

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЕЛЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И.А. БУНИНА»

**А.М. Трофимов**

**УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ  
ДВИГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ  
ОРГАНИЗМОМ ЧЕЛОВЕКА И ДОСТИЖЕНИЯ  
ТРЕНИРОВОЧНОГО ЭФФЕКТА  
ПРИ ЗАНЯТИЯХ СПОРТОМ**

(ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ,  
БИОМЕХАНИКА ДВИГАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
И СПОРТИВНОЙ ТРЕНИРОВКИ)

Учебное пособие

**Елец – 2019**

УДК 796.01

ББК 75.15

**Т 76**

*Размещено на сайте по решению редакционно-издательского совета  
Елецкого государственного университета имени И.А. Бунина  
от 31.01.2019, протокол №1*

Рецензенты:

*А.П. Перов*, профессор, кандидат педагогических наук, заведующий кафедрой физического воспитания Липецкого государственного технического университета;

*А.А. Шахов*, доцент, кандидат педагогических наук, директор института физической культуры, спорта, безопасности жизнедеятельности Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина

**А.М. Трофимов**

**Т 76 Условия реализации двигательных функций организмом человека и достижения тренировочного эффекта при занятиях спортом (психология, физиология, биохимия, биомеханика двигательной деятельности и спортивной тренировки): учебное пособие.** – Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2019. – 112 с.

В учебном пособии содержится информация о роли отдельных функциональных систем организма в обеспечении двигательной активности человека. С позиций теории двигательной активности в учебном пособии говорится о факторах, определяющих силовые способности индивида, его физическую выносливость, быстроту, ловкость. На основе знаний физиологических основ двигательной деятельности и проявления физических способностей в пособии формулируются физиологически обуславливаемые принципы развития физических способностей, обосновываются методы спортивной тренировки. Данное учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности – физическая культура.

УДК 796.01

ББК 75.15

© Елецкий государственный  
университет им. И.А. Бунина, 2019

## ВВЕДЕНИЕ

Целью тренировочного процесса в любом виде спорта является достижение тренировочного эффекта, позволяющего спортсмену показывать всё более высокие результаты на соревнованиях. В зависимости от вида спорта тренировочный эффект может в большей или меньшей степени обуславливаться:

- совершенствованием работы нервной системы (формирование двигательных навыков, дающих возможность технически правильно выполнять соревновательные движения, и, где это важно, максимально быстро вспоминать о том, что следует делать в той или иной соревновательной ситуации);
- изменениями в мышечном аппарате и в системе транспорта кислорода, дающими рост физических способностей.

Из этого следует, что грамотное планирование содержания тренировочного процесса предполагает:

- знание устройства и закономерностей функционирования названных систем организма;
- знание того, что должно в них измениться под воздействием тренировки;
- знание того, что может к нужным изменениям привести;
- знание того, что может дать негативный результат.

В связи с этим особенно важным в подготовке специалиста по физической культуре и спорту становятся знания о механизмах организации и управления движениями нервной системой, работе мышечного аппарата, работе функциональных систем, обеспечивающих мышцы энергией и средствами восстановления. От знаний основ биомеханики зависит насколько осознано и правильно педагог, тренер будет планировать содержание тренировочных занятий, подбирать упражнения, способные повысить их эффективность.

В учебном пособии рассматриваются физиологические системы организма человека, обеспечивающие его двигательную активность; свойства нервно-мышечной системы человека; механизмы организации и управления движениями; устройство опорно-двигательного аппарата человека.

С позиций общей теории двигательной активности в учебном пособии говорится о факторах, определяющих силовые способности индивида, его физическую выносливость, быстроту, ловкость.

На основе знаний физиологических основ двигательной деятельности и проявления физических способностей рассматриваются содержательные и методические аспекты спортивной тренировки

Учебное пособие содержит более двадцати единиц иллюстративного материала – схем, графиков, рисунков, создающих представление о структуре описываемых процессов.

Данное учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности – физическая культура.

# ГЛАВА 1.

## ОСНОВНЫЕ АНАТОМО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ РЕАЛИЗАЦИЮ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

### 1.1. Нервная система

#### *1.1.1. Строение и функции нервной системы*

Нервная система – это совокупность нервных структур, обеспечивающих регуляцию деятельности всех других систем организма и реакции организма на изменение условий внутренней и внешней среды. Нервная система действует как интегративная система, связывая в одно целое чувствительность, работу сознания, двигательную активность, работу других регуляторных систем (эндокринной и иммунной).

Нервная система обладает свойством трансформации энергии внешней и внутренней среды в нервный процесс.

Нервная система состоит из нейронов, или нервных клеток и нейроглий, или нейроглиальных клеток.

Нейроны – это основные структурные и функциональные элементы нервной системы, способные генерировать и передавать биоэлектрические импульсы в случае возбуждающего воздействия на них.

Нейроны имеют различную форму и размеры от 3 мкм до 150 мкм. От тела нейрона отходят отростки двух видов:

1. Дендриты, передают нервное возбуждение к телу нейрона, служат главным местом образования влияющих на нейрон возбуждающих и тормозных сигналов.

2. Аксоны, по ним импульсы идут от тел нейронов к другим клеткам (нейронам, мышечным волокнам, железистым клеткам). Передача возбуждения с одного нейрона на другие клетки происходит посредством специализированных контактов – синапсов.

В организме человека насчитывается более ста миллиардов нейронов.

В зависимости от функции выделяют три разновидности нейронов: чувствительные (аффлекторные), эффлекторные (двигательные, секреторные), вставочные.

Чувствительные нейроны посредством рецепторов, находящихся на концах дендритов в тканях организма, воспринимают воздействия окружающей среды, преобразуют их в нервное возбуждение, которое затем передаётся по аксону другим нервным клеткам. Существует большое число видов рецепторов. Отличаются они тем, на какой вид воздействия они реагируют.

Эффлекторные нейроны – посылают команды к рабочим органам.

Вставочные – осуществляют связь между чувствительными и двигательными нейронами, участвуют в обработке информации и выработке команд.

Глиальные клетки более многочисленны, чем нейроны и составляют, по крайней мере, половину объёма ЦНС, но в отличие от нейронов они не могут

генерировать потенциалов действия. Нейроглиальные клетки различны по строению и происхождению, они выполняют вспомогательные функции в нервной системе, обеспечивая опорную, трофическую (питание), секреторную, разграничительную и защитную функции.

Нервная система состоит из двух отделов центрального (ЦНС) – спинной и головной мозг и периферического – нервы и нервные узлы (ганглии).

Нервы – это пучки нервных волокон (группы аксонов и дендритов), окруженные соединительнотканной оболочкой.

Нервные узлы (ганглии) – это скопления тел нейронов за пределами ЦНС. Существует несколько видов ганглиев: спинальные, черепно-мозговые, вегетативные. Обычно ганглий имеет оболочку из соединительной ткани. Ганглии часто соединяются между собой, образуя различные структуры (нервные сплетения, нервные цепочки и т.п., например, солнечное сплетение). Система ганглиев выполняет связующую функцию между различными структурами нервной системы, обеспечивает промежуточную обработку нервных импульсов и управление некоторыми функциями внутренних органов.

По функциям нервная система также делится на 2 части:

1) соматическая – отвечает за появление ощущений, работу сознания, управление скелетными мышцами. Нейроны соматической системы расположены в коре головного мозга (сенсорные зоны, моторная зона, ассоциативная зона) в передних рогах спинного мозга (спинальные мотонейроны, связанные с мышцами), в спинальных ганглиях (тела сенсорных (чувствительных) нейронов, задних рогах спинного мозга (вставочные нейроны между сенсорными нейронами спинальных ганглий и сенсорными нейронами коры).

2) вегетативная (автономная) – управляет внутренними органами и железами внутренней секреции, не подчиняясь сознанию. Функцией ВНС является поддержание постоянства внутренней среды, приспособление ее к изменяющимся условиям окружающей среды и деятельности организма. Состоит из двух частей: симпатической и парасимпатической. Многие внутренние органы получают и симпатическую, и парасимпатическую иннервацию. При этом воздействие двух систем на один и тот же орган разнонаправлено. Если симпатическая стимулирует активность какого-то органа, то парасимпатическая активность того же органа тормозит. И наоборот.

Нейроны симпатической части находятся в подкорковой части головного мозга и в ганглиях, находящихся за пределами ЦНС рядом с позвоночником. В связи с этим все они располагаются на значительном расстоянии от иннервируемых органов. Ганглии парасимпатической нервной системы расположены непосредственно в органах или на подходах к ним, поэтому преганглионарные волокна длинные, а постганглионарные – короткие.

Регуляция функций внутренних органов вегетативной нервной системой может осуществляться, хотя и менее совершенно, при полном нарушении связи с ЦНС. Объясняется это тем, что большая часть как аффлекторных, так и эффекторных нейронов вегетативной нервной системы находятся в вегетативных ганглиях периферического отдела нервной системы.

Существует два вида влияний нервной системы на органы - пусковое и модулирующее.

*Пусковое влияние* вызывает деятельность органа, находящегося в покое. Прекращение импульсации, вызвавшей деятельность органа, ведет к возвращению в исходное состояние. Примером такого влияния может служить запуск секреции пищеварительных желез на фоне их функционального покоя; инициация сокращений покоей скелетной мышцы при поступлении к ней импульсов от мотонейронов спинного мозга по эфферентным нервным волокнам. После прекращения импульсации в нервных волокнах, сокращение мышцы также прекращается, мышца расслабляется.

*Модулирующее (корректирующее) влияние* ведет к изменению интенсивности деятельности органа, например, усилению или ослаблению сокращений сердца, скелетной мышцы, выработке пищеварительных соков.

Модулирующее влияние осуществляется: 1) с помощью изменения интенсивности обмена веществ в органе – биохимических процессов (трофическое действие нервной системы); 2) за счет изменения кровоснабжения органа (сосудодвигательный эффект).

*Рефлекторный принцип нервной регуляции функций организма.*

*Рефлекс* – реакция организма на раздражение сенсорных рецепторов. Рефлекс осуществляется посредством рефлекторной дуги.

*Рефлекторная дуга* – это совокупность структур, участвующих в осуществлении рефлекса. Схематично рефлекторную дугу вегетативного и соматического рефлексов можно представить состоящей из пяти звеньев.

1. *Рецептор* предназначен для восприятия изменений внешней или внутренней среды организма и трансформации энергии раздражения в нервный импульс. Совокупность рецепторов, раздражение которых вызывает рефлекс, называют *рефлексогенной зоной*.

2. *Афферентный путь*, чувствительный нейрон и его дендрит, по которому возбуждение рецептора переносится к телу нейрона. Для соматической нервной системы тела чувствительных нейронов располагаются в спинальных и черепно-мозговых ганглиях. Для вегетативной в вегетативных ганглиях.

3. *Вставочные нейроны*. Их назначение – обеспечение связи с другими отделами нервной системы, переработка и передача импульсов к эффекторному нейрону.

4. *Эффекторные нейроны*. Их назначение – генерирование нервных импульсов, посылаемых к эффектору. Для соматической нервной системы это спинальные мотонейроны.

5. *Эффектор* (рабочий орган).

У рефлекторной реакции может быть гормональное звено, что характерно для вегетативной регуляции функций внутренних органов. Когда в рефлекторную дугу включается гормональное звено, происходит выработка биологически активных веществ. Например, при действии на экстерорецепторы сильных раздражителей (холод, жара, болевой раздражитель) возникает мощный поток афферентных импульсов, поступающих в ЦНС, при этом в кровь выбрасывается



дополнительное количество адреналина и гормонов коры надпочечников, играющих адаптивную (защитную) роль.

### ***1.1.2. Роль нервной системы в обеспечении двигательных функций организма человека***

#### ***Нервно-мышечная связь***

Каждое волокно мышечной системы иннервируется отростками аксонов спинальных мотонейронов. Спинальные мотонейроны это нервные клетки передних рогов спинного мозга. Функция мотонейронов – трансляция нервного возбуждения из двигательного отдела коры головного мозга к мышечным волокнам. Размер самых крупных мотонейронов более 150 мкм в диаметре.

Каждый мотонейрон иннервирует группу мышечных волокон. Волокна данной группы связаны только с одним мотонейроном. Группа мышечных волокон, вместе с мотонейроном их иннервирующим, называется двигательной единицей.

В зависимости от размеров количество двигательных единиц в составе отдельных мышц отличается так же, как и количество волокон в составе разных двигательных единиц. Например, мышца, перемещающая зрачок глаза, состоит всего из шести двигательных единиц, тогда как прямая мышца бедра из нескольких сотен.

Мотонейроны, иннервирующие волокна одной мышцы образуют мотонейронную группу.

Группы мотонейронов располагаются в позвоночном столбе в зависимости от расположения сверху вниз мышц, с ними связанных.

Все мотонейроны группы связаны с моторным центром мышцы. (Моторные центры это группы двигательных нейронов, располагающихся в коре головного мозга. Каждая мышца имеет свой моторный центр. Моторные центры отдельных мышц формируют моторную зону коры больших полушарий.).

#### ***Управление мышечными сокращениями ЦНС***

Функция моторных центров – возбуждение мотонейронов. Возбуждающий сигнал начинает передаваться после того, как возбудится сам моторный центр. Возбуждение моторного центра инициируется волевым воздействием на него.

Волевое воздействие это – акт проявления воли человека, содержанием которого становится осознанное возбуждение осознано выбираемых моторных центров.

Получив сигнал из моторного центра, спинальные мотонейроны сами возбуждаются. Когда возбуждение достигает определённой величины, включается механизм передачи возбуждения мотонейрона мышечным волокнам (состояние рабочего возбуждения мотонейрона). Получившее нервный сигнал мышечное волокно начинает сокращаться.

Свойством передачи нервного возбуждения является его импульсивность, т.е. нервная энергия передаётся короткими импульсами с определённой в разных случаях частотой. Частота импульсов, посылаемых моторным центром в

сторону мотонейронов, определяется силой возбуждения моторного центра, а сила возбуждения моторного центра, в свою очередь, регулируется волей человека, точнее, силой волевого воздействия на данный центр.

Свойством спинальных мотонейронов является зависимость силы их возбуждения от частоты получаемых импульсов. Чем больше частота, тем сильнее возбуждение. В связи с этим условием достижения рабочего возбуждения, является превышение частоты получаемых импульсов некой величины. Частота, по достижении которой мотонейрон переходит в рабочее состояние, называется пороговой частотой рабочего возбуждения. (Пороговая частота – это минимальная частота получаемых импульсов, по достижении которой мотонейрон переходит в рабочее состояния, начиная посылать нервные импульсы в сторону мышечных волокон.). Высота порога определяется размерами мотонейрона. Чем больше мотонейрон, тем выше порог.

В составе групп мотонейронов, иннервирующих каждую мышцу, присутствуют мотонейроны разных размеров, с разными порогами частоты рабочего возбуждения. Это позволяет волевым регулированием изменять число двигательных единиц мышцы, привлекаемых к сокращению. А именно, увеличивать их число, посредством усиления возбуждения её моторного центра, и уменьшать, при его снижении. Количеством двигательных единиц, принимающих участие в сокращении мышцы, определяется сила сокращения.

(Механизм волевого воздействия на моторные центры коры головного мозга обнаруживается в способности человека по собственному желанию, независимо от каких бы то ни было внешних факторов, инициировать сокращение любой поперечнополосатой мышцы своего организма (кроме сердечной), и в любом направлении изменять его силу.).

Механизм инициирования мышечных сокращений и управления их силой нервной системой лежит в основе процессов организации и управления движениями и формирования двигательных навыков.

## **1.2. Система внешнего дыхания**

Важнейшую роль в обеспечении эффективности двигательной деятельности человека играет система внешнего дыхания. Функцией данной системы является газообмен между атмосферным воздухом и кровеносной системой. Сутью газообмена является забор организмом кислорода из атмосферного воздуха и выделение в атмосферных воздух углекислого и других газов, образующихся в процессе биохимических реакций. Кислород является химическим элементом, обеспечивающим фосфорилирование АДФ в митохондриях клеток, т.е. производство энергии, необходимой для их функционирования, в том числе энергии, расходуемой при сокращениях мышечных волокон.

Органом, отвечающим за газообмен, являются лёгкие, располагающиеся внутри грудной клетки. Функциональными единицами легких являются альвеолы, заключённые в альвеолярные мешочки. Из них кислород атмосферного воздуха проникает в капилляры сердечнососудистой системы, опутывающие



каждую альвеолу. Диаметр альвеол составляет 0,2-0,3 мм. Суммарная площадь внутренней поверхности всех альвеол достигает 80 м<sup>2</sup>, их число около 300-350 млн. Совокупность альвеолярных ходов и мешочков, в которых находятся альвеолы, называют дыхательной зоной.

Воздухоносный путь лёгких (трахея, бронхи, бронхиолы) – это пространство, которое обеспечивает доставку атмосферного воздуха в газообменную область. В воздухоносных путях происходит:

1. Очищение вдыхаемого воздуха от крупных пылевых частиц.
2. Увлажнение вдыхаемого воздуха до 100%.
3. Согревание воздуха до температуры 37°C.

Лёгкие посредством соединительной ткани прикрепляются к грудной клетке, которая является герметичной полостью для легких. Она предохраняет их от механических повреждений и своими экскурсиями обеспечивает сужение и расширение легких, а значит – их вентиляцию.

Кроме газообменной функции легкие выполняют и ряд других – не газообменных функций.

1. Выработка биологически активных веществ, гепарина, тромбосана В<sub>2</sub>, простагландинов, тромбопластина, факторов свертывания крови VII и VIII, гистамина, серотонина, метилтрансферазы, моноаминоксидазы, гликозилтрансферазы. Легкие являются основным источником тромбопластина в организме: когда его мало в крови, выработка возрастает, когда много – выработка тромбопластина уменьшается.

2. Инактивация биологически активных веществ. Эндотелий капилляров легких инактивирует за счет поглощения или ферментативного расщепления многие биологически активные вещества, циркулирующие в крови.

3. Легкие выполняют защитную функцию – они являются барьером между внутренней и внешней средой организма, в них образуются некоторые антитела, осуществляется фагоцитоз, вырабатываются лизоцим, интерферон, лактоферрин; в капиллярах задерживаются и разрушаются микробы, агрегаты жировых клеток, тромбоэмболы. Функцию фагоцитоза выполняют так называемые альвеолярные фагоциты.

4. Легкие участвуют в процессах терморегуляции – в них вырабатывается большое количество тепла.

5. Легкие являются резервуаром воздуха для голосообразования.

#### *Механизм вдоха и выдоха*

Поступление воздуха в легкие при вдохе и изгнание его из легких при выдохе осуществляются благодаря расширению и сужению грудной клетки.

Механизм вдоха представляет собой три одновременно протекающих процесса: 1) расширение грудной клетки, 2) расширение легких в целом и альвеол в частности, 3) поступление воздуха в альвеолы за счёт образования более низкого давления в альвеолах по сравнению с атмосферным.

Расширение грудной клетки обеспечивается сокращением инспираторных мышц и может происходить в трех направлениях: вертикальном, фронтальном

и сагиттальном. Инспираторными мышцами являются диафрагма, наружные межреберные и межхрящевые мышцы.

Экспираторные мышцы обеспечивают форсированный выдох посредством сужения грудной клетки. Экспираторными мышцами являются внутренние межреберные мышцы и косые мышцы брюшной стенки. Спокойный выдох осуществляется без участия экспираторных мышц, за счёт эластичной тяги лёгких и рёберных хрящей.

При спокойном дыхании на работу дыхательных мышц затрачивается лишь около 2% потребляемого организмом кислорода.

Тяжелая физическая работа требует увеличения вентиляции легких. В связи с чем, возрастает частота и глубина дыхания. Последнее предполагает рост силы сокращения инспираторных мышц. Помимо этого, при форсированном вдохе в работу включаются мышцы, поднимающих грудную клетку, при спокойном вдохе не работающие.

Форсированный выдох предполагает включение в работу экспираторных мышц.

Количество кислорода, способного поступить в кровь и быть доставленным к органам, определяется объёмом лёгочной вентиляции. Измерениями объёмов лёгочной вентиляции оцениваются возможности дыхательной системы индивида, а так же количество потребляемого организмом кислорода при выполнении разных видов работ. С этой целью разработаны и применяются несколько видов тестов. Наиболее информативными являются следующие их виды:

1. Жизненная емкость легких (ЖЕЛ) – это наибольший объем воздуха, который можно выдохнуть после максимального вдоха. Чем больше ЖЕЛ, тем больше объём лёгочной вентиляции при одинаковой частоте дыхания, тем больше кислорода поступает в кровь за то же время. У молодых людей норму ЖЕЛ можно рассчитать по формуле:  $ЖЕЛ = \text{Рост}(м) \times 2,5 \text{ л.}$

2. Минутный объем воздуха (МОВ) - это объем воздуха, проходящего через легкие за 1 мин. Он составляет в покое 6-8 л, частота дыхания – 14-18 в 1 мин. При интенсивной мышечной нагрузке МОВ может достигать 100 л. По минутному объёму воздуха судят о количестве кислорода потребляемого организмом при достаточно длительно физической работе, выполняемой с постоянной интенсивностью.

3. Максимальная вентиляция легких (МВЛ) – это объем воздуха, который проходит через легкие за 1 мин. при максимально возможной глубине и частоте дыхания. МВЛ может достигать у спортсменов – 180 л/мин. По объёму вентиляции в данном случае можно судить о возможностях дыхательного аппарата в целом. Результаты вентиляции при работе в таком режиме определяются не только ЖЕЛ, но и выносливостью дыхательных мышц. Чем выносливее мышцы, тем больше вдохов-выдохов сделает тестируемый за одну минуту, тем глубже они будут.

### *Нейрогуморальная регуляция интенсивности дыхания*

Главным регулятором дыхания является  $\text{CO}_2$ . При увеличении содержания  $\text{CO}_2$  в крови возрастает частота и глубина дыхания, вентиляция легких увеличивается. При снижении pH артериальной крови по сравнению с нормальным уровнем (7,4) вентиляции легких также увеличивается. В случае возрастания pH выше нормы вентиляция уменьшается, хотя и в меньшей степени.

Влияние  $\text{CO}_2$  и ионов  $\text{H}^+$  на дыхание обуславливается их действием на особые структуры ствола мозга, обладающие хемочувствительностью (центральные хеморецепторы). Хеморецепторы, реагирующие на изменение газового состава крови, также обнаружены в дуге аорты и в синокаротидной области. Снижение напряжения  $\text{O}_2$  в артериальной крови (гипоксемия) ниже 50-60 мм рт.ст. также сопровождается увеличением вентиляции легких уже через 3-5 с. В обычных условиях такого сильного падения напряжения  $\text{O}_2$  не встречается, однако артериальная гипоксия может возникнуть при подъеме на высоту.

### **1.3. Сердечнососудистая система**

Главная роль сердечнососудистой системы – обеспечение движения крови. Только при движении кровь может выполнять свою главную функцию – транспорт различных веществ в организме. Обмен веществ между кровью и тканями происходит в капиллярах. В стенках сердца и сосудов вырабатываются многие биологически активные вещества, например, гепарин, гистамин, серотонин, факторы свертывания крови, эндотелии – сосудосуживающее вещество.

*Сердце* - состоит из четырёх отдельных полостей, называемых камерами: левое предсердие, правое предсердие, левый желудочек, правый желудочек. Они разделены перегородками. В правое предсердие входят полые, в левое предсердие – лёгочные вены. Из правого желудочка и левого желудочка выходят, соответственно, лёгочная артерия (лёгочный ствол) и восходящая аорта. Правый желудочек и левое предсердие замыкают малый круг кровообращения, левый желудочек и правое предсердие – большой круг (Рис. 1).

#### *Цикл сердечной деятельности*

Основными составляющими цикла сердечной деятельности являются систола (сокращение) и диастола (расширение) предсердий и желудочков.

Цикл сердечной деятельности при частоте сокращений 75 ударов в минуту длится 0,8 с. Его можно разделить на три основные фазы.

Систола предсердий – 0,1 с. За это время желудочки полностью наполняются кровью, поступающей в них из предсердий.

Систола желудочков – 0,33 с. Кровь из желудочков выводится в лёгочную артерию и аорту.

Диастола – общая пауза сердца – 0,37 с. Период расслабления сердечной мышцы, во время которого желудочки и предсердия заполняются за счёт давления крови, поступающей из полых и лёгочной вен.

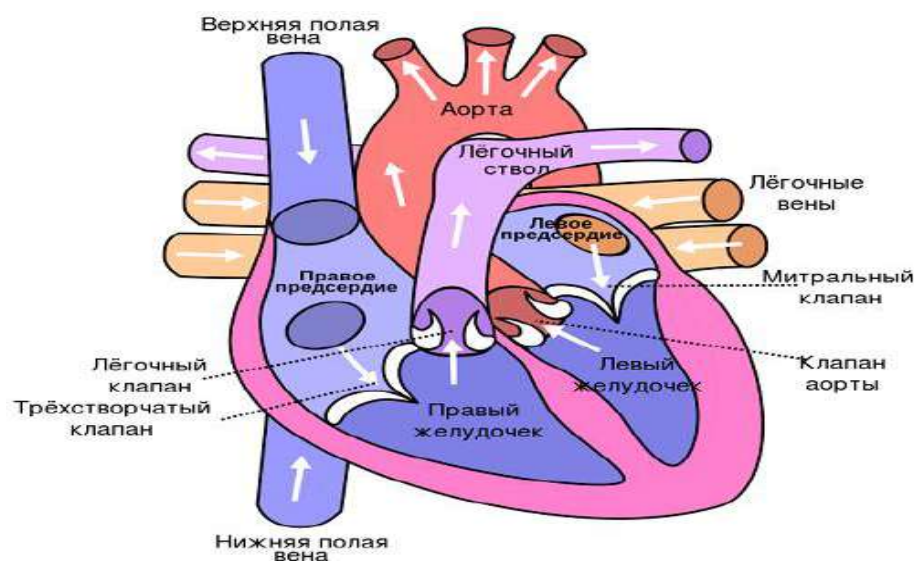


Рис. 1.

#### *Свойства сердечной мышцы*

Сердечная мышца (миокард) состоит из кардиомиоцитов.

Кардиомиоциты – клетки неправильной цилиндрической формы длиной 100-150 мкм и диаметром 10-20 мкм. Каждый кардиомиоцит имеет 1-2 овальных, удлинённых ядра, лежащих в центре и окруженных миофибриллами, расположенными по периферии строго прямолинейно. На обоих полюсах ядра имеются удлинённые зоны цитоплазмы, лишенной миофибрилл. Контакты двух соседних кардиомиоцитов называются вставочными дисками, через них передаётся возбуждение от клетки к клетке.

Возникает возбуждение в проводящей системе сердца (ПСС). Это часть сердечной мышцы специализирующаяся на выдаче остальному сердцу управляющих сигналов в форме импульсов, подобных импульсам нервной системы.

Сердце может саморегулировать собственную деятельность, посредством импульсов зарождающихся в синусно-предсердном узле. Его называют водителем ритма первого порядка. Располагается он на своде правого предсердия. Импульсы, зарождающиеся в синусно-предсердном узле, передаются от одного кардиомиоцита к другому, вызывая их сокращение. Механизм саморегуляции сердечных сокращений называют миогенным механизмом.

Помимо миогенного механизма регуляции деятельности сердца, не являющегося основным, существует нервно-гуморальный механизм, выражающийся во влиянии на проводящую систему сердца нервной и гормональной систем организма. Под их влиянием изменяется частота сердечных сокращений и их сила.

Сердечная мышца обладает хорошей эластичностью, растяжимостью и упругостью. Мышечные клетки насыщены митохондриями. Главным источником энергии сокращения кардиомиоцитов является аэробное окисление жирных кислот.

Имеет место линейная зависимость между ЧСС и объёмом совершаемой работы за единицу времени. При максимально напряжённой работе ЧСС возрастает до предельно достижимой 170-200 уд/мин. Дальнейшее повышение нагрузки уже не сопровождается увеличением ЧСС.

Работа сердца при очень большой частоте сокращений становится менее эффективной, так как значительно сокращается время наполнения желудочков кровью и уменьшается ударный объём.

Достижение пороговой для индивида частоты сердечных сокращений приводит к истощению сердечной мышцы.

По рекомендации ВОЗ допустимыми считаются нагрузки, при которых ЧСС достигает 170 уд/мин.

*Сосудистая система* организма человека формируется следующими разновидностями сосудов: аорта – артерии – артериолы – капилляры – венулы – крупные вены – полые вены

*Артерии* – кровеносные сосуды, несущие кровь от сердца к органам.

Артерии пульсируют в ритме сокращений сердца. Ритм этот можно почувствовать, если прижать пальцы там, где артерии проходят близко к поверхности. Чаще всего пульс нащупывают в районе запястья, где легко можно обнаружить пульсацию лучевой артерии.

Стенки артерий состоят из трёх слоев, или оболочек: внутренней или эндотелия, средней и наружной – адвентиции.

Существует три типа артерий:

- эластический тип – аорта, крупные артерии. В стенке такой артерии преимущественно эластические волокна, мышечных элементов практически нет.

- переходный тип – артерии среднего диаметра. В стенке и эластические волокна, и мышечные элементы.

- мышечный тип – артериолы, прекапилляры. В стенке преимущественно мышечные элементы.

*Вены* – кровеносные сосуды, по которым кровь движется к сердцу. Вены получают кровь из капилляров. Вены объединяются в венозную систему, часть сердечнососудистой системы. Вена состоит из нескольких слоев, как и артерия. Это эндотелий (внутренний слой), мягкий соединительный слой, мышечный слой и плотная соединительная ткань.

Если у артерий стенки толстые и твёрдые, то стенки венозных сосудов тонкие. Давление крови в венах значительно меньше, чем в артериях, что должно было бы приводить к снижению скорости её движения. Для ускорения «проталкивания» крови по венам существует система приспособлений:

во-первых, это клапаны вен, которые позволяют крови течь только в одну сторону – к сердцу;



во-вторых, это специальный венозный пульс (волна сокращений вен), осуществляемая гладкой мускулатурой сосудов.

*Капилляры* – являются самыми тонкими сосудами в организме человека. Средний их диаметр составляет 5-10 мкм.

Только в капиллярах, соединяющих артерии и вены, происходит обмен веществ между кровью и тканями. Стенки капилляров состоят из одного слоя клеток эндотелия. Толщина этого слоя настолько мала, что позволяет проходить в межклеточное пространство молекулам кислорода, воды, липидов, гормонов и многих других веществ. Из межклеточного пространства все эти вещества либо проникают в близлежащие клетки, либо возвращаются в русло крови. Продукты, образующиеся в результате жизнедеятельности организма (такие, как диоксид углерода и мочевины), также проходят через стенку капилляра для транспортировки их к месту выведения из организма.

