаментов. Следовательно, этот участок **может только растягиваться**. Поскольку нервно-мышечное веретено прикреплено к экстрафузальным волокнам, в любой момент, когда растягиваются эти волокна, растягивается и центральный участок веретена.

Чувствительные нервные окончания, окутывающие этот центральный участок нервно-мышечного веретена, сообщают в спинной мозг информацию о его растяжении, информируя ЦНС о длине мышцы. В спинном мозге сенсорный нейрон взаимодействует с альфа-двигательным нейроном, который вызывает рефлекторное мышечное сокращение экстрафузальных волокон, противодействующее дальнейшему растяжению.

Гамма-двигательные нейроны возбуждают интрафузальные волокна, предварительно слегка их растягивая. Если центральный участок этих волокон не может сокращаться, то их концы могут. Гамма-двигательные нейроны вызывают незначительное сокращение окончаний интрафузальных волокон, что приводит к незначительному растяжению центрального участка. Это предварительное растяжение обеспечивает высокую чувствительность нервно-мышечного веретена даже к очень незначительному растяжению.

Нервно-мышечное веретено способствует нормальному мышечному сокращению. При стимулировании альфа-двигательных нейронов на сокращение экстрафузальных мышечных волокон гамма-двигательные нейроны также оказываются активизированными и возбуждают окончания интрафузальных волокон. Это приводит к растяжению центрального участка нервно-мышечного веретена и направлению сенсорных импульсов в спинной мозг и затем к двигательным нейронам. В ответ мышца сокращается. Таким образом, нервно-мышечные веретена способствуют мышечному сокращению.

Информация, поступившая в спинной мозг от сенсорных нейронов, связанных с нервно-мышечными веретенами, не обязательно остается на этом уровне. Импульсы также направляются в более высокие отделы ЦНС, обеспечивая головной мозг информацией о точной длине и степени сокращения мышцы, а также степени их изменений. Эта информация необходима для поддержания мышечного тонуса, позы и выполнения движений. Прежде чем головной мозг «скажет» мышце, что делать, он должен знать, что она делает в настоящий момент.

Нервно-сухожильные веретена

Нервно-сухожильные веретена представляют собой сенсорные рецепторы, через которые проходит небольшой пучок мышечно-сухожильных волокон. Они расположены проксимально ее места прикрепления сухожильных волокон к мышечным (рис. 33). Около 5–25 мышечных волокон, как правило, соединены с каждым нервно-сухожильным веретеном. Если нервно-мышечные веретена следят за длиной мышцы, то эти структуры чувствительны к напряжению в мышечно-сухожильном комплексе и действуют подобно тензиометру. Их чувствительность настолько высока, что они могут реагировать на сокращение отдельного мышечного волокна. По сути, они являются тормозными и выполняют защитную функцию, снижая вероятность травмы. При стимулировании они тормозят сократительные (агонисты) мышцы и возбуждают антагонистические.

По мнению некоторых ученых, уменьшение влияния нервно-сухожильных веретен приводит к растормаживанию активных мышц, обеспечивая более мощное их сокращение. Этот механизм объясняет, по крайней мере частично, прирост мышечной силы вследствие тренировок силовой направленности.

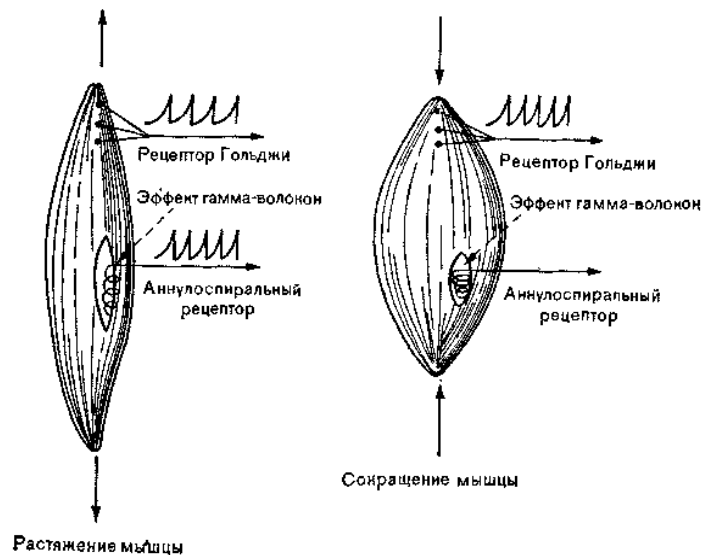


Рис. 34. Схема активации проприоцепторов

Нервно-сухожильные и нервно-мышечные веретена представляют собой сенсорные рецепторы – классические представители проприоцепторов (рис. 34). Аннулоспиральный рецептор – нервно-мышечное веретено – разряжается только при растяжении мышцы, а рецептор Гольджи – нервно-сухожильное веретено – с более высоким порогом, отвечает и на растяжение, и на сокращение. Механизм гамма-эфферентов контролирует только аннулоспиральные рецепторы.

Высшие центры головного мозга

Рефлексы представляют собой простейшую форму нервной интеграции. Однако большинство движений включает контроль и координацию со стороны высших центров головного мозга, а именно: двигательной области коры головного мозга, базальных ядер, мозжечка.

Высший уровень сенсорно-двигательной (сенсомоторной) интеграции

- Двигательная область коры головного мозга
- Базальные ядра
- Мозжечок

Выясним некоторые функции каждого из них.

Двигательная область коры головного мозга осуществляет контроль тонких и разрозненных мышечных движений. Она находится в лобной доле в передней центральной извилине. Находящиеся здесь нейроны, так называемые пирамидальные, позволяют нам сознательно контролировать движения скелетных мышц. Двигательная область коры головного мозга представляет собой часть головного мозга, которая решает, какое движение вы хотите выполнить. Участки, требующие тончайшего двигательного контроля, в большей степени представлены на ней, тем самым обеспечивается большой нервный контроль.

Тела пирамидных нейронов находятся в двигательной области коры головного мозга, и их аксоны образуют экстрапирамидные пути. Это так называемые корково-спинномозговые пути, поскольку нервные процессы проходят от коры головного мозга до спинного мозга без переключения. Эти пути обеспечивают главный произвольный контроль скелетных мышц.

Базальные ядра. Базальные ядра не являются частью коры головного мозга. Они находятся в белом веществе, глубоко под корой головного мозга. Базальные ядра представляют собой скопления нейронов. Сложные функции их изучены недостаточно; известна их важная роль в инициации движений продолжительного или повторяющегося характера (таких, как движения рук при ходьбе), следовательно, они контролируют сложные полупроизвольные движения, например, ходьбу и бег. Кроме того, они участвуют в поддержании мышечного тонуса и позы.

Мозжечок. Мозжечок играет важнейшую роль в контроле всех быстрых и сложных видов мышечной деятельности. Он помогает синхронизировать двигательную деятельность и быстрый переход от одного движения к другому, следя и внося необходимые изменения в двигательную деятельность, вызванную другими участками головного мозга. Мозжечок содействует функционированию как двигательной области коры головного мозга, так и базальных ядер. Он «смягчает» структуру движений, в противном случае они бы были резкими и не координируемыми.

Мозжечок выполняет роль интеграционной системы, сравнивая запрограммированную деятельность с происходящими в организме изменениями и производя затем соответствующие корректирующие действия с помощью двигательного отдела. Он получает информацию из головного мозга и от проприорецепторов, находящихся в мышцах и суставах, которые сообщают о положении, занимаемом в данный момент телом. Кроме того, мозжечок получает зрительные импульсы и импульсы о равновесии. Следовательно, он обрабатывает всю поступающую информацию о напряжении и положении всех мышц, суставов и сухожилий, а также положении тела относительно окружающих условий и затем определяет наилучший план действий, направленный на выполнение необходимого движения. Таким образом, в мозжечке формируется и при необходимости корректируется программа выполнения произвольного движения.

Двигательная программа (энграмма)

При освоении любого движения – новой двигательной программы – в первое время необходима высокая концентрация внимания. По мере изучения движения необходимость значительной концентрации внимания снижается. Наконец, когда вы овладеваете этим действием, вы можете произвести его практически без сознательного усилия. Как это достигается? Выработанные структуры движений «хранятся» в мозге и при необходимости могут быть воспроизведены. Эти структуры, называемые двигательными программами, или энграммами, хранятся в сенсорном и двигательном отделах мозга. В сенсорном отделе хранятся структуры более медленных движений, двигательном – быстрых. В настоящее время сведений об энграммах и о механизмах их действия недостаточно.

Энграмма (греч. *έν* – пребывание в каком-либо состоянии или действии + греч. *γράμμα* – все написанное, запись), «внутренняя запись» (англ. *engram* – совокупность изменений в нервной ткани, обеспечивающих сохранение результатов воздействия действительности на человека; физиологическая основа памяти).

Существуют два вида энграмм:

- образы (отображение статической структуры объекта);
- модели действий (программы).

Двигательная программа (энграмма): запечатленные двигательные программы, которые хранятся в сенсорном и двигательном отделах головного мозга и могут быть воспроизведены при необходимости.

В результате активации генома и синтеза специфических белков в первую очередь в мембранах нервных клеток в процессе обучения формируется структурно-функциональное объединение нейронов различных структур мозга, представляющее собой энграмму памяти. С позиций теории функциональных систем такая энграмма в первую очередь строится на структурной основе аппарата акцептора результата действия. Энграмма представляет ансамбль нейрональных и глиальных элементов, объединенных синаптическими механизмами. Такое динамическое объединение строится за счет экспрессии геномом отдельных клеток определенных белковых молекул – адгезинов, или коннектинов, которые встраиваются в специальные области мембран нейронов. Именно эти идентичные по молекулярным свойствам белковые молекулы увеличивают чувствительность нейронов к приему той или иной информации, которая первично вызывала экспрессию этих белков.

Вопрос о структурной организации энграммы до сих пор остается открытым. Нейропсихологи проводят исследования в поисках локализации энграммы памяти. Это позволило ряду авторов сформулировать голографическую гипотезу памяти. Много гипотез и мало реальных открытий.

Упорядоченное рекрутирование мышечных волокон.

Большинство ученых считают, что двигательная (нервно-мышечная) активность дифференцируется на основании фиксированного упорядоченного рекрутирования двигательных единиц. Чем больше сила, необходимая для выполнения определенного движения, тем больше вовлекается двигательных единиц; при выполнении определенной (однотипной) деятельности всегда рекрутируются одни и те же двигательные единицы.

Упорядоченное рекрутирование мышечных волокон:

принцип размера;

кодирование нервной стимуляции движений

Что такое принцип размера?

Механизм, который хотя бы частично позволяет объяснить это упорядоченное рекрутирование, основан на **принципе размера**, согласно которому вовлечение двигательной единицы непосредственно связано с размером двигательного нейрона. Первыми рекрутируются двигательные единицы, имеющие небольшие двигательные нейроны. Поскольку медленно сокращающиеся двигательные единицы имеют небольшие двигательные нейроны, они рекрутируются первыми для выполнения дифференцированного движения (от низкой до очень высокой интенсивности производства усилия). Затем, с увеличением силы, необходимой для выполнения движения, рекрутируются быстро сокращающиеся двигательные единицы.

Это связано с тем, что подключение мышечных волокон к работе зависит от силы стимуляции мотонейроном. Минимальная частота стимуляции, при которой волокно сокращается максимально, называется порогом возбуждения (раздражения). Минимальный порог возбуждения имеют медленно сокращающиеся волокна (10—15 Гц); у быстро сокращающихся волокон порог возбуждения в 2 раза выше, чем у медленно сокращающихся волокон. Все типы мышц вовлекаются в работу при высокой частоте раздражения – около 45—55 Гц.

Что такое кодирование нервной стимуляции движений?

Кодирование нервной стимуляции обеспечивает различные варианты сокращения скелетной мышцы и, следовательно, различные типы движений. Центральная нервная система кодирует движение посредством выбора наиболее подходящей двигательной единицы, подключения дополнительных двигательных единиц для увеличения силы сокращения (пространственная суммация), а также дополнительной стимуляции одних и тех же двигательных единиц (временная суммация). Кодирование дает возможность одной и той же мышце выполнять как тонкие и точные, так и мощные и грубые движения.

Многим исследователям не совсем понятно, как можно применить данные принципы к большинству спортивных движений, поскольку он рассматривается только при выполнении дифференцированных движений, представляющих относительную интенсивность мышечного сокращения менее 25 %. При выполнении многих движений, например, спринт или рывок в тяжелой атлетике, необходимо почти мгновенное включение преимущественно или только быстрых мышечных волокон.

Исследователи активно занимаются построением теоретических моделей развития основных пространственно-временных форм траектории движения на основе сложных математических методологий. Это необходимо не только в физиологии спорта высших достижений, но и в современной неврологии для разработки методов восстановления мышечной активности после перенесенных нарушений мозгового кровообращения... Процесс продолжается и ожидается много новых интересных находок и достижений.

Заключение

Подводя предварительные итоги, нельзя не заметить значительные достижения в изучении физиологии физической активности. Прежде всего, достижения на микроуровне: хорошо изучены сложные механизмы сокращения мышечного волокна и особенности энергообеспечения этого процесса. Но на макроуровне (т. е. на уровне целого организма) пока всё ещё преобладают интересные теории над реальными достижениями. Однако растущие потребности медицины (особенно в кардиологии и неврологии) и спорта высших достижений активно продвигают научные исследования в этой сфере.

Вопросы для самостоятельного контроля

1. Физическая нагрузка. Физическая активность. Цели и задачи физиологии физической нагрузки.
2. Скелетная мышца. Характеристика структурной единицы мышечной ткани скелетной мышцы. Саркомер. Взаимодействие актина и миозина. Функция кальция в скелетных мышцах. Теория скользящих нитей.
3. Сопряжение возбуждения и сокращения скелетной мышцы (электромеханическое сопряжение). Функции АТФ в процессе сокращения скелетной мышцы. Роль АТФ в цикле поперечных мостиков.
4. Основные пути ресинтеза АТФ в мышечных волокнах. Дефицит кислорода. Кислородный долг.
5. Характеристика (скорость укорочения и тип метаболизма) волокон скелетных мышц разного типа (1 а, 11а, 11б).
6. Характеристика энергетического пути, используемого во время кратковременной интенсивной физической нагрузки.
7. Характеристика энергетического пути, используемого во время продолжительной физической нагрузки.
8. Двигательная единица. Понятия «коэффициент иннервации», «низкий коэффициент иннервации», «высокий коэффициент иннервации». Понятие термина «сенсорно-двигательная интеграция».
9. Роль проприоцепторов нервно-мышечного веретена и нервно-сухожильного веретена в регуляции движения, механизмы их активация.
10. Центры головного мозга, которые обеспечивают высший уровень сенсорно-двигательной (сенсомоторной) интеграции.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Физиология человека: в 3-х томах / пер с англ. / под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. – М.: Мир. 1996. – Т. 1. Глава 4. Мышцы . – С. 69–87; Т. 3. Глава 26. Физиология труда. – С. 688–709.
2. Рафф Г. Секреты физиологии / пер с англ. – М.; СПб.: «Издательство БИНОМ», «Невский диалект», 2001. – Глава 8. Физиология физической нагрузки и биоэнергетика мышечного сокращения. – С. 313–356.
3. Уилмор Дж. К., Костил Д. Л. Физиология спорта и двигательной активности. – М.: Олимпийская литература, 2001. – 506 с.

Лекция 7

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Е. В. Немеров

Введение

Принципиальным является вопрос о том, любая ли физическая активность несет оздоровительный эффект? Ведь известно немало примеров, когда неправильно организованные занятия бегом могут завершиться бегом не от инфаркта, а напротив, к нему, занятия штангой или атлетизмом – заболеваниями сердечно-сосудистой системы и т. д. В других случаях занятия спортом, оказывая прекрасное влияние на отдельные показатели здоровья и отдельные физические качества, достигаются достаточно высокой «ценой». А цена эта – снижение неспецифической резистентности организма, рост простудных заболеваний, чрезмерное напряжение механизмов регуляции, патологические или предпатологические изменения в различных органах и системах. Знания о механизмах адаптации к физическим нагрузкам дают возможность глубже понять роль и влияние двигательной активности на организм, суть основных принципов физической тренировки, что позволяет рационально использовать ее для сохранения и укрепления здоровья. Поэтому физиологические реакции на физическую нагрузку (ФН) выражаются в терминах – адаптация (рис. 1).

Физиологические реакции на физическую нагрузку

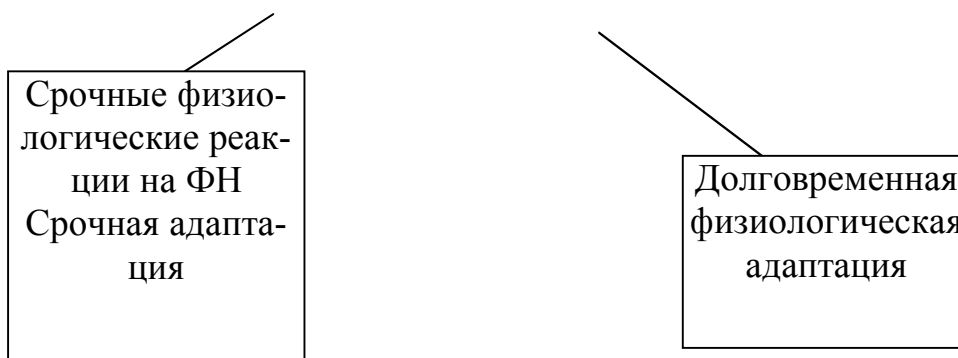


Рис. 1. Физиологические реакции на физическую нагрузку

Известно, что адаптация – это процесс приспособления организма к изменяющимся условиям внешней среды. В основе приспособления лежат разнообразные морфофизиологические преобразования в организме, в связи с чем повышаются его энергетические резервы, рабочие и приспособительные возможности. Это ведет к повышению сопротивляемости внешним воздействиям и позволяет организму существовать в более суровых условиях.

Процесс адаптации включает 2 этапа:

- первый этап срочной адаптации;
- второй этап устойчивой и долговременной адаптации.

Срочная адаптация к ФН – это немедленный ответ организма в виде усиления функции той или иной системы на действие ФН без существенных морфологических изменений. Это функциональная адаптация. В случае сильного воздействия и недостаточной к нему подготовленности организму приходится функционировать на пределе своих возможностей, поэтому он не всегда способен успешно справляться с возникающими нагрузками. Подобное нередко бывает, когда к участию в спортивных соревнованиях, в физкультурно-оздоровительных мероприятиях, к сдаче нормативов по физической культуре допускаются слабо подготовленные или вовсе неподготовленные лица. Если воздействие значительно превышает функциональные возможности, то срочная адаптация может закончиться срывом или даже повреждением организма. Например, у недостаточно подготовленного спортсмена или физкультурника даже относительно небольшая нагрузка может привести к перенапряжению миокарда и развитию острой сердечной недостаточности.

Следует отметить, что всегда при достаточно сильном воздействии срочная адаптация сопровождается стресс-реакцией, т.е. активацией гипоталамо-надпочечниковой системы с возрастанием в крови концентрации адреналина, норадреналина, кортикостероидов и других гормонов, что способствует приспособлению организма к новым условиям функционирования.

Итак, любое достаточно сильное воздействие среды вызывает формирование специфической доминирующей функциональной системы, ответственной за поддержание гомеостаза. Например, при воздействии холода, помимо системы терморегуляции, в реакцию включаются дополнительные механизмы, такие как активация сердечно-сосудистой системы, перераспределение кровотока между отдельными областями и др. Кроме того, независимо от специфики фактора возникает неспецифическая стресс-реакция, роль которой заключается прежде всего в мобилизации энергетических резервов организма. Для перехода срочной адаптации в устойчивую, долговременную необходимо, чтобы внутри специфической функциональной системы произошли структурные изменения, которые бы повысили резервные возможности этой системы до необходимого уровня, что позволило бы организму успешно и длительно справляться с воздействиями внешней среды. А это возможно лишь при длительном или многократном воздействии того или иного фактора.

Таким образом, *долговременная адаптация* к ФН – это постепенно развивающийся ответ организма на многократное или длительное воздействие ФН (тренировки), что приводит к расширению функциональных возможностей организма за счет морфологических изменений.

7.1. Причины физиологических реакций на физическую нагрузку

Как физическая нагрузка влияет на организм человека?

Физическая активность (работа мышц) представляет собой повторяющееся сокращение отдельных групп скелетных мышц, которые обеспечивают дви-

жение в суставе или в нескольких суставах. Любой вид физической активности (сокращения скелетных мышц) изменяет внутреннюю среду на многих уровнях и оказывает большое влияние на гомеостаз.

Например, при физической нагрузке потребление глюкозы может возрастать в 20 раз; рН в скелетных мышцах значительно снижается; с потом выделяется 2—3 л воды; температура тела может возрастать до 41°.

Чтобы клетки организма не погибли, эти отклонения должны быть компенсированы.

Почему изменения в скелетной мышце во время физической нагрузки вызывают реакцию всего организма?

В организме человека насчитывается около 660 скелетных мышц; более 400 из них находятся под контролем сознания. Скелетные мышцы составляют более 40 % веса тела; они выполняют три основные функции: обеспечивают движения и дыхание, поддерживают положение тела и вырабатывают тепло при воздействии холода. Относительная масса скелетной мышцы – показатель степени изменения гомеостаза, которое может произойти при работе этой мышцы. Многообразные потребности скелетных мышц обеспечиваются разными системами. Например, в ответ на увеличение потребления кислорода в мышце повышаются сердечный выброс и скорость кровотока.

Со стороны дыхательной системы должна увеличиваться легочная вентиляция и перенос кислорода к эритроцитам. В результате работы скелетных мышц повышается кислотность внеклеточной жидкости, что существенно влияет на кислотно-щелочное состояние. Таким образом, взаимодействие отдельных систем органов обеспечивает нормальное функционирование скелетных мышц. По существу, физиологический ответ организма на физическую нагрузку направлен на обеспечение работы скелетных мышц и поддержание гомеостаза.

Таким образом:

- 1) скелетные мышцы составляют более 40 % веса тела;
- 2) многообразные потребности скелетных мышц обеспечиваются разными системами;
- 3) физиологический ответ организма на физическую нагрузку направлен на обеспечение нормального функционирования скелетных мышц и поддержание гомеостаза организма за счет увеличения функциональной активности и взаимодействия отдельных систем органов.

Работа скелетной мускулатуры, в отличие от гладкой, находится почти полностью под контролем мозга.

В этой общей деятельности всего физиологического ансамбля при мышечной работе нервной системе принадлежит особая роль – не менее важная, чем роль самих мышц. Во-первых, ни одно сокращение мышцы не происходит без импульса из мозга. И. М. Сеченов писал: «Мышцы суть двигатели нашего тела; но сами по себе, без толчков из нервной системы, они действовать не могут, поэтому рядом с мышцами в работах участвует всегда нервная система». Непрерывным потоком бегут по нерву к мышце со скоростью 50—100 м в секунду электрические сигналы, и как только они прекращаются, прекращается

и работа мышцы. Именно эти импульсы, которых каждую секунду приходит 60—80, и вызывают серию уже описанных «взрывов» АТФ в мышце. Во-вторых, именно нервная система под влиянием обратной связи в виде импульсов, идущих из мышц, настраивает на рабочий лад все другие системы тела. Мозг посылает сигналы к сердцу, дыхательным мышцам, печени, надпочечникам и т. д. Все они включаются в работу. Наконец, в-третьих, именно мозг, его высший отдел – кора больших полушарий, делает мышечную работу человека целенаправленной. Работа скелетных мышц особенно тесно связана именно с корой головного мозга. Если сердце другие внутренние органы могут продолжать работу при поражениях коры мозга (например, в случае инсульта), то мышцы при этом становятся неуправляемыми, наступает паралич. Значит, именно кора мозга, ее лобно-теменная область, является основным двигателем, управляющим мышцами при работе человека.

Каковы основные причины физиологических изменений, связанных с физической нагрузкой?

Основные изменения, происходящие во время физической нагрузки, связаны с повышенным потреблением энергии во время сокращения скелетных мышц. Для любого движения требуется сокращение (укорочение) скелетной мышцы. Сокращение скелетной мышцы обеспечивается энергией, которая выделяется при гидролизе аденозинтрифосфата (АТФ). Во время физической работы потребление энергии может увеличиваться с 1,2 кКал/мин до 18—30 кКал/мин, т. е. в 25 раз. Эти биоэнергетические потребности определяют следующие физиологические изменения.

Основные изменения, возникающие в организме во время физической нагрузки, связаны с повышенным потреблением энергии скелетными мышцами, которое может возрасти с 1,2 до 30 ккал/мин, т. е. в 25 раз.

При переходе от состояния покоя к выполнению физической нагрузки потребность в энергии возрастает. Метаболизм увеличивается прямо пропорционально увеличению интенсивности работы (рис. 2).



Рис. 2. Взаимосвязь между физической нагрузкой (работой) и выработкой АТФ

Существует тесная взаимосвязь между физической нагрузкой (работой) и выработкой АТФ.

Увеличение интенсивности работы возможно только при усилении синтеза АТФ. Если синтез АТФ не удовлетворяет потребностям организма, работа (в данном случае – сокращение скелетной мышцы) прекратится.

Можно ли измерить потребление АТФ во время физической нагрузки?

Потребление АТФ осуществляется на субклеточном уровне, а аэробный метаболизм происходит в митохондриях и непосредственному измерению не поддается.

Каким образом величина потребления кислорода связана с физической нагрузкой?

Поскольку наиболее эффективный синтез АТФ происходит при аэробных условиях, его, а следовательно, и потребление АТФ, косвенно отражает количество поглощаемого кислорода. Так как синтез АТФ нельзя измерить, для определения потребления АТФ обычно измеряют поглощение кислорода.