Объем фильтрации через общую обменную поверхность капилляров организма составляет около 60 л/мин или примерно 85 000 л/сут. В механизме иммунного ответа клетки эндотелия выставляют на своей поверхности молекулы-рецепторы, задерживая иммунные клетки и помогая их последующему переходу во внесосудистое пространство к очагу инфекции или иного повреждения.

Чем больше метаболическая активность клеток какого-либо органа, тем больше капилляров требуется для обеспечения его потребности в питательных веществах. В обычных условиях капиллярная сеть содержит всего лишь 25% от того объема крови, который она может вместить, так как большая часть капилляров в состоянии покоя не функционирует. При активной работе органа объем крови в капиллярах увеличивается за счет роста пропускной способности артериол, которые становятся шире, вследствие расслабления гладкомышечных клеток, расположенных в них. С ростом поступающей крови растёт число функционирующих капилляров. Скорость кровотока в капиллярах при этом не изменяется, даже не смотря на то, что в это же время объем минутного объема крови прокачиваемого сердцем и, как следствие, скорость движения крови в крупных сосудах, может многократно возрастать.

Общая площадь поперечных сечений капилляров человека 50 м<sup>2</sup>, это в 25 раз больше поверхности тела, всего их насчитывается 100-160 млрд. капилляров. Суммарная длина капилляров среднестатистического взрослого человека составляет приблизительно 100 000 км.

#### *Кровяное (артериальное) давление*

Кровь, движущаяся по сосудам, находится под давлением. Величина давления снижается от артерий к артериолам и капиллярам и от периферических вен к центральным. Давление крови носит колебательный характер. Колебания кровяного давления обусловлены пульсирующим характером работы сердца. А так как кровеносные сосуды обладают высокой эластичностью и растяжимостью, то колебания кровяного давления имеют вид пульсовой волны, движущейся от желудочков сердца к его же предсердиям по большому и малому кругам. Скорость распространения пульсовой волны зависит от размера и упруго-

сти сосуда. В аорте она составляет 3-5 м/с в средних артериях (подключичной и бедренной) – 7-9 м/с, в мелких артериях конечностей – 15-40 м/с.

Максимальное давление достигается в момент выброса крови из сердца в аорту и называется систолическим (СД). Когда после выталкивания крови из сердца аортальные клапаны захлопываются, давление крови быстро снижается до величины, соответствующей так называемому диастолическому давлению (ДД). Разница между систолическим и диастолическим давлениями называется пульсовым давлением.

На артериальное давление влияют главным образом три фактора: а) частота сердечных сокращений (ЧСС); б) изменение ударного объема или сердечного выброса крови. в) изменение периферического сопротивления сосудистого русла;

*Ударный объем сердца* – количество крови выбрасываемого сердцем в аорту за одно сокращение.

При переходе от состояния покоя к нагрузке УОС быстро увеличивается и достигает стабильного уровня, адекватного совершаемой работе.

Максимальная величина ударного объема сердца наблюдается при ЧСС 130 уд/мин.

Дальнейшее увеличение ЧСС не сопровождается ростом ударного объема крови, а по достижении ЧСС 170 и более ударов ударный объем несколько уменьшается. Поддержание необходимого уровня кровообращения обеспечивается только большей частотой сердечных сокращений.

*Минутный объем крови*

Одним из главных показателей функции сердца является величина минутного объема крови (МОК), выбрасываемой в систему большого круга кровообращения. МОК может меняться в широких пределах: от 4-5 л/мин в покое, до 25-30 л/мин при тяжелой физической нагрузке.

МОК определяется ударным объемом сердца и частотой сердечных сокращений.

При интенсивной нагрузке минутный объем сердца может возрасти в 6 раз по сравнению с состоянием покоя. В возрастании минутного объема крови при физической нагрузке важную роль играет так называемый механизм мышечного насоса. Сокращение мышц сопровождается сжатием в них вен, что немедленно приводит к увеличению оттока венозной крови из мышц нижних конечностей.

Чем больше минутный объем, тем больше кислорода доставляется к работающим органам за единицу времени. В связи с этим возможности сердечно-сосудистой системы по транспорту крови являются одним из основных факторов, определяющих физическую выносливость человека.

*Региональный кровоток*

Кровоток в органах и тканях при значительной физической нагрузке существенно изменяется. Работающие мышцы требуют усиления обменных процессов и значительного увеличения доставки кислорода. Кроме того, усиливается терморегуляция, так как дополнительное тепло, вырабатываемое сокра-

щающимися мышцами, должно быть отведено к поверхности тела. Увеличение МОК само по себе не может обеспечить адекватное кровообращение при значительной работе. Чтобы условия для обменных процессов были благоприятными, наряду с увеличением минутного объема крови требуется еще и перераспределение регионального кровотока.

В состоянии покоя кровоток в мышце составляет около 20 мл/мин на 100 г мышечной ткани, а при интенсивной динамической работе возрастает до 100 мл/мин. Происходит усиление кровотока за счёт роста числа функционирующих капилляров и роста диаметра их просветов. Количество капилляров может увеличиться в 4-5 раз. Кровоток усиливается в начале нагрузки, а затем достигает стабильного уровня.

Легочный кровоток во время значительной физической нагрузки также возрастает в 4-5 раз за счёт открытия капилляров, не функционирующих в состоянии покоя. Происходит это по мере роста частоты дыхания и увеличения количества крови направляемого сердцем по лёгочной артерии к лёгким.

Основными характеристиками работы сердечнососудистой системы, определяющими эффективность функционирования организма в условиях значительных физических нагрузок, являются – ударный объём сердца, минутный объём крови и выносливость сердечной мышцы. Выносливостью сердечной мышцы определяется максимум частоты сокращений, при котором сердце способно функционировать без ущерба для себя.

#### **1.4. Эндокринная система**

Функция эндокринной системы – гуморальная регуляция метаболических процессов, протекающих в организме. Главными органами эндокринной системы являются железы внутренней секреции и внешней секреции.

*Железы внутренней секреции* вырабатывают особые сложные вещества – гормоны, которые из ткани железы всасываются в кровь и разносятся ею по телу. Гормоны оказывают два вида влияния на органы, ткани и системы организма – функциональное (играют весьма важную роль в регуляции функций организма) и морфогенетическое (обеспечивают морфогенез – рост, физическое, половое и умственное развитие; например, при недостатке тироксина страдает развитие ЦНС, следовательно, и умственное развитие).

Функциональное влияние гормонов бывает трех видов.

Пушковое влияние – это способность гормона запускать деятельность эф- фектора. Например, адреналин запускает распад гликогена в печени и выход глюкозы в кровь, вазопрессин (антидиуретический гормон – АДГ) включает реабсорбцию воды из собирательных трубок нефрона в интерстиций почки.

Модулирующее влияние гормона – изменение интенсивности протекания биохимических процессов в органах и тканях. Например, активация тироксином окислительных процессов, которые могут проходить и без него; стимуляция адреналином деятельности сердца, которая проходит и без адреналина. Модулирующим влиянием гормонов является также изменение чувствительно-

сти ткани к действию других гормонов. Например, фолликулин усиливает действие прогестерона на слизистую оболочку матки, тиреоидные гормоны усиливают эффекты катехоламинов.

Пермиссивное влияние гормонов – способность одного гормона обеспечивать реализацию эффекта другого гормона. Например, инсулин необходим для проявления действия соматотропного гормона, фоллитропин необходим для реализации эффекта лютропина.

Оба вида влияний гормонов (морфогенетическое и функциональное) реализуются с помощью метаболических процессов, запускаемых посредством клеточных ферментных систем.

В полости черепа находятся гипофиз, эпифиз, гипоталамус, сращенные с мозгом. На шее, ниже твердых хрящей гортани, располагаются щитовидная железа и 4 (по две с каждой стороны) паращитовидные железы, приращенные к ее задней поверхности. В грудной клетке, позади грудины лежит вилочковая железа (тимус). В полости живота располагаются: поджелудочная железа, надпочечники (они лежат в виде шапочки на верхушке каждой почки и включают, две самостоятельные железы мозговое вещество и кору), половые железы помещаются у мужчин поверхностно, а у женщин спрятаны в глубине брюшной полости.

Парными, т.е. имеющимися и справа, и слева, являются надпочечники, половые и паращитовидные железы.

Самой главной железой внутренней секреции является гипофиз, состоящий из трёх частей. Гипофиз называют дирижером внутренней секреции, ибо в нем вырабатывается много различных гормонов, воздействующих на другие железы и управляющих ими. Гипофиз также вырабатывает – гормон, регулирующий уровень жидкости в организме, гормон облегчающий выход молока из молочных желёз при кормлении ребёнка, гормон роста. (При недоразвитии гипофиза или недостаточной функции его человек отстаёт в росте). Гиперфункция гипофиза, т.е. обратное явление (например, при избыточном развитии железы), приводит к чрезмерному росту, гигантизму.

Эпифиз – образует гормон мелатонин, угнетает развитие половых желёз, предотвращает преждевременное половое развитие.

Гипоталамус – выделяет гормоны, регулирующие работу гипофиза.

Вилочковая железа – продуцирует гормон тимозин, участвующий в иммунологических процессах. Оказывает влияние на рост и развитие организма и на обмен кальция.

Щитовидная железа – выделяет гормоны тироксин и трийодтиронин. В их состав входит йод. Эти гормоны стимулируют метаболизм во всём организме, повышая активность многих ферментов, участвующих в расщеплении углеводов. В местностях, бедных йодом, железа иногда значительно разрастается, образуя так называемый эндемический зоб. Частым нарушением работы щитовидной железы является ее повышенная деятельность. При этом усиливаются процессы сгорания углеводов, человек становится худым, нервным, появляется

пучеглазие, учащается пульс. В таких случаях приходится удалять большую часть железы.

Паращитовидные железы – вырабатывают гормон, регулирующий обмен кальция и фосфора в организме.

Гормоны поджелудочной железы – управляют обменом углеводов. Гормон инсулин необходим для нормального использования сахара – как в смысле его сгорания в тканях, так и в смысле превращения его печенью в резервный гликоген. Гормон глюкагон, также вырабатываемый поджелудочной железой, является антагонистом инсулина. Он стимулирует расщепление гликогена в печени при падении концентрации глюкозы в крови.

Важной железой являются надпочечники, синтезирующие ряд гормонов. Адреналин и норадреналин синтезируются мозговым веществом надпочечников при напряженной работе и сильных волнениях. Под влиянием этих гормонов расширяются зрачки, учащается сердцебиение и дыхание, мышцы приводятся в «боевую готовность» – тело высвобождает накопленные резервы, становится сильней и быстрее, повышается сопротивляемость боли. Адреналин – влияет практически на все виды обмена веществ. Под его влиянием происходит повышение содержания глюкозы в крови за счёт усиления глюконеогенеза (образование глюкагона), снижается синтез гликогена в печени и скелетных мышцах, усиливается захват и утилизация глюкозы тканями, повышается активность гликолитических ферментов. Также адреналин усиливает липолиз (распад жиров) и тормозит синтез жиров. В высоких концентрациях адреналин усиливает катаболизм белков.

Весьма большое значение имеют гормоны коры надпочечников, так называемые кортикостероиды – гидрокортизон, кортизон, альдостерон. Они отвечают за регуляцию количества ионов  $K^+$  и  $Na^+$  в крови человека, участвует в регуляции гемодинамики и водно-солевого баланса, входят в состав протеолитических ферментов, разрушающих белки.

Андрогены или половые гормоны (тестостерон, эстрогены), в небольших количествах производимые надпочечниками, влияют на развитие вторичных половых признаков.

Особое значение в организме имеют половые железы. Это железы как внутренней, так внешней секреции, вырабатывают половые клетки (яйцеклетки, сперматозоиды). Помимо этого половые железы мужчин выделяют в кровь тестостерон, который участвует в развитии мужских половых органов, регулирует сперматогенез и половое поведение, ускоряют сжигание жиров, также оказывает влияние на азотистый и фосфорный обмен.

Половые железы женщин выделяют гормоны эстрогены. Они стимулируют развитие матки, маточных труб, влагалища, молочных желез, пигментацию в области сосков и половых органов, формирование вторичных половых признаков по женскому типу, рост и закрытие эпифизов длинных трубчатых костей. В небольших количествах эстрогены производятся также яичками у мужчин и корой надпочечников у обоих полов.



*Железы внешней секреции* синтезируют различные вещества, которые выводятся либо на поверхность тела (потовые, сальные, слёзные, половые), либо в полости тела (печень, поджелудочная железа, слюнные, железы желудка и кишечника).

*Печень* – самая крупная железа внешней секреции. Распологается в брюшной полости (полости живота) под диафрагмой. Функции печени:

- обезвреживание различных чужеродных веществ, в частности, аллергенов, ядов и токсинов, путём превращения их в безвредные, менее токсичные или легче удаляемые из организма соединения;

- обезвреживание и удаление из организма избытков гормонов, медиаторов, витаминов, а также токсичных промежуточных и конечных продуктов обмена веществ, например, аммиака, фенола, этанола, ацетона и кетоновых кислот;

- обеспечение энергетических потребностей организма глюкозой, и конвертация различных источников энергии (свободных жирных кислот, аминокислот, глицерина, молочной кислоты и др.) в глюкозу;

- пополнение и хранение быстро мобилизуемых энергетических резервов в виде депо гликогена и регуляция углеводного обмена;

- пополнение и хранение некоторых витаминов (особенно велики в печени запасы жирорастворимых витаминов А, D, водорастворимого витамина В12), а также ряда микроэлементов в частности, катионов железа, меди и кобальта. Также печень непосредственно участвует в метаболизме витаминов А, В, С, D, Е, К, РР и фолиевой кислоты;

- синтез холестерина и его эфиров, липидов и фосфолипидов, липопротеидов и регуляция липидного обмена;

- синтез жёлчных кислот и билирубина, продукция и секреция жёлчи;

- также служит депо для довольно значительного объёма крови, который может быть выброшен в общее сосудистое русло при кровопотере или шоке за счёт сужения сосудов, кровоснабжающих печень;

- синтез гормонов и ферментов, которые активно участвуют в преобразовании пищи в 12-перстной кишке и прочих отделах тонкого кишечника.

*Метаболиты и тканевые гормоны.*

Метаболиты – продукты, образующиеся в организме в процессе обмена веществ как результат различных биохимических реакций, Это аминокислоты, нуклеотиды, коферменты, угольная кислота, молочная, пировиноградная, адениловая кислоты, креатин. Регуляция с помощью метаболитов на ранних этапах филогенеза была единственной. Метаболиты одной клетки непосредственно влияли на другую, соседнюю клетку или группу клеток, которые в свою очередь таким же способом действовали на следующие клетки (контактная регуляция). С появлением гемолимфы и сосудистой системы метаболиты стали передаваться и другим клеткам организма с движущейся гемолимфой на большие расстояния, причем осуществляться это стало быстрее. Затем появилась нервная система как регулирующая система, а еще позже – эндокринные железы. Метаболиты хотя и действуют в основном как местные регуляторы, но могут

влиять и на другие органы и ткани, на активность нервных центров. Например, накопление угольной кислоты в крови ведет к возбуждению дыхательного центра и усилению дыхания. Примером местной гуморальной регуляции может служить гиперемия интенсивно работающей скелетной мышцы - накапливающиеся метаболиты обеспечивают расширение кровеносных сосудов, что увеличивает доставку кислорода и питательных веществ к мышце. Подобные регуляторные влияния метаболитов происходят и в других активно работающих органах и тканях организма.

Тканевые гормоны: биогенные амины (гистамин, серотонин), простагландины и кинины. Занимают промежуточное положение между гормонами и метаболитами, как гуморальные факторы регуляции. Эти вещества свое регулирующее влияние оказывают на клетки тканей посредством изменения их биофизических свойств (проницаемости мембран, их возбудимости), изменения интенсивности обменных процессов, чувствительности клеточных рецепторов, образования вторых посредников. В результате этого изменяется чувствительность клеток к нервным и гуморальным влияниям. Поэтому тканевые гормоны называют модуляторами регуляторных сигналов - они оказывают модулирующее влияние. Тканевые гормоны образуются неспециализированными клетками, но действуют они посредством специализированных клеточных рецепторов, например, для гистамина обнаружено два вида рецепторов. Поскольку тканевые гормоны влияют на проницаемость клеточных мембран, они регулируют поступление в клетку и выход из клетки различных веществ и ионов, определяющих мембранный потенциал, а значит и развитие потенциала действия.

### **1.5. Система крови**

Система крови – это совокупность органов кроветворения, периферической крови, органов кроверазрушения и нейрогуморального аппарата регуляции

Всего в организме имеется 5-6 л крови – 1/13 массы тела.

Состав крови. Кровь – это жидкая ткань организма. Она состоит из плазмы (жидкая часть крови) и форменных элементов – эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов. Плазма составляет 55-60%, форменные элементы – 40-45%.

Плазма состоит из воды (около 90%), неорганических солей (около 1%) и органических веществ (около 9%).

Органическими веществами плазмы являются:

1. Белки – 67-75 г/л. Среди них альбуминов – 37-41 г/л, глобулинов – 30-34 г/л, фибриногена 3,0-3,3 г/л.

Роль белков: удерживают воду в сосудах; участвуют в процессе свертывания крови (фибриноген и другие плазменные факторы свертывания крови); регулируют pH крови (белковый буфер); часть белков плазмы являются антителами (защитная функция); выполняют транспортную функцию; обеспечивают вязкость крови.

2. Азотсодержащие вещества плазмы небелковой природы - это промежуточные продукты обмена белка. Основными азотсодержащими вещества плазмы являются – мочевины, аминокислоты, мочевая кислота.

3. Безазотистые органические вещества – глюкоза (4,4-6,6 ммоль/л, или 80-120 мг%), молочная, пировиноградная кислоты, липиды (фосфолипиды, жирные кислоты, холестерин, лецитин). Концентрация глюкозы в артериальной крови выше, чем в венозной, что объясняется потреблением глюкозы клетками организма. Увеличение концентрации молочной кислоты в крови связано в основном с усилением ее продукции в мышцах.

4. Биологически активные вещества (ферменты, витамины, гормоны) и газы крови (см. раздел 9.2).

В организме в состоянии покоя до 45-50% всей массы крови находится в кровяных депо (селезенке, печени, легких и подкожном сосудистом сплетении).

5. Лейкоциты – клетки иммунной системы размером 7-20 мкм. В покое лейкоциты округлой формы, способны проникать сквозь стенки сосудов и выходить из кровяного русла. Разновидностями лейкоцитов являются лимфоциты и моноциты.

Лимфоциты – главные клетки иммунной системы, обеспечивают как гуморальный (выработка антител), так и клеточный иммунитет (контактное взаимодействие с клетками-жертвами – фагоцитоз), а также регулируют деятельность клеток других типов. В организме взрослого человека 25-40% всех лейкоцитов крови составляют лимфоциты (500-1500 клеток в 1 мм<sup>3</sup>), у детей доля этих клеток равна 50%.

Моноциты – обладают выраженной фагоцитарной функцией. Это самые крупные клетки периферической крови, они являются макрофагами, то есть могут поглощать относительно крупные частицы и клетки или большое количество мелких частиц.

6. Эритроциты – высокоспециализированные клетки крови, основной функцией которых является перенос кислорода из лёгких к тканям тела и транспорт диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) в обратном направлении.

7. Кровяные пластинки или тромбоциты – это небольшие (2-4 мкм) безъядерные сферические бесцветные клетки крови. Тромбоциты выполняют функцию, формирования тромбоцитарного агрегата, первичной пробки, закрывающей место повреждения сосуда.

#### *Функции крови.*

1. Транспортная – доставка тканям различных веществ; за счет этого выполняются функции: а) дыхательная; б) питательная; в) экскреторная (выделительная); г) регуляции постоянства температуры тела – транспорт тепла; д) регуляторная – участие в гуморальной регуляции многих функций организма.

2. Защитная функция – участие в фагоцитозе, образовании антител.

#### *Физико-химические свойства крови.*

Важнейшим свойством крови является наличие осмотического давления. Стабильно функции клеток организма могут осуществляться только относительно постоянстве осмотического давления.

Кисотно-основное состояние (КОС) организма является одним из важнейших и наиболее стабильных показателей, определяющих активность ферментов, интенсивность и направленность (окислительно-восстановительных реакций) в процессах обмена веществ.

Активную реакцию среды оценивают показателем pH, отражающим содержание в жидкостях ионов водорода. Величина pH крови составляет 7,35-7,45 – слабощелочная реакция. Более значительные изменения pH крови связаны с патологическими нарушениями обмена веществ.

Роль системы крови в обеспечении двигательной функции организма состоит в доставке кислорода, источников энергии, аминокислот, гормонов к мышечным волокнам и нервным клеткам и отведении метаболитов химических реакций, идущих в них.

## **1.6. Пищеварительная система**

Пищеварительная система представляет собой извитую трубку, начинающуюся ротовым и заканчивающуюся анальным отверстием, с примыкающими к ней слюнными железами, печенью и поджелудочной железой. Выделяют пищеварительный тракт, в который входят ротовой отдел, глотка, пищевод, желудок, тонкая и толстая кишки (кишечник). Желудок и кишечник составляют желудочно-кишечный тракт (ЖКТ).

Стенка пищеварительного тракта имеет однотипное строение и включает в себя слизистую, подслизистую, мышечную и серозную оболочки. Пищеварительный тракт сообщается с внешним миром. Однако стенка пищеварительного тракта надежно защищает внутреннюю среду организма от попадания микробов и инородных частиц из внешней среды.

Пищеварение – это совокупность процессов, обеспечивающих расщепление белков, жиров и углеводов пищи в пищеварительном тракте до сравнительно простых соединений – питательных веществ. Питательные вещества – это вода, минеральные соли, витамины и продукты расщепления белков, жиров и углеводов пищи в пищеварительном тракте на соединения, лишенные видоспецифичности, но сохраняющие энергетическую и пластическую ценность, способные всасываться в кровь и лимфу и ассимилироваться организмом.

Значение пищеварительной системы – обеспечение клеток и тканей организма исходными пластическим и энергетическим материалами, используемыми в процессе метаболизма.

Чтобы питательные вещества попали в организм, пища должна быть подвергнута физической обработке (размельчение, перемешивание, набухание и растворение), химической обработке – гидролизу. Гидролиз – это процесс расщепления полимеров (деполимеризация) – белков, жиров и углеводов под влиянием гидролитических ферментов пищеварительных желез до мономеров. Железы пищеварительного тракта продуцируют три группы гидролитических ферментов: протеазы (расщепляют белки до аминокислот), липазы (расщепляют жиры и липиды до моноглицеридов и жирных кислот) и карбогидразы.

(расщепляют углеводы до моносахаридов). Именно эти продукты расщепления пищи (переваривания) и являются питательными веществами живого организма.

Стенками многих внутренних органов являются гладкие (неисчерченные) мышцы (желудок, кишечник, пищевод, желчный пузырь и др.). Их активность не управляется произвольно. Поэтому гладкие мышцы и мышцу сердца называют непроизвольной. Медленные, часто ритмические сокращения гладкомышечных стенок внутренних органов обеспечивают перемещение содержимого этих органов. Тоническое сокращение стенок сосудов поддерживает оптимальный уровень кровяного давления и кровоснабжение органов и тканей, отток лимфы от скелетных мышц и внутренних органов. Гладкие мышцы построены из веретенообразных одноядерных мышечных клеток, толщиной 2-10 мкм, длиной 50-400 мкм.

#### *Функции пищеварительной системы*

1. Моторная (двигательная) функция – это сократительная деятельность пищеварительного тракта, обеспечивающая измельчение пищи, ее перемешивание с пищеварительными секретами и перемещение пищевого содержимого в дистальном направлении.

2. Секреция – синтез секреторной клеткой специфического продукта – секрета и выделение его из клетки. Секрет пищеварительных желез обеспечивает переваривание пищи.

3. Всасывание – транспорт питательных веществ во внутреннюю среду организма.

## **1.7. Опорно-двигательный аппарат**

### **1.7.1. Мышцы**

Движения человека становятся следствием сокращений скелетных мышц, прикрепленных к костям скелета. Структурной и функциональной единицей скелетной мышцы является мышечное волокно, представляющее собой вытянутую многоядерную клетку, функцией которой является сокращение. Основное свойство мышцы – сократимость, обеспечивается укорочением миофибрилл, органоидов мышечного волокна. Миофибриллы мышечного волокна образуют цепи, связывающие его края. Силовой потенциал мышечного волокна определяется площадью сечения миофибрилл.

Миофибрилла это тоже цепь – цепь саркомеров. Соседние саркомеры имеют общую пограничную структуру – Z-линию (или телофрагму). Она построена в виде сети из белковых фибриллярных молекул, среди которых существенную роль играет альфа-актинин. С этой сетью связаны концы тонких актиновых филаментов. От Z-линий актиновые филаменты направляются к центру саркомера, но не доходят до его середины. Посередине саркомера располагаются толстые миозиновые филаменты.

В структуре миозиновых филаментов имеются миозиновые головки, оказывающие энергомеханическое воздействие на актиновые нити, в случае сти-



муляции мышечного волокна нервным импульсом, появления в саркоплазме ионов кальция и, как следствия этого, начала реакций гидролиза АТФ, дающих энергию. Результатом энергомеханического воздействия становится продвижение нитей актина вдоль нитей миозина, что приводит к укорачиванию саркомеров, миофибрилл, мышечного волокна и всей мышцы в целом.

Миофибриллы окружены саркоплазматической сетью или саркоплазматическим ретикулумом, состоящим из канальцев и мешковидных расширений, так называемых цистерн. Канальца сети направлены вдоль миофибрилл, цистерны располагаются поперёк. При отсутствии нервного возбуждения цистерны саркоплазматической сети аккумулируют ионы кальция. Помимо этого саркоплазматическая сеть выполняет функцию опоры, к которой прикрепляются миофибриллы.

Саркоплазма мышечной клетки представляет собой коллоидный раствор. В его состав входят: ферменты и коферменты, аминокислоты, гликоген, жировые капли, миоглобин (связывающий и переносящий кислород), аденозинтрифосфат (АТФ), вещество дающее энергию скольжению нитей актина вдоль нитей миозина, креатинфосфат (КрФ), дающий энергию для восстановления АТФ из АДФ (аденазиндифосфат), а также другие вещества. Вдоль миофибрилл располагаются митохондрии, в которых происходит окислительное фосфорилирование АДФ. На внутренней мембране клетки размещаются рибосомы, обеспечивающие синтез белковых соединений, а также лизосомы, в которых содержатся гидролитические ферменты, расщепляющие белки, нуклеотиды и полисахариды. Внешнюю мембрану мышечного волокна опутывает сеть капилляров, куда выводятся отходы работы клетки и откуда в неё поступают энергоносители и кислород.

Установлено, что мышечная ткань представляет собой объединение мышечных волокон двух типов – быстрых и медленных. Состав отдельно взятой двигательной единицы формируется волокнами одного типа. В зависимости от типа мышечных волокон двигательные единицы также называются медленными и быстрыми. В качестве условия деления волокон на быстрые и медленные называют различие в скорости их сокращения. При этом не учитывается то обстоятельство, что не могут волокна одной мышцы сокращаться с разной скоростью. Все волокна мышцы прочно связаны между собой соединительной тканью в общий пучок. Поэтому, даже если работает только 10% волокон мышцы, все её волокна укорачиваются одинаково быстро. Скорость сокращения определяется не скоростными способностями работающих волокон, а их силовым потенциалом и сопротивлением оказываемым движению. Естественно, что наибольшая скорость сокращения имеет место, когда в работу включается весь объем мышцы, т.е. и быстрые, и медленные волокна, при отсутствии сопротивления. Чем больше сопротивление, тем меньше скорость сокращения вплоть до нуля, независимо от того, что работают быстрые волокна.

Говорят ещё об одном отличии волокон двух типов, а именно, что в случае тренировки сила быстрых волокон растёт быстрее, чем сила медленных, за счёт образования большего числа миофибрилл. В то же время тренировка вы-

носливости в большей мере сказывается на медленных волокнах, за счёт более быстрого роста числа и объёмов митохондрий в их составе. И если быстрый рост митохондрий в медленных волокнах можно связать с генетически обуславливаемым повышенным содержанием в них митохондриальных ДНК, то мнение о меньшем росте миофибрилл, скорее всего, ошибочно. Нет причин, по которым силу медленных волокон нельзя было бы увеличить в той же степени, что и силу волокон быстрых (при условии методически правильной их тренировки).

Установлено, что при наличии вариативности числа волокон, входящих в состав разных двигательных единиц (как быстрых, так и медленных), быстрые двигательные единицы в среднем крупнее. В их состав входит больше мышечных волокон, чем в состав медленных. В связи с этим, при одинаковом количестве двигательных единиц в составе одной и той же мышцы у разных людей, мышца индивида, в композиции которой больше быстрых двигательных единиц, изначально оказывается большей по объёму.

Можно дать следующее определение мышечной композиции – это соотношение числа двигательных единиц разных типов в составе мышцы. Вероятно, что формирование данного соотношения обуславливается генетическими факторами.

Свойством нервно-мышечной системы является зависимость размера мотонейрона от количества волокон, входящих в состав двигательной единицы. Чем больше волокон, тем крупнее мотонейрон. Такое устройство нервно-мышечного аппарата определяет порядок участия двигательных единиц двух типов в работе в зависимости от силы сокращения мышцы. При незначительных напряжениях работают только самые мелкие медленные двигательные единицы. По мере роста силы волевого воздействия на моторные центры число двигательных единиц, привлекаемых работе, также увеличивается. С определённого момента в работу начинают включаться быстрые двигательные единицы.

Достаточно точно судить о мышечной композиции индивида можно по результатам тренировки его отдельных мышц самыми простыми силовыми упражнениями. Чем быстрее сила растёт, тем быстрее композиция, и, наоборот (при условии правильного построения тренировочного процесса).

### ***1.7.2. Строение тела человека, обеспечивающее реализацию двигательных функций, и виды движений человека***

Особенностью строения тела человека является его звеньевая структура.

Звено это часть тела, ограниченная суставами. Опорно-двигательный аппарат здорового человека состоит из семидесяти двух звеньев.

Движения звеньев тела позволяют человеку перемещаться самому и перемещать объекты внешней среды. При выполнении данных движений проявляются физические способности: сила, выносливость, быстрота, ловкость, гибкость.

Движения звеньев тела инициируются сокращением мышц, прикреплённых к ним. Условием организации движений является наличие рычажных механизмов. В состав каждого из них входит два звена тела (не обязательно смежных), мышца, связывающая их, сустав (Рис. 2а, 2б).

Рычажное устройство при сокращении мышцы заставляет каждое из звеньев вращаться в суставе. Разновидностями вращений звеньев являются - сгибания, разгибания, отведения, приведения, сведения, разведения, пронация, супинация. Скорость вращения определяется силой сокращения мышцы и внешним сопротивлением движению.

Мышцы, обеспечивающие движения звеньев тела, называются скелетными. По своим физиологическим характеристикам это поперечнополосатые мышцы.



Рис. 2а.



Рис. 2б.

Существует три вида рычагов. Это рычаги первого, второго и третьего рода. Опорно-двигательный аппарат человека формируется в основном рычагами третьего рода.

Суставы, связывающие звенья тела человека, делятся на три вида по своим функциональным возможностям. Это: одноосные, двухосные и трёхосные суставы.

Одноосными являются суставы, соединяющие фаланги пальцев, коленный и локтевой суставы. Звенья тела в таком суставе могут вращаться только в одной плоскости, в одну и другую сторону. Для организации движений звеньев тела в одноосных суставах достаточно двух мышц антагонистов – сгибателя и разгибателя. Вращение в единственно возможной плоскости в одноосных суставах самый простой по структуре и организации вид движений человека.

Двухосными являются: суставы, соединяющие пальцы с кистью и голеностопом, лучезапястный сустав, ключичный сустав. Выбор плоскостей вращения звеньев в таких суставах не ограничен.

Трёхосными являются: голеностопный, плечевой, тазобедренный, межпозвоночные суставы. Звенья тела в трехосных суставах, помимо вращений в любой плоскости, способны совершать пронацию и супинацию.

В зависимости от строения суставов и направлений вращения в них звенья тела могут изменять своё положение на ту или иную угловую величину. Когда речь идёт о многоосных суставах, чем больше данная величина, тем больше исходных положений можно принять для организации вращений в других направлениях. Самыми свободными с этой точки зрения являются плечевой и тазобедренный суставы. Ещё больше вариативности движения плеча и бедра в данных суставах придаёт их способность к пронации и супинации.

Для организации всех движений звена тела в двухосном суставе достаточно четырёх мышц (что на самом деле и имеет место), а все возможные движения в трёхосном суставе могут быть организованы шестью мышцами (что мы можем наблюдать, в случае организации движений туловища в позвоночных суставах). В то же время движения бедра и плеча в тазобедренном и плечевом суставах обеспечивают по десять мышечных групп.

Сокращением скелетных мышц обеспечиваются движения не только звеньев тела. Мышцы этого типа выполняют и ряд других функций. В частности, приводят в движение подвижные части туловища: сводят, разводят, поднимают, опускают лопатки, сгибают, разгибают позвоночник, организуют пронацию и супинацию верхней части туловища. По своей структуре это тоже вращательные движения. В первых четырёх случаях это движения в ключичных суставах, в остальных – в позвоночных. Те же скелетные мышцы приводят в движение органы речи и дыхания, организуют мимические процессы, втягивают живот и т.д.

В зависимости от мест прикрепления каждая из мышц, вращающих звено в многоосном суставе, тянет его в своём направлении. Если напрягать эти мышцы по отдельности, то количество вариантов движения звена из одного исходного положения будет равняться количеству таких мышц. Одновременное же сокращение нескольких мышц делает возможным вращение звена в любых плоскостях. Направленность таких движений будет определяться комбинацией напряжений мышц. В данных случаях действует векторный закон сложения сил.

Движения звеньев в многоосных суставах – являясь такими же простыми по структуре, как и движения в суставах одноосных, в то же время более сложные с точки зрения их организации.

Всё многообразие вариантов вращений звена тела в многоосном суставе организуется весьма незначительным числом мышц. Любая мышечная единица из этой группы может играть роль организатора большого количества движений. В наибольшей степени многовариантность участия в организации двигательных проявлений человека относится к мышцам, приводящим в движения звенья в тазобедренных и плечевых суставах. Как мы уже говорили, строение данных суставов представляет практически не ограниченный диапазон выбора исходных положений и направлений вращения.

Звеньевая структура тела человека позволяет ему совершать не только простые вращательные, но и сложные движения.

Сложное движение это комбинация простых вращений звеньев тела и подвижных частей туловища, совершаемых в рамках одного двигательного цикла. Количество отдельных вращений во многом определяется сложность движения. По причине того, что тело человека представляет собой конструкцию, состоящую из нескольких десятков звеньев, число двигательных комбинаций, доступных для выполнения, является практически безграничным.

Двигательный цикл – это заранее определённая совокупность вращений звеньев тела, совершаемых с одной целью, либо одновременно (однотактные двигательные циклы), либо в некой строгой последовательности (многотактные). Движения многотактного двигательного цикла совершаются без пауз.

Особенностью многотактного двигательного цикла может являться его завершение в исходном положении, т.е. в положении, из которого становится возможным повторное выполнение того же двигательного действия. Двигательные циклы такого типа становятся содержанием циклических видов деятельности. Действия циклического типа могут совершаться в режимах непрерывного и прерывного повторения.

Всю безграничную совокупность сложных движений, доступных человеку, можно систематизировать, разбив на группы. Рассмотрим особенности каждой из групп.

1 группа – комбинации из нескольких простых вращательных движений

1.1. совершаемые последовательно одним звеном тела (движение кисти, когда человек расписывается, когда вращает кистью или плечом);

1.2. совершаемые несколькими не смежными звеньями одновременно (синхронное отведение обеих рук от туловища).

2 группа – отдельные поступательные движения. Совершение таких движений позволяет людям оказывать прямонаправленные воздействия на окружающие объекты и собственное тело. Условием организации поступательного движения является одновременное вращение двух или более смежных звеньев тела.

Человек может делать три вида поступательных движений:

2.1. Поступательные движения дистальных (дальних от туловища) звеньев, из комбинации двух любых смежных звеньев верхних или нижних конечностей. Целью таких движений является оказание дистальным звеном поступательного воздействия на объекты окружающей среды.

Все точки дистального звена движутся прямолинейно, хотя и не параллельно относительно друг друга. По мере отдаления друг от друга, направления движения точек дистального звена всё больше расходятся. В связи с этим, движение дистального звена в рассматриваемых случаях следует признать особым видом движения, так как с точки зрения физики движение считается поступательным, когда все детали конструкции субъекта движения перемещаются параллельно друг другу. В нашем же случае этого нет. Но так как объекты, подвергающиеся воздействию человека, выполняющего данное движение, начина-



ют двигаться действительно поступательно, то, за неимением другого варианта, термин поступательное движение вполне допустим.

Большая свобода выбора направлений вращений плеча и бедра в плечевом и тазобедренном суставах, в сочетании с большой вариативностью исходных положений, даёт человеку практически безграничные возможности для организации поступательных воздействий своими руками и ногами.

Существует три варианта организации поступательных движений первого вида:

- 2.1.1. Смежные звенья вращаются в разных направлениях;
- 2.1.2. Смежные звенья вращаются в одном направлении;
- 2.1.3. Смежные звенья вращаются перпендикулярно друг другу.

Особым видом поступательных движений являются движения, организуемые вращением бедра в коленном суставе и туловища в тазобедренном (например, в положении стоя на колене). В этих случаях туловище играет роль дистального звена.

Направленностью движений звеньев определяется общее направление поступательного воздействия из того или иного исходного положения. Конкретизируется же его траектория комбинацией скоростей вращения звеньев. Изменяя комбинацию скоростей при той же комбинации направлений вращений, мы получаем отличающиеся друг от друга направления поступательных воздействий.

Таким образом, подготовка к выполнению поступательного движения предполагает решение нескольких задач. В зависимости от его цели определяется траектория поступательного воздействия на объект. Затем, в зависимости от условий, в которых находится исполнитель, определяется исходное положение. Для этого та часть тела, что будет непосредственно воздействовать на объект, либо мысленно, либо реально, устанавливается в начало траектории. Исходя из этого, определяются направления вращения звеньев и комбинация скоростей вращений, определяется сила сокращения каждой мышцы. Определение нужной силы сокращения мышц предполагает учёт положения каждого звена относительно направления воздействия, а также учёт ряда других факторов.

2.2. Второй вид поступательных движений – поступательные движения проксимальных звеньев, из комбинации двух смежных звеньев верхних или нижних конечностей. Целью таких движений является оказание поступательного воздействия проксимального звена на туловище. В случае с нижними конечностями существует два способа организации таких движений. Примерами первого являются: полуприсед без изменения угла наклона туловища; движение ноги, выталкивающее тело вверх, при подъёме по лестнице. Здесь имеет место вращение голени в голеностопном, а бедра в коленном и тазобедренном суставах, но работают только квадрицепс и икроножная мышцы. Примерами второго: жим ногой сидя на тренажёре, когда вращением бедра в коленном и тазобедренном суставах и голени в голеностопном приводится в движение платформа с зафиксированным на ней туловищем; толчок ногой при беге на коньках и т.д. В отличие от полуприседа в организации поступательного движения

бедро в этих случаях не участвует икроножная мышца. Её действие в жиме ногой заменяется действием полуперепончатой мышцы, а при беге на коньках ягодичной. Примерами поступательных движений рук того же вида являются: разгибание руки в упоре лёжа; подтягивание на перекладине, выталкивание лыжной палкой.

В принципе, можно говорить о трёх вариантах организации поступательных движений второго вида, так же, как и трёх вариантах поступательных движений вида первого. Но в реальности поступательные воздействия на собственное тело, когда звенья вращаются в одном направлении или перпендикулярно друг другу, совершаются крайне редко.

2.3. Третий вид поступательных движений: двойные - тройные поступательные движения, организуемые одновременным вращением трёх – четырёх смежных звеньев тела. Двойное поступательное движение имеет место при выполнении приседаний на одной ноге. Поступательно в этом упражнении двигаются два звена – бедро и туловище. Тройное поступательное движение имеет место при выполнении выпрыгиваний. В этом случае выход на носок обуславливает организацию поступательного движения голени.

Антагонистами поступательных движений являются обратно-поступательные движения. С точки же зрения биомеханики движение считается поступательным, когда конечности разгибаются, обратнопоступательным, когда имеет место их сгибание. Примером обратнопоступательного движения является подтягивание на перекладине.

3 группа - простые вращательные и отдельные поступательные движения, усложняемые пронацией или супинацией одного или нескольких звеньев. Например, прямой удар в боксе, жим гири от груди стоя.

4 группа - сложно-комбинированные однотактные движения могут объединять в своей структуре несколько одновременно выполняемых поступательных движений, усложняться комбинациями простых вращений, пронацией и супинацией. Например, метание гранаты с места, приёмы борьбы и т.д.

5 группа - многотактные двигательные действия объединяют в своей структуре несколько последовательных двигательных комбинаций. Такого рода двигательные действия могут быть как действиями ациклического плана, так и являться действиями циклически повторяемыми. Примеры: прыжок с места в длину; шаги любого вида; шаг – переход барьера – шаг; шаг – метание; шаг – выталкивание – приземление; гимнастические комбинации; рывок и толчок штанги. Сюда же можно отнести комбинацию из двух поступательных и двух обратнопоступательных движений, которую реализует человек, с целью вращения чего-либо, например, педалей велосипеда. Особенностью организации движения по кругу является необходимость своевременного в нужном направлении изменения композиции скоростей вращения звеньев процессе поступательного и обратнопоступательного циклов.

6 группа – сложные движения, особенностью которых является одновременное выполнение нескольких самостоятельных движений с общей целью. Таковым двигательным действием, в частности, является ведение мяча в бас-

кетболе, ведение шайбы в хоккее. Выполнения строго определённых комбинаций движений ног и движений рук при выполнении ведений не требуется. Но при выборе способа перемещения спортсмена принимается во внимание с учётом игровой ситуации выбранный способ перемещения снаряда. В обратном случае учитывается выбор способа перемещения спортсмена.

ЕГУ им. И.А. Бунина

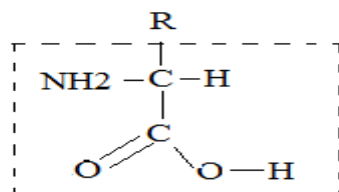
## ГЛАВА 2. БИОХИМИЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 2.1. Химические вещества, необходимые для реализации двигательных функций организма

**Белки** организма человека выполняют следующие функции – структурную, каталитическую, сократительную, транспортную, регуляторную, защитную, энергетическую.

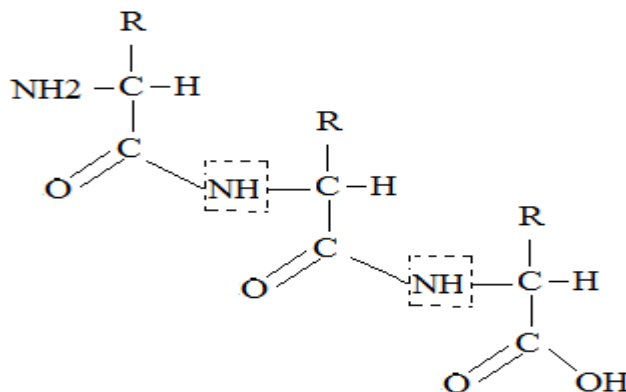
В процессах обеспечения двигательных функций роль белков сложно переоценить. Из белковых молекул собираются миофибриллы и ферменты, катализирующие процессы воспроизводства энергии в мышечных волокнах. Белки являются базовыми элементами структуры митохондрий. Белки – гемоглобин и миоглобин переносят кислород и т.д.

Белки представляют собой соединения аминокислот. Существует 20 видов аминокислот, используемых организмом человека при синтезе белковых соединений. Все они имеют одинаковую часть, состоящую из амидной ( $\text{H}_2\text{N}$ ) и карбоксильной ( $\text{COOH}$ ) групп. Отличаются аминокислоты строением радикалов, формируемых в разных сочетаниях и вариантах связей атомами углерода, водорода, кислорода, азота, серы.



Амидно-карбоксильная группа

Рис. 3.



Пептидные связи

Рис. 4.

Между амидными и карбоксильными группами разных аминокислот устанавливаются пептидные связи.

Существует два вида аминокислот – заменимые и незаменимые. Заменимые аминокислоты может синтезировать сам организм человека, незаменимые должны поступать с пищей, их содержащей. Организм взрослого человека способен синтезировать 12 из 20 аминокислот. Организм ребёнка 10.

Аминокислоты, объединённые пептидными связями, образуют длинные не разветвляемые цепи – полипептиды.

В состав полипептидов могут входить небелковые компоненты, так называемые простетические группы, которые выполняют важную роль в биологической активности соответствующего белка. Простетические группы могут быть органическими (витамины, углеводы, липиды) или неорганическими (например, ионы металлов).

Простетические группы прочно связываются с белками и даже могут быть присоединены ковалентными связями. Примером простетической группы является гем, в молекуле гемоглобина.

Кроме пептидных в белках имеются связи других видов, благодаря одним полипептидная цепь может принимать определённую пространственную форму, благодаря другим отдельные полипептиды могут связываться между собой.

Молекулы белка могут иметь четыре уровня пространственного строения.

Первый уровень называется первичной структурой и представляет собой цепь расположенных в определённом порядке аминокислот (полипептидная цепь). Фиксируется эта структура прочными пептидными связями.

Второй уровень – вторичная структура – это пространственная форма полипептидной цепи. Например, у многих белков полипептидные цепи имеют форму спирали. Фиксируется вторичная структура не прочными дисульфидными и нековалентными связями.

Третий уровень – третичная структура – это пространственная форма вторичной структуры. Например, вторичная структура в форме спирали, в свою очередь, может укладываться в пространстве в виде глобулы, т.е. имеет шаровидную или яйцевидную форму. Стабилизируется третичная структура теми же нековалентными и дисульфидными связями.

Четвертичной структурой обладают только некоторые белки. Четвертичная структура – это сложное надмолекулярное образование, состоящее из нескольких белков, имеющих свою собственную первичную, вторичную и третичную структуры. Каждый белок, входящий в состав четвертичной структуры, называется субъединицей. Например, белок крови гемоглобин состоит из четырёх субъединиц. Ассоциация субъединиц в четвертичную структуру приводит к возникновению нового биологического свойства, отсутствующего у свободных субъединиц. Например, формирование четвертичной структуры в ряде случаев сопровождается появлением каталитической активности, которой нет у отдельных субъединиц.

Пространственная форма всей белковой молекулы называется **конформация**. Конформация, находясь в которой белок обладает биологической ак-



тивностью, называется нативной. Поскольку в молекуле белка наряду с прочными ковалентными связями имеются еще менее прочные (не ковалентные) связи, то его конформация характеризуется нестабильностью и может легко изменяться. Изменение пространственной формы белка влияет на его биологические функции.

Потеря белком своей структуры называется денатурацией.

Денатурация вызывается физическими и химическими факторами.

Физическими факторами являются: нагревание, различные виды излучения (ультрафиолетовое и ионизирующее излучение), ультразвук, вибрация, ударные воздействия.

К химическим факторам относятся: действие кислот и щелочей, солей тяжелых металлов.

Под влиянием перечисленных факторов в молекулах белков разрываются различные непептидные связи, что вызывает разрушение высших (кроме первичной) структур и переход белковых молекул в новую пространственную форму.

При кратковременном действии денатурирующих факторов конформационные изменения оказываются незначительными, и поэтому возможным становится возвращение денатурированного белка в исходную форму с восстановлением его биологических свойств (ренатурация). Изменение конформации в небольших пределах является одним из механизмов регуляции биологических функций белков в организме.

Продолжительное воздействие факторов денатурации вызывает необратимое глубокое изменение трехмерной структуры белковых молекул, что делает ренатурацию невозможной.

**Углеводы** – класс органических соединений, с сильно различающимися свойствами. Углеводы выполняют разнообразные функции в организме. По современной классификации углеводы делятся на четыре группы: моносахариды, дисахариды, олигосахариды и полисахариды.

Моносахариды (простые сахара) не подвергаются гидролизу, получить из них более простые углеводы невозможно. Моносахаридами являются: рибоза, дезоксирибоза, глюкоза, фруктоза, галактоза и др. (Рис. 5).

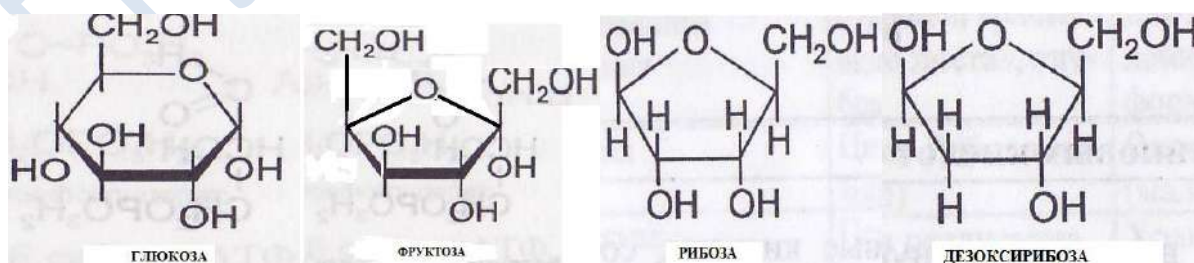


Рис. 5.

Дисахариды состоят из двух моносахаридов (мальтоза, сахароза и лактоза).

Олигосахариды состоят из нескольких (до 10) моносахаридов. Олигосахариды, состоящие из одинаковых моносахаридных остатков, называют гомополисахаридами, а из разных – гетерополисахаридами. Среди природных олигосахаридов наиболее распространена рафиноза – содержащая остатки фруктозы, глюкозы и галактозы. В больших количествах она содержится в сахарной свёкле и во многих других растениях.

Полисахариды представляют собой длинные неразветвляемые или разветвляемые цепи, включающие сотни, тысячи моносахаридов. С точки зрения общих принципов строения в группе полисахаридов возможно различить гомополисахариды, синтезированные из однотипных моносахаридных единиц и гетерополисахариды, для которых характерно наличие двух или нескольких типов мономерных остатков. Наиболее распространены полисахариды, состоящие из глюкозы: целлюлоза (клетчатка, пищевые волокна), крахмал, гликоген.

В организме человека углеводов около 1%.

Основным углеводом организма человека является глюкоза, представленная в нём как в виде моносахаридов, так и входящая в состав дисахаридов, олигосахаридов и полисахаридов. Почти вся глюкоза (свободная и в составе полисахаридов) имеет циклическую форму.

Свободная глюкоза в организме человека в основном находится в крови, где ее содержание довольно постоянно и колеблется в узком диапазоне от 3,9 до 6,1 ммоль/л.

Полисахаридной формой глюкозы является гликоген. Гликоген это сильно разветвленная молекула, состоящая из десятков тысяч остатков глюкозы. Эмпирическая формула гликогена –  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Основные запасы гликогена сосредоточены в печени (до 5-6% от массы печени) и в мышцах (до 2-3% от их массы).

Основная функция глюкозы в организме – энергетическая. Глюкоза является главным источником энергии, как для мышечных сокращений, так и для работы большинства других видов клеток организма.

**Липиды** – группа разнообразных по строению органических углеводов, не растворяющихся в воде, но хорошо растворяющихся в органических растворителях. Структурными компонентами большинства органических веществ, относимых к группе липидов, являются многоатомные спирты и связанные с ними эфирными связями жирные кислоты разнообразного строения. Большая часть липидов это сложные эфиры спирта глицерина.

Простые липиды включают в свою структуру углерод (C), водород (H) и кислород (O).

Сложные липиды включают в свою структуру помимо углерода (C), водорода (H) и кислорода (O) другие химические элементы. Чаще всего: фосфор (P), серу (S), азот (N).

Липиды делятся на жиры и жироподобные вещества (липоиды).

Молекула жира состоит из молекулы глицерина и трёх остатков жирных кислот (Рис 6).

Жиры отличаются друг от друга набором жирных кислот. Атомы углерода в молекулах жирных кислот могут быть соединены друг с другом как простыми, так и двойными связями. Жирные кислоты, имеющие одну двойную связь, называются мононенасыщенными, две двойные связи – полиненасыщенными, не имеющие двойных связей – насыщенными.

Подобно углеводам жиры также являются важными источниками энергии для организма. 1 г жира при полном окислении дает около 9 ккал энергии, в то время как при полном окислении 1 г углеводов или белков выделяется только около 4 ккал. Однако жиры по сравнению с углеводами труднее окисляются и поэтому используются организмом для получения энергии во вторую очередь.

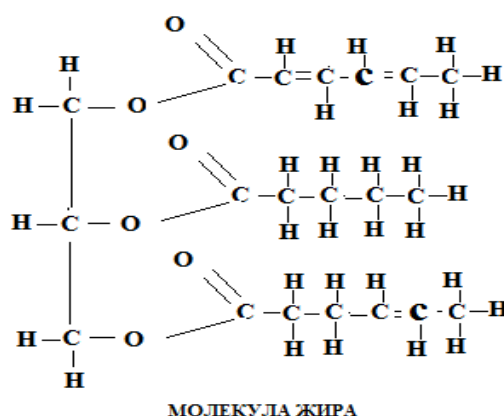


Рис. 6.

К группе липоидов относятся фосфолипиды, гликолипиды, липопротеины, стероиды.

Фосфолипиды – соединения многоатомных спиртов с жирными кислотами и остатком фосфорной кислоты. К последней могут присоединяться молекулы других веществ, в большинстве своём содержащие азот.

Гликолипиды – сложные липиды, образующиеся в результате соединения липидов с углеводами.

Липопротеины – сложные липиды, образующиеся в результате соединения липидов с белками.

Вместе с белками фосфолипиды, гликолипиды и липопротеины являются основными элементами клеточных мембран.

Стероиды – вещества, построенные на основе спирта холестерина ( $C_{27}H_{45}OH$ ), без участия жирных кислот.

Около 80% холестерина вырабатывается самим организмом (печенью, кишечником, почками, надпочечниками, половыми железами), остальные 20% поступают с пищей. 80% холестерина в организме свободные, а 20% – связанные. Холестерин обеспечивает стабильность клеточных мембран в широком интервале температур. Он необходим для выработки витамина D, выработки стероидных гормонов – кортизола, альдостерона, эстрогенов, прогестерона,

тестостерона. Играет важную роль в деятельности нервной и иммунной системы.

### **Нуклеиновые кислоты**

Функцией нуклеиновых кислот является хранение и передача информации о строении белков. По своему строению нуклеиновые кислоты являются полинуклеотидами, состоящими из очень большого количества моноклеотидов (нуклеотидов). В состав нуклеотида входит азотистое основание (циклическое соединение, содержащее атомы азота и обладающее щелочными свойствами), углевод и остаток фосфорной кислоты ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ).

Схема строения нуклеотида выглядит следующим образом:



Азотистые основания бывают двух типов: пуриновые (аденин, гуанин) и пиримидиновые (тимин, цитозин, урацил).

Нуклеотиды, входящие в нуклеиновые кислоты, соединяются друг с другом в длинные полинуклеотидные цепи эфирными связями, идущими от углевода одного нуклеотида к фосфорной кислоте соседнего (Рис. 7).

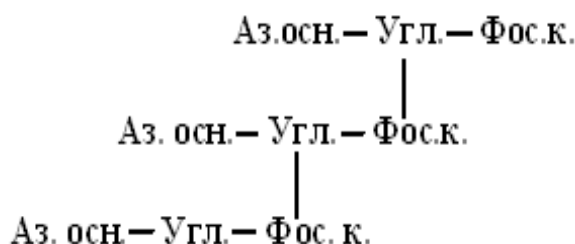


Рис. 7.

В результате такого связывания образуется длинная цепь. Отличаются полинуклеотиды друг от друга длиной (т.е. количеством нуклеотидов) и последовательностью расположения нуклеотидов с разными азотистыми основаниями.

В одну молекулу нуклеиновых кислот может входить углевод только одного вида – рибоза или дезоксирибоза. На этом основании все нуклеиновые кислоты делятся на два типа: рибонуклеиновые – РНК (содержат рибозу) и дезоксирибонуклеиновые – ДНК (содержат дезоксирибозу).

Молекула ДНК имеет более сложное строение, чем молекула РНК. Она состоит из двух полинуклеотидных цепей, закрученных в спираль вокруг общей оси и образующих двойную спираль

Один виток каждой спирали содержит 10 нуклеотидов, диаметр двойной спирали около 2 нм. Азотистые основания нуклеотидов обеих цепей находятся внутри двойной спирали. Между азотистыми основаниями нуклеотидов разных цепей устанавливаются водородные связи. Связывание (спаривание) азотистых оснований осуществляется строго определенным образом. Аденин всегда устанавливает связь с тиминном, а гуанин – с цитозинном, причем все без исключения основания одной цепи спарены с основаниями второй. Вследствие этого обе

нуклеотидные цепи, образующие молекулу ДНК, имеют одинаковую длину и пространственно соответствуют друг другу. Если в каком-то месте одной цепи находится аденин, то обязательно напротив него в другой цепи присутствует тимин, а напротив гуанина всегда располагается цитозин (Рис. 8).

Такое пространственное соответствие двух полинуклеотидных цепей ДНК получило название **комплементарность**.

Принцип комплементарности лежит в основе таких важнейших процессов, как репликация (удвоение молекулы ДНК в процессе клеточного деления), транскрипция (передача генетической информации с молекулы ДНК информационной РНК в процессе синтеза белков) и трансляция (сборка из аминокислот белковой молекулы на рибосомах).

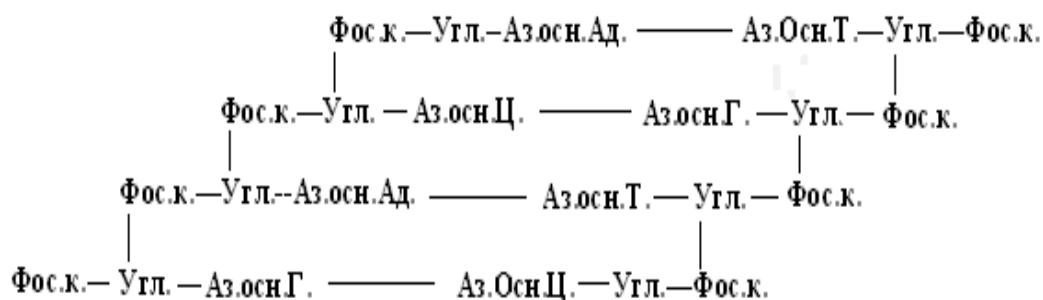


Рис. 8.

**Аденозинтрифосфат (АТФ)** является нуклеотидом. В состав молекулы АТФ входят азотистое основание — аденин, углевод — рибоза и три остатка фосфорной кислоты (аденин, связанный с рибозой, называется аденозином).

Особенностью молекулы АТФ является то, что второй и третий остатки фосфорной кислоты присоединяются связью, богатой энергией. Такая связь называется высокоэнергетической, или макроэргической

В упрощенном виде строение АТФ можно отразить схемой:

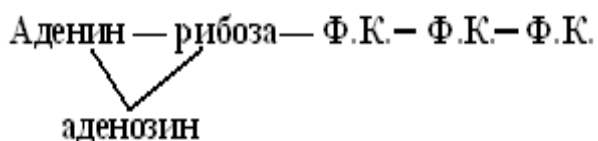
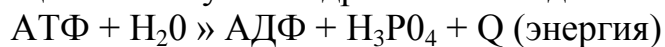


Рис. 9.

При использовании АТФ в качестве источника энергии обычно происходит отщепление путем гидролиза последнего остатка фосфорной кислоты:



В физиологических условиях, т. е. при тех условиях, которые имеются в живой клетке (температура, рН, осмотическое давление, концентрация реаги-



рующих веществ и пр.), расщепление моля АТФ (506 г сопровождается выделением 12 ккал, или 50 кДж энергии).

Главными потребителями энергии АТФ в организме являются:

- реакции синтеза;
- мышечная деятельность;
- транспорт молекул и ионов через мембраны (например, всасывание веществ из кишечника, образование мочи в почках, формирование и передача нервного импульса и др.).

Таким образом, биологическая роль АТФ заключается в том, что это вещество является универсальным аккумулятором энергии.

**Витамины** – низкомолекулярные органические вещества самого различного строения. Витамины участвуют во множестве биохимических реакций, участвуя в формировании активных центров большого числа ферментов, и, следовательно, используются организмом как строительный материал при их синтезе.

Большинство витаминов не синтезируются в организме человека. Поэтому они должны регулярно и в достаточном количестве поступать в организм с пищей или в виде витаминно-минеральных комплексов и пищевых добавок. Исключения составляют витамин К, достаточное количество которого в норме синтезируется в толстом кишечнике человека за счёт деятельности бактерий, и витамин В<sub>3</sub>, синтезируемый бактериями кишечника из аминокислоты триптофана.

По физико-химическим свойствам витамины делятся на две группы: водорастворимые (В, С, Р, РР) и жирорастворимые (А, D, Е, К).