Таким образом, для косвенной оценки энергетических затрат во время физической нагрузки обычно используют измерение поглощения кислорода при дыхании.

Во всякой мышечной работе прежде всего следует различать начальную (пусковую) ее фазу и следующее затем продолжение. Время пусковой фазы зависит от интенсивности работы: чем интенсивнее работа, тем продолжительнее пусковая фаза и тем резче выражены вызываемые ею биохимические изменения в мышцах. В первые секунды работы мышцы получают меньше кислорода, чем им необходимо. Созданный кислородный дефицит тем больше, чем выше интенсивность работы, чем в большей мере возрастает потребность в кислороде (кислородный запрос). Поэтому в пусковой фазе ресинтез АТФ происходит исключительно анаэробными путями (креатинкиназная реакция, гликолиз).

Если интенсивность мышечной работы максимальна (а длительность, естественно, кратковременна), то на этой пусковой фазе она и заканчивается; следовательно, кислородный запрос будет неудовлетворен.

На рисунке 3 показано потребление кислорода до, во время и после лёгкой равномерной работы. Показаны дефицит кислорода и избыток потребления кислорода после физической нагрузки.

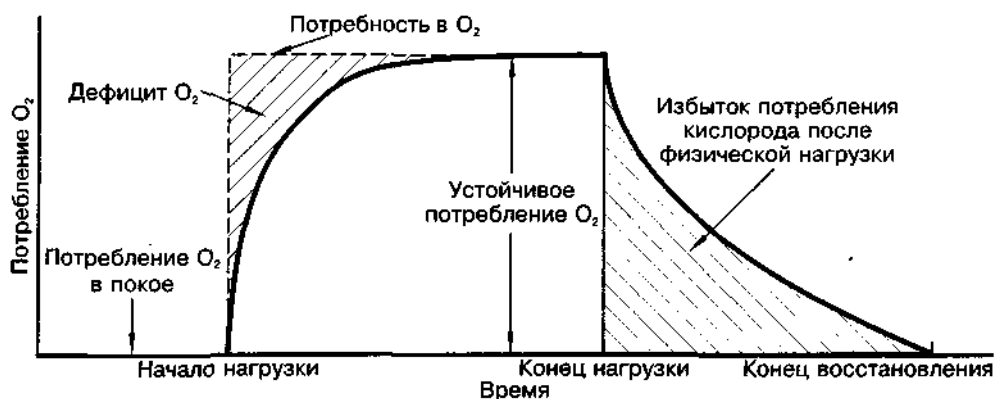


Рис. 3. Потребление кислорода во время легкой динамической работы постоянной интенсивности

Способность нашего организма адекватно удовлетворять потребности мышц в кислороде далека от совершенства. Когда вы начинаете выполнять упражнение, система транспорта кислорода (дыхание и кровообращение) не сразу поставляет необходимое количество его активным мышцам. Лишь через несколько минут достигается стабильный уровень потребления кислорода, при котором полностью функционируют аэробные процессы, однако потребность организма в кислороде резко повышается именно в момент начала выполнения упражнения.

Что такое дефицит кислорода?

Период времени между началом физической нагрузки и увеличением поглощения кислорода до достаточного уровня; то есть длительность выравнивания разницы между поглощением кислорода в первые минуты работы и потребностью в кислороде для синтеза достаточного количества АТФ. Потребность в АТФ возрастает мгновенно, однако для достижения необходимого уровня поглощения кислорода требуется некоторое время; в результате чего создается дефицит кислорода. Существуют различные точки зрения на механизмы обеспечения АТФ в этот период. Возможно, АТФ синтезируется в процессе анаэробного метаболизма или поступает из запасов клетки, возможно, просто измерение количества АТФ запаздывает по сравнению с его содержанием. При тренировках дефицит кислорода уменьшается, что свидетельствует о возможности более быстрого подключения систем, обеспечивающих быструю доставку кислорода при физической нагрузке.

Кислородный дефицит (дефицит кислорода) – это:

- разность между кислородным запросом и кислородным приходом;
- период времени между началом физической нагрузки и увеличением поглощения кислорода до достаточного уровня;
- длительность выравнивания разницы между поглощением кислорода в первые минуты работы и потребностью в кислороде для синтеза достаточного количества АТФ.

Потребление кислорода после физической нагрузки

В первые минуты восстановления, хотя мышцы уже не работают активно, потребность в кислороде уменьшается не сразу. Наоборот, потребление кислорода остается повышенным в течение некоторого времени (рис. 3). Это потребление кислорода, превышающее необходимую величину в покое, называется кислородным долгом. В последнее время более распространено определение «избыточное потребление кислорода после физической нагрузки». Это дополнительное количество к обычно потребляемому количеству кислорода.

Рассмотрим последовательность включения различных путей ресинтеза АТФ с позиций удовлетворения потребности организма в кислороде. В первые секунды почти вся энергия обеспечивается аденозинтрифосфатом (АТФ); следующим источником служит креатинфосфат (КФ). Анаэробный процесс – гликолиз достигает максимума приблизительно через 45 секунд, тогда как за счет окислительных реакций мышца не может получить основную часть энергии ранее чем через 2 минуты.

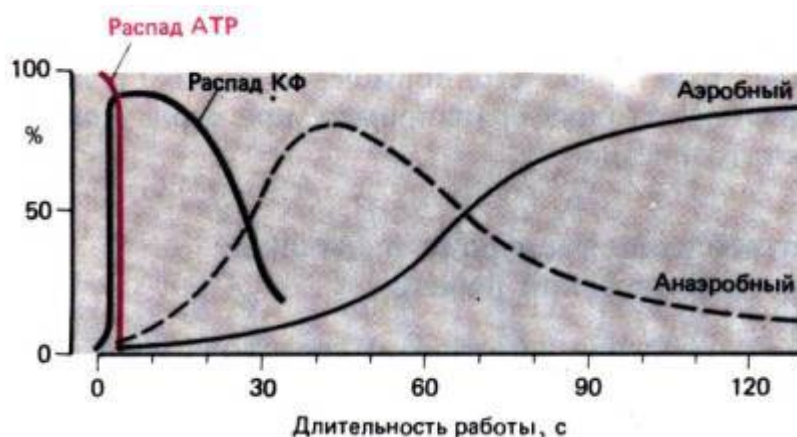


Рис. 4. Последовательность включения разных путей синтеза АТФ в начале легкой физической нагрузки

Какова взаимосвязь между поглощением кислорода и работой при постоянно возрастающей нагрузке?

Постепенное увеличение рабочей нагрузки называется возрастающей рабочей нагрузкой. Постепенное увеличение рабочей нагрузки вызывает увеличение потребления АТФ; следовательно, потребление кислорода также увеличивается до тех пор, пока не достигнет постоянного уровня. Взаимосвязь между рабочей нагрузкой и поглощением кислорода изображена на рисунке 5. Поглощение кислорода увеличивается, пока увеличивается потребность в кислороде для синтеза необходимого для более интенсивной работы АТФ.

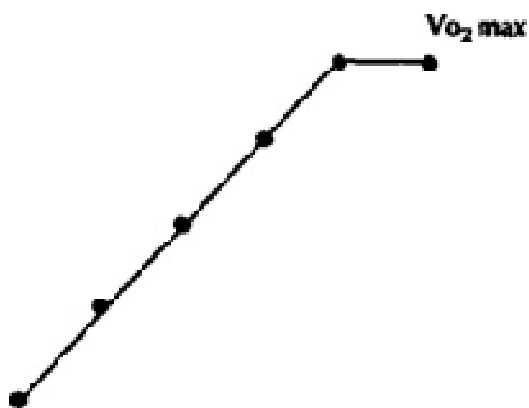


Рис. 5. Взаимосвязь между поглощением кислорода (л/мин) (по вертикали) и возрастающей интенсивностью работы (потреблением АТФ) (по горизонтали). Поглощение кислорода при увеличении интенсивности работы линейно возрастает, пока не достигнет максимального уровня

Существует ли предел рабочей нагрузки?

Для каждого человека существует предел рабочей нагрузки, то есть максимальный уровень физической нагрузки, при котором дальнейшее увеличение потребности в кислороде не вызывает увеличения поглощения кислорода. Этот уровень называется **максимальным поглощением кислорода** и соответствует плато на кривой (см. рис. 5).

Максимальное потребление кислорода (МПК) или VO_{2max} — это наибольшее количество кислорода, которое человек способен потреблять в течение 1 минуты.

Максимальное потребление кислорода (МПК) или $\dot{V}O_{2max}$ – это:

- максимальная возможность организма человека транспортировать кислород в мышцы и использоваться мышцами для получения энергии во время физической нагрузки (работы);
- наиболее надежный показатель **физической работоспособности человека** (рекомендации ВОЗ);
- интегральный показатель **аэробной производительности** организма;
- максимальная способность выполнять физические нагрузки.

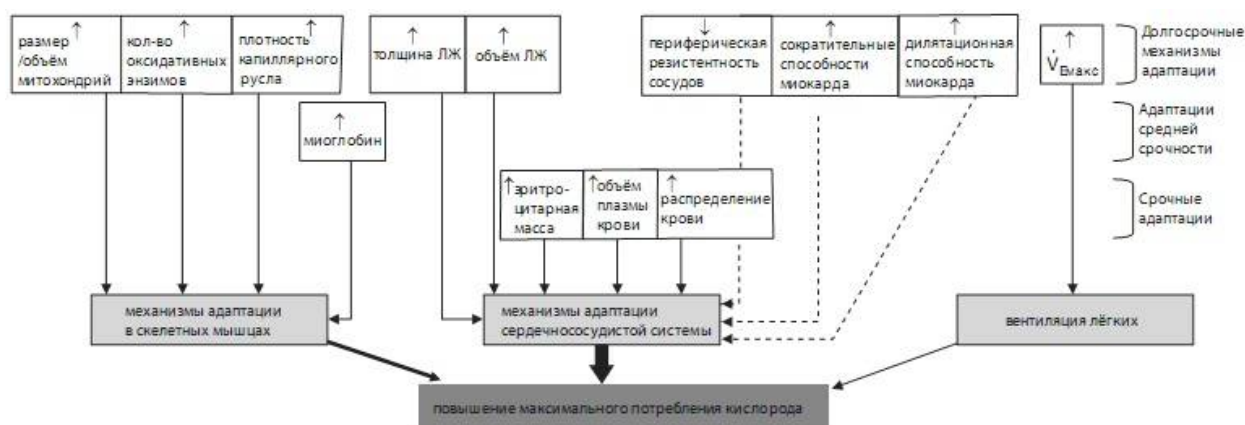


Рис.6. От чего зависит величина $\dot{V}O_{2max}$?

От чего зависит величина $\dot{V}O_{2max}$?

Величина максимального потребления кислорода зависит от развитости системы связывания, переноса и использования кислорода, которая, в свою очередь, состоит из ряда звеньев. На рисунке 6 в общих чертах изображены звенья переноса и потребления кислорода в организме.

Условно цепочку транспорта кислорода можно поделить на **центральный и периферический компоненты**. К центральному относятся лёгкие, сердце и кровеносная система, а к периферическому отделу следует относить ткань поперечно-полосатой мускулатуры. В центральной части в свою очередь отдельно выделяют: толщину и объём стенки левого желудочка, дилатационные способности миокарда, объёмы плазмы крови и массы кровяных телец. В периферической части выделяют: плотность капиллярного русла, количество и соотношение мышечных волокон разного типа, объём митохондриальных, оксидативных энзимов и концентрацию миоглобина.

Таким образом, поглощение кислорода зависит от способности сердечно-сосудистой системы переносить кислород к работающей мышце, способности дыхательной системы поставлять в кровь кислород и удалять из крови углекислый газ и способности скелетной мышцы поглощать кислород и использовать его для аэробного синтеза АТФ. величина которой зависит от тренированности и наследственности, лучше всего описывается уравнением Фика.

Величина $\dot{V}O_{2max}$ лучше всего описывается уравнением Фика:

$$\dot{V}O_2 = CB \times (aO_2 - vO_2), \quad \text{где}$$

$\dot{V}O_2$ – поглощение O_2 (мл/мин);

СВ – сердечный выброс (л/мин);
($aO_2 - vO_2$) – разница содержания O_2 в артериальной и смешанной венозной крови (мл/л).

$$VO_2 = Q \times (A - B) = (SV \times HR) \times (A - B), \quad \text{где}$$

VO_2 – уровень потребления кислорода, л/мин,

Q – производительность сердца, л/мин;

(A – B) – артерио-венозная разница насыщения крови кислородом, мл O_2 /100 мл крови;

SV – ударный объем сердца, мл/уд;

HR – частота сердечных сокращений, уд/мин.

Исходя из данного уравнения, современные физиологи ставят на первое место состояние сердечно-сосудистой системы для обеспечения выполнения физической нагрузки.

7.2. Реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку

Какова роль сердечно-сосудистой системы при физической нагрузке?

Согласно уравнению Фика, сердечно-сосудистая система обеспечивает доставку кислорода и субстратов к работающей мышце, поставляет гормоны, стимулирующие поглощение субстратов, и удаляет продукты обмена (включая тепло) из мышцы. Система сосудов служит трубопроводом, а сердце – мощным насосом, обеспечивающим перенос и обмен веществ.

Как сердечно-сосудистая система реагирует на интенсивную физическую нагрузку?

Повышение потребности в кислороде при физической нагрузке вызывает в сердечно-сосудистой системе изменения двух типов.

Перераспределение кровотока от относительно неактивных органов к работающей мышце, и вместе с тем должен поддерживаться достаточный уровень кровотока и артериального давления в жизненно важных органах, таких как мозг.

Увеличение сердечного выброса достигается посредством повышения частоты сердечных сокращений и ударного объема.

Перераспределение крови во время физической нагрузки

При переходе от состояния покоя к выполнению физической нагрузки структура кровотока заметно изменяется (рис. 7). Под воздействием симпатической нервной системы кровь отводится из участков, где ее наличие необязательно, и направляется в участки, принимающие активное участие в выполнении упражнения. В состоянии покоя сердечный выброс в мышцах составляет всего 15–20 %, а при интенсивных физических нагрузках – 80–85 %. Кровоток в мышцах увеличивается главным образом за счет уменьшения кровоснабжения почек, печени, желудка и кишечника.

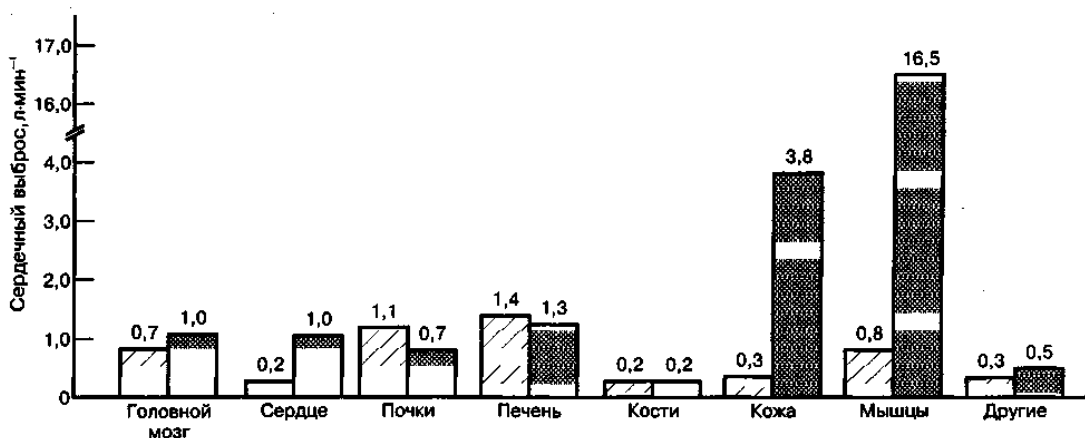
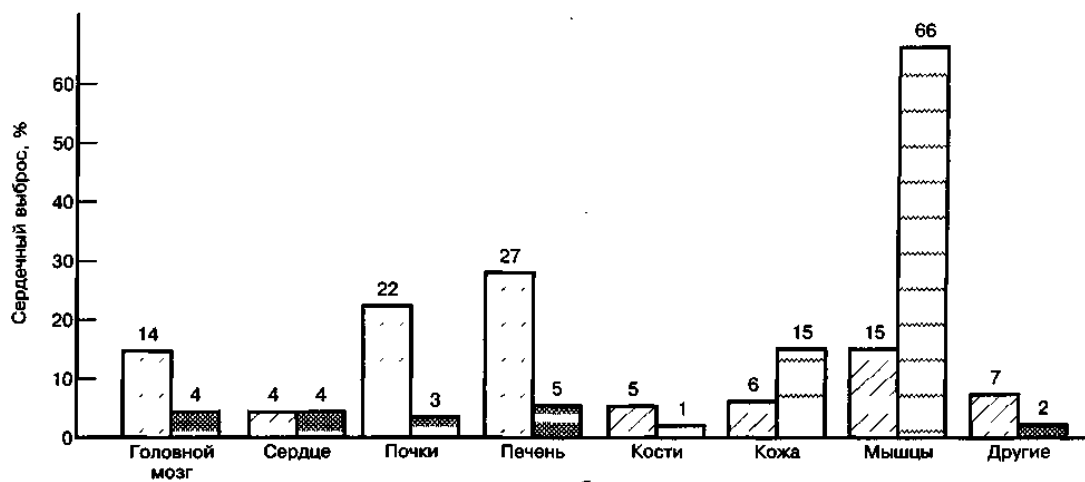


Рис. 7. Распределение сердечного выброса в покое (светлые слева) во время значительной физической нагрузки (заштриховано), выраженного относительно общего объема крови (а) и в абсолютных значениях (б)

По мере повышения температуры тела вследствие выполнения упражнения либо высокой температуры воздуха значительно большее количество крови направляется к коже, чтобы перенести тепло из глубины тела к периферии, откуда тепло выделяется во внешнюю среду. Увеличение кожного кровотока означает, что кровоснабжение мышц снижено. Этим, кстати, объясняются более низкие результаты в большинстве видов спорта, требующих проявления выносливости в жаркую погоду.

Рассматривая перераспределение кровотока по телу, следует помнить, что все механизмы данного процесса функционируют вместе. Чтобы проиллюстрировать это, рассмотрим, что происходит с кровотоком во время физической нагрузки, обратив внимание на потребности скелетных мышц.

С началом упражнения активные скелетные мышцы начинают испытывать возрастающую потребность в кровотоке, которая удовлетворяется путем общей симпатической стимуляции сосудов тех участков, в которых кровоток предстоит ограничить (например, в почках и пищеварительной системе). Сосуды в этих участках суживаются и кровоток направляется к скелетным мышцам, испытывающим потребность в дополнительном количестве крови. В скелетных

мышцах симпатическая стимуляция суживающих стенок сосудов волокон ослабевает, а симпатическая стимуляция сосудорасширяющих волокон увеличивается. Таким образом, сосуды расширяются и в активные мышцы поступает дополнительное количество крови.

Во время физической нагрузки также усиливается метаболизм мышечных тканей, вследствие чего накапливаются продукты метаболического распада. Повышенный метаболизм вызывает увеличение кислотности $[CO_2]$ и температуры в мышечной ткани. Эти локальные изменения обуславливают расширение сосудов путем ауторегуляции, увеличивая кровоток в локальных капиллярах. Ауторегуляция также вызывается низким парциальным давлением кислорода в тканях (повышенная потребность в кислороде), мышечным сокращением и, возможно, другими вазоактивными веществами, выделяющимися вследствие сокращения.

Регуляция температуры тела осуществляется подобным образом. При значительной нагрузке (и даже в состоянии покоя при повышенной температуре окружающей среды) тепло накапливается в организме и его необходимо вывести. С этой целью кровь перенаправляется, «сбрасывается» к поверхности кожи вследствие пониженной симпатической стимуляции в этих участках, вызывающей расширение поверхностных сосудов. Это обеспечивает отдачу тепла, поскольку тепло из глубины тела переносится с кровью ближе к поверхности. Таким образом поддерживается постоянная температура тела. Наоборот, в условиях пониженной температуры окружающей среды организм сохраняет тепло, увеличивая симпатическую стимуляцию сосудов кожи и заставляя их сужаться, чтобы направить кровь от холодной кожи.

Во время нагрузки происходят многочисленные изменения в сердечно-сосудистой системе. Все они направлены на выполнение одного задания: позволить системе удовлетворить возросшие потребности, обеспечив максимальную эффективность ее функционирования. Чтобы лучше понять происходящие изменения, нам необходимо более внимательно рассмотреть определенные функции сердечно-сосудистой системы.

Мы изучим изменения всех компонентов системы, обратив особое внимание на:

- частоту сердечных сокращений;
- систолический объем крови;
- сердечный выброс;
- кровоток;
- артериальное давление;
- кровь.

Вспомним терминологию сердечной функции.

Систолический объем крови (ударный объем) = конечно-диастолический объем – конечно-систолический объем.

Фракция выброса = (систолический объем / конечно-диастолический объем) $\times 100$

Сердечный выброс (Q) (минутный объем кровообращения, минутный объем сердца) = систолический объем \times ЧСС

Частота сердечных сокращений

Частота сердечных сокращений – наиболее простой и наиболее информативный параметр сердечно-сосудистой системы.

Частота сердечных сокращений в покое

Средняя ЧСС в покое составляет 60–80 уд/мин⁻¹. У отлично подготовленных спортсменов, занимающихся видами спорта, требующими проявления выносливости, ЧСС в покое составляет 28–40 уд/мин⁻¹. ЧСС обычно снижается с возрастом.

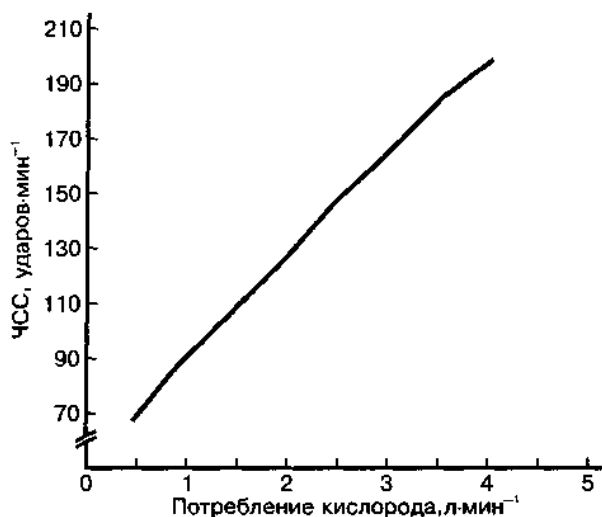


Рис. 8. Изменение ЧСС с увеличением интенсивности физической нагрузки

Частота сердечных сокращений при физической нагрузке

Когда вы начинаете выполнять упражнения, ЧСС быстро возрастает пропорционально интенсивности нагрузки (рис. 8). На этом рисунке интенсивность физической нагрузки представлена величиной потребления кислорода, поскольку эти 2 параметра взаимосвязаны. Когда интенсивность работы точно контролируется и измеряется (например, на велоэргометре), показатель потребления кислорода можно предсказать. Следовательно, выражение интенсивности физической работы или упражнения в показателях потребления кислорода является не только точным, но и наиболее подходящим при обследовании как различных людей, так и одного и того же человека в разных условиях

Максимальная частота сердечных сокращений

Что такое максимальная частота сердечных сокращений?

Обычно максимальной ЧСС считается 220 уд/мин. Если ЧСС превышает 220 уд/мин, то уменьшается время наполнения, и ударный объем, а следовательно, и сердечный выброс резко уменьшаются.

Как рассчитывают максимальную частоту сердечных сокращений при интенсивной физической нагрузке?

Обычно для определения максимальной ЧСС при физической нагрузке используют одну из двух формул: возрастную или формулу Карвонена (Капгопеп).

В соответствии с расчетом по возрастной формуле следует из 220 вычесть возраст. Например, для 46-летнего мужчины максимальная ЧСС равна $220 - 46 = 174$ уд/мин.

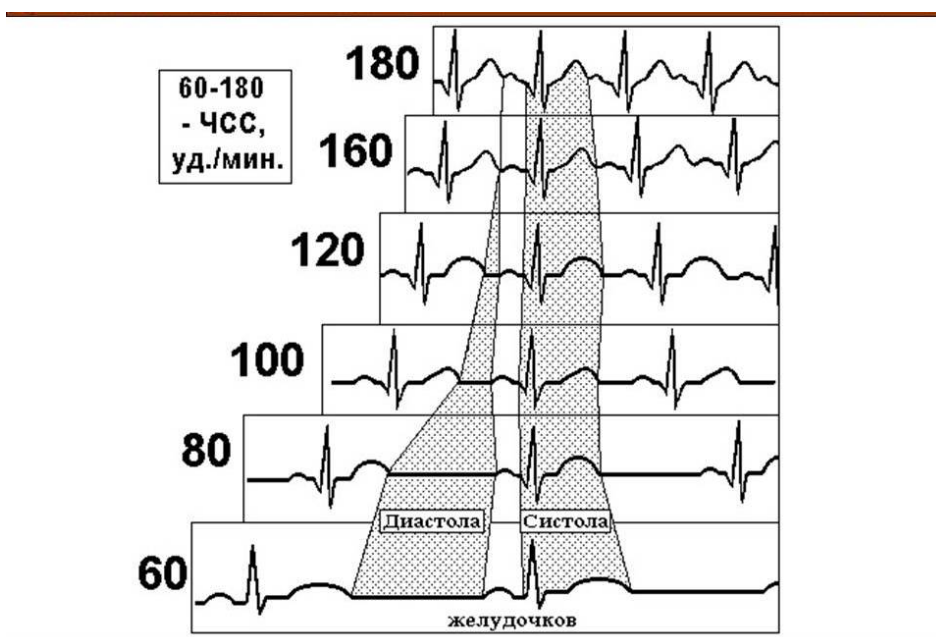


Рис. 9. Динамика диастолы и систолы по Н. Д. Граевской и А. В. Чоговадзе

В специальной литературе широко дискутируется вопрос относительно эффективности кровоснабжения при частом пульсе. Большинство физиологов считают, что «при возрастании частоты сердечных сокращений продолжительность диастолы, кровенаполнение сердца и, следовательно, ударный объем желудочков уменьшаются». Другие ученые опровергают это высказывание, говоря, что предельные частоты сердечных сокращений у спортсменов, так же как и у здоровых нетренированных людей, биологически детерминированы, т. е. обусловлены функциональными возможностями синусового узла. Поэтому главными объектами оптимизации минутного объема кровообращения, кроме учащения сердечного ритма, является увеличение ударного (систолического) объема крови при физической нагрузке.

Однако авторитетные ученые (рис. 9) Н. Д. Граевская и А. В. Чоговадзе опубликовали рисунок без комментариев, в котором отразили динамику систолы и диастолы желудочков сердца на электрокардиограмме (ЭКГ) при учащении сердечного ритма с 60 до 180 уд/мин.

Из приведенного рисунка видно, что время наполнения желудочков сердца превращается в ноль (!) уже при частоте сердечных сокращений 160 уд/мин. Невероятно, но факт!

Увеличение систолического объема с нагрузкой

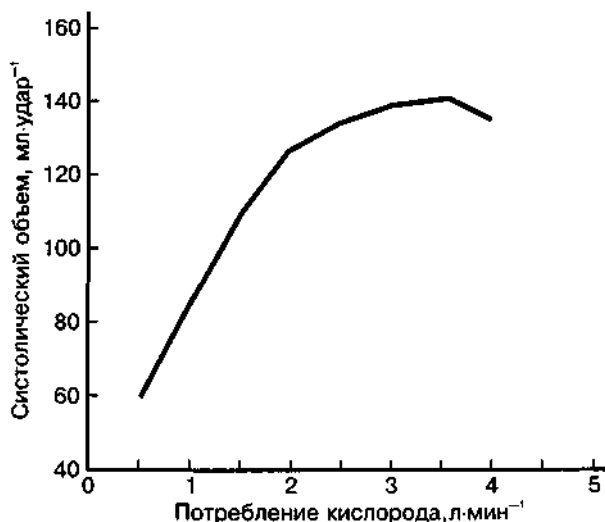


Рис. 10. Изменение систолического объема с увеличением интенсивности физической нагрузки

Ученые сошлись на том, что величина систолического объема во время нагрузки превышает показатели в состоянии покоя. Вместе с тем приводятся весьма противоречивые данные об изменении систолического объема при переходе от работы очень низкой интенсивности к работе максимальной интенсивности или к работе до возникновения крайней усталости. Большинство ученых считают, что систолический объем повышается с увеличением интенсивности работы, но только до 40–60 % максимальной. Считают, что при указанной интенсивности показатель систолического объема крови демонстрирует плато (рис. 10) и не изменяется даже при достижении момента возникновения крайней усталости.

Механизмы увеличения систолического объема при физической нагрузке: 1) механизм Франка–Старлинга; 2) повышение сократительной способности желудочка.

Объяснение увеличения систолического объема крови

Общеизвестно, что систолический объем крови увеличивается при переходе от состояния покоя к выполнению нагрузки, однако до последнего времени механизм этого увеличения не изучен. Одним из возможных механизмов может быть закон Франка–Стерлинга, согласно которому главным фактором, регулирующим систолический объем крови, является степень растяжимости желудочков: чем сильнее растягивается желудочек, тем с большей силой он сокращается. Например, если в предсердия при диастоле поступает больший объем крови, его стенки растягиваются больше, чем при поступлении меньшего объема. Чтобы выбросить большее количество крови, желудочек должен отреагировать на увеличение растяжения более мощным сокращением. Это так называемый механизм Франка–Стерлинга. Наряду с этим систолический объем может также увеличиться благодаря большей сократительной способности желудочка даже без повышения конечно-диастолического объема.

Сердечный выброс – минутный объем кровообращения

Рассмотрев компоненты сердечного выброса, можем теперь объединить полученную информацию, чтобы лучше понять, что происходит с сердечным выбросом во время нагрузки. Изменения сердечного выброса, поскольку он зависит от ЧСС и систолического объема, можно прогнозировать при увеличении нагрузок, как видно из рисунка 11.

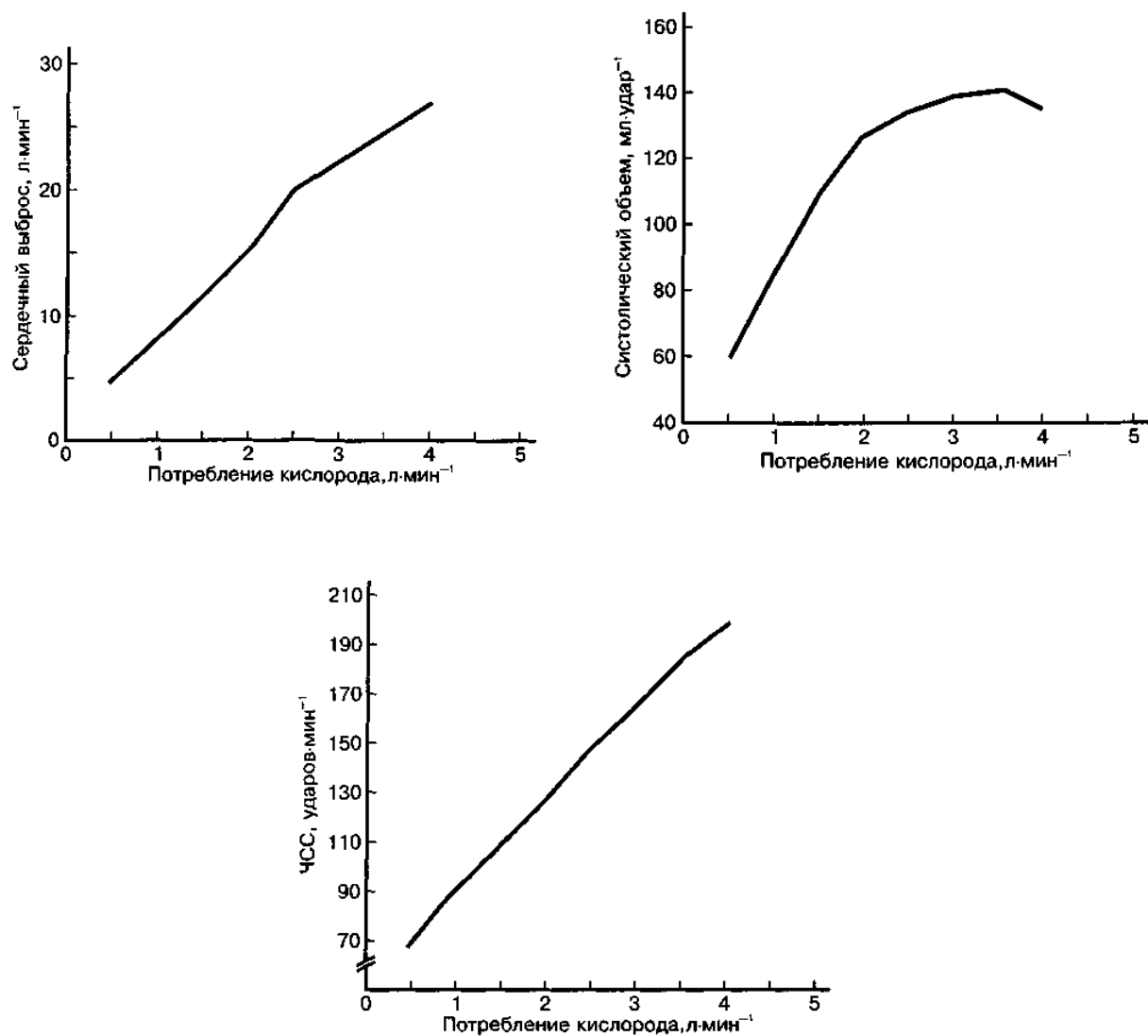


Рис. 11. Изменение сердечного выброса и его компонентов с увеличением физической нагрузки

В начальные стадии физической нагрузки увеличение сердечного выброса обусловлено повышением ЧСС и систолического объема. Когда уровень нагрузки превышает 40—60 % индивидуальной возможности, систолический объем демонстрирует либо плато, либо начинает увеличиваться с меньшей скоростью. Таким образом, дальнейшее увеличение сердечного выброса – результат в основном повышения ЧСС.

Артериальное давление

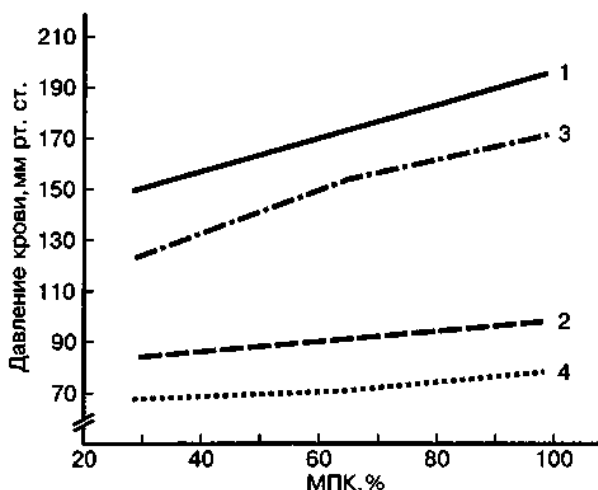


Рис. 12. Изменение АД в верхних и нижних конечностях при одинаковом потреблении кислорода

Изучая артериальное давление крови во время физической нагрузки, следует различать систолическое и диастолическое давление, поскольку они изменяются по-разному. При физических нагрузках, требующих проявления выносливости, систолическое давление крови повышается пропорционально увеличению интенсивности нагрузки. Систолическое давление, равное в покое 120 мм рт. ст., может превысить 200 мм рт. ст. в состоянии крайней усталости. У физически здоровых, отлично подготовленных спортсменов при максимальных нагрузках систолическое давление может подниматься до 240–250 мм рт. ст.

Повышенное систолическое давление крови – результат увеличенного сердечного выброса, который сопровождает увеличение интенсивности работы. Оно обеспечивает быстрое перемещение крови по сосудам. Кроме того, артериальное давление крови обуславливает количество жидкости, выходящей из капилляров в ткани, транспортируя необходимые питательные вещества. Таким образом, повышенное систолическое давление способствует осуществлению оптимального процесса транспорта.

Во время мышечной деятельности, требующей проявления выносливости, диастолическое давление практически не изменяется, независимо от интенсивности нагрузки. Вспомним, что диастолическое давление отражает давление в артериях во время «отдыха» сердца. Ни одно из изменений, которые мы рассматривали, не влияет в значительной степени на это давление, поэтому нет причин ожидать его увеличения. Повышение диастолического давления на 15 мм рт. ст. и более считается аномальной реакцией на нагрузку и одним из многих показателей, свидетельствующих о необходимости немедленно прекратить проведение диагностического теста с нагрузкой. На рисунке 12 показана типичная реакция артериального давления крови на выполнение циклического упражнения ногами и руками при возрастающей интенсивности работы.

Артериальное давление достигает стабильных показателей во время субмаксимальной нагрузки, требующей проявления выносливости, постоянной интенсивности. С увеличением интенсивности нагрузки систолическое давление также возрастает. При продолжительной нагрузке постоянной интенсивности систолическое давление может постепенно снижаться, однако диастолическое давление остается неизменным. Снижение систолического давления крови, если и происходит, является нормальной реакцией и попросту отражает увеличенное расширение артериол в активных мышцах, вызывающее снижение общего периферического сопротивления (вспомним из основной физиологии, что давление крови равно произведению сердечного выброса и общего периферического сопротивления сосудов).

Более выражены реакции давления крови на силовые упражнения, например, в тяжелой атлетике. Во время силовой тренировки высокой интенсивности давление крови может превышать 480/350 мм рт. ст. [10]. При таких нагрузках довольно часто наблюдается использование пробы Вальсальвы, когда человек пытается сделать выдох при закрытых рте, носе и голосовой щели, что приводит к значительному увеличению внутригрудного давления. Последующее увеличение давления крови во многом обусловлено усилением организма преодолеть высокое внутреннее давление, созданное во время пробы Вальсальвы.

Как при физической нагрузке изменяется артериальное давление?

При физической нагрузке систолическое давление возрастает пропорционально увеличению минутного системного кровотока. Степень его увеличения связана с видом и интенсивностью физической нагрузки. Диастолическое давление – это показатель общего периферического сосудистого сопротивления, определяемого суммарным сопротивлением всех резистентных сосудов. При физической нагрузке большинство сосудов микроциркуляторного русла сужены. Сосуды скелетных мышц, образующие обширное циркуляторное русло, расширены. В результате диастолическое давление во время физической работы либо уменьшается, либо не изменяется. Повышение диастолического давления при физической нагрузке считается патологической реакцией и может служить причиной прекращения пробы с возрастающей физической нагрузкой.

Кровь

Итак, мы изучили изменения деятельности сердечно-сосудистой системы, обусловленные физическими нагрузками. Другой компонент этой системы – кровь – жидкость, транспортирующая необходимые вещества в ткани и выводящая продукты обмена. Поскольку во время нагрузки обмен веществ усиливается, значение функций крови также возрастает. Рассмотрим изменения, происходящие в крови, которые направлены на удовлетворение этих возросших потребностей.

Содержание кислорода

В состоянии покоя содержание кислорода в крови колеблется от 20 мл на 100 мл артериальной крови до 14 мл на 100 мл венозной крови. Разница между этими двумя показателями ($20 - 14 = 6$ мл) представляет собой артериовенозную разницу по кислороду ($aO_2 - vO_2$) – $AVP-O_2$.

Разница содержания O_2 в артериальной и смешанной венозной крови (мл/л). Этот показатель отражает извлечение кислорода из крови, движущейся по сосудам.

С увеличением интенсивности нагрузки артериовенозная разница содержания кислорода постепенно возрастает. Она может увеличиться почти в 3 раза от состояния покоя до максимальных уровней нагрузки (рис. 13). Это отражается в снижении венозного содержания кислорода. Активным мышцам требуется больше кислорода, поэтому из крови его извлекается больше. Венозное содержание кислорода падает почти до нуля в активных мышцах, однако в смешанной венозной крови правого предсердия сердца его содержание редко опускается ниже 2–4 мл на 100 мл крови. Это обусловлено тем, что кровь, возвращающаяся из активных тканей, смешивается с кровью, поступающей из неактивных участков, когда она возвращается в сердце. Утилизация кислорода в неактивных тканях намного ниже, чем в мышцах. Артериальное содержание кислорода остается практически неизменным; вместе с тем в некоторых исследованиях наблюдали его понижение у отлично подготовленных спортсменов при максимальных нагрузках.

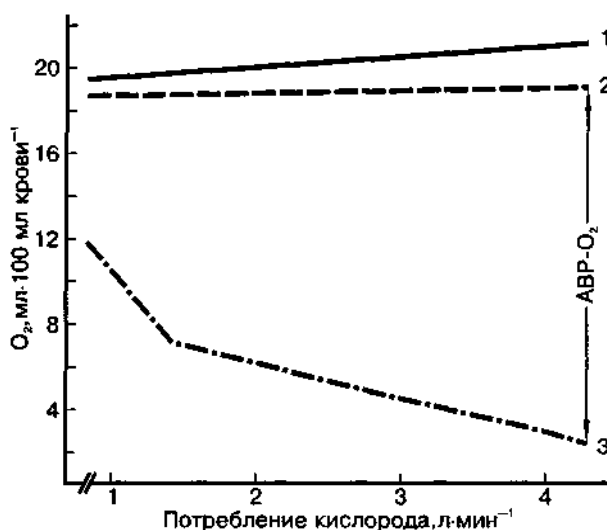


Рис. 13. Изменение артериовенозной разницы по кислороду ($aO_2 - vO_2$) – $AVP-O_2$ – при физической нагрузке
1 – Артериальная емкость; содержание O_2 в артериальной (2), смешанной венозной (3) крови

Таким образом, увеличение артериовенозной разницы по кислороду обусловлено снижением венозной концентрации кислорода во время нагрузки, отражающим повышенное извлечение кислорода из крови для утилизации активными тканями.

Изменение объема плазмы крови при физической нагрузке

С началом мышечной деятельности почти мгновенно наблюдается переход плазмы крови в интерстициальное пространство. По-видимому, это обусловлено двумя факторами. Повышение давления крови вызывает увеличение гидростатического давления в капиллярах. Поэтому увеличение давления крови

выталкивает жидкость из сосуда (капилляра) в межклеточное пространство. Кроме того, вследствие аккумуляции продуктов распада в активной мышце увеличивается внутримышечное осмотическое давление, притягивая жидкость к мышце.

Продолжительная нагрузка может вызвать снижение объема плазмы на 10—20 % и больше. Подобное (15–20 %) уменьшение объема плазмы наблюдали при изнурительной нагрузке продолжительностью 1 минуту. При силовых тренировках снижение объема плазмы пропорционально интенсивности усилия; при интенсивности работы 40 % одного максимального повторения объем плазмы снижается на 7,7 %, при интенсивности 70 % – на 13,9 %.

Если интенсивность нагрузки или факторы окружающей среды вызывают потение, можно ожидать дополнительных потерь объема плазмы. Главный источник жидкости для образования пота – интерстициальная жидкость, количество которой уменьшается по мере продолжения процесса потения. Это вызывает увеличение осмотического давления в интерстициальном пространстве, вследствие чего в ткани выделяется еще больше плазмы. Объем внутриклеточной жидкости невозможно непосредственно и точно измерить, однако, по мнению специалистов, эта жидкость также выделяется (теряется) из внутриклеточного пространства и даже из эритроцитов, которые могут сжиматься.

Очевидно, уменьшение объема плазмы отрицательно влияет на мышечную деятельность. При продолжительной физической активности, когда определенную проблему представляет перегрев организма, необходимо снижать общий кровоток в активных тканях, чтобы обеспечить поступление большего количества крови к поверхности кожи и, таким образом, понизить температуру тела. Уменьшенный объем плазмы также увеличивает вязкость крови (рис. 14), что может препятствовать кровотоку и, тем самым, ограничивать транспорт кислорода, особенно если показатель гематокрита превышает 60 %.

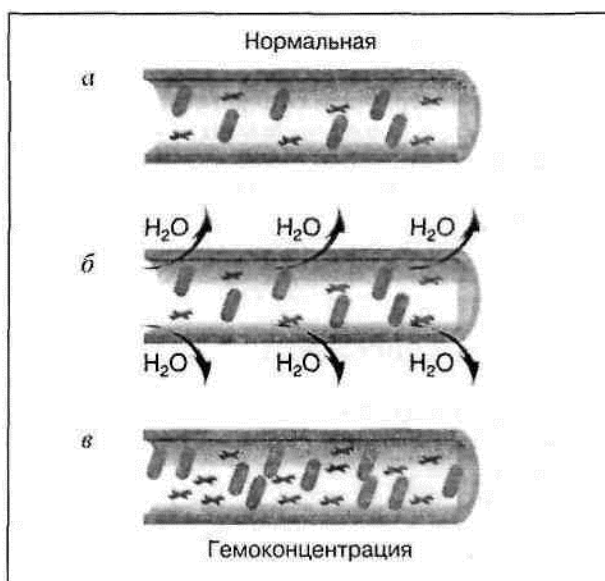


Рис. 14. Изменение объема плазмы крови при физической нагрузке

При нагрузке продолжительностью несколько минут изменения количества жидкости, а также терморегуляция практически не оказывают никакого влияния, однако при увеличении продолжительности нагрузки их значение для обеспечения эффективной деятельности повышается. Для футболиста или марафонца эти процессы важны не только для успешного выступления, **но и для выживания**. Смертельные случаи вследствие обезвоживания и перегревания организма – не такая уж редкость во время или вследствие соревнований по различным видам спорта.

Регуляция дыхания при выполнении физической нагрузки

Какова при физической нагрузке функция системы дыхания?

Основная функция системы дыхания состоит в обеспечении газообмена между организмом и окружающей средой. Кроме того, она играет важную роль в процессе поддержания кислотно-щелочного равновесия, особенно при физической нагрузке. Для эффективного обмена кислорода в системе кровообращения требуется, чтобы легочный кровоток соответствовал вентиляции.

Легочная вентиляция. Газообмен в легких

Диффузионная способность легких

Легочная вентиляция (внешнее дыхание) представляет собой процесс, обеспечивающий поступление воздуха в легкие и выведение его из них. Она состоит из двух фаз – вдоха и выдоха.

Вдох – активный процесс, во время которого увеличиваются размеры диафрагмы и внешних межреберных мышц, а следовательно, и объем грудной клетки. Это приводит к снижению давления в легких и поступлению в них воздуха. Выдох, как правило, – пассивный процесс. Дыхательные мышцы расслабляются, а эластичная ткань легких принимает исходное положение, обеспечивая возвращение объема грудной клетки в обычное исходное положение. Это приводит к увеличению давления в легких и выделению из них воздуха.

Вдох и выдох, выполняемые с усилием, – активные процессы.

Газообмен в легких выполняет главные функции:

- 1) восполняет запасы кислорода в крови, истощающиеся на тканевом уровне, при его использовании для образования энергии путем окисления;
- 2) выводит диоксид углерода из венозной крови.

Газообмен в легких осуществляется на основании диффузии.

Диффузия представляет собой процесс газообмена через легочную мембрану в альвеолах.

Величина газообмена через легочную мембрану главным образом зависит от парциального давления каждого из газов. В то же время определенное значение имеют растворимость газов и температура. Газы диффундируют из области с более высоким парциальным давлением данного газа в область с более низким его давлением. Таким образом, кислород поступает в кровь, а диоксид углерода выводится из нее.

Для осуществления диффузии необходимы воздух, транспортирующий кислород в легкие, и кровь, утилизирующая этот кислород и выделяющая диоксид углерода. Воздух поступает в легкие во время легочной вентиляции, при этом осуществляется газообмен между ним и кровью.

Кровь из большинства участков тела возвращается по полой вене в легочную (правую) часть сердца. Из правого желудочка она выкачивается через легочную артерию в легкие, прокладывая себе путь к легочным капиллярам. Эти капилляры образуют плотную сеть вокруг альвеолярных мешочков. Легочные капилляры настолько малы, что эритроциты могут передвигаться по ним лишь в один ряд, подвергаясь воздействию окружающей легочной ткани. Именно здесь происходит процесс диффузии.

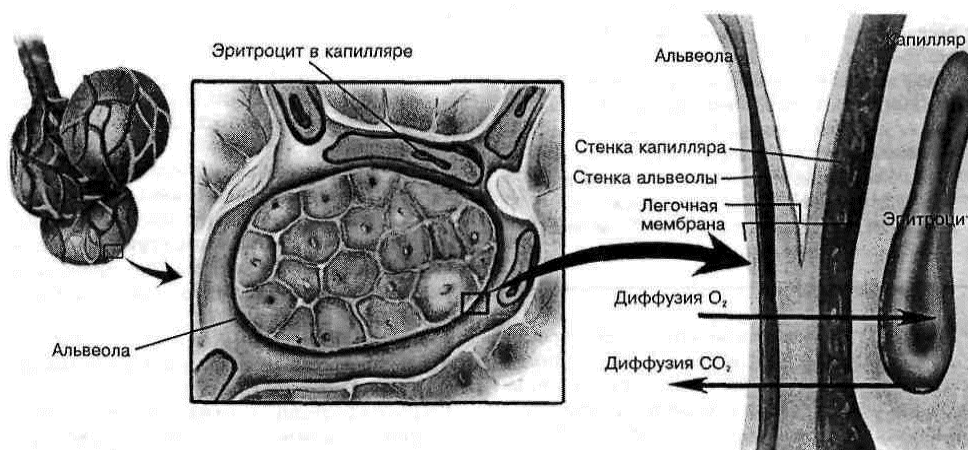


Рис. 15. Альвеолярно-капиллярная мембрана

Газообмен между воздухом в альвеолах и кровью в *легочных капиллярах* осуществляется через легочную мембрану (или, как ее еще называют, альвеолярно-капиллярную мембрану). Эта мембрана (рис. 15) состоит из альвеолярной стенки, капиллярной стенки и их базальных мембран. Различие парциальных давлений газов в альвеолах и в крови создает градиент давления через легочную мембрану. Это является основой для осуществления газообмена во время диффузии кислорода и углекислого газа.

Диффузионная способность кислорода повышается при переходе из состояния покоя в состояние выполнения физической нагрузки. Когда организму требуется больше кислорода, процесс газообмена интенсифицируется.

Градиент давления обмена диоксида углерода меньше, чем градиент давления обмена кислорода, в то же время растворимость CO₂ в легочной мембране в 20 раз больше, чем растворимость кислорода, поэтому он легче диффундирует через нее даже при меньшем градиенте давления.

Транспорт кислорода

Кислород транспортируется эритроцитами крови (> 98 %) либо растворяясь в плазме крови (менее 2 %). В 1 л плазмы может раствориться всего 3 мл кислорода. Исходя из того, что общий объем плазмы 3 – 5 л, легко определить, что в растворенном виде может транспортироваться не более 9—15 мл кислорода. Такое ограниченное количество кислорода не может удовлетворить потребности тканей организма, даже находящегося в состоянии покоя. В этом случае тканям необходимо более 250 мл кислорода в минуту (в зависимости от

размеров тела). К счастью, гемоглобин, содержащийся в 4—6 млрд эритроцитов, может обеспечить транспорт в 70 раз большего количества кислорода.