Кроме витаминов пища может также содержать провитамины. Провитамины являются предшественниками витаминов. Попадая в организм, провитамины превращаются в витамины.

Изменение содержания витаминов в организме приводит к возникновению различных патологических (болезненных) состояний.

Авитаминозы – патологическое состояние, вызванное полным отсутствием в организме какого-либо витамина. Авитаминоз вызывает развитие тяжёлых заболеваний, например, цинги, в случае отсутствия витамина С. У людей авитаминозы практически не встречаются, так как в пищевом рационе всегда присутствует минимальное количество витаминов.

Гиповитаминозы – более легкое патологическое состояние по сравнению с авитаминозами, вызываемое недостаточным содержанием отдельных витаминов в организме. Например, весенние гиповитаминозы.

Гипервитаминозы – патологическое состояние, причиной которого является избыточное поступление в организм определенных витаминов. Чаще гипervитаминозы вызываются накоплением в организме жирорастворимых витаминов, выделение которых с мочой затруднено из-за их нерастворимости в воде. Жирорастворимые витамины накапливаются в жировой ткани и печени.

Из перечисленных патологических состояний у людей чаще всего наблюдаются гиповитаминозы. Наиболее распространенные причины возникновения гиповитаминозов следующие:

а) использование для приготовления пищи продуктов, содержащих мало витаминов;

б) неправильное приготовление пищи, приводящее к разрушению витаминов (например, длительная варка или многократное разогревание и т.д.);

в) однообразное питание. В этом случае в организме может возникнуть дефицит витамина, который содержится в низкой концентрации в постоянно используемом продукте питания;

а) заболевания желудочно-кишечного тракта и печени, сопровождающиеся нарушением всасывания витаминов;

б) угнетение микрофлоры кишечника. Это наблюдается при использовании для лечения инфекционных заболеваний различных антимикробных препаратов (антибиотики, сульфаниламиды и т.п.);

в) повышенная потребность организма в витаминах, которая часто наблюдается при беременности, при выполнении тяжелой физической работы. В этом случае обычного поступления витаминов с пищей и их синтеза кишечными микробами окажется недостаточно для организма. Поэтому у регулярно тренирующихся спортсменов потребность в витаминах возрастает в 1,5-2 раза.

**Гормоны** – органические вещества разнообразного строения, вырабатываемые как в специализированных органах – железах внутренней секреции, так и в клетках ряда неспециализированных органов (желудка, печени, кишечника, почек, плаценты), ряд гормонов нейромедиаторов синтезируется нервными клетками. Гормоны распространяются с кровью по всему организму и оказывают влияние на метаболизм и физиологические функции тех клеток, где их действие необходимо.

В клетках органов, в которых реализуется действие гормонов (органы-мишени), синтезируются особые белки, называемые рецепторами гормонов. Эти белки обладают способностью специфически связываться только с определенными гормонами, после чего последние начинают проявлять присущие им качества. Такой механизм позволяет гормонам строго избирательно воздействовать на определенные органы. Рецепторные белки находятся либо внутри клеток, либо встроены в клеточную мембрану.

В клетках органов-мишеней содержатся ферменты, разрушающие поступающие в них гормоны, что ограничивает действие гормонов во времени и предупреждает их накопление.

Чувствительность рецепторов и активность ферментов, расщепляющих гормоны, может меняться при нарушениях метаболизма, изменениях физико-химических параметров организма (температура, кислотность, осмотическое давление), изменениях концентрации важнейших субстратов, возникающих при заболеваниях, а также при выполнении мышечной работы. Следствием этого является усиление или ослабление влияния гормонов на соответствующие органы.

Можно выделить несколько механизмов действия гормонов разных видов:

1. Включение гормона в состав определённых ферментов в качестве простетической группы, приобретение теми нативной конформации, позволяющей реализовывать свои биологические функции.

2. Ингибирующее действие на определённые ферменты, приводящее к снижению скорости ферментативных реакций.

3. Влияние на проницаемость клеточных мембран по отношению к определённым химическим соединениям, в результате чего в клетки поступает больше или меньше субстратов для ферментативных реакций, что тоже сказывается на скорости химических процессов.

Все три механизма действия гормонов направлены на регуляцию скорости химических реакций, протекающих в клетках, что, в свою очередь, оказывает влияние на физиологические функции органов.

По химическому строению гормоны можно разделить на три группы:

1. Гормоны белковой природы (полипептиды): гормоны гипоталамуса, гормоны гипофиза, кальцитонин щитовидной железы, гормон паращитовидных желез, гормоны поджелудочной железы.

2. Гормоны – производные аминокислоты тирозина: йодсодержащие гормоны щитовидной железы, гормоны мозгового слоя надпочечников (адреналин, норадреналин).

3. Гормоны стероидного строения: гормоны коры надпочечников (глюкокортикоиды), гормоны половых желез (тестостерон, эстрогены).

По особенностям секреции гормоны делятся на постоянно продуцируемые (тестостерон, эстрогены, глюкокортикоиды и др.) и продуцируемые по «команде» (адреналин, серотонин, инсулин, гастрин, секретин и др.).

Постоянно продуцируемые гормоны всё время присутствуют в составе крови, откуда по мере необходимости забираются клетками при помощи синтезируемых самими клетками рецепторов. Скорость секреции таких гормонов регулируется по принципу обратной связи – снижение содержания гормона в крови, относительно генетически обусловленного уровня, стимулирует рост его производства и наоборот.

Стимулом для синтеза постоянно не продуцируемых гормонов может становиться отклонение от нормы химического состава крови, возникновение стрессовых ситуаций, появление пищи в желудке и кишечнике, снижение кровяного давления и т.д.

Синтез и выделение гормонов в кровь регулируется при участии нервной системы. Во многих случаях взаимосвязь между гормональной (эндокринной) и нервной системами выглядит следующим образом. При воздействии на организм каких-либо внешних факторов, при возникновении изменений в крови или органах, снижении или повышении концентрации постоянно продуцируемых гормонов соответствующая информация передается по афферентным чувствительным нервам в ЦНС. В ответ в гипоталамусе (часть промежуточного мозга), в зависимости от того, о чём сообщается, вырабатывается определённая разно-

видность биологически активных веществ (гормоны гипоталамуса), которые затем поступают в гипофиз (мозговой придаток) и стимулируют или тормозят секрецию им одного из видов, так называемых, тропных гормонов (гормоны передней доли). Тропные гормоны выделяются из гипофиза в кровь, переносятся в железы внутренней секреции и вызывают в них синтез или секрецию соответствующих гормонов.

Помимо этого нервная система может воздействовать на железы внутренней секреции непосредственно без участия тропных гормонов. Таковым случаем является прямое нервное воздействие на мозговой слой надпочечников и выделение адреналина при возникновении стрессовой ситуации.

Все железы внутренней секреции функционируют согласованно и оказывают друг на друга взаимное влияние. Искусственное введение в организм гормонов не только сказывается на функции железы, вырабатывающей вводимый гормон, но и может оказать негативное воздействие на состояние всей нервно-гормональной регуляции в целом. Поэтому использование в качестве допингов гормональных препаратов является опасным для здоровья спортсменов.

**Гемоглобин** является основным компонентом эритроцитов. На его долю приходится 30% от массы эритроцита или 90% от сухого остатка этих клеток.

Молекула гемоглобина это белок, обладающий четвертичной структурой, т.е. состоящий из четырех субъединиц. Каждая субъединица содержит один полипептид и один гем. Субъединицы отличаются друг от друга только строением полипептидов. Гем представляет собою сложную циклическую структуру из четырех пиррольных колец, содержащую в центре двухвалентное железо ( $\text{Fe}^{2+}$ ):

Основная функция эритроцитов - транспортная. Эритроциты переносят кислород от легких к тканям и углекислый газ от тканей к легким.

В процессе дыхания при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. практически весь гемоглобин связывается с кислородом, образуя оксигемоглобин.

Присоединяется кислород непосредственно к атому железа, входящему в состав гема. Образовавшийся комплекс гемоглобина с кислородом – оксигемоглобин, с током крови переносится в различные органы, где происходит диссоциация оксигемоглобина.

В целом за сутки человек, не выполняющий физической работы, использует 400-500 л кислорода. При высокой двигательной активности потребление кислорода значительно возрастает.

Транспорт кровью углекислого газа осуществляется из тканей всех органов, где происходит его образование, в легкие, из которых он выделяется во внешнюю среду.

Большая часть углекислого газа переносится кровью в форме солей – бикарбонатов калия и натрия ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$  – карбонаты). Образование бикарбонатов происходит в эритроцитах с участием гемоглобина. Бикарбонаты калия ( $\text{KHCO}_3$ ) остаются в эритроцитах, бикарбонаты натрия ( $\text{NaHCO}_3$ ) выводятся в плазму крови. С током крови образовавшиеся бикарбонаты попадают в легочные капилляры, где происходит отделение  $\text{CO}_2$ . Данные реакции идут также в

эритроцитах, но уже с участием оксигемоглобина, возникающего в капиллярах легких за счет присоединения кислорода к гемоглобину.

Биологический смысл такого механизма переноса кровью углекислого газа заключается в том, что бикарбонаты калия и натрия обладают высокой растворимостью в воде, и поэтому в эритроцитах и в плазме они могут находиться в значительно больших количествах по сравнению с углекислым газом.

Небольшая часть  $\text{CO}_2$  может переноситься кровью в физически растворенном виде.

## **2.2. Основные биохимические процессы, обеспечивающие реализацию двигательных функций организма**

**Метаболизм** – это совокупность химических реакций, протекающих во внутренней среде организма, т.е. в его клетках. В настоящее время известны десятки тысяч химических реакций, составляющих метаболизм.

В свою очередь, метаболизм делится на катаболизм и анаболизм.

Под катаболизмом понимаются химические реакции, за счет которых крупные молекулы подвергаются расщеплению и превращаются в молекулы меньшего размера. Конечными продуктами катаболизма являются такие простейшие вещества, как  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NH}_3$  (Аммиак).

Анаболизм – совокупность химических процессов, в результате которых синтезируются различные структурные элементы клеток.

Основное назначение метаболизма:

- Одновременное протекание реакций катаболизма и анаболизма приводит к обновлению организма, что является обязательным условием его жизнедеятельности. В случае преобладания анаболизма над катаболизмом происходит накопление химических веществ в организме, в первую очередь белков. Накопление белков в организме – обязательное условие его роста и развития.
- Обеспечение энергией (в форме молекул АТФ) всех потребностей организма.

### **Ферментативный катализ**

Ферменты, или энзимы, – это особые белки, выполняющие роль катализаторов химических реакций. Практически все химические реакции в организме протекают благодаря участию ферментов. К 2013 году было описано более 5000 разных ферментов

#### **Строение ферментов**

Участок молекулы фермента, на котором происходит катализ, называется «активным центром». Активный центр может формироваться, как только остатками аминокислот, находящимися в разных местах одной и той же полипептидной цепи или же в разных полипептидах, но пространственно сближенных, так и включать в свой состав определённую простетическую группу.

Образование активного центра из функциональных групп, довольно далеко отстоящих друг от друга в полипептидных цепях, но совмещённых пространственно в активном центре (т.е. на уровне вторичной или третичной



структуры белка), позволяет ферменту обеспечивать, необходимое соответствие между активным центром и молекулами реагирующих веществ (их называют субстратами).

Большинство ферментов содержат в своей молекуле только один активный центр. У некоторых ферментов может иметься несколько активных центров.

#### *Механизм действия ферментов*

В любом катализе, осуществляемом ферментами, можно обнаружить три обязательных стадии.

Первая стадия – молекулы реагирующих веществ (субстрата) присоединяются к активному центру фермента за счет слабых связей. Образуется фермент-субстратный комплекс, в котором благодаря активному центру возникает необходимая для последующего взаимодействия ориентация молекул субстрата.

На второй стадии происходят различные реакции.

На третьей стадии происходит отделение продуктов реакции от активного центра с образованием свободного фермента, способного присоединять к себе новые молекулы субстрата.

В клетках ферменты, катализирующие многостадийные химические процессы, часто объединяются в комплексы, называемые мультиферментными системами. Эти комплексы структурно связаны с органоидами клеток или же встроены в биомембраны. Объединение отдельных ферментов в единый комплекс позволяет одновременно ускорять все последовательные стадии превращения какого-либо субстрата.

Ферментативная активность зависит от концентрации участников ферментативного катализа (фермента и субстрата) и условий среды, в которой протекает ферментативная реакция (температура, pH, присутствие ингибиторов и активаторов).

Чем больше фермента, (при постоянной концентрации субстрата), тем больше реакций за единицу времени.

Снижение активности ферментов при повышении температуры выше температурного оптимума объясняется тепловой денатурацией ферментного белка, которая при высоких температурах вызывает полную потерю каталитической активности фермента. Для большинства ферментов температурный оптимум равен 37-40°C.

Скорость ферментативных реакций значительно зависит от кислотности среды, в которой они протекают. Для каждого фермента имеется определенное значение pH, при котором наблюдается наибольшая скорость реакций – pH-оптимум. При отклонении в любую сторону от этого значения pH скорость реакций резко падает.

Влияние кислотности среды на скорость ферментативных реакций обуславливается изменениями конформации ферментов, и прежде всего изменениями конформации их активных центров. При pH-оптимуме фермент находится в оптимальной для проявления каталитических свойств конформации. При

небольшом отклонении величины кислотности от рН-оптимума наблюдается незначительное изменение конформации, носящее обратимый характер. При значительном отклонении от рН-оптимума (в сильнокислой и сильнощелочной среде) происходит необратимая денатурация ферментного белка, приводящая к полной утрате каталитической активности.

Скорость ферментативной реакции существенно зависит от присутствия ингибиторов и активаторов.

Ингибиторы – это химические соединения (обычно низкомолекулярные), которые, находясь в низких концентрациях, избирательно тормозят определенные ферментативные реакции. При этом ингибитор всегда присоединяется к ферменту с образованием фермент-ингибиторного комплекса. Фермент, связанный с ингибитором, теряет свою каталитическую активность.

Активаторы – вещества, без которых некоторые виды ферментов не могут реализовывать свои функции. Активаторы, обратимо присоединяются к ферменту, изменяя его конформацию. В этом случае изменение конформации благоприятно для функционирования активного центра. Активаторами являются некоторые гормоны, промежуточные продукты метаболических процессов, ионы металлов.

#### *Регуляция скорости ферментативных реакций*

Особенностью ферментативных реакций является наличие механизмов регуляции их скорости. Благодаря регуляторным механизмам ферментативные реакции протекают со скоростями, соответствующими потребностям организма.

К основным механизмам регуляции скорости ферментативных реакций можно отнести следующие:

- Изменение скорости синтеза ферментов. Ферменты, являясь белками, постепенно разрушаются, и поэтому в клетках постоянно синтезируются новые ферментные белки. При повышении скорости образования новых ферментов их содержание в клетках возрастает. При этом увеличивается и количество ферментативных реакций, так как зависимость количества реакции от концентрации фермента носит прямолинейный характер.

При уменьшении выработки ферментов их концентрация в клетках постепенно снижается, что сопровождается снижением и числа катализируемых ими реакций. Изменение скорости синтеза ферментов становится следствием появления в клетке тех или иных химических веществ, выступающих в одних случаях индукторами транскрипции РНК в других её репрессии.

- Модификация ферментов. Под модификацией понимается незначительное изменение химического состава ферментов под воздействием ингибиторов и активаторов, приводящее к изменению каталитической активности.

#### *Коферменты*

Коферменты, или коэнзимы – молекулы небелковой природы, принимающие вместе с ферментами участие в ряде каталитических реакций.

Роль коферментов в основном играют витамины или их метаболиты (чаще всего – фосфорилированные формы витаминов группы В).

### ***Синтез нуклеиновых кислот***

Синтез ДНК (репликация) интенсивно протекает во время клеточного деления. В процессе репликации в молекуле ДНК (родительская молекула) разрываются водородные связи между азотистыми основаниями обеих ее нитей, что приводит к раскручиванию двойной спирали ДНК и образованию двух свободных нитей. К образовавшимся свободным нитям, как к матрицам, подходят нуклеотиды в трифосфатной форме и своими азотистыми основаниями с соблюдением принципа комплементарности (аденин – тимин и гуанин – цитозин) присоединяется к ним. Благодаря этому принципу создается нужная последовательность расположения нуклеотидов. По мере присоединения к матрице нуклеотиды связываются в полинуклеотидные нити, которые сразу же закручиваются с матрицей в двойную спираль. При этом от каждого нуклеотида отщепляется по два остатка фосфорной кислоты в форме дифосфата. В конечном счете, на каждой матрице возникает новая нить, которая по строению точно соответствует другой нити ДНК. В результате репликации синтезируются две новые молекулы ДНК (дочерние), которые являются точной копией родительской молекулы ДНК. В дочерних молекулах одна полинуклеотидная нить происходит из родительской молекулы, а другая синтезирована из нуклеотидов в процессе репликации.

Синтез РНК (транскрипция) также протекает на молекуле ДНК. Но в процессе транскрипции раскручивается только её ограниченный участок. Одна нить ДНК служит матрицей для синтеза иРНК вторая для синтеза тРНК. К нитям подходят нуклеотиды в трифосфатной форме, содержащие рибозу, и по принципу комплементарности располагаются в строго определенном порядке. Затем нуклеотиды соединяются в полинуклеотид, и от каждого из них отщепляется дифосфат. Образовавшиеся полинуклеотидные цепи с матрицей двойной спирали не образуют и отходят от молекулы ДНК.

### ***Метаболизм белков***

#### ***Катаболизм белков***

Белки, входящие в состав клеток организма, подвергаются постоянному распаду под влиянием внутриклеточных протеолитических ферментов, называемых внутриклеточными протеиназами или катепсинами. Эти ферменты локализованы в специальных внутриклеточных органоидах – лизосомах. Под действием катепсинов происходит разрушение пептидных связей и восстановление аминокислот, входивших в состав разрушаемого белка. В сутки расщепляется примерно 200 г белков организма.

#### ***Синтез белков***

Большая часть аминокислот, как попавших в организм с пищей, так и образовавшихся в процессе катаболизма используется для синтеза белков. Первый этап синтеза белка транскрипция – происходит в клеточном ядре, где на основе ДНК, как источника генетической информации, синтезируются иРНК и тРНК.

Генетическая (наследственная) информация обуславливает порядок расположения аминокислот в полипептидных цепях синтезируемого белка. Эта

информация закодирована строгой последовательностью азотистых оснований нуклеотидов, формирующих молекулу ДНК. Каждая аминокислота кодируется сочетанием азотистых оснований трёх смежных нуклеотидов, называемым кодоном, или триплетом.

Участок молекулы ДНК, содержащий информацию об определенном белке, получил название «ген». На одной ветви ДНК во время транскрипции по принципу комплементарности синтезируется информационная РНК, на другой транспортные РНК в виде триплетов нуклеотидов. иРНК представляет собой копию соответствующего гена. Следовательно, иРНК содержит информацию о строении белка, закодированного в данном гене. Образовавшиеся иРНК и тРНК выходят из ядра в цитоплазму клетки.

Старт синтезу РНК, на участке ДНК, содержащей информацию о строении того или иного белка, даёт присоединение к белку, называемому репрессором, молекулы индуктора. В роли индукторов могут выступать как метаболиты химических реакций, протекающих в клетке, так и гормоны, поступающие в клетку извне. Роль репрессоров заключается в препятствовании раскручивании двойной нити ДНК на участке расположения того или иного гена. Присоединение индуктора к репрессору изменяет третичную структуру последнего, что и обуславливает утрату им способности к препятствованию раскручивания ДНК.

В ходе второго этапа – рекогниции (распознавания), протекающего в цитоплазме, аминокислоты избирательно связываются со своими переносчиками – транспортными РНК. В составе этого комплекса аминокислота обладает повышенной химической активностью. В связи с этим второй этап синтеза белка часто называют активацией аминокислот.

Третий этап синтеза белка – трансляция, происходит на рибосомах. Каждая рибосома состоит из двух частей – большой и малой субчастиц. Обе субчастицы являются нуклепротеидами, в состав которых входят рибосомные РНК и белки.

Рибосомы способны легко распадаться на субчастицы (диссоциация), и снова соединяться друг с другом, образуя рибосому (ассоциация).

Трансляция начинается с диссоциации рибосомы на субчастицы, которые сразу же присоединяются к начальной части молекулы информационной РНК, поступающей из ядра. При этом между субчастицами остается пространство (так называемый туннель), где оказываются два кодона иРНК. Затем к комплексу рибосома – иРНК присоединяются две тРНК, связанные с соответствующими аминокислотами.

К участку молекулы иРНК, находящемуся в туннеле, присоединяются только молекулы тех тРНК, кодоны которых комплементарны кодонам иРНК. Поэтому эти тРНК доставляют в рибосомы только строго определенные аминокислоты. Далее аминокислоты соединяются друг с другом пептидной связью, образуя дипептид. После этого рибосома передвигается вдоль иРНК ровно на один кодон (это перемещение рибосомы называется транслокацией).

В результате транслокации тРНК, доставившая молекулу первой аминокислоты, отщепляется от рибосомы, а в зоне туннеля появляется новый кодон, к

которому присоединяется по принципу комплементарности еще одна тРНК с аминокислотой, соответствующей этому кодону. Доставленная аминокислота соединяется с ранее образовавшимся дипептидом, что приводит к удлинению пептидной цепи. Далее следуют новые транслокации, поступление на рибосому новых тРНК с аминокислотами и дальнейшее удлинение пептидной цепи.

Таким образом, порядок включения аминокислот в синтезируемые белок определяется последовательностью кодонов в иРНК.

Завершается синтез полипептидной цепи при поступлении в туннель особого кодона, который не кодирует аминокислоты и к которому не может присоединиться ни одна тРНК. Такие кодоны называются терминирующими, или нонсенс-кодонами. Особенно велика их роль в синтезе белков, молекула которых состоит из нескольких полипептидов.

В итоге за счет описанных трех этапов синтезируются полипептиды, т.е. формируется первичная структура белка. Высшие (пространственные) структуры (вторичная, третичная, четвертичная) возникают самопроизвольно. Это объясняется тем, что пространственные структуры фиксируются в основном химическими связями, возникающими между радикалами аминокислот. Поэтому в каждом белке эти связи образуются специфически в соответствии с генетически обусловленной последовательностью расположения радикалов в полипептидных цепях. На этом же этапе в составе белков образуются простетические группы, за счёт включения в структуру полипептида различных химических соединений.

### ***Биохимия мышечных сокращений***

Химическим процессом, энергетически обеспечивающим скольжение нитей актина и миозина относительно друг друга, т.е. актов сокращения мышечного волокна, является реакция гидролиза АТФ ( $\text{АТФ} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{АДФ} + \text{H}_3\text{PO}_4$ ). Идёт данная реакция благодаря ферментативной активности миозиновых головок, катализирующих реакцию гидролиза. Условием начала реакций гидролиза является поступление нервного импульса в мышечное волокно и связанное с этим выделение ионов  $\text{Ca}$  из цистерн.

При отсутствии восстановления, АТФ мышечного волокна хватало бы лишь на доли секунды тетанического сокращения, после чего сила сокращения начинала бы быстро падать вплоть до нуля.

Восстановление АТФ обеспечивается тремя способами. Самый оперативный из них реакция фосфорилирования АДФ креатинфосфатом ( $\text{АДФ} + \text{КрФ} \rightarrow \text{АТФ} + \text{Кр}$ ). Следствием фосфорилирования АДФ креатинфосфатом становится появления в саркоплазме креатина.

Креатинфосфата в мышечных волокнах может быть от 5 до 8 раз больше чем АТФ, в зависимости от степени тренированности мышцы. Физическая тренировка стимулирует увеличение креатинфосфата. Но, не смотря на это, возможности креатинфосфатного восстановления остаются весьма ограниченными.

Появление в мышечном волокне АДФ предопределяет не только включение креатинфосфатного механизма восстановления, но и начало реакций глико-



лиза. Одна молекула глюкозы, пройдя с участием ферментов десять стадий превращений, образует две молекулы пировиноградной кислоты и четыре атома водорода ( $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 4H$ ). Следствием превращений глюкозы становится фосфорилирование двух молекул АДФ. Водород, выделившийся при гликолизе, оказывается в составе молекул никотинамидадениндинуклеотида (НАД), кофермента, доставляющего водород в митохондрии.

С момента образования пировиноградной кислоты и водорода, в мышечной клетке начинает работать механизм окислительного фосфорилирования АДФ в митохондриях.

На первом этапе окислительного фосфорилирования пировиноградная кислота превращается в уксусную кислоту ( $C_2H_4O_2$ ). Уксусная кислота вступает в реакцию с коферментом А – переносчиком остатков кислот, образуя ацетилкофермент А. Превращение пировиноградной кислоты в уксусную и присоединение остатка последней к коферменту А идёт с участием кислорода, при этом образуется вода, углекислый газ и энергия, позволяющая восстановить три АТФ. В это же время атомы водорода, образовавшиеся в процессе гликолиза, доставляются в соединении с НАД в митохондрии, где вступают в реакцию с кислородом, также образуя воду. Окисление двух атомов водорода даёт энергию для восстановления ещё трёх АТФ.

Вторым этапом окислительного фосфорилирования становится цикл трикарбоновых кислот или цикл Кребса. На первой стадии цикла остаток уксусной кислоты выходит из состава ацетилкофермента А, соединяясь с щавелево-уксусной кислотой ( $C_4H_4O_5$ ), образуя лимонную кислоту ( $C_6H_8O_7$ ). Лимонная кислота превращается в альфа кетоглутаровую кислоту ( $C_5H_6O_5$ ), альфа кетоглутаровая в янтарную ( $C_4H_6O_4$ ), янтарная в яблочную ( $C_4H_6O_5$ ), яблочная в щавелево-уксусную. К последней присоединяется следующая молекула уксусной кислоты, и цикл окисления повторяется. На всех стадиях превращения лимонной кислоты в щавелево-уксусную кислоту образуется вода, на первых двух стадиях к воде добавляется углекислый газ. На каждой из четырёх стадий образуется энергия для восстановления трёх АТФ.

Цикл трикарбоновых кислот является завершающим этапом окисления не только углеводов, но других органических веществ. Дело в том, что при распаде и жиров, и аминокислот уксусная кислота является обязательным промежуточным продуктом.

Полное окисление одной молекулы пировиноградной кислоты и двух атомов водорода в цикле окислительного фосфорилирования позволяет восстановить 18 молекул АТФ.

Аэробный характер восстановления АТФ в большей степени присущ волокнам медленного типа, что предопределяет значительно более активное производство энергии, по сравнению с быстрыми волокнами. Помимо этого активная утилизация кислот в реакциях окислительного фосфорилирования не даёт медленным волокнам сильно закисливаться. Последнее обстоятельство делает возможным использование волокнами медленного типа для восстановле-

ния АТФ энергии жирных кислот. Дело в том, что в сильноокислой среде невозможно расщепление жиров ферментами.

Одним из следствий восстановления АТФ в реакциях окислительного фосфорилирования АДФ и гликолиза является реакция ресинтеза креатинфосфата, которая идёт при участии фермента КрФ-азы. Молекула АТФ передаёт фосфатную группу молекуле креатина, превращаясь в АДФ ( $\text{АТФ} + \text{Кр} \rightarrow \text{КрФ} + \text{АДФ}$ ).

Данные реакции получают развитие с момента образования креатина и протекают, как непосредственно во время работы мышечного волокна, так по его завершении. В связи с этим, в мышечных волокнах, где реакция окислительного фосфорилирования позволяет восстанавливать большой объём АТФ за единицу времени, фосфорилирование креатина АТФ предопределяет сохранение не только высокого уровня АТФ, но и креатинфосфата. Сильнее всего концентрация креатинфосфата снижается в быстрых волокнах.

Достаточно длительный перерыв в работе предопределяет полное восстановление КрФ и АТФ. Объёмом молекул АДФ и креатина, накопившихся к моменту окончания работы, определяется величина алактатного кислородного долга.

При отсутствии условий для утилизации пировиноградной кислоты в митохондриях (в случае недостатка кислорода или самих митохондрий) продуктом гликолиза становится молочная кислота (лактат). К молекулам пировиноградной кислоты присоединяется по два атома водорода при вступлении пирувата в реакцию с никотинамидом.

Выведение молочной кислоты за пределы мышечной клетки и её накопление в межклеточном матриксе ведёт к возникновению болевых ощущений. Распространение молочной кислоты по всему организму с кровотоком даёт ощущение общей усталости, разновидности болевых ощущений.

Утилизируется молочная кислота печенью, где на её основе синтезируется глюкоза. На данную реакцию затрачивается двадцать пять процентов энергии молочной кислоты плюс кислород. (По мнению ряда авторов, молочная кислота, помимо утилизации печенью, усваивается миокардом, где окисляется в митохондриях до углекислого газа и воды.). Объёмом молекул молочной кислоты, образовавшихся к моменту окончания работы, определяется величина лактатного кислородного долга.

Наиболее интенсивно образуется молочная кислота при сокращении быстрых волокон. В связи с этим, при значительных мышечных напряжениях имеет место быстрое появление болевых ощущений в работающих мышцах. В случае интенсивной работы большого числа мышц имеет место быстрое наступление общего утомления.

В зависимости от производительности работы митохондрий находится кислотно-щелочной баланс саркоплазмы мышечной клетки. Чем меньше производительность митохондрий, тем больше кислотность. Негативным следствием закисливания мышечных клеток является разрушение белков миофибрилл.

### ГЛАВА 3.

## ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯМИ

Движения, связанные с изменением положения двух или более звеньев тела, а также движения звеньев в многоосных суставах в промежуточных плоскостях, инициируются сокращением двух или более мышц. Кроме того, в организации движений задействуются дополнительные мышечные группы для фиксации частей тела в заданном положении и предотвращения их несанкционированных колебаний.

Как будут происходить изменения суставных углов, а, следовательно, в каком положении будут находиться те или иные звенья тела в каждый момент движения, зависит от одного фактора, а именно, от того, с какой силой каждая из мышц будет тянуть связанную с ней часть тела. Чем сильнее мышечное сокращение, тем больше скорость вращательного движения, тем на большую величину часть тела изменит своё положение за отведённое время.

Если из одного и того же положения посредством сокращения одних и тех же мышц, но с разными проявлениями силы будут приводиться в движение звенья тела, то каждый раз общая структура изменения положения звеньев будет выглядеть по-другому. Композиция изменений суставных углов за время движения каждый раз будет отличаться.