Насыщение гемоглобина

Каждая молекула гемоглобина может связывать 4 молекулы кислорода, образуя оксигемоглобин; гемоглобин, который не связывается с кислородом, называется дезоксигемоглобином. Интенсивность соединения кислорода с гемоглобином зависит от P_{O_2} крови и силы связи между ними. На рисунке 16а приведена кривая диссоциации кислород-гемоглобина, демонстрирующая насыщенность гемоглобина при различных показателях P_{O_2} . Высокое P_{O_2} крови обеспечивает почти полное насыщение гемоглобина кислородом, т. е. максимальное количество присоединяемого гемоглобином кислорода. При понижении P_{O_2} уменьшается и насыщенность гемоглобина.

На насыщенность гемоглобина влияет множество факторов. Если, например, кровь становится более кислой, кривая диссоциации смещается вправо. Это показывает, что на тканевом уровне от гемоглобина отделилось большее количество кислорода. Смещение кривой вправо (рис. 16б) вследствие снижения рН называется эффектом Бора. Как правило, рН в легких высокий, поэтому гемоглобин, проходящий по легким, может «рассчитывать» на значительное насыщение кислородом. С другой стороны, на уровне тканей рН ниже, что приводит к диссоциации кислорода и гемоглобина и доставке кислорода к тканям. При физической нагрузке способность «выгружать» кислород в мышцы увеличивается, поскольку рН мышц снижается.

Температура крови также влияет на диссоциацию кислорода. Как видно из рисунка 16в, повышение температуры крови вызывает смещение кривой диссоциации вправо, что свидетельствует о более интенсивной «отгрузке» кислорода. Вследствие этого гемоглобин отдает больше кислорода, когда кровь проходит по активным мышцам, «согретым» вследствие метаболических процессов. В легких, где температура крови ниже, процесс насыщения гемоглобина кислородом более интенсивен.

Повышенная температура крови и концентрация ионов водорода (H^+) в работающих мышцах влияют на кривую диссоциации кислорода, обеспечивая его увеличенную доставку к активным мышцам.

Кислородно-транспортная способность крови

Кислородно-транспортная способность крови – максимальное количество кислорода, которое может транспортировать кровь. В первую очередь она зависит от содержания гемоглобина в крови. У мужчин в каждых 100 мл крови содержится в среднем 14–18 г гемоглобина, у женщин – 12–16 г. Каждый грамм гемоглобина может связываться с 1,34 мл кислорода; таким образом, кислородно-транспортная способность крови составляет 16–24 мл/100 мл при полной насыщенности крови кислородом. Кровь, проходя через легкие, контактирует с альвеолярным воздухом в течение около 0,75 с. Этого времени вполне достаточно, чтобы гемоглобин присоединил почти весь кислород. В итоге **насыщение гемоглобина составит 98 %**.

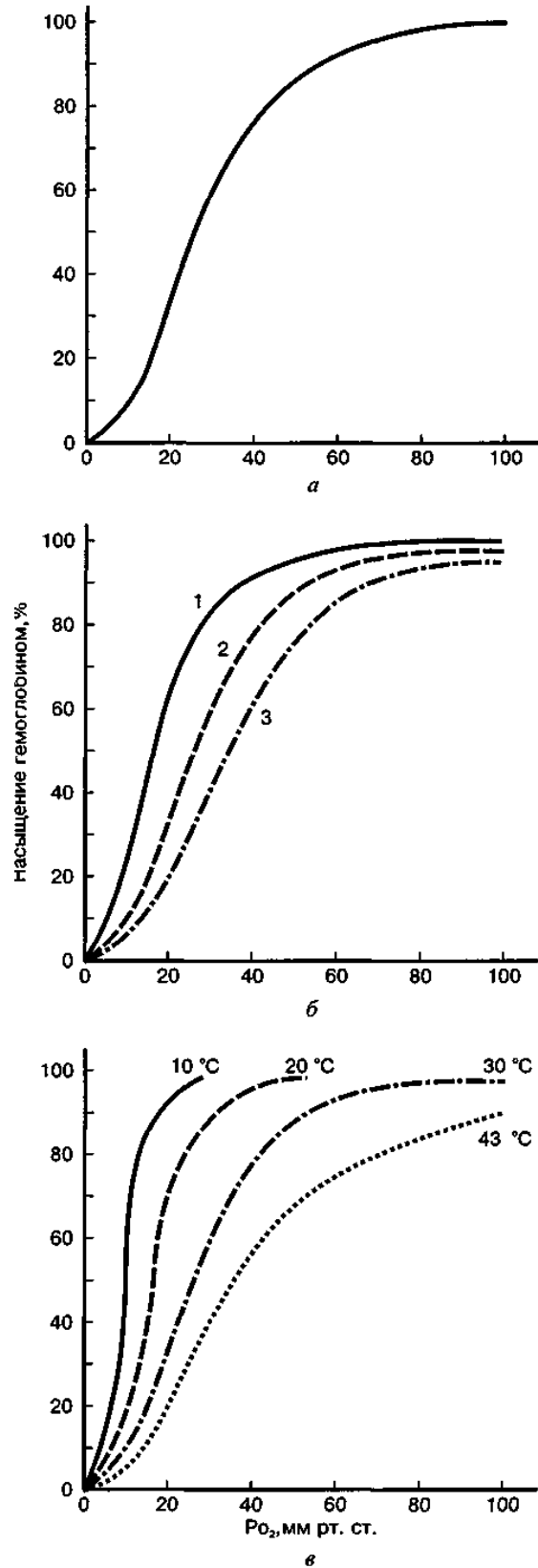


Рис. 16. Обычная кривая диссоциации кислород-гемоглобина (а), влияние рН крови (б) и температуры крови (в) на ее форму: 1 – высокий рН крови (низкое P_{CO_2}); 2 – нормальный рН крови (нормальное P_{CO_2}); 3 – низкий рН крови (высокое P_{CO_2})

Этот показатель отражает значительно большую концентрацию кислорода, чем требуется нашему организму, вследствие чего **кислородно-транспортная способность крови крайне редко ограничивает мышечную деятельность**

Транспорт диоксида углерода

Транспорт диоксида углерода также осуществляется кровью. Выделенный из клеток, углекислый газ транспортируется кровью главным образом в одной из трех форм: 1) растворенный в плазме; 2) в виде ионов бикарбоната, образовавшихся вследствие диссоциации угольной кислоты; 3) связанный с гемоглобином. Рассмотрим каждый вид транспорта.

Растворенный диоксид углерода

Определенное количество диоксида углерода, выделенного из тканей, растворяется в плазме. Однако в таком виде транспортируется очень незначительное его количество (всего 7—10 %). Растворенный диоксид углерода выделяется из плазмы в участке с пониженным P_{CO} , например, в легких. Там он диффундирует из капилляров в альвеолы и выводится из организма.

Ионы бикарбоната

Большая часть диоксида углерода (около 60—70 %) транспортируется в виде ионов бикарбоната. Молекулы диоксида углерода и воды, соединившись, образуют угольную кислоту (H_2CO_3). Эта кислота нестабильна и быстро разлагается, высвобождая ион водорода (H^+) и образуя ион бикарбоната (HCO_3^-):



Угольная кислота бикарбоната H^+ затем связывается с гемоглобином, что вызывает эффект Бора, уже упоминавшийся выше, вследствие которого кривая диссоциации кислород-гемоглобина смещается вправо. Таким образом, образование иона бикарбоната способствует «разгрузке» кислорода. Посредством этого механизма гемоглобин действует как буфер, связывая и нейтрализуя H^+ и тем самым предотвращая значительное подкисление крови. Более подробно вопрос кислотно-щелочного равновесия рассматривается ниже. Когда кровь поступает в легкие, где P_{CO_2} ниже, H^+ и ионы бикарбоната снова соединяются, образуя угольную кислоту, которая затем расщепляется на диоксид углерода и воду:



Снова образовавшийся таким образом диоксид углерода может попасть в альвеолы и выделиться из организма.

Большая часть образованного активными мышцами диоксида углерода транспортируется обратно в легкие в виде ионов бикарбоната

Газообмен в мышцах

Итак, мы выяснили, как респираторная и сердечно-сосудистая системы обеспечивают доставку воздуха в легкие, обмен кислорода и диоксида углерода в альвеолах, транспорт кислорода к мышцам (и выведение из них диоксида углерода). Нам осталось рассмотреть, как транспортируется кислород из капиллярной крови к мышечным тканям и как выводится из них диоксид углерода. Этот газообмен между тканями и кровью в капиллярах представляет собой четвертый и последний этап транспорта газов – внутреннее дыхание.

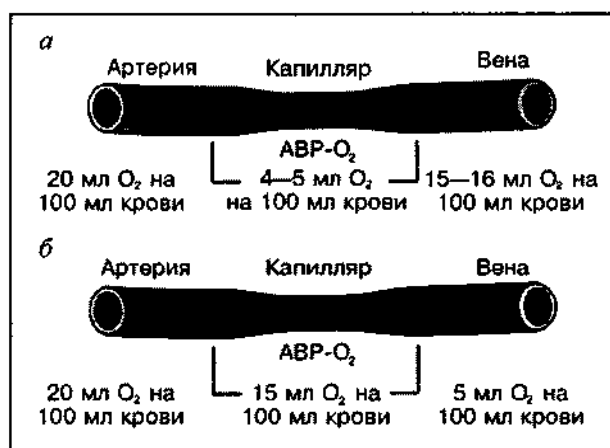


Рис. 17. Артериовенозная разница по кислороду в состоянии покоя и при интенсивной физической нагрузке

Артериовенозная разница по кислороду (рис. 17) увеличивается с 4—5 мл/100 мл крови в состоянии покоя до 15—16 мл/100 мл крови при интенсивной физической нагрузке. Это увеличение отражает повышенное извлечение кислорода из артериальной крови активными мышцами, приводящее к снижению содержания кислорода в венозной крови.

При таком усилии кровь отдает больше кислорода активным мышцам, поскольку P_{O_2} в них намного ниже, чем в артериальной крови.

Факторы, влияющие на доставку и использование кислорода

Интенсивность доставки и использования кислорода зависит от трех переменных:

- 1) содержания кислорода в крови;
- 2) величины кровотока;
- 3) локальных усилий.

Многие локальные изменения в мышце при выполнении физической нагрузки влияют на доставку и потребление кислорода. Например, мышечная активность повышает ее кислотность вследствие образования лактата. Кроме того, в результате усиленного метаболизма повышаются температура мышцы и концентрация диоксида углерода. Эти изменения увеличивают «отгрузку» кислорода из молекулы гемоглобина, способствуя его доставке и потреблению мышцами.

7.2. Регуляция дыхания при выполнении физической нагрузки

Как регулируются дыхательные реакции?

Частота (скорость) и глубина (объем) дыхания контролируются эфферентными нейронами дыхательного центра продолговатого мозга. Дыхательный центр получает сигналы от центральных и периферических хеморецепторов, реагирующих на изменения pH, артериального PO_2 и PCO_2 . Вызванное физической нагрузкой понижение pH и PO_2 и повышение PCO_2 способствуют увеличению минутного объема дыхания.

Экспериментальные данные показывают, что эфферентные нервные импульсы, возникающие в двигательной коре и управляющие активностью скелетных мышц, могут распространяться на дыхательные мышцы и стимулировать дыхание.

Какие еще факторы влияют на дыхательный центр?

Кроме сигналов от хеморецепторов, дыхательный центр получает афферентную информацию от периферических рецепторов, включая мышечные веретена, рецепторы растяжения Гольджи и рецепторы давления, находящиеся в суставах. Некоторые ученые полагают, что в скелетных мышцах есть специальные хеморецепторы, которые реагируют на изменения концентрации ионов калия и водорода и непосредственно связаны с дыхательным центром. При увеличении сердечного выброса механорецепторы сердца также посылают афферентные сигналы, что также может вносить вклад в регуляцию дыхания при физической нагрузке.

Итак, как следует из рисунка 18, в регуляции дыхания принимают участие многие механизмы. Оказывают влияние даже такие простые стимулы, как эмоциональный дистресс или резкое изменение температуры окружающей среды. Все эти механизмы необходимы. Цель дыхания – поддержание соответствующего количества газов в крови и тканях, а также соответствующего рН для обеспечения нормальной клеточной деятельности. Даже незначительные изменения этих переменных могут существенно повлиять на уровень мышечной деятельности и нанести вред здоровью.

Процессы, участвующие в регуляции дыхания при физической нагрузке (рис. 18).

1. Дыхательные центры, расположенные в стволе головного мозга, задают частоту и глубину дыхания.

2. Центральные хеморецепторы головного мозга реагируют на изменения концентраций диоксида углерода и H^+ . При повышении любой из этих переменных центр вдоха усиливает дыхание.

3. Периферические рецепторы, расположенные на дуге аорты и разветвлении сонной артерии, реагируют главным образом на изменение содержания кислорода, CO_2 и H^+ . При значительном снижении содержания кислорода или повышении уровней H^+ и CO_2 они передают эту информацию центру вдоха, который усиливает дыхание.

4. Тензорепцепторы дыхательных путей и легких вынуждают центр выдоха сократить дыхание, чтобы не допустить избыточного наполнения легких. Кроме того, человек в определенной степени может произвольно контролировать дыхание.

5. Во время физической нагрузки вентиляция усиливается почти сразу же в результате стимуляции центра вдоха, обусловленной самой мышечной деятельностью. После этого следует более постепенное ее увеличение вследствие повышения температуры и химических изменений в артериальной крови в результате мышечной деятельности.

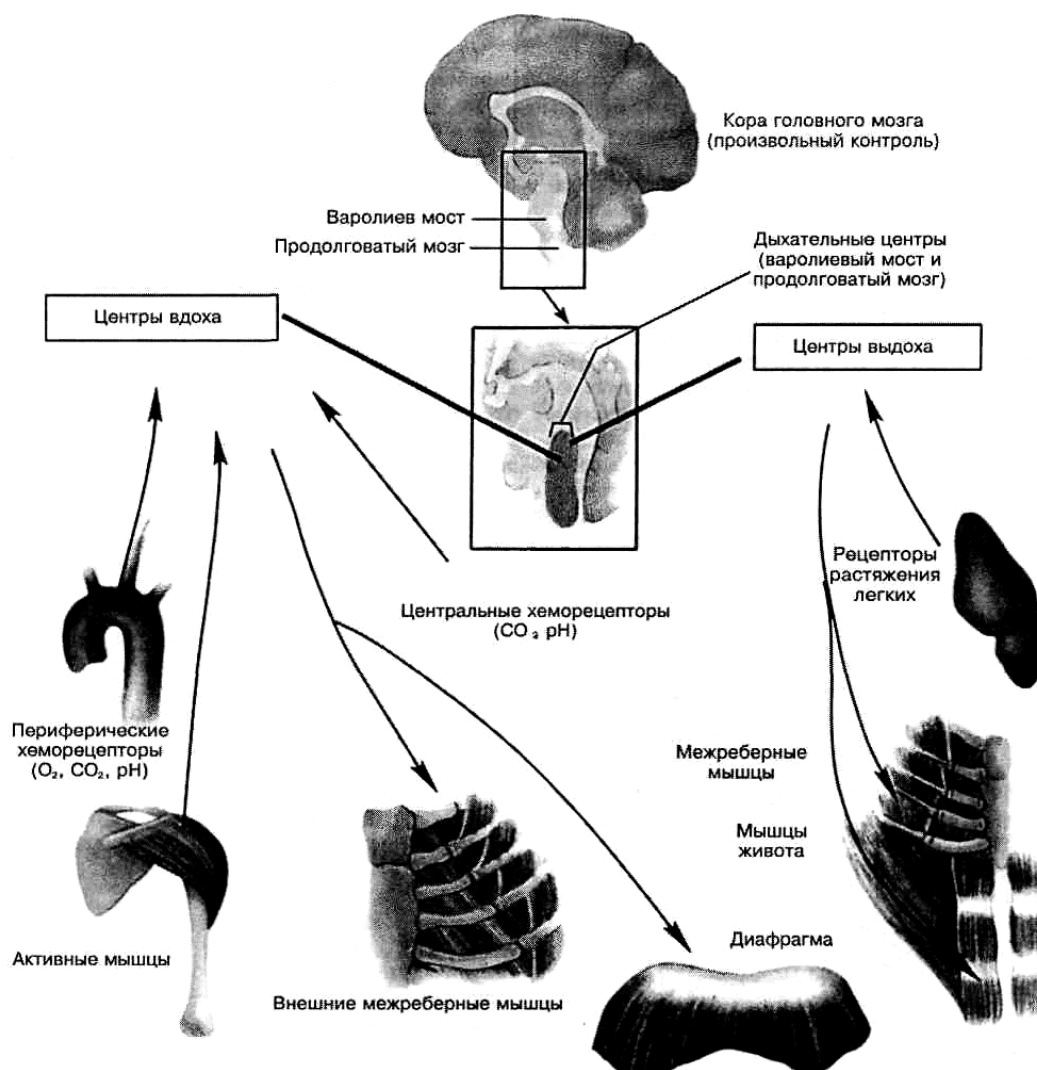


Рис. 18. Процессы, участвующие в регуляции дыхания при физической нагрузке

Легочная вентиляция при физической нагрузке

Увеличение легочной вентиляции – производству очевидный физиологический ответ на физическую нагрузку.

Минутный объем дыхания (МОД) равен произведению дыхательного объема (ДО) (л) и частоты дыхательных движений (ЧДД, ЧД) (д/мин).

При физической нагрузке:

ЧД – с 12—15 до 40—50 (д/мин)

ДО – от 0,5 до 3,0 и более (л)

МОД – от 7,5 до 120—175 (л/мин)

На рисунке 19 показано, что минутная вентиляция в начале работы увеличивается линейно с повышением интенсивности работы и затем, достигнув какой-то точки в районе максимума, становится сверхлинейной.

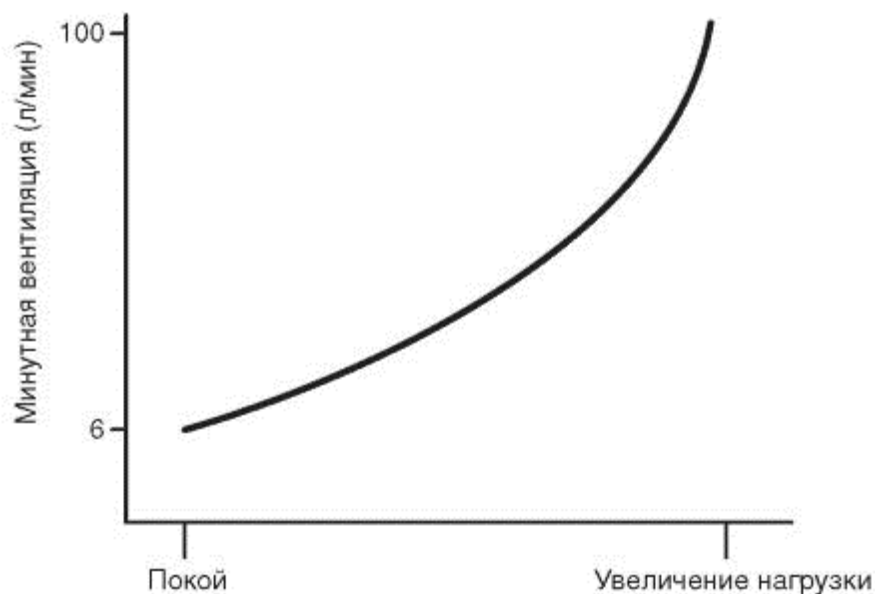


Рис. 19. Зависимость минутной вентиляции от интенсивности физической нагрузки

Начало мышечной деятельности сопровождается усилением легочной вентиляции в 2 раза. Существенное увеличение происходит почти немедленно, затем следует продолжающееся постепенное увеличение глубины и частоты дыхания. Подобное двухфазное увеличение свидетельствует о том, что первоначальное усиление вентиляции обусловлено механикой движений тела. С началом упражнения, прежде чем происходит любое химическое стимулирование, более активной становится двигательная область коры головного мозга, которая посылает стимулирующие импульсы в центр вдоха; он реагирует на них усилением дыхания. Кроме того, механизм проприоцептивной обратной связи активных скелетных мышц и суставов обеспечивает дополнительную импульсацию, на которую также реагирует дыхательный центр.

Вторая фаза увеличения дыхания обусловлена изменением температуры и химического состава артериальной крови. По мере выполнения физической нагрузки вследствие усиления метаболизма в мышцах образуется больше тепла, диоксида углерода и H^+ . Все это способствует «разгрузке» мышц и повышает $AVP-O_2$. Кроме того, в кровь попадает больше диоксида углерода, в результате чего увеличивается содержание в ней не только диоксида углерода, но и H^+ . Это ощущают хеморецепторы, которые, в свою очередь, стимулируют дыхательный центр, повышая частоту и глубину дыхания. По мнению некоторых ученых, в этом процессе могут принимать участие и хеморецепторы мышц. Более того, по имеющимся данным рецепторы, находящиеся в правом желудочке, также посылают информацию в дыхательный центр, в результате чего увеличивается сердечный выброс, стимулирующий дыхание в первые минуты выполнения упражнения.

При повышении интенсивности физической нагрузки до максимальной в определенный момент вентиляция начинает увеличиваться непропорционально потреблению кислорода. Это так называемый момент снижения эффективности вентиляции (рис. 20).

Момент снижения эффективности вентиляции

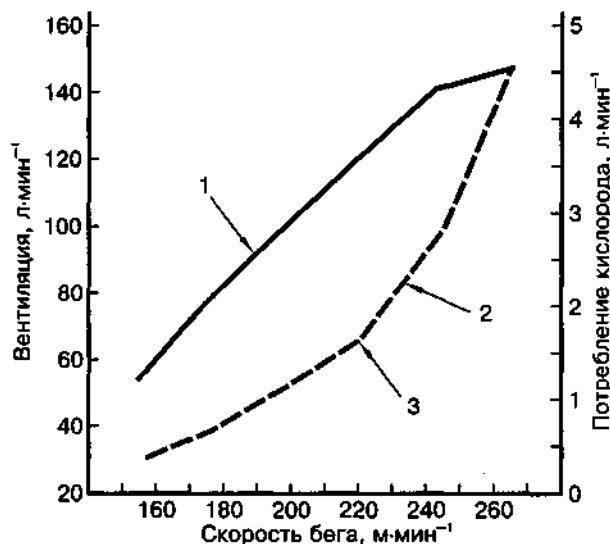


Рис. 20. Изменения легочной вентиляции во время выполнения физической нагрузки, иллюстрирующие момент снижения эффективности вентиляции:

- 1 — потребление кислорода; 2 — вентиляция;
3 — момент снижения эффективности вентиляции

Когда интенсивность нагрузки превышает 55—70 % МПК, транспортируемый в мышцы кислород не удовлетворяет потребность в нем для окисления. Это компенсируется образованием большего количества энергии путем гликолиза, что ведет к увеличению образования и аккумуляции молочной кислоты. Молочная кислота в сочетании с бикарбонатом натрия, нейтрализующим кислоту, образуют лактат натрия, воду и диоксид углерода. Как нам уже известно, диоксид углерода стимулирует хеморецепторы, которые посылают сигнал в центр вдоха увеличить вентиляцию. Таким образом, момент снижения эффективности вентиляции отражает реакцию респираторной системы на повышенное содержание CO_2

Вентиляция увеличивается прямо пропорционально интенсивности выполнения работы до момента снижения ее эффективности. После этого она увеличивается непропорционально по мере того, как организм пытается избавиться от излишнего CO_2 .

Это наблюдается также, когда молочная кислота образуется быстрее, чем (удаляется) метаболизируется. Эта точка, которая зависит от типа работы и состояния тренированности испытуемого, называется *анаэробным* или *лактатным* порогом.

Что такое лактатный порог?

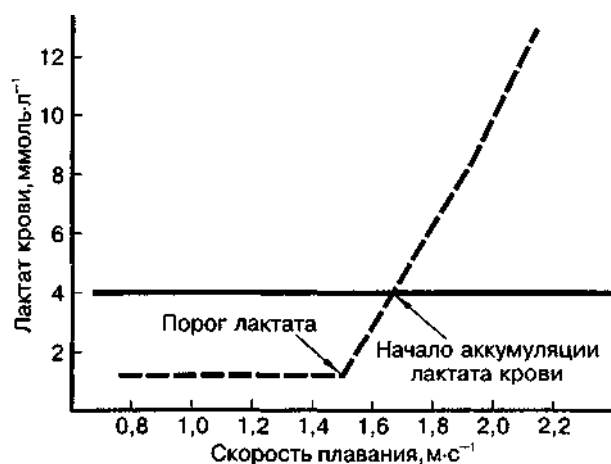


Рис. 21. Взаимосвязь интенсивности физической нагрузки (скорости плавания) и аккумуляции лактата в крови

Порог лактата определяют как момент начала аккумуляции лактата в крови во время физической нагрузки увеличивающейся интенсивности сверх уровней, характерных для состояния покоя. Если интенсивность мышечной деятельности небольшая или средняя, уровень лактата лишь немного превышает показатель в состоянии покоя. Увеличение интенсивности приводит к более быстрой аккумуляции лактата. При невысокой скорости плавания (рис. 21) уровни лактата равны или близки к уровням, характерным для состояния покоя. При увеличении скорости плавания более $1,4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ уровни лактата крови быстро повышаются. Эта точка разрыва непрерывности на кривой соответствует порогу лактата.

Лактатный порог — это момент, когда во время выполнения физической нагрузки происходит быстрая аккумуляция лактата в крови, превышающая уровни лактата в покое.

Интенсивность нагрузки, при которой происходит систематическое повышение уровня лактата в крови, называется лактатным порогом.

Рабочая нагрузка, при которой начинается нелинейное повышение концентрации лактата в крови

В практической физиологии было мало тем, которые исследовались бы больше или обсуждались бы более горячо, чем лактатный порог.

По мнению некоторых исследователей, порог лактата отражает значительный сдвиг в сторону анаэробного гликолиза, вследствие которого образуется лактат. Поэтому значительное повышение уровня лактата крови при увеличении усилия называют анаэробным порогом.