Как известно, единственным фактором, влияющим на силу сокращения мышцы со стороны центральной нервной системы, является частота нервных импульсов, идущих из её моторного центра в двигательной зоне коры головного мозга к мотонейронам, иннервирующим данную мышцу. Чем больше частота, тем большее число мотонейронов приходит в возбуждённое состояние и начинает иннервировать мышечные волокна, тем большее усилие развивает мышца. В свою очередь, частота нервной импульсации определяется силой волевого воздействия на моторный центр. По этим причинам от правильности определения моторных центров в двигательном отделе головного мозга, а также от того, насколько точными по силе будут воздействия на них, зависит кинестетическая правильность выполнения движения.

В случае совершенствования точности воздействия на некий объект, инициируемого сокращением единственной мышцы (например, удар по мячу прямой рукой снизу, с целью перемещения его на определенное расстояние), мы имеем дело с оказанием волевого воздействия на моторный центр только одной мышцы. В нашем случае – ключичной дельты. Но в случае движения, связанного с одновременным вращением нескольких звеньев тела (например, подача мяча сверху), требуется волевое воздействие нужной силы на моторные центры каждой мышцы, участвующей в движении, для того, чтобы ладонь переместилась в требуемую точку.

Изменение суставных углов является одной из характеристик телодвижений человека. Сходством имевших место изменений суставных углов с «образцом» в первую очередь определяется правильность любого движения. Роль

«образца» играет представление о его кинестетической структуре, актуализирующееся в сознании исполнителя до начала движения. Но произойти это может только при наличии данного представления в сознании индивида. Как и любые другие кинестетические образы сознательно формируются. Структурой мозга человека, на базе которой реализуются данные процессы, является соматическая сенсорная система.

Одной из функций соматической сенсорной системы человека, помимо функции формирования представления о собственном теле и функции восприятия воздействий на тело и внутренние органы, является восприятие нервных импульсов, сигнализирующих о состоянии суставных конструкций. Воспринимая сигнал от суставных проприоцепторов, человек получает представление о том, в каком положении относительно друг друга находятся сопряжённые звенья тела. Результатом данного восприятия и становится способность сознания человека формировать *кинестетические психические образы*, в составе которых, помимо соматического представления о строении собственного тела, оказываются представления об углах, образуемых сопряжёнными звеньями.

Кинестетическое представление о величинах суставных углов соответствует зрительному представлению о тех же угловых величинах при визуальном восприятии тех же звеньев со стороны. Благодаря этому свойству человек может приводить свои части тела в то же самое положение, в котором находятся аналогичные части тела другого человека.

Представление о суставном угле может вводиться в состав кинестетического образа двумя способами:

- посредством фиксации угла, образуемого двумя сопряжёнными звеньями тела;
- мысленным построением угла.

В последнем случае угол строится между направлением звена и выбранным пространственным ориентиром, т.е. вертикальной или горизонтальной линией, мысленно проводимой через ось вращения данного звена.

Как мы уже говорили, характеристикой телодвижения человека является изменение суставных углов по мере вращения звеньев тела. Запоминая новое положение звеньев, человек, тем самым, формирует новый кинестетический образ. Связав с ним, посредством временного компонента связи психических образов, образ исходного положения, человек получает образ некоего процесса. В данном образе будет содержаться представление об одновременном переходе тех или иных звеньев его тела из одного положения в другое. Элементами образа становятся представления о величинах изменения каждого суставного угла.

Представление, состоящее из кинестетического образа некоего начального положения частей тела индивида и кинестетического образа, в котором те же самые звенья вслед за этим оказываются расположенными по другому, является образом двигательного действия или представлением о его кинестетической структуре. Означенная образная конструкция относится к разряду образов про-

цессов, в которых два представления о начальном и конечном положении объединяются временным компонентом.

На основе представления о кинестетической структуре движения, в состав которого индивид вводит представления о конкретных величинах изменения суставных углов, автоматически формируется представление о пропорциях данных величин или представление о композиции изменения суставных углов.

Но одного представления о кинестетической структуре двигательного акта, даже если таковое в сознании человека сформировано, явно недостаточно для того, чтобы сделать движение правильно. Необходимо научиться представляемое реализовывать.

Критерием сформированности умения выполнять двигательное действие является связь представления о кинестетической структуре движения с *представлением о моторных центрах мышц*, организаторов сокращения нужных мышц. Кроме того, необходимо наличие представлений о силах волевых воздействий на каждый моторный центр, так как силой воздействий определяется скорость вращения звеньев, а, следовательно, и величины изменения суставных углов за один и тот же отрезок времени.

В процессе обучения двигательному действию силы воздействий на моторные центры уточняются и запоминаются. При этом параллельно с формированием представлений о силах волевого воздействия на отдельные моторные центры идёт непроизвольное формирование представлений о пропорциях сил воздействия, т.е. наблюдается процесс, аналогичный актам запоминания пропорций величин, воспринимаемых зрительной сенсорной системой, например, высоты двух наблюдаемых объектов.

### **Формирование двигательных навыков**

Основой для формирования двигательного навыка или программы управления движением становится представление о его кинестетической структуре. Существует два способа формирования подобных представлений.

Первый способ – наблюдение за действиями другого человека, выполняющего интересующие движения, и последующее в большей или меньшей степени точное их копирование.

Второй способ – самостоятельное конструирование посредством обнаружения вариантов решения задачи в собственном сознании. Основой для этого становятся накопленные знания индивида о свойствах окружающих явлений, его личный двигательный опыт, наличие представлений о возможностях своего организма, изучение таких возможностей, наличие представлений о действиях других людей, решавших подобные задачи.

Практика показывает, что метод перенимания чужого опыта, или обучение, более эффективен метода самостоятельного конструирования, т.к. проверенный на практике вариант двигательного действия предлагается ученику, можно сказать, в готовом виде. Ему остаётся только запомнить и воспроизвести наблюдаемое, не занимаясь изобретательством. Но, даже запомнив, что ему надо делать, обучающийся в большинстве случаев не может сразу повторить это



действие правильно. И только в процессе тренировки он приближается к решению поставленной задачи.

Дополнением к первому способу формирования кинестетических представлений, и даже его замещением, может становиться вербальное описание того, что надо делать. Описание может сопровождаться тактильными воздействиями на части тела ученика с целью их приведения в нужное положение.

Возможность обучения выполнению движений по образцу обуславливается аналогичностью анатомического строения ученика и «учителя», а также соответствием зрительного и соматического представления о теле и величинах суставных углов. Следствием последнего и становится способность человека к формированию кинестетических представлений в процессе визуального восприятия действий другого лица. Человек по зрительно воспринимаемому образцу целенаправленно выстраивает образ положения звеньев своего тела на нейронных полях соматической сенсорной системы. При этом следует различать два вида копирования – точное и приблизительное.

Формирование представлений о сложных движениях связано с разделением целостного двигательного акта на составные элементы, которые затем объединяются сознанием в единую образную конструкцию. Такими элементами могут быть и отдельные вращения, и комбинации вращений звеньев тела.

Формирование вначале зрительного, а затем на его основе кинестетического образа движения является первой ступенью в освоении двигательного действия. Вторая ступень – обучение реализации задуманного.

Как сказано выше, правильность сложного движения определяется сходством с образцом исходного положения звеньев тела и их же положения по окончании движения. В каком положении окажутся звенья, будет зависеть от того, в каком направлении и как быстро каждое из них будет вращаться. Скорость вращения звена определяется силой тяги мышц, воздействующих на него. Направление вращения звена в многоосном суставе, как и скорость вращения, определяется векторным сложением сил. Сила сокращения мышц регулируется волевыми воздействиями на моторные центры. Композиция изменения суставных углов предопределяется композицией сил волевых воздействий на моторные центры. Изменение последней приводит к изменению кинестетической структуры двигательного акта. Ассоциативное объединение представления о композиции изменения суставных углов с представлением о моторных центрах и представлением о композиции (пропорциях) сил волевых воздействий на них является целью тренировочных действий.

Правильно выполнить новое для себя движение с первой попытки человек может только тогда, когда конструкция вновь разучиваемого двигательного действия представляет собой комбинацию из нескольких уже освоенных человеком элементов, а условия их выполнения схожи с условиями, в которых они выполнялись до этого. Объединив в сознании представления об этих движениях, а когда это необходимо, дополнив их представлениями о моменте начала каждого из них, обучающийся может без каких-либо пробных попыток воплотить задуманное на практике (при условии, что согласование скоростей выпол-

нения отдельных элементов оказалось успешным). Но такая ситуация встречается нечасто. В основном люди приходят к овладению двигательными навыками через тренировочный процесс.

В основе двигательной тренировки лежит метод проб и коррекции ошибок. При выполнении первой попытки ученик опирается на примерные представления о силах волевых воздействий на моторные центры, необходимых для достижения каждым из звеньев нужной скорости. Но прежде, нужная для каждого звена скорость определяется. Чем больше угол изменения положения звена тела, по сравнению с другими звеньями, тем быстрее на ту же относительную величину звено должно двигаться, и наоборот. Позволяет установить всю комбинацию скоростей представление о быстроте движения в целом.

Одновременное представление скоростей вращения нескольких звеньев ведёт к формированию представления о композиции скоростей вращения.

О силах воздействия на моторные центры человек вспоминает, если представления о скоростях вращения звеньев и необходимых для их достижения силах воздействия на моторные центры сформированы. Если актуализация каких-то представлений отсутствует, то силы волевых воздействий устанавливаются в той же пропорции, что и пропорции изменения величин суставных углов.

Представления, причинно-следственно объединяющие представления о скорости вращательных движений звеньев в каких-то направлениях из каких-то исходных положений с представлениями о силах воздействий на соответствующие моторные центры, формируются в процессе двигательной практики индивида.

Попытка одновременного удержания в сознании нескольких не связанных друг с другом представлений о структуре движения, скорости движения отдельных звеньев, силах волевого воздействия на моторные центры предопределяет их слабую концентрацию, а то и полную иррадиацию каких-то из них. Результатом этого становится широкий выбор вариантов воздействия на моторные центры. Понятно, что в таких условиях вероятность точного выполнения задуманного движения с первой попытки весьма незначительна. Именно сложность одновременного удержания в памяти большого количества элементов осваиваемого сложного двигательного действия и предопределяет использование метода разучивания по частям. В этом случае конструкция тренируемого движения поэтапно усложняется, по мере установления связей между элементами, разучиваемыми первыми.

Выполнение первой попытки и фиксация её неудачного результата предопределяет возникновение потребности в коррекции структуры выполненного движения. Провести коррекцию позволяет мыслительный акт – *двигательная экстраполяция*.

*Экстраполяция (интерполяция)* как умственное действие – это прогнозирование одних величин явлений на основании учёта других величин, с первыми системно связанных. Экстраполирование может иметь отношение только к процессам, характеристики которых описываются в математике степенными функциями. С точки зрения математики экстраполяция – это продолжение

функции за пределы ее области определения, при котором продолженная функция принадлежит заданному классу.

Как и во всех других случаях экстраполирования, применение двигательной экстраполяции может иметь место при обнаружении системной зависимости изменения одной величины от изменения другой.

В нашем случае изменение силы волевого воздействия на моторный центр мышцы ведёт к прямо пропорциональному изменению ускорения вращения звена, с ней связанного (линейная зависимость). На этом основании человек сознательно корректирует неточности движений, посредством экстраполирования внося изменения в представления о силах волевых воздействий на моторные центры. Но внесение изменений может иметь место только тогда, когда человек, достаточно четко представляя кинестетическую структуру выполненного движения, сравнивает её с образцом, одновременно удерживая в сознании представление о величинах, имевших место воздействий на моторные центры. По этой причине установление ассоциативных связей между психическими образами случившихся изменений и представлениями о силах волевых воздействий на моторные центры при неточном выполнении движения имеет такое же значение, как и при правильном выполнении.

По мере освоения конкретного движения, многократно пытаюсь его правильно выполнить, человек накапливает двигательный опыт. Структура неточных действий запоминается и сравнивается с образцом, ориентируясь на который, сознание посредством экстраполяции корректирует силы волевых воздействий на моторные центры, изменяя кинестетическую структуру двигательного акта.

Обучение движению методом проб и коррекции ошибок идёт до момента, пока движение не начнёт стабильно правильно выполняться. Но достижение нужной точности и стабильности выполнения движения не означает, что тренировочный процесс в связи с этим следует завершить. На данном этапе возникает новая задача – усиление внутренних связей сформированного представления о движении. Процессы усиления связей в данных случаях это процессы освоения двигательных действий.

Как и удержание в сознании образов любого другого вида, представление движения требует определённых трат нервной энергии. Чем хуже образ движения сформирован, тем сильнее должен сосредоточиться человек, чтобы тот стал в достаточной мере чётким. Недостаток же концентрации предопределяет неточное выполнение движения, о чём мы уже говорили.

Усиление внутриобразных связей по мере выполнения тренировочных попыток создаёт условия для более лёгкого представления деталей движения и использования освободившейся нервной энергии в других целях. Кроме того, хорошо сформированный образ движения легче и быстрее связывается с образами обстановки, в которой данное движение следует выполнять, следовательно, быстрее в нужный момент актуализируется.

Ухудшает чёткость представления о движении и, соответственно, негативно сказывается на точности движений действие отвлекающих факторов, на-

личие болевых ощущений, а также стремление проявить неадекватную возможностям силу.

Для правильного выполнения двигательных действий в дискомфортных условиях требуется в большей мере, чем обычно, сосредоточение внимания на технике движений. В связи с этим, если даже в нормальных условиях от спортсмена требуется предельная сосредоточенность при выполнении движения, то в условиях некомфортных данное движение практически гарантировано будет выполнено с ошибками.

Свойством любого вида памяти, в том числе памяти двигательной, является забывание или снижение силы ассоциативных связей за время отсутствия повторения. Следствием этого становится снижение чёткости представления о движении, когда возникает необходимость сделать его вновь, и выполнение движения с ошибкой.

Быстрота забывания определяется прочностью установившихся связей. Так же, как и сила связей, прочность растёт по мере повторения движения. Прочностью ассоциативных связей определяется быстрота восстановления точности движения после длительного отсутствия повторения.

### ***Многотактные ациклические и циклические движения***

Задача достижения непрерывности движений, как при выполнении действий циклического характера, так и при выполнении ациклических многотактных движений, делает необходимым четкое одновременное представление структуры как минимум двух отдельных (однотактных) движений – совершаемого и следующего за ним. Несоблюдение данного условия ведёт к тому, что после завершения первого движения человек будет вынужден остановиться, чтобы попытаться вспомнить о том, что делать дальше.

В случае выполнения двухтактного движения, человек от его начала и до момента решения двигательной задачи должен удерживать в сознании представление об обоих этапах двигательного акта. При удлинении двигательной комбинации, о последующих движениях человек вспоминает в процессе выполнения предыдущих.

Представление структуры многотактного движения не в полном объёме, позволяет достигать лучшей концентрации образов отдельных движений. В случае совершения циклических движений, человек инициирует непрерывную круговую актуализацию одних и тех же представлений.

## ГЛАВА 4.

### ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СПОСОБНОСТИ ИНДИВИДА

В теории физического воспитания выделяют пять видов физических (двигательных) способностей человека: физическую силу, физическую выносливость, быстроту, ловкость, гибкость. В нашей работе мы рассмотрим первые четыре вида, как наиболее важные, наиболее сложные в своих проявлениях, во многом друг с другом связанные.

#### 4.1. Факторы, определяющие силовые способности индивида

*Силовые способности – это доступная индивиду величина действия на окружающие объекты и собственное тело при совершении тех или иных двигательных действий.*

Величина действия определяется рядом факторов внешнего и внутреннего плана.

Внешними факторами являются механические условия действия мышечной силы и скорость движения объекта, на который оказывается воздействие.

Механическими условиями действия мышечной силы являются:

- плечо действия мышечной силы на объект;
- угол приложения мышечной силы к костному рычагу;
- угол приложения внешней силы к костному рычагу;
- положение звеньев тела относительно выбранного направления поступательного воздействия.

Плечо действия мышечной силы на объект это отношение длины плеча тяги мышцы к плечу приложения силы к объекту. Плечо тяги мышцы это перпендикуляр от оси вращения звена тела до линии, показывающей направление и место тяги мышцы. Плечо приложения силы к объекту это расстояние от оси вращения до места действия звена тела на объект. Удлинение плеча приложения силы, при неизменном плече тяги мышцы приводит к снижению силы действия.

Мышца при своём сокращении одновременно воздействует на два звена тела. Но силы действия мышцы на каждое из звеньев отличаются, в том числе и по тому, что расстояния до осей вращения от мест прикрепления мышцы к одному и другому звену разные. По этой причине значительно отличается сила действия квадрицепса на голень и на бедро. Сила действия на бедро значительно больше, что создаёт условия для выполнения приседаний с большим весом, чем вес, с которым можно сделать упражнение разгибание голени в положении сидя. По этой же причине сила действия трицепса при отжиманиях от брусьев больше силы действия трицепса при разгибании предплечья.

Плечо тяги мышцы определяется углом действия мышечной силы на костный рычаг. Наибольшее плечо имеет место, когда звено находится под углом девяносто градусов к направлению тяги. В этом положении самое большое пле-



чо действия мышечной силы и самая большая сила действия. Отклонение в любую сторону приводит к её снижению.

Особенностью анатомического строения человека является наличие в структуре его костно-мышечной системы двух типов рычажных механизмов. Это рычажные механизмы, изменяющие угол тяги мышцы по мере вращения звена в суставе и не изменяющие. К первым, в частности, относятся рычажные механизмы: плечо-предплечье-бицепс (сгибание предплечья); бедро-туловище-прямая мышца бедра (сгибание туловища); бедро-голень-двуглавая мышца бедра (сгибание голени) и другие. Ко вторым: плечо-предплечье-трицепс (не зависимо от того какое из двух звеньев вращается в локтевом суставе); бедро-голень-квадрицепс (также в обоих случаях); туловище-плечо-дельтовидная и другие.

Плечом действия внешней силы определяется сила мышечного сокращения, необходимая для оказания вращательного противодействия ей. Самая большая сила мышечного сокращения требуется, когда внешняя сила действует под углом девяносто градусов. В этом положении самое длинное плечо действия внешней силы. Чем больше отклонение от угла девяносто градусов, тем меньше силы требуется. Плечо действия внешней силы на костный рычаг представляет собой перпендикуляр, проведённый от оси вращения к линии, показывающей направление и место действия силы.

Сила мышечных сокращений при оказании поступательных противодействий определяется расположением каждого из звеньев относительно направления действия внешней силы. Чем больше угол действия внешней силы на звено отличается от угла 90°, тем меньшая сила требуется, для сохранения неподвижности звена.

Положением звеньев тела относительно выбранного направления поступательного воздействия определяется сила, с которой человек в состоянии воздействовать на объект с целью его перемещения. Чем больше плечо действия звена, тем меньше сила его действия, при той же силе сокращения мышцы. Плечо действия звена тела представляет собой перпендикуляр, проводимый от оси вращения звена к направлению поступательного воздействия.

Так как положение отдельных звеньев тела относительно направлений поступательных воздействий и противодействий бывает не одинаковым, то и плечи действия каждого звена будут отличаться друг от друга. В связи с чем, сила действия на объект будет ограничиваться силой действия звена, находящегося в самом невыгодном положении (при условии, что силовой потенциал мышц, связанных с каждым из звеньев, одинаков).

Оптимизация механических условий действия мышечной тяги является целью тренировочной работы по становлению и совершенствованию техники соревновательных двигательных действий. Одним из условий эффективности данной работы является индивидуальный подход к каждому занимающемуся.

Величина действия на движущийся объект связана со скоростью его перемещения. Чем больше скорость движения объекта по направлению воздействия, тем меньше величина. При этом работа, которую совершают мышцы за

единицу времени быстрого движения остаётся такой же, как и при работе в статическом режиме. Самое сильное действие на перемещаемый объект оказывается в момент, когда тот находится в неподвижном состоянии.

Снижение величины действия, по мере роста скорости движения объекта воздействия, является физическим законом, имеющим отношение ко всем механическим взаимодействиям, за исключением случаев реактивных движений.

Существует мнение, что выполнение быстрых движений характеризуется непредельными напряжениями мышц. Таковыми, например, движениями считаются - отталкивание в прыжках в длину и в высоту с места и с разбега, финальное усилие при метании спортивных снарядов.

С точки зрения физических законов попытка принизить значение силовой составляющей быстрых движений выглядит нелогичной. Первый закон Ньютона ни кто не отменял, а он говорит о том, что ускорение тела определяется делением силы действия на тело на его же массу. По этой причине ускорение менее массивного тела будет больше, чем ускорение тела с большей массой, при той же силе воздействия на них. И чем большее усилие развивают мышцы, тем больше ускорение, тем быстрее выполняется движение. Проявление максимально возможной силы обуславливает выполнение движения с максимально возможной для индивида быстротой. Из этого следует, что говорить о непредельных напряжениях мышц при выполнении быстрых движений неправильно с точки зрения физики. Другое дело, что сила действия на перемещаемый объект снижается по мере набора скорости.

В качестве примера необходимости повышения силового потенциала человека, выполняющего упражнения на скорость, можно назвать легкоатлетические метания. Ни о каком достойном результате в метаниях речь идти не может, если спортсмен не проявляет достаточно большую мышечную силу.

Снижение силы действия, по мере набора скорости объектом воздействия, сильнее всего проявляется при выполнении движений циклического плана, когда быстрота выполнения движений возрастает по мере роста их числа. Например, при выполнении стартового разгона в беге.

По мере набора скорости снижается сила действия на тело спортсмена его собственных мышц в момент отталкивания. Одновременно с этим растёт сопротивление движению со стороны атмосферы. Начинают проявлять себя и другие виды сопротивлений. В итоге, максимальную скорость спортсмен набирает в момент, когда сила действия и силы сопротивлений сравниваются. И чем большую силу способны развить мышцы спортсмена, тем с большей скоростью он будет бежать. С целью минимизации негативного эффекта сопротивления воздуха бегуны спринтеры по мере роста спортивного результата частично меняют технику бега, для того, чтобы участить шаг.

Помимо внешних факторов, силовые возможности индивида определяются рядом факторов внутреннего плана, а именно, физиологически обуславливаемым потенциалом силы мышечных волокон, степенью их утомления, количеством мышечных волокон, привлекаемых к сокращению.

Силовой потенциал мышечных волокон определяется площадью сечения миофибрилл. Чем больше площадь сечения, тем больше миозиновых головок в составе миофибрилл при одинаковой длине мышечных волокон, тем больше реакций гидролиза АТФ одновременно имеет место, тем сильнее сокращения.

Силовой потенциал мышечных волокон может меняться в процессе выполнения работы. Снижаться вследствие снижения концентрации АТФ в мышечных волокнах, и обуславливаемого этим снижением числа реакций гидролиза АТФ за единицу времени. Возвращаться к исходному уровню во время отдыха, по мере восстановления запасов АТФ. В случаях достаточно длительной работы причиной снижения силы сокращения мышечных волокон становится частичное разрушение миофибрилл кислой средой саркоплазмы.

Количество мышечных волокон, привлекаемых к работе, определяется силой волевого воздействия на моторные центры мышц. Силой волевого воздействия человек способен произвольно манипулировать так же, как и точно направлять воздействие на тот или иной моторный центр или их группу. Силу волевых воздействий человек может запоминать, включая представления о силе в состав образов движений.

Естественно, что сила волевого воздействия на моторные центры, как и активность их реакции на него, ограничивается физиологически (максимально достижимой силой возбуждения ЦНС). В то же время обнаруживаются причины, обуславливающие в большинстве случаев невозможность достижения и этих величин, заложенных природой.

Причинами, ограничивающими волевой потенциал, являются причины психического, физиологического и психофизиологического происхождения.

Причины психического происхождения это – недостаточная мотивированность на достижение цели двигательного действия и действие отвлекающих факторов.

Степенью мотивированности, во-первых, определяется потенциал волевого воздействия на моторные центры, что в итоге определяет силовой потенциал индивида при выполнении той или иной работы.

Во-вторых, степень мотивации определяет степень готовности индивида терпеть боль, возникающую в мышцах и суставах при значительных напряжениях. И если мотивация к работе оказывается недостаточной, напрягаться сильнее определённого уровня собственная нервная система индивиду не позволит. Достаточная мотивированность на достижение результата, делает возможным преодоление такого рода барьера.

Сила болевых ощущений, возникающих при физических напряжениях, определяется, прежде всего, объемом мышечной массы привлекаемой к работе. Чем больше мышц и чем больше двигательных единиц в их составе задействуются, тем сильнее боль.

Отвлекающие факторы бывают двух видов: факторы, связанные с решением задач деятельности, и факторы, с решением задач не связанные. К первым относятся действия по наблюдению и оценке окружающей ситуации, выбору вариантов движений. Необходимость в оперативном оценивании складываю-

щейся ситуации и принятии решений о последующих действиях, ещё в ходе выполнения задуманных ранее, имеет место при занятиях многими видами деятельности, в том числе, при занятиях многими видами спорта. На эту интеллектуальную работу требуется энергия. И чем сложнее работа, тем больше нервной энергии будет отводиться на проведение такого рода мыслительных процедур. Трата нервной энергии на оценку ситуации и вспоминание последующих действий приводит к снижению потенциала волевого воздействия на моторные центры. В результате этого часть двигательных единиц работающих мышц будет оставаться в нерабочем состоянии даже в случае, когда человек будет пытаться проявить максимальное усилие.

К отвлекающим факторам второго вида относятся познавательные отвлечения и проявления эмоций.

Контакт с незнакомой окружающей средой предопределяет проявление у человека познавательной потребности в её изучении, на что расходуется определённая часть нервной энергии. В связи с этим спортсмены – хозяева соревнований, получают некоторое преимущество над своими не местными соперниками.

Проявление эмоций – страха, волнения, расстройства, предопределяет снижение потенциала воли, возбуждающей моторные центры, в силу того, что проявление данных эмоциональных актов предполагает активизацию нервного возбуждения той или иной силы. По той же причине отвлекающий эффект имеет место в случае актуализации чувства радости.

Боль снижает силовые возможности индивида физиологически. Увеличивая общее возбуждение нервной системы, болевые воздействия снижают волевой потенциал человека (боль парализует волю). Чем сильнее становится боль, например, по причине накопления молочной кислоты, по причине травмы, тем слабее воздействие на моторные центры, даже если психологически человек к напряжению готов.

Следует заметить, что существуют способы противодействия эффекту снижения силового потенциала вследствие проявления болевых ощущений. Это приём ряда психоактивных веществ (анальгетиков, анестетиков, психотропных препаратов, алкоголя), а также местная анестезия, например, хлорэтилом.

Утомление нервной системы также является фактором, снижающим потенциал воли человека. Дело в том, что такого рода утомление выражается в снижении возможностей возбуждения нервной системы в целом и, как следствие, в снижении потенциала волевого воздействия на моторные центры.

Не зависимо от того, сколько нервной энергии остаётся на организацию двигательной деятельности, только часть её пойдёт на возбуждение моторных центров. Причиной этого становится негативное действие ещё одного фактора, в данном случае фактора психофизиологического происхождения.

При выполнении сложных двигательных действий, помимо возбуждения моторных центров, нервная энергия расходуется на представление того, что надо делать. Часть расходуется на удержание в сознании образа выполняемого действия, часть, когда это необходимо, направляется на вспоминание структу-

ры будущих движений. От четкости представления о движении зависит то, насколько точно оно будет выполнено. Чем сложнее совершаемое двигательное действие, чем объёмнее двигательный образ, тем больше нервных усилий требуется, чтобы в достаточной степени его сконцентрировать. Забирается же данная энергия из общего источника. Траты нервной энергии на удержание в сознании представления о движении также ограничивают потенциал волевого воздействия на моторные центры.

Попытка во что бы то ни стало проявить максимальную силу за счёт снижения внимания к технике движения, приводит к деконцентрации образа движения. Следствием этого в большинстве случаев становится искажение структуры движения со всеми вытекающими последствиями.

Как и на силовом потенциале, на качестве представлений о движениях негативно сказывается действие отвлекающих факторов и наличие болевых ощущений. Данное обстоятельство делает необходимым усиление внимания к технике двигательных действий, если боль и отвлечения будут иметь место. Энергия для этого может быть получена только за счёт снижения доли энергии, направляемой на возбуждение моторных центров. Вследствие этого мы имеем ещё большее снижения силовых возможностей.

Повторение двигательного действия, обуславливает лучшее запоминание его структуры (усиление внутриобразных связей), что, в свою очередь, ведёт к снижению доли нервной энергии, необходимой для удержания в сознании образа двигательного действия. Освобождающаяся энергия может расходоваться на возбуждение моторных центров мышц. Следствием этого станет рост объёма сокращающейся мышечной ткани и рост силы мышечного сокращения. Из этого следует, что, от того насколько освоено движение, т.е. сколько нервной энергии требуется для его качественного представления, во многом зависит, какую силу сможет проявить индивид при его выполнении.

Сказанное выше позволяет увидеть причину того, почему сила не является качеством индивида, при любых обстоятельствах проявляющимся в равной степени. Часто человек, способный проявлять значительную силу при выполнении одного двигательного действия, не может это сделать при выполнении другого, даже если работают одни и те же мышцы.

Освоение техники двигательного действия позволяет не только в большей мере реализовать уже имеющийся силовой потенциал мышечных волокон, но и предоставляет новые возможности для его роста. Включение в работу нового объёма волокон позволяет организовать их тренировку.

#### **4.2. Факторы, определяющие скоростные способности индивида**

К разряду скоростных способностей относятся следующие характеристики двигательных проявлений человека – это быстрота двигательных реакций, быстрота выполнения двигательных действий, быстрота выполнения какой-либо работы, скорость движения объектов после воздействия на них (в том числе собственного тела).



Видами двигательных реакций являются – простые и сложные реакции (когда для достижения цели деятельности требуется максимально быстрое реагирование на что-то). Видами двигательных действий: одиночные однократные движения; одиночные многократные движения; непрерываемые последовательности движений; движения стартового разгона.

*Простой реакцией* является ответ заранее известным движением на ожидаемый сигнал другого человека, на ожидаемое появление или исчезновение чего-либо, на начало или завершение каких-либо процессов. Последние два варианта по сути это те же сигналы. Быстрота простой реакции это время, прошедшее с момента поступления сигнала до момента начала движения.

Находящемуся на старте человеку необходимо одновременно представлять структуру будущего движения, величину волевого воздействия на моторные центры при начале движения, сигнал к началу движения. На данном этапе деятельности человек ставит перед собой задачу обнаружить сигнал, находясь в готовности к максимально быстрому реагированию на него.

Психофизиологическим фактором, способным ухудшить качество реакции, в частности, удлинить её физиологически обуславливаемое время (0,1-0,2 сек. в зависимости от того, на какое расстояние передаётся нервное возбуждение), негативно сказаться на технике движения, становится неправильное распределение нервной энергии между вышеназванными представлениями.

Чрезмерное сосредоточение на сигнале может привести к де-концентрации представления о движении, и наоборот, сосредоточение на структуре движения может стать причиной деконцентрации представления о сигнале. В первом случае после восприятия сигнала человек будет вынужден заново вспоминать о том, что ему следует делать. И чем хуже будет сформировано в его сознании представление о движении, тем дольше он будет вспоминать. Во втором, отсутствие в сознании стартующего представления о сигнале предопределяет отнесение времени начала движения после его восприятия до момента вспоминания о том, что именно после этого сигнала следует начать движение.

Неадекватное возможностям желание проявить максимально большую силу на старте, т.е. стартовать не только вовремя, но и как можно стремительней, приведёт к ухудшению качества представления о движении (и как следствие к нарушению техники двигательного действия). Причина этого, отчуждение нервной энергии на акт волевого воздействия на моторные центры сразу же после того, как представление о его силе актуализируется в сознании, т.е. еще до начала движения. (Чрезмерная концентрация на силе становится причиной неточного выполнения любых двигательных действий, требующих проявления максимальной силы и скорости, не зависимо от того, относятся они к разряду реакций или таковыми не являются.).

*Сложная двигательная реакция* это определение за максимально короткое время заранее не известной структуры двигательного действия, способного дать положительный результат в сложившейся ситуации. Сложные реакции являются основным содержанием деятельности в спортивных играх, единоборст-

вах, авто и мотогонках и т.д. В связи с этим именно быстротой реакций и их качеством, прежде всего, определяется успешность соревновательной деятельности в данных видах спорта.

Можно говорить о двух видах сложных реакций:

- планируемая сложная реакция – это выбор действия в условиях осознания цели (в этом случае в сознании человека наличествует познавательно-потребный образ некоего действия, ведущего к достижению цели);
- не планируемая сложная реакция – это выбор и выполнение действия до момента осознания цели.

Быстрота сложных реакций во всех случаях определяется временем актуализации образов нужных движений. Актуализация образа движения позволяет человеку его начать, что он и делает, если причин для отдаления времени начала нет. Начало движения может откладываться, например, когда целью движения является воздействие на приближающийся объект. До момента, пока данный объект не окажется в нужном месте, человек будет находиться в состоянии ожидания, удерживая представление о будущем движении в своём сознании. В этих случаях определить со стороны точное время реакции не представляется возможным.

Отсутствие актуализации представления о нужном движении предопределяет и отсутствие правильной двигательной реакции. Причиной отсутствия актуализации может становиться, как отсутствие в сознании заранее сформированного представления о нужном движении, так и отсутствие связи между образом движения и образами обстановки (в том числе с образом цели деятельности), в которой движение следует выполнять. Обучение движениям, сопровождающееся запоминанием того, где разучиваемые движения следует применять, лежит в основе формирования игровых, борцовских, боксёрских и других им подобных навыков.

Быстрота актуализации образа движения определяется силой его связи с образами цели (когда представление о цели имеет место) и обстановки, в которой движение надо делать, а также тем, насколько сосредоточен индивид на работе. Чем сильнее связи и выше концентрация внимания, тем меньше времени требуется для вспоминания движений.

Концентрация внимания, в своё очередь, предполагает усиление нервного напряжения. Но максимум, до которого может усиливаться нервное возбуждение, определяется степенью мотивированности индивида. По этой причине, как и в случаях болевых ощущений, обуславливаемых физическими напряжениями, деятельность, связанная с необходимостью максимально быстрого реагирования, требует наличия сильной мотивации, способной заставить нервную систему работать в полную силу.

Как и в случаях проявления силовых способностей, на быстроте сложных реакций сказывается действие разного рода отвлекающих факторов и наличие болевых ощущений. Чем сильнее боль и действенней отвлечения, тем слабее концентрация внимания на работе, медленнее реакция на происходящее.

Определение структуры движений в изменяющихся условиях может включать в себя этап предварительной постановки частных задач и этап более детального изучения имеющейся ситуации (когда ни о каком конкретном движении человек сразу не вспоминает). Постановка задачи заостряет внимание индивида на поиске движений, позволяющих её решить. Более детальное изучение окружающей ситуации становится возможным, когда для этого находится время, а имеющаяся информация о ситуации представляется недостаточной. Реализация данных действий удлиняет время реакции.

Одним из результатов восприятия происходящего, может становиться прогнозирование хода событий. Актуализация прогноза предопределяет выбор двигательного действия на его основе. В случае спортивных игр прогнозирование наиболее часто имеет место, когда команда или отдельный игрок защищается. Прогнозирование укорачивает время реакции, вплоть до того, что ответное действие на изменение ситуации, может реализовываться ещё до того, как данное изменение произойдёт. В одних случаях прогнозирование такого рода позволяет улучшить качество реакции, в других оказывается единственным вариантом решения стоящих задач. Например, только прогноз действий нападающего позволяет во многих случаях вратарю защитить ворота, начав движение в нужную сторону ещё до момента удара нападающим по мячу.

Вариантом планируемой сложной реакции являются действия человека в ответ на неожиданные изменения обстановки, не связанные с решением задач деятельности, осуществляемой в данный момент. Например, футболист, бегущий к мячу, обнаруживает на своём пути бросившегося в падении за тем же мячом вратаря другой команды. Инициатором мыслительного процесса в этом случае становится актуализация представления об опасности столкновения с ним и, обуславливаемое этим появление цели деятельности. Представление о цели направит мысли футболиста в сторону определения структуры действий, способных увести от столкновения. В подобных случаях быстрота реакции зависит и от того, насколько быстро человек осознает опасность происходящего.

В случае многократного повторения одной и той же ситуации представление о необходимых действиях может появляться в сознании быстрее, чем воспоминание об опасностях, с данной ситуацией связанных, т.е. до момента актуализации цели движения (не планируемая сложная реакция). В случае немедленного выполнения нужных действий о возможном негативе человек может вовсе не вспомнить, если условия для этого будут оперативно устранены. А если и вспомнить, то уже без проявления чувства страха. Примером являются действия тех же игроков при неожиданных столкновениях друг с другом. Достаточно опытный игрок, не успев испугаться, моментально на это отреагирует действием, позволяющим остаться на ногах.

Проявлением сложной реакции того же вида являются внешне не видимые действия человека по удержанию равновесия, когда он просто стоит. По причине того, что тело человека расчленено на звенья, каждое из которых способно свободно вращаться в суставах, и при этом центр тяжести человека находится достаточно высоко, стоящий человек оказывается в состоянии неустой-

чивого равновесия. Сохранить равновесие позволяет непрерывная работа мышц голеней и бёдер, возвращающая тело в вертикальное положение при малейшем отклонении от него (собственно двигательная реакция).

От здорового взрослого человека такого рода работа не требует какого-либо значительного напряжения и потому он на неё практически не обращает внимания. Этого не скажешь о детях, впервые становящихся на ноги. Отсутствие тренировочной практики предопределяет отсутствие нужных реакций на изменение положения частей тела и, как следствие, делает неизбежными падения.

Особое место в механизме двигательной реакции данного вида занимает функционирование вестибулярного аппарата. Его задачей является формирование представления о вертикальной линии, отклонения от которой фиксируются сознанием. Фиксация отклонения инициирует актуализацию представления о необходимости работы тех или иных мышц.

Существуют виды деятельности, требующие специальной отработки техники удержания равновесия. Это виды, связанные с передвижениями по узкой опоре, и виды, при осуществлении которых тело подвергается разнонаправленным, неожиданным воздействиям различных сил. Например, при выполнении упражнений на бревне в гимнастике, при спуске с гор на лыжах.

При оценке способностей индивида к сложному реагированию необходимо учитывать не только время реагирования, но и качество реакции, т.е. в какой степени выполненное двигательное действие решает поставленные задачи и приближает к достижению цели деятельности. При этом качество следует оценивать с двух позиций. Во-первых, с точки зрения точности исполнения задуманного действия. Во-вторых, с точки зрения его эффективности в сложившейся ситуации. В последнем случае мы оцениваем не только быстроту выбора, но и его правильность.

Таким образом, быстрота сложной двигательной реакции, прежде всего, определяется быстротой работы сознания.

*Быстрота одиночного однократного движения* определяется силой действия мышц на звенья тела, механическими условиями действия мышечной тяги, сопротивлением движению. Сила действия мышц, в свою очередь, регулируется сознанием человека, через механизм волевого воздействия на моторные центры. О факторах, ограничивающих волевой потенциал, мы уже говорили.

*Быстрота движений, совершаемых последовательно непрерывно*

Задача совершения комбинации движений в режиме non stop предполагает вспоминание о последующих движениях по ходу выполнения предыдущих. Нервная энергия, затрачиваемая на вспоминание, не может использоваться с целью возбуждения моторных центров. По этой причине сила действия мышц и, как следствие, быстрота движений, совершаемых в режиме non stop, оказывается меньшей, по сравнению с тем, когда они совершаются по отдельности. Исключением являются некоторые двигательные действия циклического плана, когда совершение предыдущего движения создаёт условия для более быстрого выполнения последующего.



Освоение движений и запоминание их последовательности создаёт условия для роста доли энергии, направляемой на возбуждение моторных центров, и, как следствие, к росту быстроты движений.

Количество совершаемых движений за единицу времени называют темпом. Рост быстроты выполнения одиночных движений приводит к росту темпа.

#### *Быстрота стартового разгона*

Стартовый разгон это последовательность циклических движений, когда каждое последующее движение выполняется быстрее предыдущего. От того, сколько энергии будет тратить человек на представление последовательности и структуры стартовых движений, будет зависеть быстрота набора скорости и её предельная величина.

Особыми видами последовательностей движений являются двигательные действия, предполагающие *совершение ряда циклических движений с последующим выполнением движения, имеющего другую структуру*. Например, прыжок в длину с разбега. Особенностью данного действия является необходимость представлять движение выталкивание всё время разгона. Естественно, что на это отводится своя доля энергии. По этой причине скорость бега прыгуна во время разбега оказывается меньше его же скорости, при обычном беге.

Быстрота выполнения *одиночного многотактного движения* определяется теми же факторами, что и в случаях выполнения последовательностей движений.

Фактором, во многом определяющим быстроту выполнения всех названных выше видов действий индивидом, является его анатомическая конституция. Чем длиннее конечности, чем выше рост, тем ниже потенциал быстроты, при прочих равных условиях.

*Скорость движения объектов после воздействия на них* также во многом определяется анатомической конституцией индивида. Естественно, что, чем быстрее делается воздействующее движение, тем большую скорость приобретает объект воздействия. Но при той же скорости, которую приобретёт объект воздействия, будет выше у более высокого человека, чьи конечности длиннее. Причина этого в том, что преодоление объектом воздействия большего расстояния за тоже время воздействия возможно только в случае придания объекту большего ускорения. При одинаковой силе воздействия на снаряд, т.е. при одинаковом его ускорении, более высокий человек действует на снаряд дольше, что позволяет и в этом случае придать тому большую скорость и достичь, тем самым, лучшего результата.

*Быстрота выполнения определённой работы* определяется частотой совершаемых движений и их интенсивностью.

В ряде случаев с ростом интенсивности возрастает быстрота выполнения отдельных движений. Рост быстроты, в свою очередь, способствует росту частоты.

Чем выносливей в данном виде деятельности индивид, тем выше интенсивность его движений, выше частота.



Своё влияние на длительность работы может оказывать быстрота вспоминания содержания работы.

#### **4.3. Факторы, определяющие возможности ловкости индивида**

Ловкость это способность человека обучаться выполнению движений и действовать в нестандартных (новых для себя) ситуациях.

Быстрота обучения движениям, прежде всего, определяется способностью индивида к формированию представлений о движениях или моторных программ. Обоснованием этого являются приведённые выше результаты исследования механизмов формирования двигательных навыков.

В основе формирования двигательных навыков лежит двигательная память. Как и возможности других видов памяти, возможности двигательной памяти, определяются генетикой индивида. Отдельными составляющими двигательной памяти являются – способность к запоминанию кинестетической структуры движений, способность к запоминанию силовых и временных характеристик собственных действий, способность к запоминанию характеристик движения окружающих объектов, способность к запоминанию способов сохранения равновесия и быстрому реагированию на изменения положения тела.

Ещё одной составляющей успеха при обучении движениям является двигательный опыт индивида. Связано это с тем, что разные двигательные действия могут включать в свой состав общие элементы. Наличие известных элементов в структуре вновь разучиваемых движений позволяет быстрее овладевать ими (перенос двигательного навыка).

Двигательный опыт и возможности двигательной памяти определяют результативность работы, когда человек вынужден что-то делать без предварительного обучения. В данном случае подразумевается ситуация, когда человеку показывают, что надо делать, а от него требуется тут же скопировать увиденное. По сути, максимально быстро обучиться, т.е. сформировать в своём сознании представление о кинестетической структуре движения и организовать правильную работу своих мышц.

Знания и опыт человека лежат в основе его способности действовать в незнакомых ситуациях. Опыт и знания позволяют, во-первых, оперативно, исходя из цели деятельности и наличествующих условий, формулировать частные задачи, во-вторых, вспоминать о действиях, посредством выполнения которых подобные задачи решались, в-третьих, результативно их выполнять.

Одним из вариантов работы мысли в нестандартных условиях, является вспоминание о действиях, выполнявшихся по другому поводу, но одним из следствий которых оказывался нужный сейчас результат.

Способность к деятельности в нестандартных ситуациях предполагает использование опыта деятельности других людей. Размышляя о том, что делать человек может вспомнить о действиях вторых лиц в тех или иных ситуациях, вспомнить о том, какие задачи они перед собой ставили и т.д.

Ещё до начала выполнения, в структуру двигательных действий могут вноситься изменения, учитывающие возможности реализации задуманного в имеющейся ситуации. Выполнение же пробных попыток даёт возможность модернизировать структуру, уже в зависимости от получаемых результатов.

При отсутствии вспоминания о нужных движениях человек может их *самостоятельно конструировать*. Основой для конструирования становится тот же двигательный опыт, а также знание устройства собственного тела и возможностей организации движений его звеньев.

Определение содержания деятельности в нестандартных ситуациях, когда обстановка требует принятия как можно более быстрых решений, можно считать вариантом сложной реакции.

Возможности ловкости индивида во многом определяются работой его сознания, его опытом и знаниями, дающими основу для работы мысли. Но для того, чтобы реализовать задуманное, помимо знания надо быть физически готовым это сделать. В связи с этим, в зависимости от задач деятельности, условий, в которых она осуществляется, силовые способности, выносливость и гибкость могут решающим образом сказываться на возможностях ловкости индивида.

Ловкость развивается в процессе двигательной практики индивида и роста его физических способностей других видов. Чем разнообразнее двигательная практика, чем большим числом движений индивид овладевает, тем большими становятся возможности его ловкости. При этом не может идти речь об абсолютной ловкости, т.е. о её проявлении во всех случаях, когда это необходимо. Насколько быстро научится индивид тому или иному двигательному действию, насколько качественно он сможет решить ту или иную задачу деятельности в некоей нестандартной ситуации, сможет ли он данную задачу вообще сформулировать, будет зависеть от содержимого его двигательного опыта, т.е. от того, чему индивид конкретно учился и чему конкретно научился к этому времени. Важнейшее значение также будет иметь не только содержание, но и качество двигательной подготовки индивида. Чем освоение движения его двигательного багажа, тем большим будет эффект, в случае опоры на них, при постановке и решении задач деятельности.

Объём, разносторонность и качество двигательного опыта определяется не только стремлением индивида к качественному освоению новых движений и разнообразием его интересов. Вне меньшей степени объём, разносторонность и качество двигательного опыта определяются возможностями его двигательной памяти. Чем она лучше, тем большему числу движений человек сможет обучиться за время тренировок, тем в большей степени он их освоит. При этом надо иметь в виду, что возможности двигательной памяти, не развиваются. Её возможности определяются генетическими факторами так же, как и способности к изучению иностранных языков, сочинению стихов, написанию музыки и т.д. Непосредственно в процессе тренировки, как и при изучении языков, развиваются не способности, а накапливается багаж знаний и навыков, ускоряющий дальнейшее обучение, что ошибочно и принимается за развитие способностей.

#### 4.4. Факторы, определяющие возможности физической выносливости индивида

Существует множество определений физической выносливости. По нашему же мнению лучше всего раскрывает суть данного явления следующее из них: выносливость – это способность к сохранению физической работоспособности в условиях непрерывной двигательной деятельности. Под работоспособностью в данном случае подразумевается наличие у индивида возможности проявлять достаточную для выполнения некой работы силу. Например, бежать с определённой скоростью, поднимать гирю определённого веса, подтягиваться на перекладине и т.д. Утомление, выражающееся в снижении силового потенциала мышечной системы, может сделать невозможным проявление нужной силы, т.е. привести к утрате работоспособности.

Возможности физической выносливости *относительны*, т.е. результаты одного и того же человека при выполнении разных видов работ, требующих выносливости, всегда отличаются, и во многих случаях существенно.

Основными факторами, обуславливающими отличия, являются:

- неадекватная готовность разных мышц к длительной работе (причинами разной готовности мышц могут быть отличия композиции, разная тренированность, разная направленность тренировки);
- разная эргономичность техники разных двигательных действий;
- разная освоенность двигательных действий;
- вес работающего (данный фактор во многом определяет результат, когда целью деятельности является перемещение собственного тела);
- особенности телосложения индивида (определяют эффективность отдельных движений и затраты энергии на их выполнение в зависимости от вида движений).

Помимо отличий возможностей индивида при осуществлении разных работ результаты одного и того же человека всегда не одинаковы при выполнении одной и той же работы, но с разными проявлениями силы. Например, передвижение с разной скоростью. О причинах этого будет сказано ниже.

В зависимости от видов и целей деятельности оценивать физическую выносливость можно:

- по длительности статического напряжения одной силы (длительность удержания груза);
- по количеству движений, которое в состоянии сделать человек без отдыха, в одном темпе, проявляя заданную силу;
- по количеству движений, которое в состоянии сделать человек без отдыха, в одном темпе, проявляя заданную силу;
- по количеству времени, затрачиваемого на выполнение **определённого числа** таких движений;
- по силе, которую человек может проявлять, совершая заданное количество движений в одном темпе (в частности, силой мышечных сокращений при выталкивании определяется скорость бега);

- по количеству движений, совершаемых за отведённое время, и силе мышечных сокращений, когда рост силы ведёт к обязательному росту частоты движений (спортивная ходьба, велоспорт);

- существуют виды деятельности, где установить возможности физической выносливости индивида невозможно ни по одному из вышеозначенных критериев. Связано это с тем, что содержанием деятельности в этих случаях является выполнение большого числа отличных по структуре движений с разной, в зависимости от обстоятельств, интенсивностью, в разном темпе. Выявить наиболее выносливого по результатам такого рода деятельности в целом, также не представляется возможным, так как проявление выносливости в этих видах является важным, но не единственным фактором, определяющим достижение максимального результата. Всё это имеет отношение практически ко всем видам спортивных единоборств, а также к большей части спортивных игр. Единственным вариантом оценки выносливости людей, занимающихся данными видами деятельности, является измерение объёма работы, которую делает человек за отведённое время.

Результаты оценки возможностей физической выносливости по названным показателям далеко не всегда совпадают с результатами соревновательной деятельности тех же людей, даже там, где физическая выносливость является определяющим качеством. Дело в том, что помимо возможностей восстановления организма для соревновательного результата имеет значение, как было сказано выше:

- эргономичность техники двигательных действий, совершаемых в процессе соревнований;
- освоенность техники двигательных действий;
- вес спортсмена (данный фактор во многом определяет результат, когда целью деятельности является перемещение собственного тела);
- особенности телосложения индивида.

Как мы уже говорили, организацию движений, не предполагающих значительных усилий, берут на себя волокна медленных, небольших по объёму, двигательных единиц. Рост силы предполагает рост числа работающих волокон. К сокращению последовательно начинают привлекаться всё более крупные двигательные единицы. В связи с этим, по мере роста силы сокращения всё большим становится вклад в работу волокон быстрого типа. По причине того, что восстановительные способности волокон двух типов существенно отличаются, работа, которую может сделать человек, совершая в большей или меньшей степени интенсивные движения, будет отличаться по объёму. Чем сильнее сокращения, тем меньшим будет объём работы, который он сможет в целом освоить. Чем большую силу прикладывает индивид, совершая отдельные движения, тем больше снижается его силовой потенциал при выполнении одного и того же объёма работы. Главной причиной этого является действие молочной кислоты, всё в больших объёмах вырабатываемой по мере роста мышечных напряжений.

Физическая работа предполагает функционирование мышечной системы в одном из трёх режимов:

- в режиме некомпенсируемого сохранения работоспособности;
- в режиме компенсируемого сохранения работоспособности;
- в режиме снижения силы мышечных сокращений.

Работа в режиме первого типа предполагает полное восстановление расходуемой АТФ работающими волокнами в процессе самой работы, за счёт реакций гликолиза и окислительного фосфорилирования. Характеристикой работы в данном режиме является фиксация ЧСС и ЧД на уровне достаточном для обеспечения мышечной системы кислородом.

Работа в режиме второго типа предполагает постепенное привлечение к работе дополнительных двигательных единиц мышцы, в случае не достаточного восстановления мышечных волокон, работающих изначально. Рост объёма сокращающейся мышечной ткани позволяет компенсировать снижение силы работавших волокон.

Мышца, работающая в режиме компенсируемого утомления, может перейти в режим работы первого типа. Происходит это в случае уравнивания расхода энергии и её воспроизводства за единицу времени за счёт роста числа работающих мышечных волокон. Отсутствие уравнивания предопределяет продолжение работы в режиме второго типа вплоть до полного истощения ресурсов рекрутирования мышечных волокон.

По мере роста числа волокон, вовлекаемых в работу, растёт потребность мышечной системы в кислороде. В связи с этим частота сердечных сокращений при работе во втором режиме непрерывно растёт так же, как и частота дыхания. Переход в режим работы первого типа предопределяет фиксацию достигнутой ЧСС и ЧД.

Работа в режиме снижения силы мышечных сокращений имеет место при отсутствии возможностей увеличения числа работающих мышечных волокон, т.е. либо при изначально максимальных напряжениях, либо, при истощении возможностей их рекрутирования, в процессе работы во втором режиме.

Количество работы в режиме первого типа ограничивается действием нескольких факторов.

В случае длительной условно низкоинтенсивной работы имеет место значительное снижение запасов гликогена и жирных кислот в работающих мышечных волокнах. Снижение ниже критического уровня, ведёт к замедлению всех реакций энергообеспечения. Быстрота снижения запасов энергоносителей во много определяется возможностями доставки в мышечную ткань жиров и углеводов с кровотоком. Одновременно с этим в работающих волокнах непрерывно идёт процесс разрушения миофибрилл кислой средой. Скорость данного процесса небольшая (так как степень закисливания медленных волокон невысокая), но с течением времени разрушения становятся всё более заметными. Действие обоих факторов обуславливает постепенное снижение силы сокращений работающих волокон, что требует увеличения их числа. Но в этом случае



рост объёмов работающих волокон не сопровождается ростом потребляемого кислорода, ростом ЧСС и ЧД.

Другим фактором, ограничивающим время работы в первом режиме, является производство молочной кислоты. Образуется молочная кислота в случае недостаточной для полноценной утилизации пировиноградной кислоты и водорода производительности митохондрий. Рост силы болевых ощущений, обуславливаемый накоплением молочной кислоты в межклеточном матриксе, неизбежно приводит к тому, что со временем инициировать сокращение нужного объёма мышечной ткани нервная система оказывается не в состоянии. По этой причине время сохранения работоспособности в этих случаях ограничивается временем достижения пороговой силы болевых проявлений. (Пороговая сила болевых ощущений это сила боли, при которой человек не может включить в работу объём мышечной массы, достаточный для достижения нужной величины действия на объект или собственное тело.).

Быстрота достижения пороговой силы болевых ощущений находится в зависимости от силы мышечных сокращений и числа работающих мышц. Чем больше мышц работает и чем сильнее их сокращения, тем короче время. Причин этому несколько. Во-первых, чем больше сила сокращения мышц, тем ниже пороговая сила болевых ощущений. Во-вторых, чем интенсивней работа, тем активней идёт образование молочной кислоты мышцами. В-третьих, чем больше мышц вырабатывает молочную кислоту, тем больше общая величина болевых ощущений.

Именно болью объясняется отсутствие возможности у спортсмена, показывающего высокие результаты в беге на средние дистанции, пробежать с тем же успехом марафон. Это имеет место, не смотря на то, что в целом потенциал воспроизводства энергии в реакциях окислительного фосфорилирования и гликолиза у средневика выше, чем у специалиста марафонца. Но, когда бегут они со скоростью последнего, доля окислительного фосфорилирования в общем объёме воспроизводства энергии у средневика оказывается меньшей (следствие более быстрой мышечной композиции и специализации в беге с большей скоростью). Данное обстоятельство предопределяет гораздо больший рост силы болевых ощущений у средневика, по сравнению с марафонцем при пробегании одного и того же расстояния. По этой причине через некоторое время спортсмен средневик оказывается не способным включить в работу нужный объём мышечных волокон, оставляя, тем самым неиспользованным имеющийся потенциал воспроизводства энергии.

Причиной отсутствия у марафонца возможности пробежать среднюю дистанцию со скоростью специалиста средневика, даже если он в состоянии начать бег в нужном темпе, становится более раннее достижение болевого порога, так как бег в темпе средневика, требует от марафонца, куда большего проявления воли, чем от бегуна на средние дистанции (следствие более медленной мышечной композиции). Помимо этого у марафонца при беге с большей, чем обычно скоростью, могут возникнуть проблемы с дыханием.

Время работы в первом режиме (с учётом возможностей рекрутирования не работавших волокон без роста потребляемого кислорода) может составлять от нескольких секунд до нескольких часов - в зависимости от силы мышечных сокращений, числа работающих мышц, частоты и длительности отдельных сокращений, тренированности индивида.

Количество работы в режиме второго типа определяется возможностями восстановления как изначально задействованных, так и вновь привлекаемых к сокращению мышечных волокон. И здесь свой вклад в развитие утомления вносит молочная кислота, накапливающаяся в работающих мышцах. Боль не позволяет задействовать максимально большое число двигательных единиц и выполнить дополнительно некоторое количество движений с тем же проявлением силы.

Ещё одним фактором, способным ограничить время работы во втором режиме, является выносливость дыхательного аппарата. Дело в том, что по мере роста числа мышечных волокон, включаемых в работу, растёт частота дыхания. Превышение частоты дыхания пороговой величины приводит к недовосстановлению дыхательных мышц, снижению силы их сокращений и, как следствие, снижению объёмов лёгочной вентиляции. Возникающий в связи с этим дефицит кислорода предопределяет снижение силы сокращения работающих мышечных волокон и активизацию производства молочной кислоты. Будет превышена пороговая частота дыхания или нет, зависит не только от того, насколько выносливы дыхательные мышцы. Значение имеет и то, какое количество мышечной массы задействуется в работе. Чем больше масса работающих мышечных волокон, тем больше кислорода они требуют, тем чаще дыхание. По этой причине превышение пороговой частоты дыхания, прежде всего, наблюдается при выполнении работ, требующих участия большого числа крупных мышц. Например, при переноске тяжёлых грузов вверх по лестнице.

В случае совершения циклически-непрерывных движений длительность работы во втором режиме до двух минут.

Быстрота снижения работоспособности при изначально максимально интенсивной работе в режиме третьего типа преимущественно определяется быстротой снижения концентрации АТФ в волокнах быстрого типа. Последнее определяется возможностями восстановления АТФ и частотой совершаемых движений. С течением времени здесь также начинает действовать фактор болевого шока. Время пребывания работающего в более или менее комфортном состоянии будет отличаться в зависимости от объёма работающей мышечной массы и производительности окислительного фосфорилирования. От объёма работающей мышечной массы также зависит, превысит частота дыхания пороговую величину или нет.

Выполнение движений с максимальным усилием, требующих значительных нервных напряжений, становится причиной быстрого утомления центральной нервной системы, что также снижает силовой потенциал работающего.

Особенностью третьего режима является то обстоятельство, что по мере снижения трат энергии мышечная система оказывается в состоянии перейти в

режим работы первого типа. При условии, что к тому времени человек не отказывается от продолжения работы. (Траты работающих волокон снижаются до уровня собственных возможностей энерговоспроизводства, кроме того, имеет место снижение объёма работающей мышечной массы, по причине действия молочной кислоты.).

Факторами, влияющими на итоговые результаты работы, являются амплитуда отдельных движений и их частота. Чем короче движения при той же силе мышечных сокращений и чем больше времени отводится мышцам на восстановление (в случае совершения циклически-прерывных движений), тем большее количество движений можно будет сделать. Частотой и длительностью напряжений определяется интенсивность, с которой организм может работать в первом режиме. Чем короче напряжения и чем они реже, тем большую силу может проявлять индивид.

Возможности человека при выполнении разных видов работ во многом зависят от массивности мышц, к работе привлекаемых. Чем массивней мышца, тем ниже её конкурентоспособность при выполнении движений, не требующих сильных напряжений. Основной причиной этого является снижение коэффициента полезного действия работы мышцы. Дело в том, что выполнение движений с малыми проявлениями силы, при наличии значительного массива неработающих волокон, требует значительных трат энергии мышечного сокращения на преодоление сопротивления укорачивания последних. Снижение КПД делает необходимым увеличение числа мышечных волокон, привлекаемых к сокращению, и, как следствие, предопределяет, во-первых, рост производства молочной кислоты, во-вторых, снижение болевого порога. По этой причине человек с большей мышечной массой утрачивает работоспособность быстрее, чем человек, мышечная масса которого оптимальна для работы с такой интенсивностью. Чем объёмней мышцы индивида, тем в большей степени ему подходят соревнования на выносливость, предполагающие более значительные мышечные напряжения (бег на более короткие дистанции, упражнения с более тяжёлыми снарядами, перенос более тяжёлых грузов и т.д.). Данными же обстоятельствами обуславливается и влияние мышечной композиции индивида на результативность выполняемых им работ, в зависимости от того, какая величина мышечных усилий требуется. Как было сказано выше, масса мышцы помимо тренировки определяется её композицией. Чем быстрее композиция, тем больше мышечных волокон входит в её состав. Чем быстрее композиция, тем больше волевых усилий требуется для совершения низкоинтенсивных движений, по сравнению с усилиями индивида с медленной композицией.

Количество вовлекаемых в работу мышечных волокон, как мы знаем, регулируется волевыми воздействиями на моторный центр мышцы. Отбор же нервной энергии на удержание в сознании образа движения потенциал воздействия снижает. В связи с этим освоенностью движений во многом определяются возможности центральной нервной системы по привлечению максимально большего числа двигательных единиц к сокращению, при работе во всех режимах.