В первой половине прошлого столетия Douglas с соавторами обнаружили, что при некотором уровне нагрузки концентрация лактата в крови увеличивается, что сопровождается снижением концентрации бикарбонатных ионов и усилением дыхания. Позднее Wasserman и Holtmann разработали концепцию «порога анаэробной нагрузки организма» и неинвазивные методы его определения, связав повышение концентрации лактата с возникающим кислородным долгом.

В настоящее время гипотеза анаэробного лактатного порога подвергается резкой критике со стороны физиологов и биохимиков.

Результаты экспериментов с применением радиоизотопной методики в состоянии мышечного покоя и данные, полученные Connett et al., показывают, что лактат образуется и в условиях достаточного поступления кислорода.

Таким образом, продукция лактата не обязательно связана с анаэробными условиями, то есть образованием АТФ при дефиците кислорода. В настоящее время общепризнанным является тот факт, что измерение концентрации лактата в крови не дает информации о скорости его образования, а лишь отражает баланс между выходом лактата в кровь и его устранением из крови. Современные приемы биохимии позволяют нам исследовать легочную вентиляцию, буферные системы организма, динамику закисления и нейтрализации лактата прямыми, а не косвенными методами, подтвердив или опровергнув концепцию анаэробного порога.

Почему важен лактатный порог?

Лактатный порог для конкретного человека, выполняющего определенную работу, относительно постоянен. Исследования показывают, что интенсивность нагрузки при лактатном пороге соответствует максимальной интенсивности работы, которая может поддерживаться на постоянном уровне. Это означает, что чем выше лактатный порог, тем выше интенсивность продолжительной работы. Проще говоря, при одинаковых значениях VO_{2max} вы сможете длительное время бежать, например, на 70 % или только на 50 % ваших максимальных возможностей, в зависимости от величины лактатного порога.

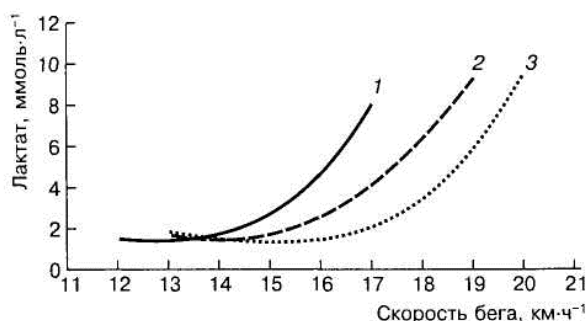


Рис. 22. Смещение кривой лактата вправо – увеличение возможностей аэробной системы энергообеспечения

Смещение кривой лактата при выполнении стандартной нагрузки. Увеличение возможностей аэробной системы энергообеспечения сопровождается уменьшением количества лактата при выполнении стандартной нагрузки смешанного аэробно-анаэробного характера или увеличением работоспособности при одних и тех же показателях лактата. На рисунке 22 приведен пример оценки аэробных возможностей и эффективности протекания процесса адаптации в целом по показателям скорости бега и концентрации лактата в крови. Существенное увеличение скорости при обследовании с интервалом 1 год сопровождается одной и той же концентрацией лактата в крови, что свидетельствует

об эффективной адаптации и повышении возможностей аэробной системы энергообеспечения. Смещение кривой лактата влево свидетельствует о перегрузке и снижении возможностей аэробной системы энергообеспечения (рис. 23).

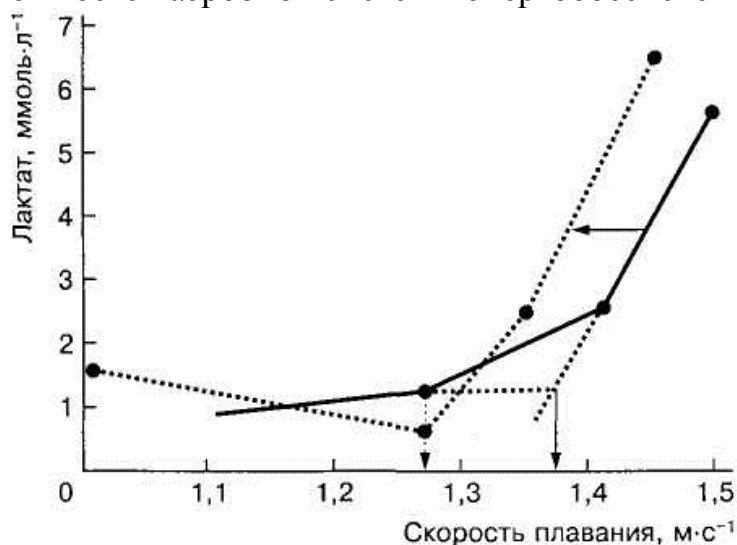


Рис. 23. Смещение кривой лактата влево – снижение (перенапряжение) возможностей аэробной системы энергообеспечения

Как определяется лактатный порог?

Обычно выполняется проба с возрастающей нагрузкой, при которой проводится периодическое измерение содержания лактата артериальной крови, забираемой через катетер. Рабочая нагрузка постепенно возрастает до тех пор, пока не станет максимально допустимой. Строится график зависимости концентрации лактата в крови от величины рабочей нагрузки и определяется точка перегиба линейной зависимости.

Можно ли определить лактатный порог без использования артериального катетера?

Да. Лактатный порог можно оценить по данным газообмена, получаемым при непрямой газовой калориметрии. В этом случае сразу после достижения лактатного порога и изменения артериального рН наступает остановка дыхания или непропорциональное усиление дыхания в ответ на изменение рабочей нагрузки. Эта остановка называется дыхательным порогом.

Изучение влияния физической нагрузки на вентиляцию легких приводит к пониманию системы дыхания как единого и взаимосвязанного процесса: вентиляция (внешнее, легочное дыхание), сердечно-сосудистая транспортная система и внутреннее дыхание (рис. 24).

Взаимодействие дыхательной, сердечно-сосудистой и микроциркуляторной систем в процессе доставки кислорода и удаления продуктов обмена для обеспечения синтеза АТФ в митохондриях показано на рисунке 25.

Каждая система должна работать оптимально, чтобы наилучшим образом удовлетворять потребности работающей скелетной мышцы. Системой, лимитирующей нагрузку, всегда оказывается наименее тренированная.

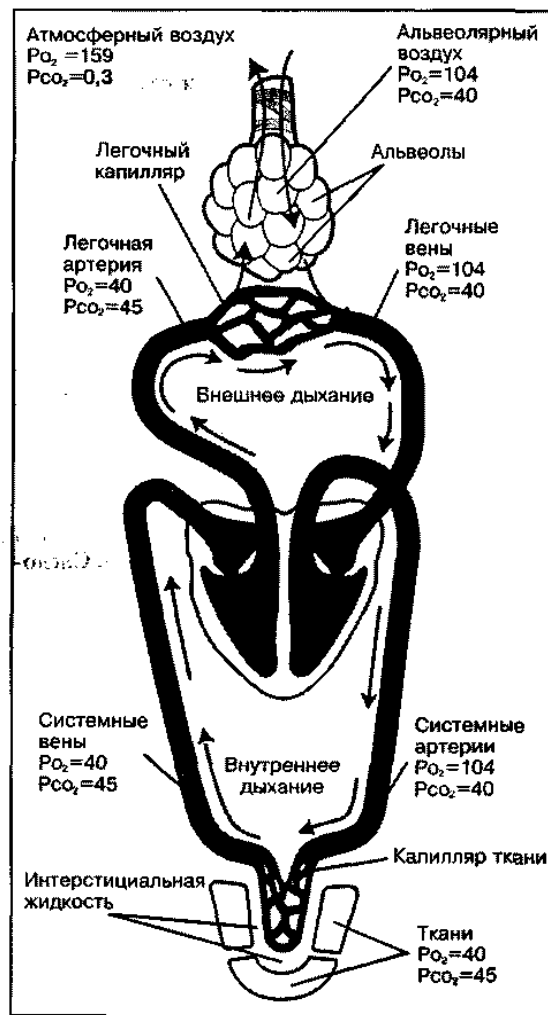


Рис. 24. Внешнее и внутреннее дыхание



Рис. 25. Взаимодействие различных систем энергетического обеспечения физической нагрузки

Какая система организма является лимитирующим фактором, причиной ограничения физической активности?

Согласно центральной теории, причиной ограничения величины максимальной физической нагрузки оказывается недостаточное количество кислорода, доставляемого к скелетной мускулатуре. Доставку кислорода обеспечивает

сердечно-сосудистая система. Важную роль сердечно-сосудистой системы в поддержании поглощения кислорода показывает уравнение Фика.

Как только ударный объем достигает максимального значения, дальнейшее увеличение сердечного выброса может происходить только за счет увеличения частоты сердечных сокращений. Если ЧСС превышает 200 уд/мин, уменьшается время наполнения сердца кровью и также фактически снижается ударный объем. Таким образом, необходим баланс между достаточно высокой ЧСС и возможно малым временем наполнения желудочков. Поскольку минутный объем и частота дыхания могут увеличиваться даже при потреблении O_2 , равном МПК, т. е. когда максимум ЧСС уже достигнут, лимитирующим фактором обычно считается сердечно-сосудистая система. Плюс ко всему, необходимость доставки крови к сосудам кожи для обеспечения потоотделения и теплоотдачи вызывает конкурентное распределение кровотока между кожей и скелетными мышцами.

Ограничивает ли дыхание физические возможности?

Несмотря на то что при ряде заболеваний дыхательная система может ограничивать физические возможности, у здоровых людей дыхание не считается фактором, лимитирующим физическую нагрузку. Диафрагма обладает в 2–3 раза большими окислительными способностями и плотностью капилляров по сравнению с другими скелетными мышцами, экономно расходует гликоген и устойчива к утомлению. В ней преобладает окисление жиров, что делает ее менее зависимой от содержания гликогена и углеводов. У здоровых людей даже при максимальной физической нагрузке выходящая из легких кровь практически полностью насыщена кислородом, что свидетельствует о большой функциональной емкости этой системы.

Может ли система дыхания когда-либо ограничивать физическую активность?

1. Легочная вентиляция обычно не является фактором, лимитирующим мышечную деятельность у здоровых людей даже при максимальном усилии.

2. Респираторная система может ограничивать мышечную деятельность у людей с респираторными заболеваниями.

3. У спортсменов и тренированных людей, выполняющих продолжительную тяжелую физическую работу, дыхание может ограничивать нагрузку, когда лимитирующим фактором становится конкуренция дыхательных и скелетных мышц за приток крови и за кислород.

7.3. Реакции эндокринной системы на физическую нагрузку

Основную регулирующую работу во время выполнения физической нагрузки берет на себя нервная система. Однако не менее активное участие принимает и другая система, которая постоянно следит за состоянием внутренней среды, замечая все изменения и быстро реагируя на них, чтобы не допустить резкого нарушения гомеостаза. Это – эндокринная система, осуществляющая контроль с помощью выделяемых ею гормонов.

Таблица 1

Гормональные изменения, обусловленные физическими нагрузками

| Гормон | Реакция на нагрузку | Взаимосвязь | Возможное значение |
|-------------------------------|---------------------|---|---|
| Катехоламины | Увеличение | Более значительное увеличение содержания при более высокой интенсивности, норадреналин > адреналин, меньшее увеличение после тренировок | Повышенное содержание глюкозы в крови Не известно |
| Гормон роста | | Больше увеличивается у неподготовленных людей; быстрее снижается после прекращения нагрузки у подготовленных людей | |
| АКТГ-кортизол | | Более значительное увеличение количества при более высокой интенсивности нагрузки; меньшее увеличение после субмаксимальных нагрузок | Повышенный глюконеогенез в печени (почках) |
| Тиреотропин-тироксин | Увеличение | Повышает обмен тироксина вследствие тренировок; токсические воздействия не наблюдались | Не известно |
| Лютеинизирующий гормон | Не известна | Не известна | Не известно |
| Тестостерон | Увеличение | Не известна | Не известно |
| Эстрадиол-прогестерон | Увеличение | Повышается во время лютеальной фазы цикла | Не известно |
| Инсулин | Снижение | Меньшая степень снижения после тренировок | Пониженный стимул к использованию глюкозы крови |
| Глюкагон | Увеличение | Меньшая степень увеличения после тренировок | Повышенный уровень глюкозы крови благодаря гликогеколизу и ппоконеогенезу |
| Ренин-ангиотензин-альдостерон | Увеличение | Такая же степень увеличения у крыс после тренировок | Задержка натрия с целью поддержания объема плазмы |
| Антидиуретический гормон | Возможно увеличение | Не известна | Задержка воды с целью поддержания объема |
| Кальцитонин | Не известна | | Необходим для обеспечения нормального развития костей |
| Эритропоэтин | | | Может играть важную роль в повышении эритропоэза |
| Простагланлины | Возможно увеличение | Могут увеличиваться в ответ на продолжающиеся изометрические сокращения | Могут обеспечивать локальное расширение сосудов |

Хотя в процессе обеспечения связи между различными системами и тканями организма огромную роль играет нервная система, «настройку» физиологических реакций организма на любое нарушение его равновесия осуществляет эндокринная система.

Обе эти системы совместно обеспечивают взаимодействие и контроль движений, а также все имеющие к нему отношение физиологические процессы. Нервная система функционирует очень быстро, оказывая непродолжительные локальные воздействия, тогда как эндокринная система функционирует намного медленнее и оказывает более продолжительные и более общие воздействия.

Реакции эндокринной системы на кратковременную физическую нагрузку иллюстрирует таблица 1. В ней приведены гормоны, которые, как считают, играют главную роль при мышечной деятельности.

Влияние эндокринной системы на энергообеспечение во время физической нагрузки

Регуляция метаболизма глюкозы время физической нагрузки

Для удовлетворения повышенных потребностей организма в энергии при мышечной деятельности необходимо повышенное количество глюкозы для утилизации мышцами. Глюкоза содержится в организме в виде гликогена, в основном в мышцах и печени. Для высвобождения глюкозы необходимо увеличение интенсивности гликогенолиза. Освободившаяся из печени, глюкоза попадает в кровь и циркулирует по всему телу, поэтому ее могут использовать активные ткани. Глюконеогенез может привести к повышению уровней глюкозы в плазме. Рассмотрим гормоны, участвующие как в гликогенолизе, так и в глюконеогенезе.

Действия четырех гормонов направлены на увеличение количества циркулирующей в плазме глюкозы: 1) глюкагон; 2) адреналин; 3) норадреналин; 4) кортизол.

Концентрация глюкозы в плазме во время мышечной деятельности зависит от соотношения между потреблением ее мышцами и выделением печенью. В состоянии покоя выделению глюкозы из печени способствует глюкагон, обеспечивающий расщепление гликогена печени и образование глюкозы из аминокислот. Во время физической нагрузки секреция глюкагона усиливается. Мышечная активность также повышает интенсивность выделения катехоламинов из мозгового вещества надпочечников, и эти гормоны (адреналин и норадреналин) совместно с глюкагоном обеспечивают дальнейшее усиление гликогенолиза. Установлено, что во время физической нагрузки уровни кортизола также повышаются. Кортизол, в свою очередь, усиливает катаболизм белков, освобождая аминокислоты для глюконеогенеза, который реализуется в печени. Таким образом, все 4 гормона увеличивают количество глюкозы в плазме, усиливая процессы гликогенолиза и глюконеогенеза. Кроме того, гормон роста повышает мобилизацию свободных жирных кислот и снижает клеточное потребление глюкозы, вследствие чего клетки используют меньше глюкозы (больше глюкозы остается в системе кровообращения), а гормоны щитовидной железы способствуют катаболизму глюкозы и метаболизму жиров.

Количество глюкозы, выделяемой печенью, зависит от интенсивности и продолжительности физической нагрузки. С увеличением интенсивности увеличивается выделение катехоламинов. Чем выше интенсивность физической нагрузки, тем больше выделяется катехоламинов. Следовательно, значительно повышается интенсивность гликогенолиза. Этот процесс происходит не только в печени, но и в мышцах. Глюкоза, выделяемая печенью, поступает в кровь и становится доступной мышцам. Однако мышцы имеют и другой доступный источник глюкозы – свой собственный гликоген. Мышца использует свои запасы гликогена, прежде чем использовать глюкозу плазмы во время кратковременной физической нагрузки «взрывного» типа. Глюкоза, выделяемая печенью, используется не сразу, а остается в системе кровообращения, повышая уровень глюкозы в плазме. После завершения физической нагрузки уровни глюкозы в плазме снижаются по мере того, как глюкоза поступает в мышцы, восполняя истощенные запасы мышечного гликогена.

Во время физической нагрузки продолжительностью несколько часов интенсивность выделения глюкозы печенью максимально соответствует потребностям мышцы, и уровень содержания глюкозы в плазме соответствует или слегка превышает ее содержание в состоянии покоя. При увеличении потребления глюкозы мышцей интенсивность ее выделения печенью также повышается. В большинстве случаев уровни глюкозы в плазме не снижаются до тех пор, пока не истощатся запасы гликогена в печени. В этот момент значительно увеличивается количество глюкагона. Глюкагон вместе с кортизолом усиливают глюконеогенез, обеспечивая организм большим количеством энергии.

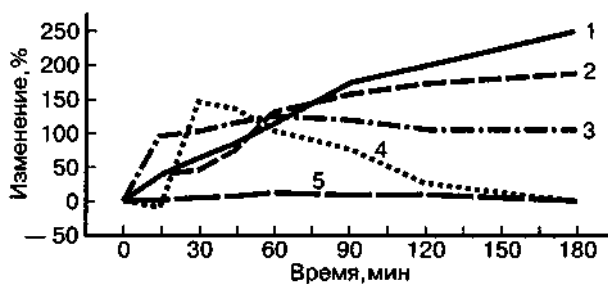


Рис. 26. Изменения уровней адреналина (1), норадреналина (2), глюкагона (3), кортизола (4) и глюкозы (5) в плазме во время трехчасовой езды на велосипеде с интенсивностью 65 % МПК

Рисунок 26 иллюстрирует изменение уровней содержания адреналина, норадреналина, глюкагона, кортизола и глюкозы в плазме во время езды на велосипеде в течение 3 часов. Хотя гормональная регуляция глюкозы при такой продолжительной физической нагрузке не нарушается, содержание гликогена в печени может существенно понизиться. В результате интенсивность выделения глюкозы печенью окажется меньше интенсивности ее потребления. В таких условиях уровень глюкозы может снизиться, несмотря на значительное гормональное стимулирование.

Утилизация глюкозы мышцами

Простое выделение достаточного количества глюкозы в кровь не означает, что мышечные клетки получают достаточно глюкозы, чтобы удовлетворить энергетические потребности организма. Глюкоза не просто должна поступать в эти клетки, а потребляться ими. Этот процесс основан на действии инсулина. Как только глюкоза поступает в мышцу, инсулин обеспечивает ее транспорт в волокна.

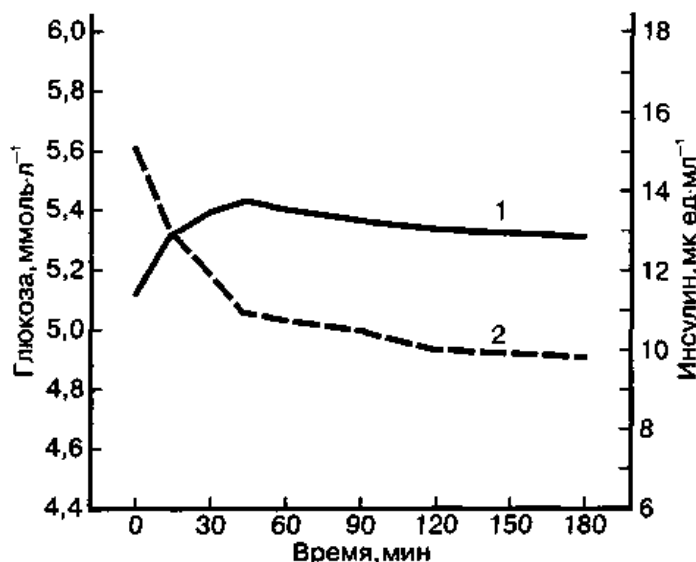


Рис. 27. Изменение уровней глюкозы (1) и инсулина (2) в плазме при продолжительной езде на велосипеде с интенсивностью 65—70 % МПК

Удивительно (рис. 27), но уровни инсулина плазмы снижаются при продолжительной субмаксимальной нагрузке, несмотря на увеличение концентрации глюкозы в плазме и ее более интенсивное использование мышцами. Это явное противоречие между концентрацией инсулина в плазме и потребностью мышцы в глюкозе напоминает нам, что активность гормонов не всегда определяется их содержанием в крови. В данном случае чувствительность клетки к инсулину может быть такой же важной переменной, как и количество циркулирующего в крови гормона. Физические нагрузки могут усиливать процесс связывания инсулина рецепторами мышечного волокна. Мышечные сокращения, непонятно по каким причинам, оказывают инсулиноподобное воздействие при рекрутировании рецепторов: на клетках появляется больше рецепторов и их активность может повышаться, тем самым снижая потребность в значительном количестве инсулина в плазме для транспорта глюкозы через оболочку клетки. Это очень важно, поскольку во время мышечной деятельности 4 гормона пытаются выделить глюкозу из мест ее хранения и образовать новую глюкозу. Их действию противостоит повышенное количество инсулина, направленное на предотвращение чрезмерного уменьшения количества глюкозы.

Регуляция метаболизма жиров во время физической нагрузки

Жиры играют важную роль для выполнения физической работы, требующей проявления выносливости. Во время такой работы запасы углеводов истощаются и энергетические потребности организма в большей степени удовлетворяются за счет окисления жиров. При пониженных запасах углеводов (низкие уровни глюкозы плазмы и мышечного гликогена) эндокринная система может ускорить окисление жиров (липолиз), тем самым удовлетворяя энергетические потребности мышц. Процесс липолиза интенсифицируется также в результате повышения уровней адреналина и норадреналина.

Свободные жирные кислоты хранятся в форме триглицеридов в жировых клетках и внутри мышечных волокон. Триглицериды должны расщепиться, чтобы высвободить свободные жирные кислоты, которые затем транспортируются в мышечные волокна. Триглицериды расщепляются до свободных жирных кислот с помощью специального фермента – липазы, активируемой, по меньшей мере, четырьмя гормонами: кортизолом, адреналином, норадреналином и гормоном роста.

Помимо того, что кортизол играет важную роль в глюконеогенезе, он также ускоряет мобилизацию и использование свободных жирных кислот в качестве источника энергии во время выполнения физической нагрузки. При продолжительной физической нагрузке (рис. 27) уровни кортизола в плазме достигают пика через 30–45 минут мышечной деятельности, а затем снижаются почти до нормальных величин. В то же время концентрация свободных жирных кислот продолжает повышаться в течение всего периода выполнения физической нагрузки. Это означает, что другие гормоны должны продолжать активировать липазу. Гормоны, которые продолжают этот процесс, – катехоламины и гормон роста.

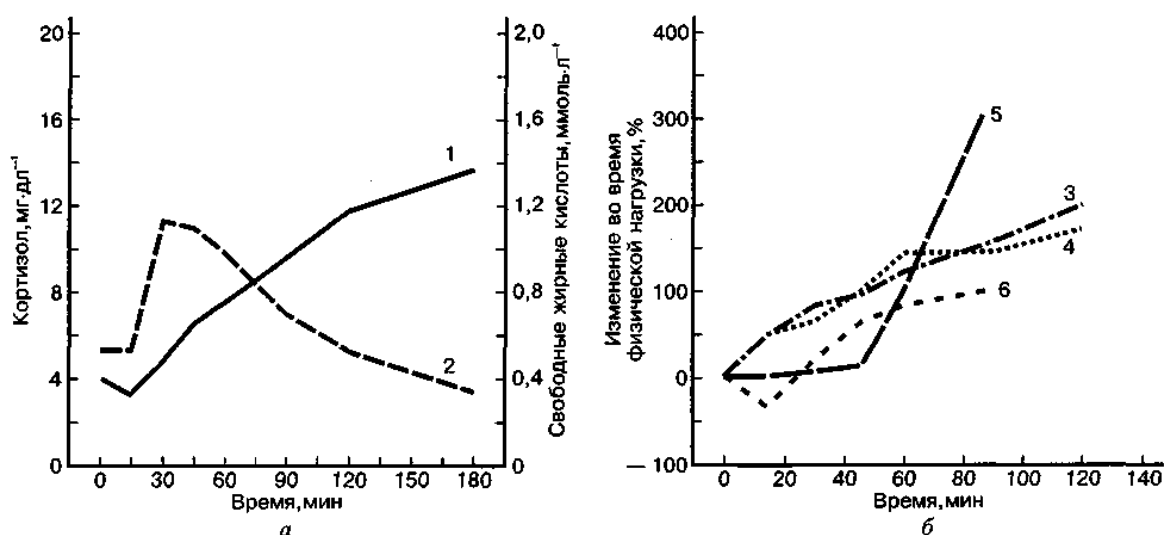


Рис. 27. Изменение содержания в плазме свободных жирных кислот (1) и кортизола (2) (а), адреналина (3), норадреналина (4), гормона роста (5), свободных жирных кислот (б) при продолжительной физической нагрузке (б)

Как видно из рисунка 27, содержание этих гормонов в плазме увеличивается в течение всего периода выполнения физической нагрузки, постепенно усиливая выделение свободных жирных кислот и окисление жиров. Такие же воздействия оказывают гормоны щитовидной железы.

Таким образом, эндокринная система играет очень большую роль в регуляции образования АТФ во время мышечной деятельности, а также обеспечивает контроль равновесия между метаболизмом углеводов и жиров.

1. Содержание глюкозы в плазме повышается вследствие комбинированного воздействия глюкагона, адреналина, норадреналина и кортизола. Эти гормоны обеспечивают гликогенолиз и глюконеогенез, тем самым увеличивая количество глюкозы, которую можно использовать в качестве источника энергии. Эти же функции выполняют гормон роста и гормоны щитовидной железы.

2. Инсулин помогает выделенной глюкозе поступить в клетки, где она может быть использована для образования энергии. Однако уровень инсулина снижается при продолжительной физической нагрузке, свидетельствуя о том, что физическая нагрузка сама по себе способствует действию инсулина. Таким образом, при выполнении физической нагрузки требуется меньше гормонов, чем в состоянии покоя.

3. При пониженных запасах углеводов организм переходит на использование жиров в качестве источника энергии. Этому процессу способствуют кортизол, адреналин, норадреналин и гормон роста.

4. Кортизол ускоряет процесс липолиза, выделяя в кровь свободные жирные кислоты, которые могут быть использованы клетками для образования энергии. Уровень кортизола достигает пика, а затем при продолжительной физической работе возвращается к исходному уровню. Когда это происходит, роль кортизола начинают выполнять катехоламины и гормон роста.

Влияние гормонов на баланс жидкости и электролитов во время физической нагрузки

В начале физической работы вода перемещается из крови в интерстициальные и внутриклеточные пространства. Это перемещение связано с активной мышечной массой и интенсивностью усилия. Продукты метаболического распада начинают накапливаться внутри и вокруг мышечных волокон, повышая осмотическое давление. В эти же участки поступает и вода. Кроме того, усиленная мышечная активность вызывает повышение артериального давления, что, в свою очередь, выводит воду из крови. Во время физической нагрузки усиливается также процесс потоотделения. В результате этих действий мышца накапливает воду за счет объема плазмы. Например, бег при 75 % МПК приводит к снижению объема плазмы на 5–10 %. Пониженный объем плазмы обуславливает снижение артериального давления и кровоснабжения кожи и мышц, что может оказывать серьезное отрицательное воздействие на спортивный результат.

Эндокринная система играет главную роль в регуляции уровней жидкости в организме. Главную роль в этом процессе выполняют два гормона – альдостерон и антидиуретический гормон, а основной мишенью являются почки.

Альдостерон и механизм ренин-ангиотензина

Почки оказывают значительное регулирующее воздействие на артериальное давление, позволяющее им также регулировать баланс жидкости в организме. Главный определяющий фактор артериального давления – объем плазмы: если уменьшается объем плазмы, снижается и артериальное давление. За уровнем артериального давления постоянно «следят» специальные клетки, находящиеся в почках. Во время выполнения физической нагрузки их действие стимулируется снижением артериального давления и пониженным кровоснабжением почек вследствие повышенной симпатической нервной деятельности или непосредственного воздействия со стороны симпатических нервов.

Почки реагируют на снижение артериального давления или пониженный кровоток образованием фермента – ренина. Ренин, в свою очередь, превращает белок плазмы – ангиотензиноген – в активную форму, которая называется ангиотензином I, в конечном итоге превращающимся в ангиотензин II, который выполняет две функции. Во-первых, он является мощным констриктором артериол. Вследствие этого увеличивается периферическое сопротивление, вызывающее повышение артериального давления. Во-вторых, ангиотензин II способствует выделению альдостерона из коркового вещества надпочечников.

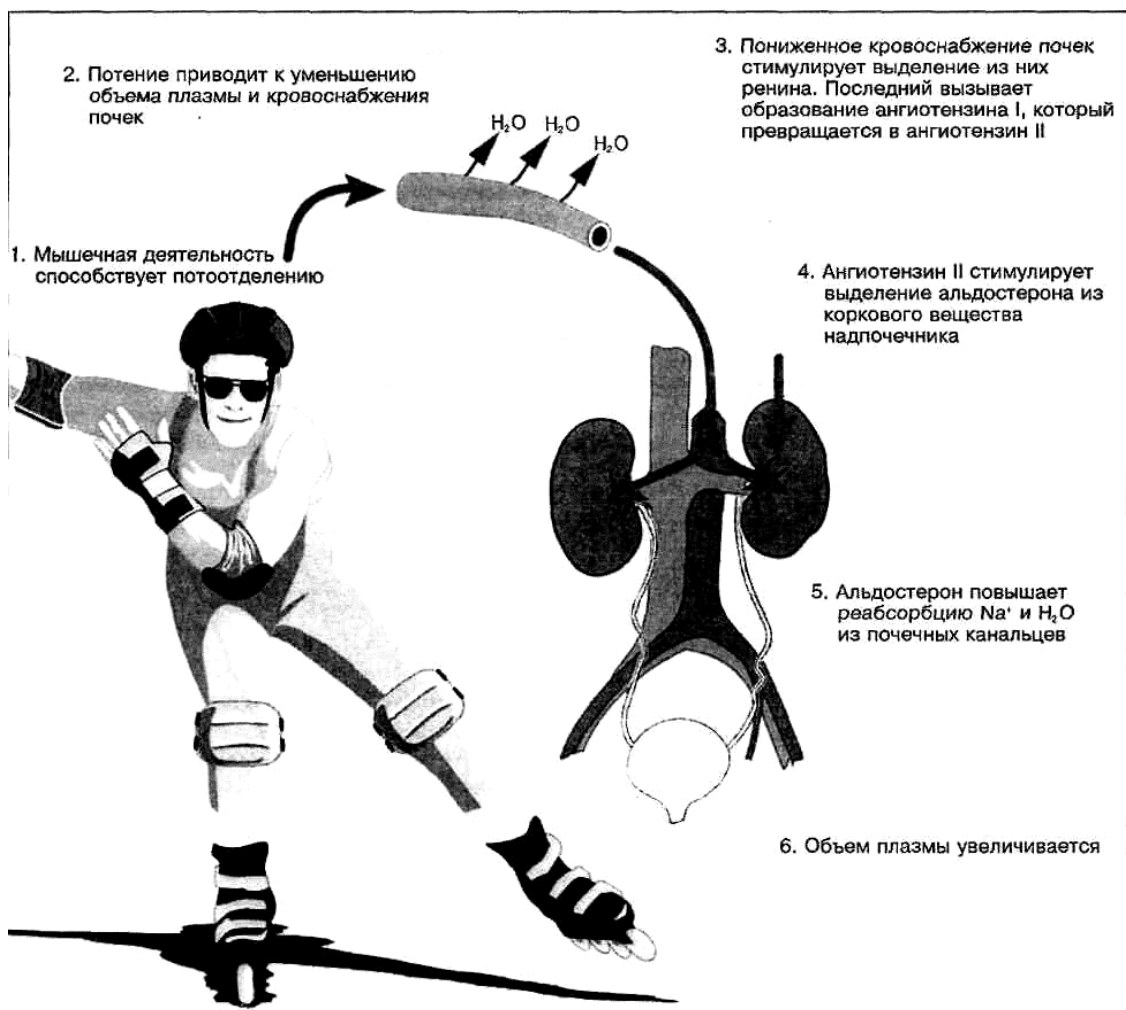


Рис. 28. Механизм действия ренин-ангиотензина

Альдостерон обеспечивает реабсорбцию натрия в почках. Поскольку вода следует за натрием, задержка почками натрия ведет и к задержке воды. В результате содержание жидкости в организме увеличивается, что способствует восполнению объема плазмы и повышению артериального давления до нормальных уровней. Изменение объема плазмы и концентраций альдостерона при выполнении физической нагрузки в течение 2 часов показано на рисунке 28.

Антидиуретический гормон

Другим гормоном, принимающим активное участие в регуляции баланса жидкости, является антидиуретический гормон. Он выделяется в ответ на увеличение концентрации растворенных в крови веществ. Во время физической нагрузки перемещение воды из плазмы повышает концентрацию крови. Этому же способствует процесс потоотделения. Все это приводит к повышению осмоляльности крови. Концентрированная плазма циркулирует и достигает гипоталамуса, в котором находятся осморцепторы, постоянно регулирующие осмоляльность крови. При повышении осмоляльности гипоталамус стимулирует выделение антидиуретического гормона из задней доли гипофиза. Этот гормон обеспечивает реабсорбцию воды в почках и, следовательно, ее задержку в организме. Как и в случае с альдостероном, хотя стимулы и механизмы действия во многом отличаются, чистым эффектом секреции антидиуретического гормона является увеличение содержания жидкости в организме, восстановление нормального объема плазмы и артериального давления.

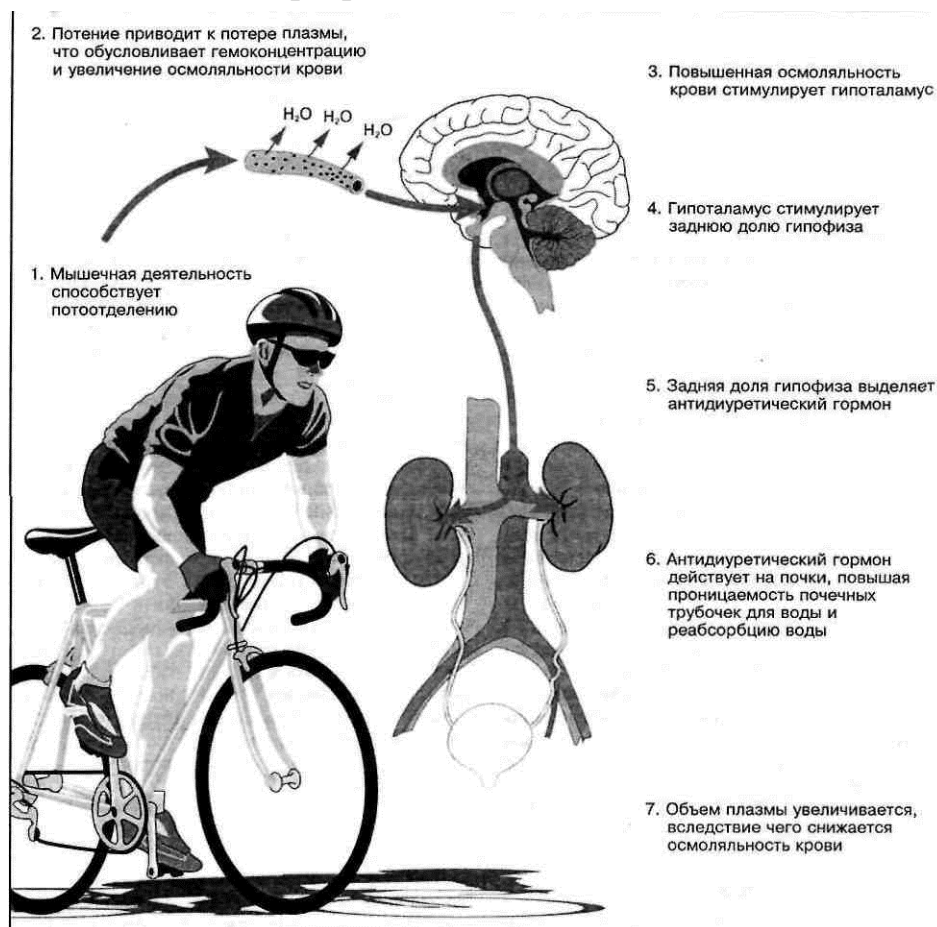


Рис. 29. Механизмы сохранения воды антидиуретическим гормоном

Эта способность антидиуретического гормона сохранять воду в организме существенно снижает риск обезвоживания в условиях значительного потоотделения при выполнении больших физических нагрузок.

На рисунке 29 показан этот механизм в действии. Вследствие мышечной деятельности и потоотделения в плазме крови повышается концентрация электролитов, т. е. происходит процесс, называемый гемоконцентрацией. В результате увеличивается осмотическое давление плазмы. Это и есть основной физиологический стимул для выделения АДГ. Повышение осмотического давления ощущают осморецепторы, расположенные в гипоталамусе. Он посылает нервные импульсы в заднюю долю гипофиза, стимулируя выделение АДГ, который поступает в кровь, перемещается в почки и обеспечивает задержку воды с тем, чтобы довести концентрацию электролитов в плазме до нормального уровня.

7.4. Причины болей в мышцах после физических упражнений

Что такое отсроченная болезненность мышц, или Запаздывающая мышечная боль, или «Синдром хромой лошадки»?

ОБМ – отсроченная болезненность мышц.

ОБМ – это общая реакция организма на чрезмерную физическую нагрузку, которая проявляется болезненными ощущениями в области мышц и появляется через 24—48 часов после напряженной работы (отсроченно).

Изначально предполагалось, что она обусловлена накоплением лактата, но это не так.

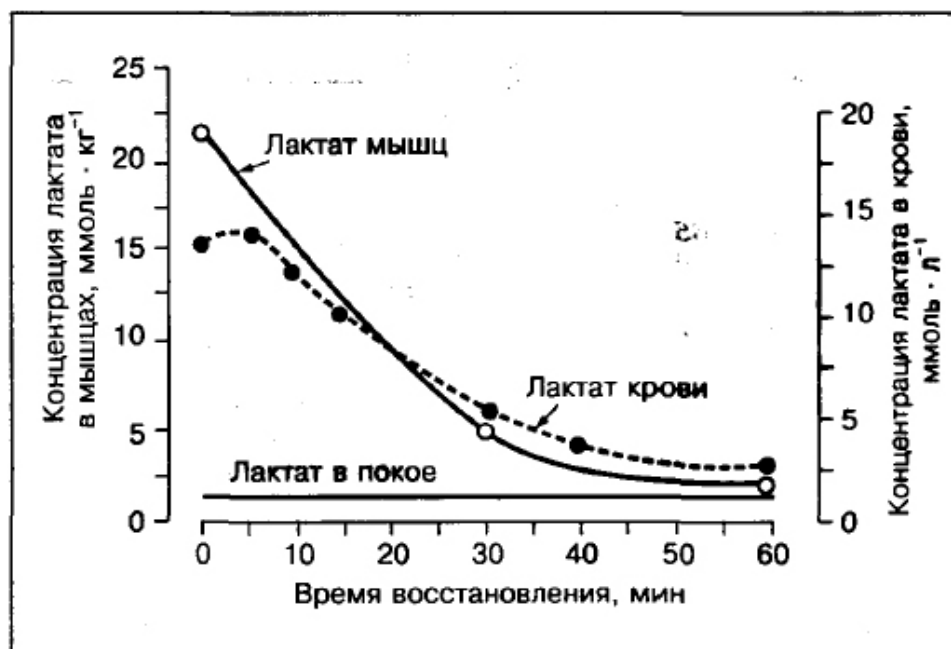


Рис. 30. Скорость удаления лактата из мышц в период восстановления

Скорость удаления лактата из мышц в период восстановления можно проследить на выше приведенном графике (рис. 30).

- На 3—9-й минутах восстановительного периода наблюдается наибольшее содержание молочной кислоты в крови. Наличие молочной кислоты снижает рН крови. После выполнения тяжелых нагрузок наблюдается снижение рН до 7,0. На 7—10-й минутах отдыха после упражнений молочная кислота в крови и мышцах достигает равновесия (до этого она была больше сконцентрирована в работающих мышцах).

- На 20-й минуте молочная кислота больше содержится в крови, чем в мышцах.

- На 25-й минуте происходит удаление половины молочной кислоты.

- На 60-й минуте – на нормальном уровне.

Эти данные подтверждают то, что лактат выводится из организма во время отдыха и не является причиной последующих мышечных болей.

Таким образом, молочная кислота не обуславливает боли в мышцах.

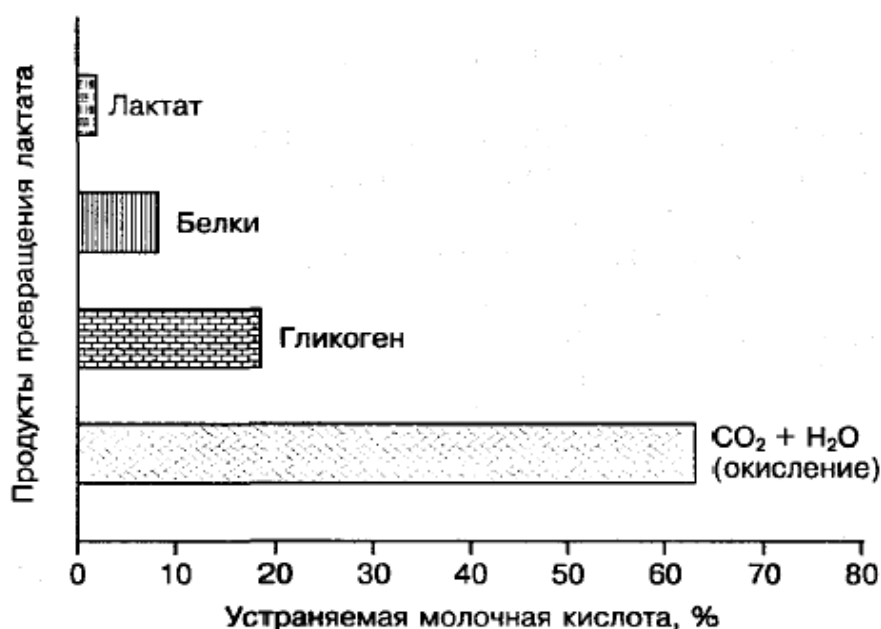


Рис. 31. Использование утилизируемого в период восстановления лактата

Таким образом, утилизируемый во время отдыха лактат используется в следующих направлениях (рис. 31): более 60 % молочной кислоты полностью окисляется до CO₂ и воды. Около 20 % молочной кислоты превращается в гликоген в процессе глюконеогенеза, часть её используется для новообразования аминокислот. Лишь малая часть молочной кислоты выделяется с потом и мочой.

Структурные повреждения мышц

Появление мышечных ферментов в крови после интенсивной физической нагрузки свидетельствует о возможных структурных повреждениях мышечных оболочек. Содержание этих ферментов увеличивается в 2–10 раз после значительных физических нагрузок. Результаты исследований свидетельствуют в пользу предположения о том, что эти изменения могут отражать разную степень разрушения мышечной ткани. Исследования образцов ткани из мышц ног

марафонцев показывают значительные повреждения мышечных волокон как после тренировочных занятий, так и после соревнований. Возникновение этих изменений в мышцах совпадает с появлением болезненных ощущений, испытываемых бегунами.

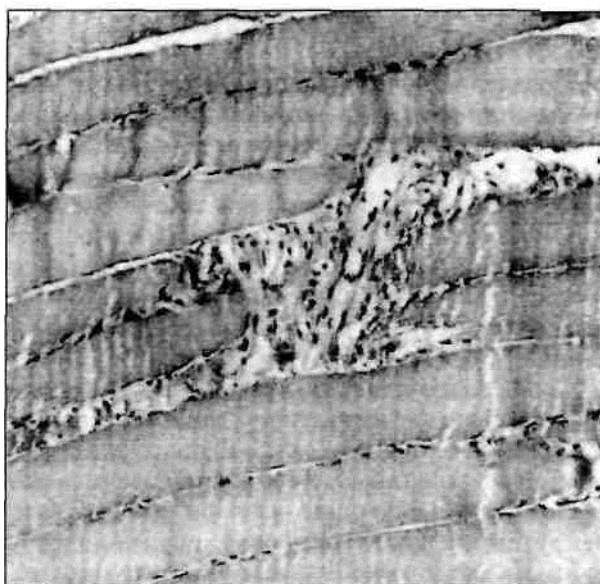


Рис. 32. Мышца после завершения марафонского забега
Разрыв клеточной мембраны в одном из волокон. По Хагермену и др. (1984)

На рисунке 32 показано разрушение мышечного волокна после марафонского бега. Сарколемма была полностью разорвана, вследствие чего содержимое клетки свободно перемещалось между другими неповрежденными волокнами.

Последовательность этапов запаздывающих болезненных ощущений в области мышц

В 1984 г. Армстронг изучал возможные механизмы запаздывающих болезненных ощущений в области мышц вследствие физических нагрузок. Он пришел к выводу, что запаздывающие болезненные ощущения в области мышц связаны с:

- повышением концентрации мышечных ферментов в плазме;
- миоглобинемией (наличием миоглобина в крови);
- аномальной гистологией и ультраструктурой мышц.

Он разработал модель запаздывающего возникновения болезненных ощущений в области мышц, согласно которой имеет место следующая последовательность событий.

1. Высокое напряжение сократительно-эластичной системы мышцы приводит к структурному повреждению самой мышцы и ее клеточной оболочки.

2. Повреждение клеточной оболочки мышцы обуславливает нарушение гомеостаза кальция в поврежденном волокне, приводящее к отмиранию клеток, пик которого наблюдается через 48 часов после физической нагрузки.

3. Продукты активности макрофагов, а также внутриклеточное содержимое (гистамин, кинины и K^+) накапливаются вне клеток и затем стимулируют нервные окончания мышцы. Этому процессу способствуют выполнение эксцентрических упражнений, при котором значительные усилия распределяются по относительно небольшим площадям поперечных сечений мышц.

Более поздние исследования с использованием новейшей технологии позволили глубже взглянуть на причины возникновения болезненных ощущений в области мышц. В настоящее время мы можем с уверенностью утверждать, что возникновение болезненных ощущений в области мышц – результат травмы или повреждения самой мышцы, обычно – мышечного волокна и, возможно, сарколеммы. Это повреждение вызывает цепочку явлений, включая выделение внутриклеточных белков и увеличение обмена мышечного белка. В процессах повреждения и «ремонта» мышцы участвуют ионы кальция, лизосомы, соединительная ткань, свободные радикалы, источники энергии, воспалительные реакции, внутриклеточные и миофибриллярные белки. Вместе с тем точная причина повреждения скелетной мышцы и механизмы ее «ремонта» недостаточно хорошо выяснены. По мнению некоторых специалистов, этот процесс – важный этап на пути к гипертрофии мышцы

7.5. Мышечное утомление

Неспособность выполнять физическую работу заданной интенсивности. Утомление и ограничение работоспособности часто используют как синонимы, но это некорректно. Утомление – это процесс; оно определяется неспособностью системы к выполнению специфического вида физической работы. Например, мышечное утомление во время статической работы характеризуется неспособностью поддерживать созданную силу, несмотря на прилагаемые усилия. Ограничение работоспособности обычно подразумевает ограничение VO_{2max} .

Являются ли термины «утомление» и «ограничение работоспособности» при выполнении физической нагрузки синонимами?

Утомление и ограничение работоспособности часто используют как синонимы, но это некорректно. Утомление – это процесс; оно определяется неспособностью системы к выполнению специфического вида физической работы. Например, мышечное утомление во время статической работы характеризуется неспособностью поддерживать созданную силу, несмотря на прилагаемые усилия. Ограничение работоспособности обычно подразумевает ограничение VO_{2max} .

Причины возникновения утомления

Что означает понятие «утомление» во время физической нагрузки?

Ощущения утомления очень отличаются при выполнении работы до изнеможения в течение 45–60 секунд, например, забег на дистанцию 400 м, от тех, которые человек испытывает при продолжительном изнурительном мышечном усилии, например, марафонском беге. Понятие утомления используется для характеристики общего ощущения усталости, сопровождающегося снижением уровня двигательной активности.

Большинство попыток охарактеризовать и описать основные причины возникновения утомления, а также места его возникновения, касаются:

- энергетических систем (АТФ – КФ, гликолиз и окисление);
- накопления промежуточных продуктов метаболизма;
- нервной системы;
- нарушения сократительного механизма волокон.

Ни один из этих параметров в отдельности не может объяснить все аспекты утомления. Например, хотя отсутствие необходимого количества энергии может привести к снижению способности мышц производить физические усилия, энергетические системы сами по себе не могут быть причиной возникновения всех форм утомления. Так, чувство усталости, которое мы часто испытываем в конце рабочего дня, не имеет ничего общего с наличием АТФ. Утомление может возникать и под действием стресса, окружающих условий, изменяющих гомеостаз. На многие вопросы, касающиеся утомления, пока еще не получены ответы.

Заключение

Учитывая, что мышцы составляют не менее 40 % массы человеческого тела, физическая нагрузка повышает потребности организма, прежде всего в энергообеспечении, часто значительно и быстро. Это вызывает увеличение (усиление) дыхания, как внешнего, так и внутреннего, главным образом напряженной работы сердечно-сосудистой системы. Поэтому проблема физической активности значима для будущих врачей-кардиологов. Выявленный интересный феномен – инсулиноподобное действие физической нагрузки – объясняет её значение в первичной и вторичной профилактике сахарного диабета. Избыточное образование тепла в ходе физической активности может способствовать потере жидкости и напряжению других отделов эндокринной системы (выделение альдостерона, антидиуретического гормона) и вызывает понимание проблемы обезвоживания при интенсивных занятиях спортом. Множество мифов, связанных с ролью молочной кислоты, требуют разъяснений с современных научных позиций. Таким образом, понимание роли физической нагрузки на организм человека с позиций современной физиологии крайне важно при формировании мышления современного врача.

Вопросы для самостоятельного контроля

1. Срочная и долговременная адаптация к физической нагрузке. Основные причины физиологических изменений, связанных с физической нагрузкой.
2. Роль сердечно-сосудистой системы при физической нагрузке. Изменение сердечного выброса и частоты сердечных сокращений в разные стадии физической нагрузки. Изменение при физической нагрузке систолического и диастолического артериального давления.
3. Функция системы внешнего дыхания, изменение минутного объема дыхания при физической нагрузке.

4. Лактатный порог: сущность, значение при физической нагрузке. Система организма, являющаяся лимитирующим фактором, причиной ограничения физической активности, причины, механизмы.
5. Влияние эндокринной системы организма на транспорт глюкозы в мышечные волокна, изменение уровня инсулина плазмы крови при физической нагрузке. Влияние эндокринной системы организма на мобилизацию и использование свободных жирных кислот в качестве источника энергии во время выполнения физической нагрузки.
6. Роль эндокринной системы организма в регуляции уровня жидкости и электролитов в организме во время физической нагрузки.
7. ОБМ – отсроченная болезненность мышц: определение, основные причины, механизмы развития.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Физиология человека: в 3-х томах / пер с англ. / под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. – М.: Мир. 1996. Т. 1. Глава 4. Мышцы. – С. 69 – 87; Т. 3. Глава 26. Физиология труда. – С. 688–709.
2. Рафф Г. Секреты физиологии / пер с англ. М. – СПб.: «Издательство БИНОМ», «Невский диалект», 2001. – Глава 8. Физиология физической нагрузки и биоэнергетика мышечного сокращения. – С. 313–356.
3. Уилмор Дж. К., Костил Д. Л. Физиология спорта и двигательной активности. М.: Олимпийская литература, 2001. – 506 с.
4. Амосов Н. М., Бендет Я. А. Физическая активность и сердце – Киев: Здоровье, 1989. – 216 с.