По мере роста болевых ощущений спортсмен может урезать количество нервной энергии, отводимой на представление движения. Делается это с целью повышения потенциала волевого воздействия на моторные центры и поддержания на нужном уровне силы мышечных сокращений. Негативным следствием этого становится снижение чёткости представлений о движениях, потеря их точности и в ещё большей степени быстрое утомление.

Ухудшаться техника движений может и вследствие неравномерного утомления работающих мышц, что требует корректировки композиции сил волевых воздействий на моторные центры. Тренировочная работа по формированию представлений о композиции волевых воздействий на моторные центры мышц во всех фазах утомления, является важным условием развития специальной выносливости.

## **ГЛАВА 5.**

### **РАЗВИТИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СПОСОБНОСТЕЙ**

(физиологические аспекты, принципы и методы тренировки)

#### **5.1. Развитие силовых способностей**

Как было сказано выше, сила, которую индивид может проявить при решении той или иной двигательной задачи, определяется - качеством техники движений, степенью освоенности техники движений, силовым потенциалом включаемых в работу мышечных волокон.

В связи с этим тренировочный процесс, целью которого является увеличение силовых показателей, предполагает:

1. Определение индивидуально оптимальных характеристик кинестетической структуры двигательных действий;
2. Обучение выполнению данных движений;
3. Повышение степени освоенности движений;
4. Увеличение силового потенциала мышечных волокон.

О механизмах и условиях формирования двигательных навыков, методах обучения движениям и способах их освоения мы уже говорили. Остановимся на физиологических аспектах силовой тренировки мышечной системы.

##### ***5.1.1. Физиология тренировочного эффекта при развитии силы мышечных сокращений***

Одним из следствий выполнения физической работы может становиться рост поперечника работавших мышц или их рабочая гипертрофия.

Выделяют два типа рабочей гипертрофии – саркоплазматический и миофибрилярный. Саркоплазматическая рабочая гипертрофия – это утолщение мышечных волокон вследствие роста объёма саркоплазмы, роста объёма митохондрий, роста запасов энергетических источников мышечного сокращения (АТФ, КРФ, гликогена, жирных кислот).

Рабочая гипертрофия данного типа не ведёт к росту силы мышц, а предполагает рост выносливости.

Миофибрилярная рабочая гипертрофия – это утолщение мышечных волокон вследствие роста объёма миофибрилл. Гипертрофия данного вида предопределяет рост силового потенциала мышцы. Миофибрилярная гипертрофия всегда сочетается с саркоплазматической, так как рост миофибрилл предполагает адекватный рост возможностей энерговосстановления.

Миофибрилярная гипертрофия становится следствием активизации синтеза миофибрилл. По современным представлениям активизация синтеза миофибрилл это реакция мышечной клетки на появление метаболитов мышечной деятельности в саркоплазме (например, креатина). Метаболиты индуцируют транскрипцию в ядрах мышечной клетки молекул РНК на участках ДНК, содержащих информацию о строении белков миофибрилл. Активный синтез миофибрилл начинается по окончании работы и длится определённое время. В



мышечных волокнах, не принимавших участия в работе, синтез белка миофибрилл отсутствует. Из этого следует, что результативность тренировки силы конкретной мышцы определяется количеством работавших мышечных волокон. В связи с этим важнейшим принципом тренировки силы является *принцип выполнения большого числа тренировочных упражнений с предельным и около предельным напряжением*.

Негативным следствием сокращения мышечных волокон является разрушение части актиновых и миозиновых нитей кислой средой саркоплазмы. Закисливание саркоплазмы становится следствием химических реакций, получающих развитие с момента начала мышечного сокращения. Степень закисливания определяется производительностью окислительного фосфорилирования АДФ в митохондриях. Разрушение миофибрилл является одной из причин снижения силового потенциала, т.е. утомления, при физической работе.

### 5.1.2. Свойства суперкомпенсации и принципы развития силы мышц

Свойством организма является способность не просто восстанавливаться после любого вида работ, а восстанавливаться с запасом. Называется это явление *суперкомпенсация* или супервосстановление. Супервосстановление выводит работавшие системы на более высокий, по сравнению с имевшимся, функциональный уровень. Происходит не только восстановление потраченного, но и его прирост.

Супервосстановление миофибрилл обуславливает тренировочный эффект при развитии силы.

Схему развития вышеозначенных процессов представляет график суперкомпенсации (рис 10). Ось  $F$  – сила мышечного волокна, ось  $t$  – время.  $A$  – сила на начало тренировки,  $B$  – сила по завершении тренировки.  $C$  – сила по завершении восстановления.  $A - C$  величина суперкомпенсации. Угол  $\beta$  – скорость восстановления (скорость синтеза миофибрилл).

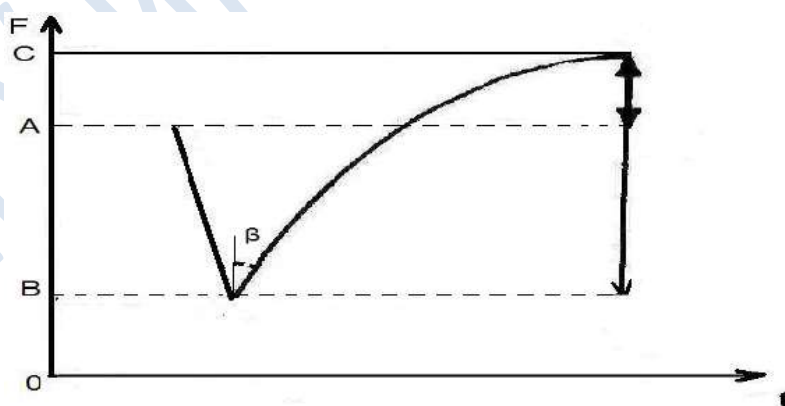


Рис. 10.

Скорость синтеза миофибрилл по завершении тренировки находится в зависимости от объема сделанной работы. Чем больше работа, тем активнее синтез. На рисунке 11 – зависимость начальной скорости восстановления (скорости

синтеза миофибрилл) от объёма выполненной работы и связанного с этим утомления.

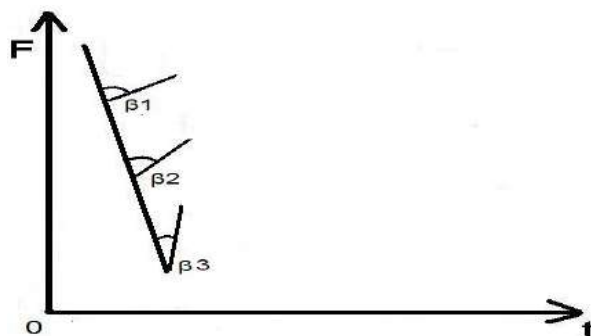


Рис. 11.

Зависимость начальной скорости восстановления от объёма тренировки не линейная. Прирост активности восстановительных процессов, по мере роста объёма сделанной работы, становится всё меньшим. На рисунке 12 – изменение начальной скорости синтеза миофибрилл с ростом объёма тренировки.  $V$  – объём тренировочной нагрузки в условных единицах,  $S$  – начальная скорость восстановления (скорость синтеза миофибрилл). С ростом объёма прирост скорости снижается, стремясь к нулю.

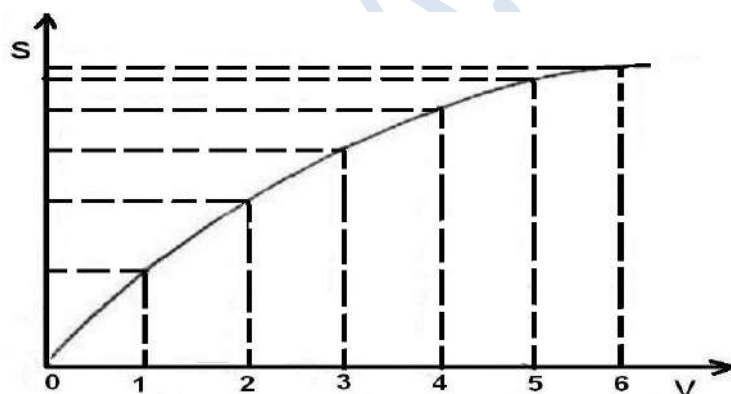


Рис. 12.

Восстановительная активность с течением времени падает (Рис. 10). При этом, чем выше начальная скорость синтеза миофибрилл, тем дольше восстановительные процессы имеют место. За счёт этого не только компенсируется большая потеря силы после выполнения более объёмной тренировочной работы, но и возрастает величина суперкомпенсации (Рис. 13).

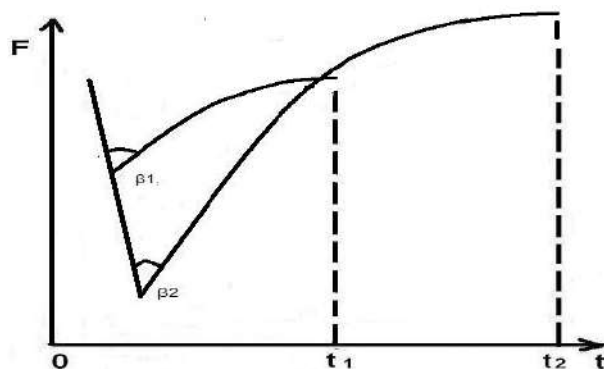


Рис. 13.

По начальной скорости синтеза миофибрилл можно судить о восстановительном потенциале, накопленном мышечным волокном за время работы. (Восстановительный потенциал это количество белка миофибрилл, способного синтезироваться вследствие проведённой тренировки.).

В связи с тем, что по мере тренировки потенциал восстановления возрастает всё в меньшей степени (Рис. 14), неминуемо наступает такое состояние, когда дальнейшее продолжение работы становится причиной снижения тренировочного эффекта.

На рисунке 14 – скорость синтеза миофибрилл в случаях С и D одинакова, но снижение силы в случае D больше. Большее утомление по завершении тренировки становится причиной того, что тренировочный эффект в случае D будет меньшим, чем в случае С.

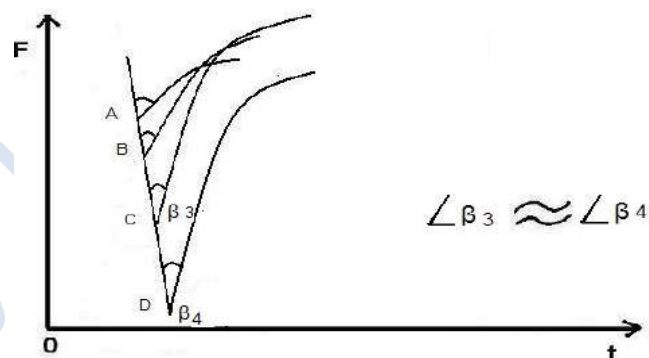


Рис. 14.

Тренировочная работа, результатом которой становится накопление восстановительного потенциала максимально превышающего затраты, является оптимальной нагрузкой (Рис. 15).



Рис. 15.

Тренировочные нагрузки как больших, так и меньших объемов менее эффективны. Причём, чем больше отклонение от оптимальной величины, тем меньше эффект. Значительное превышение оптимального объема тренировочной работы может привести не только к снижению эффекта суперкомпенсации, но и к недовосстановлению до уровня, имевшегося до начала тренировки. *Оптимальность* тренировочной нагрузки является ещё одним *принципом* тренировки силы.

При определении оптимального объема нагрузки следует иметь в виду, что утомление волокон разных типов после выполнения одной и той же работы оказывается разным. Оптимальный объем работы для медленных волокон больше оптимального объема быстрых.

В процессе эксперимента, проведенного с целью определения величины нагрузки, дающей максимальный тренировочный эффект при развитии силы, было установлено, что таковой является нагрузка, после которой сила тренируемой мышцы снижается на семь-девять процентов от имевшейся до тренировки.

Физиологическим свойством организма является замена роста силы мышечного волокна её снижением. Пик суперкомпенсации как раз и является тем моментом, когда один процесс заменяется другим (Рис. 16).

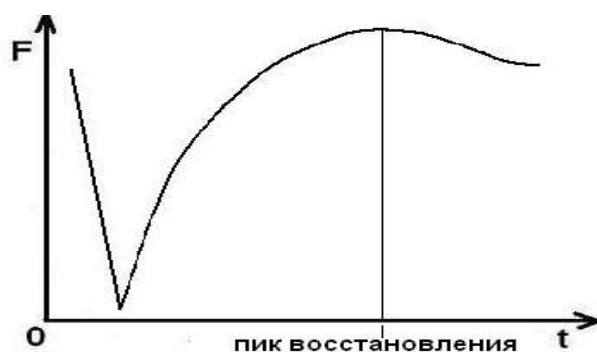


Рис. 16.

Снижается сила по причине того, что в организме непрерывно идёт процесс обратный синтезу мышечных белков, а именно, процесс их разрушения гидролитическими ферментами. В состав данных ферментов входят гормоны глюкокортикоиды, вырабатываемые корой надпочечников.

Скорость разрушения миофибрилл находится в зависимости от тренированности мышечного волокна. Чем сильнее миофибриллярная гипертрофия волокна, тем активнее разрушаются миофибриллы (как в абсолютных, так и в относительных единицах). По-видимому, мышечная клетка по мере роста объёма миофибрилл начинает всё более активно синтезировать гидролитические ферменты и рецепторы глюкокортикоидов.

Действие эффекта разрушения миофибрилл гидролитическими ферментами предопределяет необходимость соблюдения такого принципа организации тренировочных занятий, как *регулярность*, а также требует определения оптимального времени восстановления после каждого из них.

На первый взгляд наиболее благоприятным сроком проведения последующих занятий является момент достижения пиков восстановления. В случае учащения занятий, как и при слишком редком их повторении, общий тренировочный эффект оказывается ниже (Рис. 17). Но верным это остаётся только когда речь идёт об одинаковых объёмах тренировочной работы.

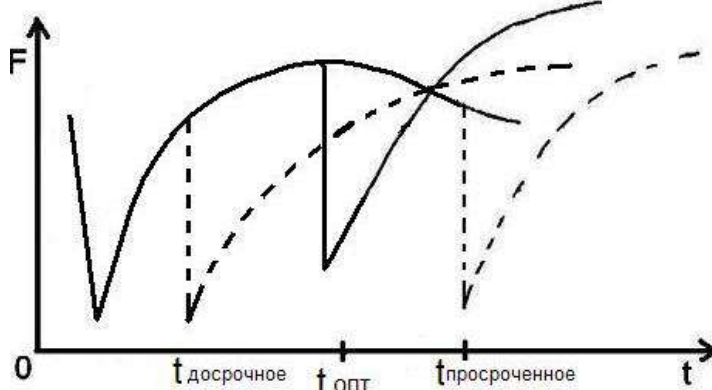


Рис. 17.

При соблюдении определённых условий учащение занятий эффективностью тренировочной работы не только не снижает, а, наоборот, в значительной мере его повышает. Скажем об этом.

Если сравнить потенциалы восстановления, накапливаемые в процессе работы по мере снижения силы сокращения волокна, и остаточные потенциалы восстановления по достижении той же силы, когда спортсмен отдыхает, то окажется, что остаточные потенциалы выше. (При условии проявления эффекта суперкомпенсации по завершении восстановления.).

На рисунке 18 – углы  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ , показывающие величину накапливаемого потенциала восстановления по мере роста объёма сделанной работы и снижения силы мышцы, больше углов  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ , показывающих потенциал восстано-



ния при тех же силах мышечного волокна во время восстановительного периода по завершении тренировки в полном объёме.

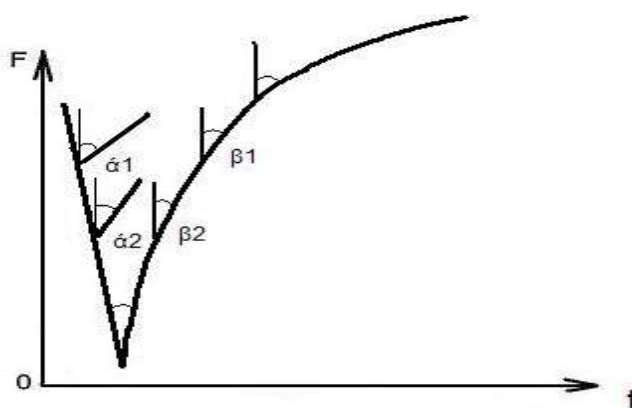


Рис. 18.

Из этого следует, что для восстановления максимальной активности синтеза миофибрилл в условиях, когда этот процесс ещё идёт, тренировочной работы требуется меньше.

Данное обстоятельство делает возможным выполнение за один и тот же период времени (например, за месяц) *большого* объёма работы, при сохранении величины суперкомпенсации на единицу объёма. Для этого необходимо проводить тренировки чаще, снижая на адекватную величину нагрузку на каждой из них. Учащение занятий ведёт к росту производительности синтеза миофибрилл, в сочетании со снижением объёма работы, требующейся для достижения тех же результатов синтеза при проведении занятий на пиках суперкомпенсации. Всё это ведёт к более быстрому росту силы.

На рисунке 19 – итоговый прирост силы ( $F_{пр}$ ), в случае проведения повторных тренировочных занятий до момента достижения пика суперкомпенсации, с одновременным снижением их объёма, выше, чем прирост силы за то же время в случае, когда повторные тренировки проводились в момент достижения пика суперкомпенсации ( $F_{пр2}$ ).

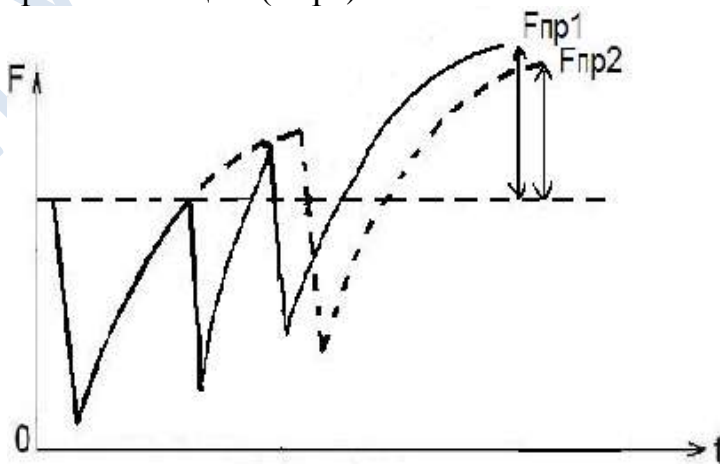


Рис. 19.

Учащение тренировочных занятий по мере роста тренированности является **обязательным** условием дальнейшего прогрессирования.

Дело в том, что с ростом объёма миофибрилл в мышечной клетке растёт как абсолютная, так и относительная скорость их разрушения гидролитическими ферментами, о чём было сказано. В связи с этим, при равных результатах синтеза миофибрилл реальный рост силы у тренированного спортсмена будет меньше, чем у начинающего.

Разрушение миофибрилл гидролитическими ферментами снижает скорость их восстановления после тренировки на величину, с которой идёт он сам. В связи с этим сокращается время достижения пика восстановления, а также снижается результативность восстановления. В то же время достижение пика восстановления не означает, что восстановительная активность тоже сходит на нет. Синтез белка продолжает идти с положенной ему скоростью, но скорость эта оказывается ниже скорости разрушения.

Снижение величины суперкомпенсации в видах деятельности, требующих проявления максимальной силы, становится вначале причиной замедления роста спортивных результатов, а затем и его полного прекращения. Методическим способом преодоления такого рода барьера является учащение тренировочных занятий с одновременным снижением объёмов каждого из них.

На рисунке 20 – функция «а» показывает изменение активности синтеза миофибрилл за время  $t_2$ , функция «б» реальное изменение силы мышечного волокна за то же время,  $t_1$  время достижения пика восстановления. Время  $t_2$  момент, прекращения восстановительной активности и момент проведения повторной тренировки в полном объёме  $V_1 = V_2$ . Объём тренировки  $V_3$  в момент  $t_1$  меньше объёмов  $V_1$  и  $V_2$ .  $F_p$  – разница силы мышечного волокна после тренировки, проводимой в момент времени  $t_1$ , и тренировки, проводимой в момент времени  $t_2$ .

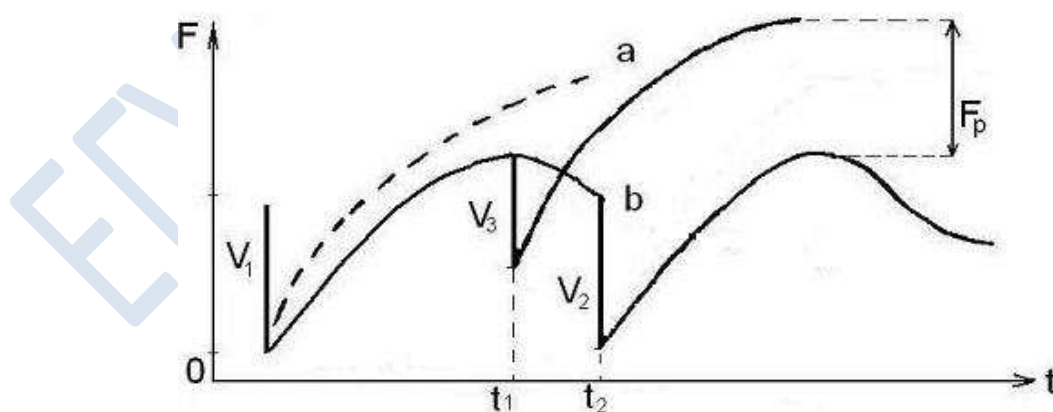


Рис. 20.

Учащение тренировочных занятий с одновременным оптимальным снижением объёмов тренировочной работы на каждом из них является ещё одним принципом тренировки силы.

Восстановительный процесс должен обеспечиваться средствами восстановления. Их дефицит обуславливает снижение эффекта суперкомпенсации. Учащение занятий также теряет смысл в этих условиях. Более того, рост тренировочной активности будет приносить вред.

При занятиях силовыми видами спорта наиболее важными для восстановления веществами являются животные белки. Аминокислоты животных белков являются строительным материалом синтеза миофибрилл. Белок является основным элементом синтезируемых организмом ферментов, являющихся регуляторами всех биохимических процессов в клетках. Вместе с липоидами белки формируют мембраны мышечных волокон и т.д.

Существенное влияние на скорость метаболических процессов оказывает витаминный комплекс. Витамины входят в состав большого числа ферментов. Именно из-за недостатка витаминов в весенний период происходит заметное снижение восстановительных способностей организма, и, как следствие, замедление темпов прироста результатов и даже их снижение по сравнению с осенью и зимой.

В то же время существует свой предел по приёму перечисленных биологических веществ, за которым дальнейшее увеличение их употребления теряет смысл, а передозировка некоторых из этих веществ может дать негативный для здоровья результат.

Дефицит средств восстановления неизбежно возникает по мере роста мышечной массы спортсмена. По этой причине, с ростом объёма мышц, количество потребляемых средств восстановления должно адекватно возрастать.

Фармакологическим способом ведения борьбы с замедлением роста силы является применение искусственно синтезированных гормональных препаратов, дериватов мужского полового гормона тестостерона. Существуют разные мнения по поводу механизма положительного действия синтетических анаболических стероидов. Некоторые авторы говорят о том, что они активизируют синтез белка в мышечных клетках. При этом достоверной информации о механизме такой активизации они не приводят. Знание же об известных механизмах синтеза белка позволяют говорить о двух возможностях ускорения синтеза миофибриллярных белков синтетическими гормонами:

1. Наличие у гормонов способности индуцировать транскрипцию РНК, на участке гена, несущего информацию о строении белков миофибрилл;
2. Включение их в состав фермента полимеразы, катализатора реакций синтеза РНК, в качестве активатора.

По первому пункту можно сказать следующее – гормоны не могут быть индукторами транскрипции РНК, несущей информацию о строении белков миофибрилл. Дело в том, что данный процесс начинается только после того, как мышечное волокно сделает определённый объём работы. Последнее означает, что индуктором синтеза РНК в этих случаях становится некий метаболит химических реакций, идущих в процессе мышечных сокращений, например,

креатин. При отсутствии работы, синтез РНК не активируется, несмотря на присутствие в мышечной клетке, как самого тестостерона, так и его дериватов.

Возможность включения дериватов тестостерона в состав полимеразы теоретически существует. О том что, стероидные гормоны организма человека связываются с определёнными рецепторами в саркоплазме и проникают в ядро клетки достоверно известно. В качестве варианта действия данных стероид-рецепторных комплексов как раз и называют возможность их включения в состав фермента полимеразы. Естественно, что то же самое может происходить и с дериватами. Но в этом случае мы имеем просто замену природных гормонов на искусственные, и не факт, что последние более эффективны.

По данным А.А. Виру и П.К. Кырге, а также ряда других исследователей, дериваты тестостерона захватывают рецепторы глюкокортикоидов. По этой причине меньшее число глюкокортикоидов получают возможность оказаться в составе гидролитических ферментов, что снижает количество последних, способных реализовывать свои функции. Снижение скорости разрушения миофибрилл гидролитических ферментами и становится причиной большего роста их объёма, когда спортсмен принимает анаболики.

Как бы там ни было, но именно использование атлетами гормональных препаратов данного вида является в последнее время важнейшим фактором прогресса результатов в видах спорта, связанных с проявлением физической силы.

С ростом силы тренируемых мышц растут их восстановительные способности. Чем выше результат, тем больший объём тренировочной работы делает спортсмен, восстанавливаясь также быстро. (Под объёмом тренировочной работы в видах спорта, связанных с поднятием тяжестей, понимается её общий тоннаж.).

Рост объёма тренировочной нагрузки с ростом тренированности спортсмена происходит без увеличения относительного тренировочного объёма, т.е. без увеличения количества тренировочных подъёмов. Происходит это потому, что с ростом тренированности растёт вес поднимаемых снарядов. Если вес снарядов не увеличивать, то произойдёт снижение интенсивности выполнения тренировочных упражнений.

Механизм роста восстановительных способностей выглядит так. С ростом объёма сократительного аппарата мышечных тканей и роста объёма клетки в целом внутриклеточные биологические системы ответственные за синтез белка, также развиваются. В частности, в мышечных волокнах увеличивается количество ядер, растёт число рибосом, растёт производство ферментов и т.д. При условии, что ресурсов восстановления поступает достаточно, всё это предопределяет повышение интенсивности восстановления и позволяет спортсмену по мере роста тренированности увеличивать абсолютные объёмы тренировочных нагрузок.

Теми же причинами можно объяснить такой физиологический феномен, как более быстрое восстановление спортивной формы после перерыва в занятиях по сравнению с тем, как шёл её первоначальный набор.

За время отсутствия тренировочной работы производительность систем мышечных клеток, синтезирующих белок, снижается гораздо в меньшей степени (если вообще снижается), чем объём миофибрилл. По этой причине, ответ организма на одну и ту же работу в случае восстановления утраченной спортивной формы оказывается более активным, чем при первоначальном её наборе.

### **5.1.3. Методы силовой тренировки**

Рост силового потенциала отдельно взятой мышцы определяется объёмом её мышечных волокон, привлекаемых к работе в процессе тренировки. При этом, наибольший эффект даёт тренировка волокон быстрых двигательных единиц, по причине того, что в состав быстрых двигательных единиц входит большее число мышечных волокон, чем в состав медленных. В связи с этим привлечение к сокращению как можно большего числа быстрых двигательных единиц становится основным условием эффективности силовой тренировки. Число включаемых в работу двигательных единиц мышцы определяется силой волевого воздействия на её моторный центр. Возможности же волевого воздействия определяются степенью мотивированности индивида. По этой причине в большей степени мотивированные спортсмены потенциально способны достичь более высоких результатов.

Существует несколько методов тренировки силы.

Метод 1 – *выполнение упражнения с максимальным начальным напряжением*. Теоретически к работе может быть привлечён весь объём тренируемой мышцы.

Существует три разновидности данного метода.

*Метод 1.1. – одноразовых максимальных напряжений.*

*Метод 1.2. – многократных максимальных напряжений с постепенным снижением сопротивления движению.*

*Метод 1.3. – выполнение упражнения с весом близким к предельному (85-90%) максимальное число раз.*

В последнем случае объём мышечной массы, включаемой в работу с первого подъёма, также будет максимальным. Отличием первого и последнего подъёма будет разница в скорости движений.

Количество повторений в одном подходе, в случае тренировки *методом 1.2.*, не должно быть больше пяти, при стандартной длительности разового напряжения от 0,5 до 1 секунды (среднее время выполнения большинства упражнений силовой тренировки без учёта времени работы в уступающем режиме).

В связи с тем, что тренировка методом 1.3. предполагает более быстрое выполнение первых подъёмов, по сравнению с тренировкой методами 1.1. и 1.2., работа, которую совершает мышца при том же числе сокращений оказывается в случае 1.3. меньшей.

Метод 2 – *многократного упражнения с непредельным начальным напряжением*. Существует три варианта данного метода.



Метод 2.1. – *выполнение упражнения с непределённым начальным напряжением максимальное число раз.*

С ростом числа сделанных в подходе подъёмов в мышечных волокнах работающих двигательных единиц растёт утомление. Для того чтобы компенсировать снижение их силы, волей тренирующегося к работе начинают привлекаться более высокопороговые двигательные единицы. Неспособность тренирующегося выполнить упражнение означает, что его волевой потенциал исчерпан.

Вес для выполнения упражнений подбирается с тем расчётом, чтобы в одном подходе можно было сделать пять – шесть подъёмов, при стандартной длительности рабочего напряжения от 0,5 до 1 секунды. Выполнение в одном подходе большего числа подъёмов эффективность силовой тренировки снижает. Причины этого: утомление нервной системы, усиливающееся по мере роста числа выполненных подъёмов; появление и усилении болевых ощущений, по причине образования молочной кислоты и её выхода из мышечных клеток в межклеточный матрикс. Боль снижает потенциал воли. И чем сильнее боль в сочетании с утомлением нервной системы, тем большее число быстрых двигательных единиц останутся без работы. Из-за этого сокращение самых быстрых двигательных единиц становится невозможной, даже если мотивация для продолжения упражнения достаточная. Накопление такого объёма молочной кислоты, который организм оказывается не в состоянии вывести в кровеносную систему за время отдыха, ведёт к тому, что с самого первого подъёма в следующих подходах спортсмен начинает чувствовать сильную боль, с каждым повторением всё более усиливающуюся.

Но даже при соблюдении нормы повторений в подходе, тренировка силы быстрых волокон данным методом менее эффективна, чем тренировка методом максимальных напряжений. Причина этого неравномерность нагрузки, которую получают быстрые волокна. Включаясь в работу не сразу, а по мере утомления, разные двигательные единицы работают разное время. В связи с этим, только для части из них она может оказаться оптимальной, в то время как объём работы остальных волокон будет либо превышать оптимальный, либо до него не дотягивать.