Лекция 8

ДВИГАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ И ТЕМПЕРАТУРНЫЙ СТРЕСС

Д. А. Бородин

8.1. Температура тела человека. Температурный баланс. Теплообразование

В основе жизнедеятельности организма лежит обмен веществ и энергии, который сопровождается образованием тепла при биологическом окислении молекул белков, жиров и углеводов. То есть в организме человека постоянно *генерируется* тепло. Интенсивность обмена веществ и количество образующегося тепла в организме напрямую связаны между собой. При увеличении скорости обменных процессов увеличивается теплообразование, а при повышении температуры тела ускоряется биологическое окисление. Чтобы не произошло затухания или лавинообразного роста этих процессов, организм имеет средства для *отведения* и *сохранения* тепла.

Человек относится к группе так называемых **гомойотермных** (теплокровных) организмов, способных сохранять температуру тела на постоянном уровне. Средняя температура «ядра» тела равна 37°C, и это значение колеблется незначительно в течение дня. Значительные изменения температуры тела человека могут наблюдаться во время болезни, при длительных изнурительных физических нагрузках или в экстремальных ситуациях. При этом организм человека может перенести понижение внутренней температуры тела на 10 °C, а её повышение – лишь на 5 °C. Способность организма поддерживать постоянную внутреннюю температуру зависит от возможности уравнивать количество тепла, образующегося при метаболизме и поступающего из окружающей среды, с тем его количеством, которое отдает тело.

Температура тела отражает **динамическое равновесие** между образованием тепла и его отдачей. Она повышается, если образование тепла превышает его отведение, например, при интенсивных физических нагрузках в теплых и влажных условиях окружающей среды, и понижается, если теплопотери превосходят теплообразование.

Суммарная теплопродукция (теплообразование) в организме состоит из первичной и вторичной теплоты. Первичная теплота выделяется в ходе постоянно протекающих во всех органах и тканях реакций обмена веществ. Вторичная теплота образуется при расходовании энергии макроэргических соединений на выполнение человеком определенной мышечной работы. Уровень теплообразования в организме зависит от величины основного обмена, «специфически динамического действия» принимаемой пищи, мышечной активности и интенсивности метаболизма в тканях.

Метаболические процессы осуществляются с неодинаковой интенсивностью в различных органах и тканях, поэтому вклад в общую теплопродукцию

организма отдельных органов и тканей неравнозначен. Наибольшее количество тепла образуется в скелетных мышцах при их тоническом напряжении или сокращении. Образование тепла, наблюдающееся в мышцах при этих условиях, получило название сократительного термогенеза (сократительной теплопродукции), который является наиболее значимым механизмом теплообразования у взрослого человека. У новорожденных, а также у мелких млекопитающих животных имеется механизм ускоренного теплообразования за счет возрастания метаболической активности в других тканях, прежде всего в буром жире. Бурю окраску этой ткани придает большое количество окончаний симпатических нейронов, содержащих медиатор норадреналин. В условиях холодового воздействия на организм под влиянием выделяющегося из симпатических нервных окончаний норадреналина происходит интенсивное окисление жирных кислот. Бурый жир характеризуется избытком митохондрий, которые окружают мелкие капельки жира в цитоплазме. Окисление жирных кислот в митохондриях бурой жировой ткани осуществляется без значимого синтеза макроергов и, таким образом, с максимально возможным образованием теплоты. Этот механизм получил название несократительного термогенеза (несократительной теплопродукции). Посредством механизмов несократительного термогенеза уровень теплопродукции у человека может быть увеличен примерно в 3 раза по сравнению с уровнем основного обмена.

Определив среднюю температуру тела и зная его массу (M_t), можно приблизительно определить содержание тепла в теле. Содержание тепла представляет собой общее количество калорий тепла в тканях организма. Чтобы определить содержание тепла, необходимо установить удельную теплоемкость тканей организма.

Удельная теплоемкость субстанции представляет собой количество тепла, необходимого для изменения температуры этой субстанции на 1°C .

Килокалория – это единица измерения тепловой энергии, представляющая количество тепла, необходимого для того, чтобы повысить температуру 1 кг воды на 1 градус Цельсия. Следовательно, удельная теплоемкость воды равна $1,0 \text{ ккал} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Другие компоненты тела имеют разную удельную теплоемкость. Средняя удельная теплоемкость тканей составляет $0,83 \text{ ккал} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$.

Таким образом, при повышении температуры тела человека массой 50 кг на 1 градус Цельсия увеличение количества теплоты составит 0,83 ккал на каждый килограмм массы тела, соответственно общая величина составит 41,5 ккал ($0,83 \text{ ккал} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 50 \text{ кг}$).

Зная среднюю удельную теплоемкость ($0,83 \text{ ккал} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), можно определить содержание тепла в организме $CT = 0,83 (M_t \times T \text{ тела})$.

Предположим, что средняя температура человека массой 50 кг равна $35,3^\circ\text{C}$.

Содержание тепла в организме определим следующим образом:

$$CT = 0,83 (50 \text{ кг} \times 35,3^\circ\text{C}); CT = 1,465 \text{ ккал.}$$

Таким образом, тело человека массой 50 кг содержит 1,465 ккал тепла.

8.2. Перенос тепла

В состоянии покоя в теле среднего человека образуется тепла 1,25–1,50 ккал в минуту. Полное блокирование способности организма рассеивать тепло приведет к увеличению образования тепла до 75–90 ккал в час. Таким образом, способность избавляться от чрезмерного метаболического тепла играет очень важную роль даже в состоянии покоя.

Проведение

Проведение или кондукция представляет собой прямой перенос тепла между молекулами вещества в твердой, жидкой или газообразной среде. Проведение играет роль при переносе тепла от глубоких тканей к поверхности тела. Однако по причине низкой теплопроводности тканей организма количество переносимого тепла сравнительно невелико. Охлаждение поверхности тела через проведение осуществляется путем нагрева молекул воздуха, жидкости и твердых поверхностей, которые контактируют с кожей. Интенсивность переноса тепла через проведение зависит от нескольких факторов:

- разницы температур кожи и контактирующей среды (воздух, жидкость, твердая поверхность);
- тепловых качеств этой среды (теплопроводность и теплоемкость);
- площади контакта.

При комнатной температуре предметы с высокой теплопроводностью и теплоемкостью кажутся на ощупь более холодными, так как они способны отводить и абсорбировать тепло в разы эффективнее, чем окружающий воздух. Находясь на природе, в жару, для эффективного охлаждения тела можно прилечь на большой камень, укрытый от солнца. Обладающий высокой теплопроводностью камень быстро заберет часть лишнего тепла от перегретого тела.

Конвекция

Эффективность переноса тепла через проведение зависит, в том числе, от того, насколько быстро контактирующий с кожей слой воздуха (или воды) покидает её после нагрева. Теплообмен путем перемещения слоев воздуха или воды называется *конвекцией*. Если конвекция протекает медленно, то на поверхности кожи образуется изолирующий слой нагретого воздуха, который снижает эффективность переноса тепла через проведение. Максимальная толщина изолирующего слоя может достигать 4–8 мм. Если же, напротив, прохладный воздух постоянно заменяет подогретые слои воздуха, отведение тепла увеличивается, так как изолирующий слой не успевает сформироваться.

Различают естественную и форсированную (принудительную) конвекцию. При естественной конвекции тепло уносится ламинарным потоком воздуха. Движущей силой при этом является разность температур тела и его окружения.

При форсированной конвекции осуществляется дополнительный обдув поверхности тела воздухом. Наиболее очевидные примеры – ветер, «сквозняк», поток воздуха от вентилятора; менее очевидные – интенсивное перемещение всего тела или отдельных его частей относительно окружающего воздуха. Поэтому с увеличением скорости бега или езды на велосипеде увеличивается интенсивность теплоотдачи.

Кроме того, явление конвекции играет большую роль в субъективном восприятии низкой температуры окружающего воздуха, в формировании так называемого *ветрохолодового индекса*. Известно, что в ветреную погоду холод переносится тяжелее, чем в штиль. Это следует учитывать при планировании различных видов активности вне помещений в холодное время года. С практической целью разработаны таблицы значений ветрохолодового индекса. Следует отметить, что именно за счет конвекции большая часть вырабатываемого организмом тепла переносится в кровоток. Кровь, обладая большой теплоемкостью, является особенно хорошим накопителем и переносчиком тепла. Это способствует поддержанию теплового баланса всего организма.

Излучение

Все объекты, включая людей, постоянно излучают тепло в виде инфракрасных волн (так называемую лучистую энергию). Подобная форма переноса тепла не требует непосредственного контакта между объектами. При этом тепло передается от более нагретого объекта к менее нагретому. Так как температура тела человека обычно выше нормальной комнатной температуры, часть тепла отводится путем излучения. Только за счет излучения в состоянии покоя от тела к его окружению переносится до 60 % тепла. С другой стороны, объекты с высокой температурой способны отдавать тепло телу человека. Например, бытовые электрообогреватели, печи, электроплиты. Самый крупный источник излучения – Солнце. Даже при относительно низкой температуре воздуха (вплоть до 0°C), тело человека может «подогреваться», получая тепловую энергию прямых и отраженных от снега, песка или воды солнечных лучей. Это явление хорошо знакомо альпинистам и горнолыжникам.

Испарение

Испарение – процесс перехода вещества из жидкого состояния в паро- или газообразное состояние. Испарение – эндотермический процесс, который протекает с поглощением теплоты. Благодаря этому вода, испаряющаяся с дыхательных путей и с поверхности кожи, постоянно переносит тепло от тела в окружающую среду. Один литр испаренной воды уносит 580 ккал. Конвекция усиливает эффективность испарения. Процесс, обратный испарению, называется конденсацией. В покое и при нейтральных температурных условиях вклад испарения в наружный перенос тепла относительно невелик и составляет около 20 % (для сравнения: вклад излучения – 60 %). Однако в условиях высокой температуры воздуха механизмы «сухого теплообмена» начинают работать в обратном направлении, тело начинает нагреваться, получая тепло через излучение, проведение и конвекцию. В этом случае испарение остается единственным эффективным путем отведения тепла.

При выполнении физических упражнений испарение также выступает в роли основного процесса рассеяния тепла, его вклад может достигать 80 %. Необходимость развития этого механизма возникла вследствие того, что мощности процессов «сухого теплообмена» недостаточно для отведения всего избытка тепла, образующегося в результате интенсивной мышечной деятельности. Следует помнить, что испарение – основная защита организма от перегрева.

Около 300 мл воды ежедневно испаряется со слизистых оболочек дыхательных путей. Это так называемые неоощуцаемые потери жидкости. Они относительно постоянны и не способны помочь, когда телу необходимо отдать больше тепла. В неоощуцаемых потерях также участвует небольшое количество воды, диффундирующей через кожу.

Железистая или ощутимая потеря жидкости является результатом работы потовых желез. По поверхности кожи распределено от 2 до 4 миллионов потовых желез. В условиях теплового стресса эти эккринные железы, контролируемые холинергическими симпатическими нервными волокнами, секретируют большое количество гипотонического солевого раствора (0,2–0,4 % NaCl). Испарение пота с кожи оказывает охлаждающее действие. Охлажденная кожа, в свою очередь, отводит часть тепла от крови, циркулирующей между глубокими и поверхностными тканями.

Интенсивность испарения очень зависит от относительной влажности воздуха и находится от нее в обратной зависимости. В условиях повышенной влажности парциальное давление водяного пара в воздухе становится близким к его значению у влажной кожи, около 40 мм рт. ст., и дальнейшее насыщение воздуха испаренной влагой становится затрудненным. Скорость испарения значительно снижается, а капли выделившегося пота стекают по коже, пропитывают одежду или даже падают на землю. Так как эта вода не принимает участия в отведении тепла, то ее выделение становится неэффективным. Подобное обильное потоотделение может привести к быстрой дегидратации и перегреву организма. Выполнение физической работы в плотной, «недышащей» одежде так же осложняет испарение пота, так как между кожей и одеждой образуется насыщенная влагой прослойка воздуха. С другой стороны, постоянное удаление пота с кожи, например, сухим полотенцем, также препятствует охлаждению тела через испарение. Именно испарение, а не выделение пота, охлаждает тело человека.

8.3. Регуляция температуры тела человека

Механизмы регуляции температуры тела изучаются в курсе нормальной физиологии для студентов медицинских вузов. Здесь будет дана краткая характеристика основных элементов терморегуляторной цепи.

Два типа рецепторов воспринимают изменение температуры тела – периферические и центральные. Центральные рецепторы располагаются в гипоталамусе и чувствительны к малейшим изменениям (до 0,01 °С) температуры крови, омывающей головной мозг. Периферические терморекцепторы распределены по всей поверхности кожи, и они контролируют температуру окружающей среды. Афферентные сигналы от периферических рецепторов поступают в гипоталамус и в кору головного мозга, обеспечивая, в том числе, сознательное восприятие температуры.

Обработка температурной информации осуществляется преимущественно в гипоталамусе. Именно гипоталамус является тем органом, который, подобно термостату, управляет инструментами продукции, отведения и сохранения теп-

ла в ответ на изменения приходящих в него сигналов от терморцепторов. Эта работа включает в себя участие симпатической нервной системы, и поэтому она не требует сознательного контроля. Реакциями, обусловленными вегетативной нервной системой, являются изменение тонуса сосудов, выделение пота и несократительный термогенез.

Сократительный термогенез и поведенческие реакции, включая произвольную мышечную деятельность, находятся под управлением соматической нервной системы. Центральный дрожательный путь связывает гипоталамус с ядрами двигательной системы, расположенными в среднем и продолговатом мозге. Формы терморегуляторного поведения, например, утепление или облегчение одежды, обмахивание веером, выполнение физической работы, становятся возможными благодаря системе произвольных движений, находящейся под контролем коры головного мозга.

В условиях долгосрочной адаптации к температурному стрессу включаются процессы гормональной регуляции.

Далее более подробно описаны ответные реакции организма на холодовой и тепловой стресс.

Холодовой стресс

Понижение кожной температуры или температуры крови влечет за собой активацию гипоталамусом механизмов, сохраняющих тепло и увеличивающих его образование. К таким механизмам относятся сосудистые реакции, несократительный термогенез, произвольная мышечная активность. Произвольная мышечная активность обусловлена осознанной деятельностью человека.

Сосудистые реакции. Стимуляция холодовых рецепторов кожи вызывает ответное сокращение гладкой мускулатуры кровеносных сосудов. Это значительно уменьшает поток теплой крови через поверхностные ткани тела и перенаправляет его обратно к центральным органам. В термонеutralных условиях кожный кровоток составляет в среднем 250 мл/мин, тогда как в условиях сильного холодового стресса может сократиться почти до нуля. Температура кожи снижается вслед за понижением температуры окружающего воздуха, что усиливает изолирующие свойства кожи, подкожного жира и мышц. Благодаря этому механизму сохранения тепла люди с избытком подкожного жира способны лучше переносить холод.

Гормоны и несократительный термогенез. Два «калоригенных» гормона мозгового вещества надпочечников, адреналин и норадреналин, повышают интенсивность метаболизма и стимулируют продукцию метаболического тепла. Длительный холодовой стресс стимулирует также выработку тироксина, гормона щитовидной железы, увеличивающего базовый метаболизм. Повышение теплопродукции за счет повышения клеточного метаболизма в ответ на охлаждение организма называется *несократительным термогенезом*.

Мышечная активность. Как было описано выше, наибольшее количество тепла в организме взрослого человека образуется при тоническом сокращении и расслаблении скелетных мышц. Образование тепла в работающих мышцах называется *сократительным термогенезом*. Неконтролируемые сокращения мышц (дрожь) способны увеличить образование тепла в состоянии покоя в 4–5

раз. Однако наиболее весомый вклад в повышение интенсивности теплопродукции вносит активная мышечная деятельность. Она играет основную роль в защите организма от переохлаждения. Мощность процесса сократительного термогенеза высока настолько, что человек, выполняющий интенсивную физическую работу, способен поддерживать постоянную температуру тела при температуре воздуха до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ без необходимости надевать специальную утепленную одежду.

Изучая реальные истории выживания людей, оказавшихся в условиях пониженной температуры окружающей среды, можно убедиться, что воля к жизни, борьба за существование и активные движения помогают человеку пережить экстремальную ситуацию. У человека, прекратившего борьбу и движения, снижается теплопродукция, он в конечном итоге замерзает и погибает.

Тепловой стресс

Образование тепла положительно влияет при выполнении физической нагрузки в условиях пониженной температуры окружающей среды, способствуя поддержанию нормальной температуры тела. В то же время при выполнении физической нагрузки в термально нейтральных условиях окружающей среды, например, при $21\text{—}26\text{ }^{\circ}\text{C}$, метаболическая тепловая нагрузка оказывается тяжелым бременем для механизмов, регулирующих температуру тела. Мы рассмотрим некоторые физиологические изменения, обусловленные выполнением физической нагрузки в сочетании с тепловым стрессом, а также их влияние на мышечную деятельность. В данном случае под тепловым стрессом подразумевается любое условие окружающей среды, вызывающее повышение температуры тела и нарушение гомеостаза.

Реакции сердечно-сосудистой системы. Физическая нагрузка повышает требования, предъявляемые к сердечно-сосудистой системе. Когда добавляется необходимость регулировать температуру тела при выполнении физической нагрузки в условиях повышенной температуры окружающей среды, деятельность сердечно-сосудистой системы становится более интенсивной. Система кровообращения транспортирует тепло, образующееся в мышцах, к поверхности кожи, откуда она передается во внешнюю среду. Чтобы это осуществить во время физической нагрузки, выполняемой в условиях повышенной температуры окружающей среды, большая часть сердечного выброса разделяется между кожей и работающими мышцами. Ввиду ограниченного объема крови физическая нагрузка ставит весьма сложную задачу: увеличение кровоснабжения одного из этих участков автоматически снижает кровоток в других участках.

Рассмотрим, что происходит с человеком, бегущим в быстром темпе в жаркий день. Физическая нагрузка повышает потребность мышц в крови и кислороде. Кроме того, она усиливает процесс метаболического образования тепла. Чтобы рассеять этот избыток тепла, организм должен увеличить кровоснабжение кожи, чтобы кровь перенесла тепло из ядра тела к поверхности кожи. Однако организм не может обеспечить достаточное кровоснабжение кожи, если он полностью удовлетворит потребности мышц. Потребности мышц в дополнительном объеме крови ограничивают возможности расширенных кожных сосудов.

В то же время терморегуляторный центр «инструктирует» сердечно-сосудистую систему о необходимости направить больше крови к коже. Поверхностные кровеносные сосуды расширяются, чтобы перенести больше теплой крови к поверхности кожи. Это ограничивает количество крови, поступающей к активным мышцам, и следовательно, лимитирует их выносливость. Таким образом, идет настоящая борьба за дополнительное кровоснабжение.

Сохранение постоянного сердечного выброса при перераспределении крови на периферию осуществляется за счет ряда значительных приспособительных реакций сердечно-сосудистой системы. Перераспределение крови ведет к уменьшению объема циркулирующей крови, возвращающейся в сердце, что снижает конечный диастолический объем. Это, в свою очередь, уменьшает систолический объем. Сердечный выброс остается постоянным в течение 27 минут выполнения физической нагрузки при высокой (36°C) и средней (20°C) температуре окружающей среды, несмотря на постоянное уменьшение систолического объема. Это уменьшение в процессе выполнения физической нагрузки компенсируется постепенным увеличением ЧСС. Это так называемый сердечно-сосудистый сдвиг.

В определенный момент организм больше не способен компенсировать повышенные требования, предъявляемые физической нагрузкой: ни мышцы, ни кожа не получают адекватное количество крови. Таким образом, любой фактор, перегружающий сердечно-сосудистую систему или вмешивающийся в процесс рассеивания тепла, может оказать значительное отрицательное воздействие на мышечную деятельность и увеличить вероятность перегрева тела. Поэтому неудивительно, что лучшие результаты в циклических видах спорта демонстрируются при невысокой температуре окружающей среды. Например, рекорды в беге на длинные дистанции крайне редко устанавливаются при выраженной тепловой нагрузке.

Потоотделение. В определенных условиях температура окружающей среды может достигнуть и превысить температуру кожи и ядра тела. Как уже указывалось, в этом случае основным процессом теплоотдачи является испарение, поскольку радиация, проведение и конвекция могут привести к повышению температуры тела в экстремальных температурных условиях. Увеличенная зависимость от испарения означает повышенную потребность в образовании пота.

Деятельность потовых желез регулируется гипоталамусом. При повышенной температуре крови гипоталамус посылает импульсы через нервные волокна симпатической нервной системы миллионам потовых желез, расположенных по всей поверхности тела. Потовые железы представляют собой трубчатые структуры, простирающиеся по дерме и эпидермису и открывающиеся в кожу.

Пот образуется в результате фильтрации плазмы. Когда фильтрат проходит через проток железы, ионы натрия и хлора постепенно реабсорбируются в окружающие ткани и затем в кровь. При незначительном потении фильтрат пота медленно проходит через трубочки, обеспечивая практически полную реабсорбцию натрия и хлорида. Поэтому в таком поте содержится очень небольшое количество этих элементов, когда он достигает кожи. Однако с увеличением интенсивности потения при выполнении физической нагрузки фильтрат про-

двигается по трубочкам значительно быстрее, сокращая время реабсорбции. Вследствие этого содержание натрия и хлорида в поте может значительно увеличиться.

Содержание макроэлементов в поте у тренированных и нетренированных испытуемых значительно отличается. В результате тренировок в условиях тепловых нагрузок альдостерон интенсивно стимулирует потовые железы, вынуждая их реабсорбировать значительно больше натрия и хлорида. К сожалению, потовые железы не имеют подобного механизма сохранения других электролитов. Одинаковые концентрации кальция, магния и калия, например, содержатся как в поте, так и в плазме.

Интенсивность потения при выполнении изнурительного упражнения в условиях высокой температуры окружающей среды может достигать более 1 л в час с 1 м² поверхности тела. Это означает, что в жаркий и влажный день (высокий уровень тепловой нагрузки) при интенсивной физической нагрузке средний человек (с массой тела 50—75 кг) может терять 1,5—2,5 л пота или около 2—4 % массы тела каждый час. В таких условиях человек за несколько часов может потерять критическое количество воды с потом.

Высокая интенсивность потоотделения уменьшает объем крови. Это ограничивает объем крови, необходимой для работы мышц и предотвращения аккумуляции тепла, что, в свою очередь, отрицательно влияет на мышечную деятельность, особенно в видах спорта, требующих проявления выносливости. У бегунов на длинные дистанции потери воды с потом составляют 6—10 % массы тела. Такое интенсивное обезвоживание ограничивает последующее потоотделение и повышает восприимчивость человека к заболеваниям, обусловленным тепловой нагрузкой.

Потери микроэлементов и воды с потом стимулируют выделение альдостерона и антидиуретического гормона (АДГ). Первый обеспечивает поддержание оптимального количества натрия, а второй поддерживает водный баланс. Альдостерон выделяется из коры надпочечников в ответ на пониженное содержание натрия в крови, уменьшенный циркулирующий объем крови или пониженное давление крови. При кратковременной нагрузке в условиях высокой температуры окружающей среды, а также при повторяющихся нагрузках в течение нескольких дней этот гормон ограничивает выделение натрия из почек. В организме задерживается больше натрия, что, в свою очередь, способствует задержке воды. Вследствие этого объем плазмы и интерстициальной жидкости может увеличиться на 10—20 %. Это позволяет организму задерживать воду и натрий перед пребыванием в условиях высокой температуры окружающей среды, а также для обеспечения последующего потоотделения.

Физические нагрузки и потери воды стимулируют выделение АДГ из задней доли гипофиза. Этот гормон стимулирует реабсорбцию воды из почек, что способствует ее задержанию в организме. Таким образом, организм пытается компенсировать потери микроэлементов и воды в периоды тепловой нагрузки и значительного потоотделения сокращением их потерь с мочой.

8.4. Дегидратация и потери электролитов

Даже минимальные изменения содержания воды в организме могут отрицательно повлиять на физическую деятельность, требующую проявления выносливости. Без адекватного восполнения запасов жидкости толерантность к физической нагрузке заметно снижается при продолжительных видах мышечной деятельности вследствие потерь жидкости с потом. Исследования убедительно показывают отсутствие толерантности к продолжительной физической и тепловой нагрузке при обезвоживании организма. Бегуны на длинные дистанции, например, замедляют темп бега почти на 2 % при потере массы тела на 1 % вследствие дегидратации. Бегун, способный пробежать 10 000 м за 35 минут в нормальном состоянии, пробежит эту дистанцию за 2 минуты 48 секунд (на 8 % худший результат) при обезвоживании организма на 4 %.

Влияние обезвоживания на деятельность сердечно-сосудистой и терморегуляторной систем можно легко предугадать. Потери жидкости приводят к снижению объема плазмы. Это обуславливает снижение давления крови, что, в свою очередь, уменьшает кровоснабжение мышц и кожи. В результате этих реакций увеличивается ЧСС. Поскольку кожный кровоток ограничен, нарушается процесс теплоотдачи и тело задерживает больше тепла. Таким образом, при обезвоживании организма более чем на 2 % массы тела, ЧСС и температура тела при выполнении физической нагрузки повышаются. Если обезвоживание достигает 4—5 % массы тела, способность выполнять продолжительную нагрузку аэробной направленности снижается на 20—30 %.

Влияние обезвоживания на менее продолжительную физическую нагрузку аэробной направленности не столь значительно. Так, на мышечную деятельность продолжительностью всего несколько секунд, при которой АТФ образуется главным образом благодаря гликолитической системе и системе АТФ-кФ, дегидратация практически не влияет. Несмотря на некоторую противоречивость результатов, по мнению большинства специалистов, обезвоживание незначительно влияет на кратковременную мышечную деятельность взрывного типа анаэробной направленности (например, тяжелая атлетика). Борцы, как правило, намеренно подвергают свой организм обезвоживанию, чтобы получить преимущество в массе тела во время соревнований. Большинство осуществляют регидратацию накануне соревнований, испытывая лишь незначительное ухудшение работоспособности. Помимо потерь воды во время продолжительной физической деятельности, из организма с потом выводятся многие питательные вещества, особенно минералы.

Потери электролитов с потом

Человеческий пот представляет собой фильтрат плазмы крови, поэтому в нем содержится множество веществ: натрий, хлор, калий, магний, кальций. Несмотря на солоноватый привкус в нем содержится меньше минералов, чем в плазме или в других жидкостях организма. В действительности на 99 % он состоит из воды. В поте и крови доминируют ионы хлора и натрия. Концентрации натрия и хлора в поте едва равны 1/3 их содержания в плазме и в 5 раз меньше, чем в мышцах. Концентрация электролитов в поте значительно колеб-

летя у разных людей. Она зависит от интенсивности потоотделения, уровня подготовленности и степени акклиматизации к высокой температуре окружающей среды. При повышенной интенсивности потоотделения, например, во время мышечной деятельности, требующей проявления выносливости, в поте большое количество натрия и хлора и небольшое калия, кальция и магния. В одном исследовании изучали влияние потерь пота порядка 4,1 кг, что соответствовало уменьшению массы тела на 5,8 %. Исходя из оценок общего содержания электролитов в теле спортсмена, подобные потери пота приведут к снижению содержания натрия и хлора в организме всего на 5—7 %. Содержание калия и магния – двух ионов, находящихся преимущественно внутри клеток, понизится в этом случае на 1 %. Подобные потери вряд ли могут повлиять на уровень мышечной деятельности спортсмена.

При потере электролитов с потом остальные ионы перераспределяются по тканям организма. Например, калий диффундирует из активных мышечных волокон по мере их сокращения во внеклеточную жидкость. Повышение уровня внеклеточного калия в этом случае не соответствует количеству K^+ , выделяемому из активных мышц, так как калий используется неактивными мышцами и другими тканями по мере того как он выделяется из активных мышц. Во время восстановления содержание внутриклеточного калия быстро нормализуется. По мнению некоторых ученых, подобные реакции калия во время физической нагрузки могут способствовать развитию утомления, изменяя потенциалы нейронов и мышечных волокон и тем самым затрудняя передачу импульсов.

8.5. Последствия перегрева

Если при появлении признаков теплового стресса – жажды, усталости, шаткой походки, зрительных расстройств – не принимать активных мер по их ликвидации, сердечно-сосудистые компенсаторные механизмы начинают выходить из строя. Далее развиваются осложнения, объединенные термином *«тепловая болезнь»*. Это понятие включает в себя три состояния: тепловые судороги, тепловое изнурение и тепловой удар. Тепловой болезни чаще подвергаются лица с избытком массы тела, физически слабо подготовленные и недостаточно акклиматизированные. Кроме того, занятия физическими упражнениями на фоне сильной дегидратации организма также способствуют развитию тепловых расстройств.

Тепловые судороги

Тепловые судороги – наименее серьезное расстройство, обусловленное тепловыми факторами. При этом температура «ядра» тела остается в пределах нормы. Судороги появляются во время или после физической нагрузки в интенсивно работающих мышцах. Факторы, способствующие развитию судорог, – локальный перегрев мышц, потеря жидкости и электролитов через обильное потоотделение. Профилактика и лечение данного расстройства сводятся к своевременному восполнению потери жидкости и солей, рациональному планированию режима физических нагрузок и проведению восстановительных мероприятий.

Тепловое изнурение (истощение, перегрузка)

Симптомы теплового изнурения могут возникнуть при выполнении физических упражнений средней интенсивности в условиях повышенной температуры. При тепловом изнурении происходит истощение механизмов терморегуляции. То есть при данном варианте тепловой болезни еще не исчерпаны возможности систем регуляции температуры тела, но их мощности не хватает для эффективного отведения избыточного количества тепла.

Патогенетические механизмы развития теплового изнурения (упрощенно):

1. Потеря жидкости через потоотделение → уменьшение объема плазмы крови → повышение вязкости крови и уменьшение ОЦК → снижение венозного возврата → снижение ударного объема → снижение кожного кровотока → ухудшение переноса тепла от «ядра» к периферии → повышение температуры «ядра».

2. Потеря жидкости через потоотделение → уменьшение объема межклеточной жидкости → снижение интенсивности потоотделения → ухудшение отведения тепла путем испарения → уменьшение теплоотдачи от поверхности кожи во внешнюю среду → повышение температуры всего организма.

3. «Обкрадывание» работающими мышцами кровеносных сосудов кожи также приводит к снижению кожного кровотока.

4. Перераспределение крови на периферию, одновременно в кровеносные сосуды мышц и кожи, влечет за собой снижение центрального объема крови, что приводит к снижению венозного возврата и сердечного выброса.

Признаки теплового изнурения: слабый пульс, высокая ЧСС, низкое АД, головная боль, головокружение, общая слабость, выраженное снижение физической работоспособности. При этом может быть снижено потоотделение, а температура тела не превышает 40 °С.

Помощь: прекращение физической нагрузки, умеренное охлаждение тела (погружение в воду, обливание, обтирания), прием жидкости или солевых растворов внутрь. Внутривенная инфузионная терапия позволяет наиболее эффективно восполнить потери жидкости.

Обычно человек чувствует наступление теплового изнурения, ощущает, что он перегрелся. В связи с этим изменяется и его поведение – он прекращает физическую работу, стремится найти прохладное место, пьет жидкость, охлаждает тело при помощи купания, обливания или обтирания водой. Как правило, человек в состоянии помочь себе самостоятельно и остановить развитие теплового изнурения.

Непринятие специальных мер по предотвращению дальнейшего повышения температуры тела может привести к тепловому удару.

Тепловой удар

Тепловой удар – опасное для жизни расстройство, требующее немедленного медицинского лечения. Оно характеризуется:

- повышением температуры ядра выше 40°C (104»Ф);
- прекращением потоотделения;
- горячей и сухой кожей;
- учащенным пульсом и дыханием;

- повышением артериального давления;
- спутанностью сознания;
- бессознательным состоянием.

Если не принять необходимых мер, тепловой удар переходит в кому, и человек быстро умирает. Лечение включает быстрое охлаждение пострадавшего в ванне с холодной водой или льдом, обертывание во влажные простыни и обмахивание пострадавшего. Это расстройство обусловлено нарушением функции терморегуляторных механизмов. Образование тепла во время выполнения физической нагрузки зависит от ее интенсивности и массы тела. Поэтому более крупные спортсмены в большей мере подвержены перегреванию по сравнению со спортсменами с меньшей массой тела при выполнении физической нагрузки одинаковой интенсивности при условии одинаковой степени акклиматизации к тепловому стрессу.

Для спортсменов тепловой удар нельзя считать проблемой, связанной только с экстремальными условиями. В исследованиях наблюдали повышение ректальной температуры выше $40,5^{\circ}\text{C}$ у марафонцев, успешно завершивших дистанцию при относительно средних термальных условиях. Даже на более короткой дистанции температура ядра тела может достигать уровней, опасных для жизни. Еще в 1937 г. Робинсон наблюдал показатели ректальной температуры 41°C у бегунов, участвовавших в соревнованиях продолжительностью всего около 14 минут, таких как бег на 5 000 м. После забега на 10 000 м, проводившегося при температуре воздуха $29,5^{\circ}\text{C}$ и при относительной влажности 80 % в солнечную погоду у одного спортсмена, впавшего в коллапс, ректальная температура достигла 43°C . Без должного лечения это могло привести к нарушению функции центральной нервной системы и смертельному исходу. К счастью, спортсмена вовремя охладили с помощью льда, и восстановление его прошло без каких-либо осложнений.

8.6. Профилактика перегрева и акклиматизация

В условиях теплового стресса спортсмены должны уменьшать усилия, чтобы понизить образование тепла и вероятность возникновения гипертермии. Тренеры, спортсмены и организаторы соревнований должны уметь распознавать симптомы гипертермии. К счастью, наши субъективные ощущения тесно коррелируют с температурой тела. Хотя при ректальной температуре ниже 40°C во время продолжительной физической нагрузки, как правило, не возникает никаких проблем, все же отметим, что если у спортсменов появляется ощущение пульсирующего сдавливания в голове и озноба, им следует прекратить выполнение физической нагрузки, поскольку эти симптомы указывают, что они быстро приближаются к весьма опасному состоянию, которое может оказаться фатальным.

Ряд простых мер предосторожности позволяет предотвратить возникновение расстройств, обусловленных тепловыми факторами. Если температура по влажному термометру выше 28°C , не следует проводить соревнования и тренировки на открытом воздухе.

Как уже отмечалось, поскольку температура по влажному термометру отражает влажность и абсолютную температуру, следовательно, она более точно отражает действительный физиологический тепловой стресс, чем обычная температура воздуха. Планирование тренировочных занятий и соревнований на утренние или вечерние часы позволяет избежать значительного теплового стресса. При высокой температуре окружающей среды каждые 10–20 минут целесообразно пить как можно больше жидкости. Большое значение имеет правильный выбор спортивной одежды. Чем больше на спортсмене одежды, тем меньше площадь тела, непосредственно контактирующая со средой, и тем меньше теплообмен. Неразумная практика проводить тренировки в прорезиненных костюмах с целью сгонки массы тела прекрасно иллюстрирует, какую опасную микросреду (изолированная среда внутри костюма) можно создать. В этом случае температура и влажность могут достичь достаточно высоких уровней, чтобы блокировать теплопотери тела. У спортсмена, одетого в такой костюм, очень быстро может возникнуть тепловая перегрузка или тепловой удар. Другим примером является форма футболистов. Участки, покрытые частями экипировки, впитывающей пот, и защитными щитками подвержены 100-процентной влажности и высокой температуре, снижая градиент между поверхностью тела и окружающей средой. Спортсмены должны иметь на себе как можно меньше одежды, если тепловой стресс потенциально ограничивает терморегуляцию. Одежда должна быть свободной, чтобы обеспечивать максимальную отдачу тепла телом, и светлых тонов, чтобы отражать тепло в окружающую среду. В американском колледже спортивной медицины были разработаны рекомендации для бегунов на длинные дистанции, как избежать расстройств, обусловленных тепловыми факторами. Некоторые рекомендации приведены ниже.

1. Соревнования на дистанции свыше 10 км не следует проводить, если сочетание температуры воздуха, влажности и солнечного излучения повышают температуру по влажному термометру выше 28°C.

2. Соревнования в летнюю пору следует проводить утром, лучше всего до 8 часов или вечером после 18 часов, чтобы свести к минимуму воздействие солнечного излучения.

3. Участников следует обеспечить достаточным количеством напитков до забега, а также на дистанции через каждые 2–3 км. На каждом пункте обслуживания спортсменов они должны выпивать не менее 100–200 мл жидкости.

4. Спортсмены должны быть хорошо подготовленными физически, а также акклиматизированными к условиям высокой температуры.

5. Спортсмены должны хорошо знать начальные симптомы тепловой травмы: головокружение, озноб, головная боль, нарушение координации.

6. Организаторы соревнований должны обеспечить медицинское обслуживание на случай тепловых травм. Ответственные лица должны проверить каждый пункт обслуживания спортсменов.

7. Ответственные за проведение соревнований должны иметь право снять с дистанции спортсменов с явными признаками тепловой перегрузки или теплового удара.

Продолжительные тренировочные нагрузки в условиях повышенной температуры окружающей среды постепенно улучшают способность организма отдавать избыток тепла. Это снижает риск тепловой перегрузки и теплового удара. Этот процесс называется акклиматизацией к условиям повышенной температуры окружающей среды и включает в себя множество изменений в процессе потоотделения и периферическом кровообращении. Общее количество пота, образующегося во время выполнения физической нагрузки в условиях повышенной температуры окружающей среды, может и не измениться вследствие акклиматизации. Потоотделение усиливается на участках, наиболее подверженных тепловому стрессу, а также на участках, которые характеризуются максимальной способностью отдачи тепла. У акклиматизированного человека процесс потоотделения в начале физической нагрузки начинается раньше, что улучшает переносимость высокой температуры. В результате кожная температура становится более низкой, что увеличивает градиент кожной температуры, температуры ядра и окружающей среды.

Поскольку процесс теплоотдачи облегчен, уменьшается кровоснабжение кожи для осуществления передачи тепла, поэтому в активные мышцы поступает больше крови. Кроме того, образующийся пот после тренировочных занятий, проводившихся в условиях высокой температуры, более разведен, поэтому лучше сохраняются запасы микроэлементов. Поскольку способность теплоотдачи при выполнении определенной работы вследствие тренировки повышается, температура тела после тренировки в условиях повышенной температуры ниже, чем до нее.

Кроме того, частота сердечных сокращений меньше увеличивается в ответ на стандартную субмаксимальную нагрузку. Эта адаптационная реакция обусловлена увеличением объема циркулирующей крови и перераспределением кровотока. Любое из этих изменений вызывает повышение систолического объема крови. Хотя некоторые ученые наблюдали увеличение объема крови при акклиматизации к высокой температуре, оно носит временный характер и, по-видимому, связано с усилиями организма задержать выделение натрия, что ведет к увеличению объема плазмы. Кроме того, после акклиматизации к высокой температуре человек способен выполнить больший объем работы, прежде чем наступит утомление или изнеможение. Вспомним, что для выполнения физического упражнения данной интенсивности в условиях повышенной температуры требуется больше мышечного гликогена, чем для выполнения такого же упражнения в условиях более низкой температуры. В результате этого тренировочные занятия, проводимые в условиях высокой температуры, могут привести к быстрому истощению запасов мышечного гликогена и вызвать хроническое утомление у неакклиматизированных людей. В результате акклиматизации интенсивность использования мышечного гликогена снижается на 50—60 %, следовательно, снижается и риск возникновения хронического утомления.

Акклиматизация к высокой температуре не означает простое пребывание в условиях повышенной температуры окружающей среды. Она зависит от следующих факторов:

- условий окружающей среды при проведении каждого тренировочного занятия;
- продолжительности пребывания спортсмена в условиях высокой температуры;
- интенсивности внутреннего образования тепла.

Хотя по этому вопросу еще нет единого мнения, вполне очевидна необходимость проведения тренировочных занятий в условиях высокой температуры окружающей среды с целью достижения акклиматизации. Простое пребывание в условиях повышенной температуры (например, в сауне) длительное время не приводит к акклиматизации.

Как достичь максимальной акклиматизации к высокой температуре?

Полная акклиматизация, как правило, достигается при выполнении физической нагрузки в условиях высокой температуры, вместе с тем частичное повышение толерантности к высокой температуре достигается и при проведении тренировок даже в условиях несколько более низкой температуры. Интересно, что после акклиматизации к данному уровню теплового стресса спортсмены лучше выступают и в условиях более низкой температуры. Однако если спортсмены тренируются в условиях более низкой температуры, чем та, при которой им придется выступать на соревновании, накануне соревнований им необходимо пройти процесс акклиматизации к условиям высокой температуры. Это повысит уровень их мышечной деятельности, а также снизит физиологический стресс и риск тепловой травмы. Если спортсменам предстоит соревноваться в условиях высокой температуры окружающей среды, им следует хотя бы часть тренировочных занятий проводить в наиболее жаркое время суток. Тренировочные занятия, проводимые рано утром и вечером, не подготовят спортсмена должным образом к условиям высокой температуры середины дня. Обычная тренировка в условиях высокой температуры окружающей среды в течение 5—10 дней должна обеспечить практически полную акклиматизацию к условиям высокой температуры. В первые несколько дней интенсивность занятий следует сократить до 60—70 % с целью избежания чрезмерного теплового стресса. Необходимо также принимать меры предосторожности, чтобы избежать тепловых травм, таких как тепловой удар или тепловая перегрузка. Спортсмены должны знать симптомы тепловых травм и потреблять как можно больше жидкости.

Человек способен адаптироваться к условиям высокой температуры (пройти акклиматизацию к условиям высокой температуры), выполняя физические нагрузки в условиях высокой температуры в течение 1 часа и больше на протяжении 5—10 дней. Функция сердечно-сосудистой системы, как правило, изменяется в первые 3—5 дней, деятельность механизмов потоотделения – обычно через 10 дней

8.7. Регидратация

Потребление напитков при продолжительной физической деятельности, особенно в условиях повышенной температуры окружающей среды, оказывает очевидное положительное воздействие. Потребление жидкости сводит к минимуму обезвоживание организма, повышение температуры тела и нагрузку на сердечно-сосудистую систему.

При обезвоживании организма испытуемых во время продолжительного (несколько часов) бега на тредбане при высокой температуре окружающей среды (40°C) и без восполнения запасов воды у них прогрессивно повышается ЧСС. Без потребления жидкости испытуемые достигали состояния изнеможения и не могли закончить 6-часовую физическую нагрузку. Потребление воды или физиологического раствора в количестве, соответствующем потерям массы тела, предотвращало дегидратацию и значительное повышение ЧСС. Даже потребление теплых напитков (равных температуре тела) обеспечивает некоторую защиту организма от перегревания, вместе с тем прохладные напитки ускоряют процесс охлаждения тела, поскольку тепло из глубины тела используется для их согревания.

Потребление жидкости во время выполнения физической нагрузки снижает риск существенного обезвоживания организма. По мнению некоторых специалистов, добавление глюкозы в регидратационные напитки не только обеспечивает организм дополнительным источником энергии, но и может стимулировать абсорбцию воды и натрия. Вспомним, что при задержке в организме натрия он вызывает задержку большего количества воды. Кроме того, некоторые физиологи считают, что натрий необходим для осуществления транспорта глюкозы. Согласно этим предположениям, включение натрия в состав спортивных напитков оправдано, однако как взаимодействуют между собой глюкоза и натрий, пока неизвестно. Исследования этой проблемы велись с использованием для анализа содержимого трубки, вставленной в желудок. Следовательно, они не учитывали естественный вклад со стороны желудка натрия и других ионов в состав потребляемых растворов. Поэтому целесообразность включения натрия в состав спортивных напитков остается невыясненной. Некоторые предлагают включать в состав электролитных и глюкозных напитков аминокислоты с целью повышения абсорбции напитков, однако и это предложение пока недостаточно тщательно изучено.

Спортсмены, естественно, не будут пить невкусные напитки. К сожалению, наши вкусы сильно отличаются. Кроме того, то, что кажется вкусным и хорошим до и после продолжительной физической нагрузки, выполняемой в условиях повышенной температуры окружающей среды, не обязательно оказывается таким же вкусным непосредственно во время выполнения нагрузки. Недавно проводилось исследование, что предпочитают потреблять бегуны и велосипедисты во время выполнения физической нагрузки на протяжении 60 минут. Большинство из 50 испытуемых выбрали напиток с легким запахом и незначительным привкусом. Этим критериям отвечает лишь небольшое количество коммерческих спортивных напитков.

Итак, что же должен пить спортсмен на тренировках и во время соревнований? В условиях очень высокой температуры окружающей среды спортсмену больше всего необходима вода. Хотя вполне достаточно пить простую воду, многие считают целесообразным добавлять в нее углеводы. Включение 4—8 граммов углеводов на 100 мл жидкости не окажет отрицательного воздействия на доставку воды в ткани организма. Потребление 100—150 мл раствора каждые 10—15 минут снизит риск возникновения дегидратации и гипертермии, а также обеспечит организм дополнительным источником энергии. В видах спорта, которые длятся менее 1 часа, потребность жидкости небольшая ввиду незначительной дегидратации. Кроме того, запасы углеводов в организме вполне достаточны для выполнения физической нагрузки в течение такого периода времени.

Вопросы для самостоятельного контроля

1. Температура тела человека. Температурный баланс. Теплообразование.
2. Перенос тепла через проведение, конвекцию, излучение и испарение.
3. Физиологические механизмы регуляции температуры тела человека.
4. Физиологические реакции организма на холодовой и тепловой стресс.
5. Понятие дегидратации. Потери воды и электролитов в условиях теплового стресса.
6. Тепловая болезнь: тепловые судороги, тепловое истощение, тепловой удар. Причины, симптомы, первая помощь.
7. Профилактика теплового стресса.
8. Акклиматизация.
9. Питьевой режим в условиях теплового стресса. Значение адекватной регидратации.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Физиология человека: в 3-х т. / пер с англ. / под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. – М.: Мир, 1996.
2. Уилмор Дж. К., Костил Д. Л. Физиология спорта и двигательной активности. – М.: Олимпийская литература, 2001. – 506 с.
3. Exercise Physiology: nutrition, energy, and human performance / William D. McArdle, Frank I. Katch, Victor L. Katch. – 7thed.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Лекция 1. ОБРАЗ ЖИЗНИ КАК ВЕДУЩИЙ ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ПОПУЛЯЦИОННОЕ ЗДОРОВЬЕ (В. Н. Васильев) | 3 |
| 1.1. Здоровье населения и демографический прогноз | 3 |
| 1.2. Факторы, определяющие индивидуальное здоровье | 9 |
| Лекция 2. РОЛЬ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА (В. Н. Васильев) | 20 |
| 2.1. Здоровье как самостоятельная категория, составляющие здоровья, величина энергетического потенциала как критерий физического здоровья | 20 |
| 2.2. Физиологические эффекты двигательной активности | 26 |
| Лекция 3. ОБЩАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ И СПОРТИВНАЯ ПОДГОТОВКА В СИСТЕМЕ ФИЗИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ (В. Л. Бибик, Е. А. Тимофеев, И. К. Подрезов) | 33 |
| 3.1. Методические принципы физического воспитания | 33 |
| 3.2. Методы физического воспитания | 35 |
| 3.3. Формы занятий физическими упражнениями | 42 |
| 3.4. Общая и моторная плотность занятия | 42 |
| 3.5. Общая физическая подготовка. Специальная физическая подготовка | 43 |
| 3.6. Спортивная подготовка, ее цели и задачи. Структура подготовленности спортсмена | 44 |
| 3.7. Зоны и интенсивность физических нагрузок. Энергозатраты при физической нагрузке. Значение мышечной релаксации | 46 |
| Лекция 4. ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА (И. Ю. Якимович) | 50 |
| Введение | 50 |
| 4.1. Профессионально-прикладная физическая подготовка | 50 |
| 4.2. Производственная физическая культура | 59 |
| Лекция 5. ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БАКАЛАВРА И СПЕЦИАЛИСТА (Н. И. Жукова) | 66 |
| Введение | 66 |
| 5.1. Оздоровительная физическая культура | 66 |
| 5.1.1. Особенности занятий физическими упражнениями оздоровительной направленности | 69 |
| 5.1.2. Оптимальность параметров физической нагрузки | 72 |
| 5.1.3. Средства оздоровительной физической культуры | 78 |
| Заключение | 82 |

| | |
|--|-----|
| Лекция 6. ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ (<i>Е. В. Немеров</i>) | 84 |
| Введение | 84 |
| 6.1. Физиология скелетных мышц | 85 |
| 6.2. Биоэнергетика мышечной деятельности | 99 |
| 6.3. Типы волокон скелетных мышц | 116 |
| 6.4. Роль нервной системы в регуляции движений | 122 |
| Заключение | 137 |
| Лекция 7. ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА (<i>Е. В. Немеров</i>) | 139 |
| Введение | 139 |
| 7.1. Причины физиологических реакций на физическую нагрузку . | 140 |
| 7.2. Регуляция дыхания при выполнении физической нагрузки | 163 |
| 7.3. Реакции эндокринной системы на физическую нагрузку | 172 |
| 7.4. Причины болей в мышцах после физических упражнений | 181 |
| 7.5. Мышечное утомление | 184 |
| Заключение | 185 |
| Лекция 8. ДВИГАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ И ТЕМПЕРАТУРНЫЙ СТРЕСС (<i>Д. А. Бородин</i>) | 187 |
| 8.1. Температура тела человека. Температурный баланс. Теплооб- разование | 189 |
| 8.2. Перенос тепла | 188 |
| 8.3. Регуляция температуры тела человека | 191 |
| 8.4. Дегидратация и потери электролитов | 196 |
| 8.5. Последствия перегрева | 197 |
| 8.6. Профилактика перегрева и акклиматизация | 199 |
| 8.7. Регидратация | 203 |

Учебное издание

Лекции по физической культуре

учебное пособие

под научной редакцией В. Н. Васильева, И. Ю. Якимович

Авторы

В. Н. Васильев
Е. В. Немеров
И. Ю. Якимович
Д. А. Бородин
В. Л. Бибик
И. К. Подрезов
Е. А. Тимофеев
Н. И. Жукова

Редактор И. А. Зеленская
Издательство СибГМУ
634050, г. Томск, пр. Ленина, 107
тел. 8(382-2) 51-41-53
E-mail: otd.redaktor@ssmu.ru

Подписано в печать 10.06.2016 г.
Формат 60x84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная.
Печать ризограф. Гарнитура «Times». Печ. лист 13
Тираж 50 экз. Заказ №

Отпечатано в Издательстве СибГМУ
634050, Томск, ул. Московский тракт, 2
E-mail: lab.poligrafii@ssmu.ru