Тренировка методами максимальных напряжений позволяет нагрузить все волокна в равной мере. Но при этом надо иметь в виду, что превышение или недобор оптимального количества мышечных сокращений приведёт к одновременной перегрузке или недогрузке сразу всех волокон данного типа.

Оптимальное соотношение числа подъёмов, выполняемых в процессе тренировки с предельными и непределёнными напряжениями, как и общее число подъёмов, определяется мышечной композицией занимающегося. Чем быстрее мышечная композиция, тем меньшим должен быть общий объём работы. Снижается объём за счёт меньшего числа непределённых напряжений при оптимальном количестве предельных. Чем медленнее композиция, тем больше подъёмов с непределёнными напряжениями следует выполнять на тренировке, при том же числе подъёмов с предельными. Дело в том, что оптимальное для

тренировки быстрых волокон количество мышечных сокращений не является оптимальным для тренировки силы медленных волокон той же мышцы. Происходит это по причине того, что концентрация креатина в медленных волокнах при их сокращениях не достигает тех же величин, что в быстрых. Соответственно и восстановительный потенциал накапливается медленней. В связи с этим, для получения оптимальной нагрузки, медленная двигательная единица должна сократиться большее число раз.

Сохранение низкого уровня креатина в медленных волокнах обуславливается высокой производительностью окислительного восстановления АТФ в митохондриях, и, как следствие, активным восстановлением креатинфосфата. По этой же причине в медленных волокнах степень закисливания саркоплазмы остаётся невысокой. Последнее обстоятельство делает возможным выполнение большего числа напряжений при тех же разрушениях миофибрилл. Это весьма важное обстоятельство следует учитывать при планировании тренировочного процесса.

Задача достижения оптимальности нагрузки волокон обоих типов для людей с медленной и равномерной мышечной композицией, предопределяет применения ещё двух разновидностей метода многократного упражнения с непределённым начальным напряжением.

Метод 2.2. – *выполнение упражнения с непределённым начальным напряжением ограниченное число раз*. Следствием тренировки данным методом является дополнительная тренировка медленных двигательных единиц при отсутствии нагрузки на быстрые волокна. Для спортсмена с равномерной композицией это выполнение упражнения 12-15 раз в нескольких подходах с весом 40-45% от максимального. Спортсмену с медленной композицией подойдут веса от 55-60% при том же количестве повторений. (В данном случае речь идёт об идеализированном варианте силовой тренировки, когда стоит задача максимально увеличить силовой потенциал какой-то мышцы, не беря во внимание то, при выполнении каких упражнений мы данный потенциал будем использовать.). При выполнении упражнения в повышенном темпе количество подъёмов в подходе снижается.

Метод 2.3. – *выполнение упражнения с непределённым начальным напряжением ограниченное число раз, с постепенным снижением сопротивления*.

Постепенное снижение сопротивления позволяет организовать все движения сокращением только медленных волокон и равномерно их загрузить, не включая в работу быстрые двигательные единицы. При тренировке таким методом количество подъёмов в подходе остаётся тем же, что и при тренировке методом 2.2., но вес для первого подъёма увеличивается на 10 процентов. Последний подъём выполняется с весом на 10 процентов ниже начального.

Метод 3 – *изометрического напряжения*. Звено тела, на которое действует внешняя сила, удерживается в определённом положении силой сокращения мышцы. По мере роста утомления становится необходимым увеличение объёма работающих двигательных единиц мышцы.

Недостаток изометрического метода состоит в следующем. Любое значительное физическое напряжение требует задержки дыхания. И если при выполнении упражнения в динамическом режиме восстановление дыхания происходит по завершении каждого подъёма в подходе, то при изометрическом напряжении дыхание приходится задерживать на всё время. Задержка дыхания на значительное время предопределяет развитие гипоксии. Гипоксия предопределяет закисливание мышечных волокон в большей степени, чем при выполнении динамических упражнений.

Ещё одним негативным следствием работы мышц в изометрическом режиме является длительное ухудшение кровообращения в напряжённых мышцах, вследствие передавливания сосудов. Снижение скорости тока крови в капиллярах снижает объём кислорода, доставляемого мышечным волокнам, в ещё большей степени.

По этим причинам выполнять изометрические упражнения следует непродолжительное время (не более 5 секунд) с весами близкими к предельным.

С методом изометрического напряжения имеет много общего метод *уступающего напряжения (метод 4)*. Началом выполнения упражнения в уступающем режиме является остановка в наиболее неблагоприятном, с точки зрения механических условий действия мышечной тяги, положении. Такое положение можно обнаружить в структуре любого движения. Например, в жиме лёжа это положение, когда линия плеч параллельна полу. В данный момент плечо действия внешней силы на плечо самое большое.

С момента достижения утомления, при котором мышца не может удерживать звено тела в статическом положении, начинается уступающее движение данного звена. При этом, условия действия мышечной тяги начинают улучшаться, создавая условия для продолжения работы при той же, уже предельной, силе возбуждения моторного центра. Недостатки данного метода определяются изометрическим характером уступающего режима работы, рассмотренного ранее.

Методы изометрического и уступающего напряжения не являются методами, позволяющими решать какие-либо особые задачи, по сравнению с методами 1 и 2. Их применение просто позволяет разнообразить тренировочный процесс, сделать менее скучным.

При определении тренировочной нагрузки на мышцы, помимо количества движений, следует учитывать длительность работы тренируемой мышцы в одном двигательном цикле. Время выполнения простых вращательных движений в условиях, когда оно специально не затягивается, зависит от угла вращения звена тела, которое мышца приводит в движение. Например, при выполнении упражнения «сгибание – разгибание предплечья (подъём на бицепс)», предплечье изменяет своё положение примерно на сто пятьдесят градусов, тогда как при сгибании кисти её положение изменяется приблизительно на девяносто. В жиме лёжа, в зависимости от анатомического строения индивида, плечо может изменять своё положение от шестидесяти до девяноста градусов и т.д.

Чем больше угол вращения звена тела, тем большую работу в одном двигательном цикле производит мышца, приводящая её в движение. По этой причине, вес, поднятый «на бицепс» даст большую нагрузку мышце, чем вес, поднятый один раз сгибателем кисти.

#### **5.1.4. Принципы и методы силовой тренировки в зависимости от цели тренировки**

##### *Тренировка с целью совершенствование телосложения*

Одним из следствий силовой тренировки становится саркоплазматическая гипертрофия мышечных волокон. И чем большую нагрузку получает мышечное волокно, тем сильнее гипертрофия данного вида.

При занятиях бодибилдингом, целью которого является совершенствование телосложения, саркоплазматическая гипертрофия оказывается полезной в той же мере, что и гипертрофия миофибриллярная. Данное обстоятельство предопределяет упрощение расчётов тренировочной нагрузки людьми, занимающимися совершенствованием своей фигуры, так как утрачивается значение принципа оптимальности силовой тренировки. Нагрузка, превышающая оптимальную для развития силы, для роста мышечной массы может оказаться даже более эффективной. Но следует иметь ввиду, что прирост силы в этом случае будет меньшим. Растущая нагрузка должна за счёт роста числа подходов.

Как уже говорилось ранее, фактором, оказывающим влияние на результативность включения в работу быстрых двигательных единиц, являются болевые ощущения. Причинами их появления становится молочная кислота, в большом объёме выделяемая быстрыми двигательными единицами, а также механические воздействия на рецепторы мышечной ткани и суставов.

Чем сильнее болевые ощущения, тем меньшее возбуждение моторных центров, тем меньшее количество двигательных единиц сможет включиться в работу и подвергнуться тренировке. Сила болевых ощущений определяется, в том числе, и количеством одновременно работающих мышц. Чем больше мышц одновременно работает и чем сильнее их сокращения, тем сильнее механические воздействия на рецепторы суставов и мышечной ткани. Количеством работающих мышц и интенсивностью их работы определяется и объём вырабатываемой молочной кислоты.

Необходимостью устранения болевых ощущений определяется длительность отдыха между тренировочными подходами. Только придя в комфортное состояние, атлет может приступить к выполнению следующего подхода.

Помимо болевых ощущений, связанных с образованием молочной кислоты и механическим воздействием на рецепторы, при выполнении двигательных действий, в которых задействуются большие мышечные массивы, могут возникать болевые ощущения, связанные с развитием гипоксии. Такими упражнениями, в частности, являются приседания и тяга спиной, выполняемая без пауз. Причиной гипоксии становится снижение возможностей дыхания, вследствие сдавливания грудной клетки. При выполнении упражнений с 75-80 процентным напряжением проявления гипоксии начинаются после 5-6 подъёма.



Необходимость снижения силы болевых ощущений предопределяет соблюдение следующего принципа выбора тренировочных упражнений при занятиях бодибилдингом и атлетической гимнастикой, а именно, *принципа индивидуальной тренировки мышц*.

Дополнительным фактором, обуславливающим реализацию принципа индивидуальной тренировки мышц при занятиях бодибилдингом, является фактор технической сложности упражнений. Чем проще движение, тем меньше внимания атлет обращает на его технику, тем сильнее могут быть возбуждены моторные центры коры головного мозга, тем большее количество двигательных единиц тренируемой мышцы задействуется в работу.

Необходимость реализации принципа индивидуальной тренировки мышц делает необходимым подбор средств тренировки, позволяющих это сделать. Такими средствами являются упражнения, выполняемые на тренажёрах, а также с использованием упоров. Дело в том, что конструкция многих тренажёров и упоров позволяет фиксировать тело занимающегося в определённом положении, создавая тому условия для сосредоточения на работе нужных мышц. Без использования тренажёров и упоров, выполнение многих упражнений требует отвлечения внимания на удержании позы.

Наиболее простыми, а потому наиболее оптимальными для атлетической тренировки, являются упражнения, в которых те или иные мышцы реализуют свою основную функцию. Это разного рода простые вращения звеньев тела, совершаемые в условиях отягчения.

Решение задачи улучшения телосложения при занятиях бодибилдингом достигается применением в тренировочном процессе всех ранее названных методов.

#### *Тренировка при занятиях силовыми видами спорта*

При организации тренировочных занятий в видах спорта, требующих проявления силы в соревновательных действиях, например, в силовом троеборье и тяжёлой атлетике, упрощение упражнений недопустимо. (Принцип *идентичности соревновательных и тренировочных упражнений*). Смысл этого в следующем.

Проявление силы в конкретных двигательных действиях зависит от того, насколько индивид их освоил. Чем меньше внимания спортсмен обращает на технику движения, тем больше нервной энергии он сможет направить на возбуждение моторных центров, тем с большей силой сократятся его мышцы.

Но снижение нервной энергии, отводимой на контроль над техникой движений, становится возможным только вследствие их многократного повторения в полном объёме. По этой причине, основным содержанием тренировки в технически сложных видах спорта, требующих проявления максимальной силы, должны быть именно соревновательные движения.

Следует заметить, современная теория силовых видов спорта говорит о необходимости включения в состав тренировочных занятий двух видов тренировочных упражнений – упражнений, выполняемых с целью совершенствования техники соревновательных движений, и упражнений, выполняемых с це-



лью увеличения мышечной силы. К числу последних относят все наиболее простые по исполнению двигательные действия, выполняемые с максимальными и близкими к ним напряжениями. По мнению теоретиков только некое оптимальное сочетание количеств упражнений одного и другого вида может дать наиболее высокий результат. Но дело в том, что при выполнении сложных соревновательных движений работающие мышечные волокна получают ту же нагрузку, что и при выполнении более простых упражнений. В зависимости от объёма сделанной работы нагрузка эта может быть и оптимальной, и превышать её, и быть меньше оптимума. В связи с этим мышечному волокну, получившему оптимальную нагрузку при выполнении сложных движений, какой-то дополнительной тренировки не требуется. Более того, дополнительная нагрузка приведёт к снижению эффективности тренировочного процесса.

Соблюдение принципа *идентичности* соревновательных и тренировочных упражнений не исключает возможности разбиения целостной структуры сложного соревновательного движения на отдельные элементы, с целью самостоятельной отработки каждого из них. Но это должны быть именно элементы движения, а не упражнения, в которых работают одни и те же мышцы. Тренировочная работа, связанная с выполнением соревновательных упражнений по частям, не должна доминировать над работой, связанной с выполнением упражнений в полном объёме. Упор на отработку отдельных элементов соревновательного движения необходимо делать только начинающим спортсменам, пока они не начнут стабильно выполнять соревновательное действие в полном объёме без ошибок.

В основе тяжелоатлетической тренировки лежит метод неопредельных напряжений ограниченное число, сочетающийся с методами максимальных напряжений. При этом реализация метода неопредельных напряжений предполагает работу с весами всего диапазона возможностей индивида, при количестве повторений в подходе от двух до пяти. Обуславливает это особенностями совершенствования техники соревновательных движений.

#### *Силовая тренировка для развития скоростных качеств*

Сказанное выше, относительно организации тренировочных занятий в силовых видах спорта, в полной мере относится и к видам спорта, требующим проявления быстроты.

Только проявляя силу, человек может придать ускорение своему телу или какому-то спортивному снаряду. И чем больше сила, тем больше скорость. В связи с этим достижение предельно большой силы действия мышц при выполнении такого рода движений является важнейшей задачей.

Выполняя на тренировках большое количество соревновательных движений, спортсмен, одновременно с освоением техники, даёт стимул для роста силового потенциала работающих мышечных волокон. Довольно часто одного этого бывает достаточно, чтобы оптимально их нагрузить. Дополнительная силовая тренировка тех же мышц, связанная с выполнением упражнений атлетической гимнастики с высокой интенсивностью, в этом случае становится вредной. Во-первых, перегружаются уже работавшие волокна, во-вторых, получают

стимул для развития быстрые волокна, к работе при выполнении соревновательных движений не привлекаемые. И чем массивнее последние становятся, тем больше силы уходит на организацию их пассивного сокращения. Данный фактор не может негативно не отражаться на быстроте выполнения соревновательных движений.

В то же время особенности тренировки в некоторых видах спорта, требующих проявления максимальной быстроты выполнения движений, делают необходимым проведение дополнительных атлетических занятий. Потребность в этом возникает, когда нагрузка мышечной системы, получаемая в ходе выполнения соревновательных движений, оказывается недостаточной. В частности, такое может быть, когда время выполнения соревновательных движений сильно ограничено, и выполняются они по одному разу. Например, при толкании ядра.

Быстрота выполнения двигательного действия предопределяет непродолжительность мышечных сокращений, за время которых концентрации креатина не повышается до нужных значений (особенно в волокнах медленных двигательных единиц). Стимулировать миофибриллярный рост мышечной массы становится, в этих случаях, целью выполнения атлетических упражнений. В основе организации дополнительной силовой подготовки должен лежать принцип оптимальной интенсивности. Волокна быстрых двигательных единиц, не участвующие в организации соревновательных движений, не должны получать стимул для развития. По этой причине основной метод дополнительной силовой тренировки это метод многократного выполнения упражнения с ограничением количества повторов.

\*\*\*

Как уже говорилось в предыдущих разделах, основной задачей планирования тренировочных занятий является определение оптимального объема тренировочной нагрузки и времени отдыха. Причём, планировать величину нагрузки и длительность отдыха надо по отдельности для каждой группы тренируемых мышц.

## **5.2. Развитие скоростных способностей**

### *Тренировка стартовых реакций и быстроты стартовых движений*

Итоговый результат в ряде видов спортивных соревнований во многом зависит от быстроты стартовых реакций и быстроты выполнения стартовых движений. Стартовые реакции в спорте это вид простых реакций, сутью которых является ответ заранее известным движением на ожидаемый сигнал. Быстрота простой реакции это время, прошедшее с момента поступления сигнала до момента начала движения.

Укоротить средствами тренировки физиологически определяемое время простой реакции невозможно. Это время прохождения нервного сигнала из моторной зоны коры к мышцам. В связи с этим задачей тренировки старта становится задача добиться того, чтобы быстрота стартовой реакции максимально

соответствовала физиологически обуславливаемому времени простой реакции (0,1-0,2 сек в зависимости от того, на какое расстояние передаётся нервное возбуждение), и при этом техника стартовых движений не нарушалась. С этими целями в содержание тренировки следует включать выполнение старта по сигналу, аналогичному сигналу, используемому на соревнованиях. Результатом этого становится запоминание сигнала и формирование умения правильно распределять нервную энергию между представлениями о движении, о сигнале, о величине волевого воздействия на моторные центры.

Второй задачей тренировки старта является задача повышения быстроты выполнения стартовых движений.

Как и во всех других случаях обучения, двигательным действиям, это многократное повторение стартовых движений, что позволяет снизить долю нервной энергии, отводимой на удержание в сознании представления о них, и направить её на возбуждение моторных центров. Следствием этого станет более быстрое выполнение тренируемых движений.

#### *Тренировка быстроты сложных реакций*

Быстрота сложных реакций определяется временем актуализации образов нужных движений. Быстрота актуализации образа движения определяется силой его связи с образами цели (когда представление о цели имеет место) и обстановки, в которой движение надо делать, а также тем, насколько сосредоточен индивид на работе. Чем сильнее связи и выше концентрация внимания, тем меньше времени требуется для вспоминания движений.

Существует несколько видов учебно-тренировочной работы, позволяющих сделать реагирование возможным в принципе, сделать его более правильным и укоротить время реагирования на изменения обстановки в «боевых» условиях (в целом это формирование умения играть, бороться, водить машину и т.д.):

- формирование навыков нужных движений и доведение их до максимально возможного уровня освоенности;
- моделирование ситуаций будущей деятельности, определение оптимальных вариантов действий в них, совершение данных действий в условиях тренировки;
- информирование до начала деятельности сведущим человеком о возможности возникновения тех или иных ситуаций и о том, что в таких случаях надо делать;
- объяснение того, в каких ситуациях выполняется двигательное действие, в момент его разучивания;
- анализ действий, выполненных ранее самим тренирующимся или кем-то другим, с целью выявления ошибок, обнаружения положительных сторон и определения наиболее эффективных вариантов решения задач;
- игра или спарринг, участвуя в которых, спортсмены, так или иначе, реагируют на те или иные ситуации спортивной борьбы, запоминают свои правильные и не правильные действия, запоминают действия соперника и своих партнёров;

- подсказки и указания на ошибки в процессе тренировочных игр и спаррингов.

Во всех перечисленных случаях первым этапом тренировки быстроты реагирования является этап запоминания того, что надо делать в той или иной ситуации. Содержание второго этапа – многократное повторение этого либо на практическом, либо на теоретическом уровне.

Степень сокращения времени сложных реакций определяется количеством повторений, частотой повторений, качеством сформированных представлений о нужных движениях, желанием индивида работать в этом направлении. Быстрота сложной реакции, как и быстрота любого вспоминания, снижается за время отсутствия её повторения. Степень снижения будет определяться длительностью перерыва и прочностью ассоциативных связей, приобретённой за время предыдущих занятий.

#### *Тренировка быстроты одиночных однотоктных движений*

Быстрота одиночного однотоктного движения определяется силой действия мышц на звенья тела, механическими условиями действия мышечной тяги, сопротивлением движению. Сила действия мышц, в свою очередь, регулируется сознанием человека, через механизм волевого воздействия на моторные центры. Тренировка быстроты выполнения одиночных движений аналогична тренировки силовых способностей это:

1. Определение индивидуально оптимальных характеристик кинестетической структуры двигательных действий;
2. Обучение выполнению данных движений;
3. Повышение степени освоенности движений;
4. Увеличение силового потенциала мышечных волокон.

#### *Тренировка быстрота движений, совершаемых последовательно непрерывно (комбинаций движений)*

Задача совершения комбинации движений в режиме non stop предполагает вспоминание о последующих движениях по ходу выполнения предыдущих. В связи с этим содержанием тренировки быстроты выполнения таких двигательных действий является многократное повторение их отдельных элементов и многократное выполнение осваиваемой комбинации движений по частям и в целом. Результатом становится освоение элементов комбинации и запоминание их последовательности. Это создаёт условия для снижения доли нервной энергии, отводимой на представление выполняемых элементов и на вспоминание последующих. Следствие этого – рост доли энергии, направляемой на возбуждение моторных центров, рост быстроты выполнения отдельных движений, снижение времени выполнения комбинации в целом.

Разновидностями движений, совершаемых последовательно непрерывно, являются *одиночные многотоктные движения, циклические движения стартового разгона, многие дистанционные циклические движения*. Содержание тренировки таких двигательных действий также предполагает многократное их выполнение, как по частям, так и в целом. В отдельных случаях может требоваться работа над освоением отдельных элементов.

### 5.3. Развитие ловкости

Возможности ловкости индивида возрастают по мере формирования его багажа двигательных навыков разной направленности и развития физических способностей всех других видов. По этой причине специальных методов развития ловкости не существует.

### 5.4. Тренировка физической выносливости

#### 5.4.1. Изменения систем организма при тренировке физической выносливости

Работа мышечной системы человека предполагает потребление кислорода в реакциях окислительного фосфорилирования АДФ в митохондриях. Рост потребления кислорода является главным критерием результативности тренировочного процесса в видах спорта, требующих физической выносливости. Возможности потребления кислорода определяются возможностями двух функциональных систем: кислородтранспортной, абсорбирующей кислород из окружающего воздуха и транспортирующей его к мышцам, и системы утилизации кислорода, т.е. мышечной системы, экстрагирующей (извлекающей) и утилизирующей доставляемый кровью кислород. Тренировка выносливости ведёт к их развитию.

*Изменения в кислородтранспортной системе при тренировке выносливости*

Кислородтранспортная система представляет собой совокупность трёх самостоятельных систем – системы внешнего дыхания, системы крови и сердечнососудистой системы. Функциональные возможности каждой из них определяют кислородтранспортные возможности организма.

*Внешнее дыхание* является первым звеном кислородтранспортной системы. Кислород диффундирует в кровь через мембраны альвеол в процессе лёгочной вентиляции.

У тренирующихся выносливость спортсменов растёт ёмкость лёгких (ЖЕЛ). Рост ёмкости лёгких обуславливает рост лёгочной вентиляции при той же частоте дыхания и тех же тратах энергии на сокращение дыхательных мышц.

Вместе с ростом ёмкости лёгких растёт выносливость дыхательного аппарата. Обеспечивается рост выносливости дыхательного аппарата ростом выносливости дыхательных мышц. Рост выносливости дыхательных мышц обуславливает рост частоты дыхания, при которой они могут работать, не снижая силы сокращений.

*Система крови.* Тренировка выносливости ведёт к росту объёма циркулирующей крови (ОЦК). С ростом ОЦК увеличивается объём эритроцитов (красных клеток крови) и, как следствие, увеличивается количество гемоглобина (белковых соединений, входящих в состав эритроцитов и обладающих способностью связывать кислород).



Увеличение ОЦК повышает возможности теплоотдачи через пот. Излишек плазмы крови создаёт резерв для её потери во время работы без значительного повышения гематокрита (вязкости крови).

При длительной нагрузке в крови снижается концентрация глюкозы, которая из крови поступает в мышечные волокна по мере расходования их собственных запасов. Тренировка выносливости стимулирует рост производства глюкозы печенью в реакциях расщепления гликогена. В связи с этим концентрация глюкозы снижается в меньшей степени, что сказывается на результате соревновательной деятельности.

*Сердечнососудистая система.* От скорости кровотока, измеряемой литрами в минуту, зависит, сколько крови за единицу времени пройдёт через лёгкие, насытившись кислородом, и сколько кислорода получают мышцы. Скорость кровотока определяется частотой сердечных сокращений и систолическим объёмом выброса. Тренировка выносливости инициирует рост выброса за счёт увеличения объёма полостей сердца (желудочков и предсердий) и роста силы миокарда (сердечной мышцы).

Тренировка выносливости стимулирует рост выносливости миокарда, благодаря чему повышается порог безопасной для здоровья частоты сердечных сокращений.

В процессе тренировки выносливости перераспределяется кровоток между активными и неактивными мышечными группами в пользу активных, за счёт роста капилляризации работающих мышечных волокон. По этой причине доля сердечного выброса, направляемого к работающим мышцам, у спортсменов больше, чем у нетренированных людей.

#### *Изменения в мышцах при тренировке выносливости*

Одним из результатов тренировки выносливости становится активизация синтеза митохондрий в работающих мышечных волокнах. Митохондрий становится больше вследствие деления митохондриальных ДНК. Увеличиваются размеры митохондрий. Чем больше митохондрий, тем выше способность мышечного волокна к утилизации кислорода, доставляемого кровью, тем больше результативность окислительного фосфорилирования АДФ.

На первом этапе тренировки выносливости снижается силовой потенциал тренируемых мышц, по причине чрезмерного разрушения миофибрилл. В большей степени снижается сила быстрых волокон. В дальнейшем сила снижаться перестаёт, а затем, по мере роста выносливости создаются условия для роста силы.

В результате тренировки выносливости растёт сеть капилляров в тренируемых мышцах, благодаря чему растут возможности диффузии различных веществ, в том числе  $O_2$ , через капиллярные стенки во внутрь мышечных волокон.

Наряду с ростом митохондрий эффектом тренировки выносливости становится рост производительности гликолиза. Обуславливается рост производительности ростом синтеза в мышечных клетках ферментов гликолиза. Возмож-

но, что активизация синтеза ферментов гликолиза становится следствием образования в мышечной клетке в процессе работы всё того же креатина.

Не смотря на то, что производительность гликолиза растёт, его доля в воспроизводстве АТФ снижается. Причина этого, ещё более интенсивный рост производительности митохондрий. Следствием этого становится рост рН саркоплазмы тренируемых мышечных волокон и снижение производства молочной кислоты. Теоретически, может наступить момент, когда вся произведённая пировиноградная кислота и водород станут утилизироваться митохондриями. С этого момента возможности для дальнейшего роста производительности митохондрий можно было бы считать исчерпанными. На самом же деле этого не происходит. Дело в том, что по мере роста рН саркоплазмы создаются условия для работы ферментов гидролиза жирных кислот, что позволяет использовать их энергию всё в большем объёме, в реакциях окислительного фосфорилирования АДФ.

Потребление жиров в сочетании со снижением производства молочной кислоты предопределяет рост объёмов работы, которую может совершить человек.

Рост объёма митохондрий и связанный с этим рост возможностей утилизации кислорода предопределяют рост содержания в мышечной клетке миоглобина, транспортирующего кислород внутри её.

Активное использование энергоносителей мышечной клеткой обуславливает рост запасов гликогена и липидов в её хранилищах.

Следствием роста объёма митохондрий и запасов энергоносителей становится саркоплазматическая рабочая гипертрофия мышечного волокна.

Гипертрофия мышечных волокон создаёт условия для роста числа ядер в мышечном волокне и обуславливаемого этим роста синтеза белков необходимых как для постройки митохондрий, так и постройки миофибрилл. В связи с этим растёт сила мышечных волокон.

#### **5.4.2. Принципы тренировки физической выносливости**

В основе выбора методов тренировки выносливости и определения объёмов тренировочной нагрузки лежат физиологически обуславливаемые принципы. Как и в случае развития силовых способностей, главным принципом планирования тренировочной нагрузки остаётся *принцип оптимальности*. Превышение оптимального объёма тренировочной работы ведёт к снижению эффективности тренировки, в случае же значительной перегрузки к снижению возможностей выносливости и нервным расстройствам. Можно назвать несколько негативных последствий перегрузки:

- не полная утилизация молочной кислоты организмом на момент начала следующей тренировки. Прежде всего, может иметь место в случае чрезмерно длительного выполнения упражнений, предполагающих включение в работу больших объёмов мышечной массы.

- энергетическое истощение работающих мышечных волокон. Наиболее вероятно при длительной низкоинтенсивной работе;

- чрезмерное разрушение мышечных митохондрий, которое, по-видимому, имеет место даже при отсутствии дефицита кислорода, хотя и в меньших масштабах. Наиболее вероятно в случаях чрезмерно длительной работы одних и тех же мышц;

- перетренировка дыхательных и сердечной мышц, в первую очередь определяющих возможности выносливости организма.

Перетренировка дыхательных мышц может иметь место, в двух случаях:

- в случае чрезмерно длительной работы, требующей значительного учащения дыхания, без превышения пороговой частоты;

- в случае многократного превышения пороговой частоты дыхания за время одной тренировки.

Пороговая частота тем выше, чем выносливее дыхательные мышцы. Превышение пороговой частоты дыхания приводит к снижению силы сокращений дыхательных мышц, по причине недостатка времени для полного восстановления затрачиваемой энергии. Вдох становится поверхностным, в связи чем, объёмы лёгочной вентиляции с учащением вдоха не только не растут, а наоборот начинают снижаться. В волокнах всех работающих мышц, в том числе дыхательных, создаются условия для разрушения митохондрий и миофибрилл.

Физиология миокарда также предполагает наличие и индивидуальных пороговых частот сердечных сокращений. Многократное превышение порога ведёт не просто к перетренировке миокарда, а к сердечным нарушениям. Правильная тренировка сердечной мышцы делает её более выносливой, что повышает пороговую частоту сокращений.

В зависимости от состава упражнений, выполняемых в процессе тренировки, сил мышечных сокращений и объёма проделываемой работы в целом, названные виды негативных последствий могут проявляться одновременно в тех или иных сочетаниях.

Оптимальный объём тренировки выносливости определяется тренированностью спортсмена. По мере роста спортивного результата объём тренировочной работы должен расти. В большинстве видов спорта, требующих выносливости, рост объёма тренировки достигается ростом силы мышечных сокращений при выполнении упражнений (что позволяет, в частности, за то же время преодолеть большую дистанцию, выполнив то же количество движений, что и раньше), в сочетании с оптимальным увеличением их числа. В видах спорта, где мерой результата является количество движений, требующих проявления одной и той же силы, рост объёма тренировки достигается за счёт роста числа движений, выполняемых, примерно, за то же время.

*Принцип регулярности занятий* предполагает проведение последующего занятия до момента достижения пика суперкомпенсации и начала спада достигнутого. Дело в том, что срок жизни митохондрии с момента последнего деления составляет, по оценкам учёных, до четырёх недель. Данное обстоятельство и предопределяет снижение их числа, если стимулы для их роста и деления продолжительное время отсутствуют.

*Принцип учащения занятий в сочетании с коррекцией объёмов нагрузки* говорит о необходимости тренироваться чаще по мере роста спортивного результата. Целью учащения является стимуляция активности восстановительных процессов, позволяющая преодолевать адаптационные пороги. Как и в случае тренировки силы, учащение занятий требует корректировки тренировочной нагрузки на отдельных занятиях в сторону уменьшения.

*Принцип адекватной интенсивности выполнения соревновательных двигательных действий в условиях тренировки интенсивности их выполнения в условиях соревнований.* Если перед человеком стоит цель подготовиться к конкретному виду соревнований на выносливость, то выполнять основной объём соревновательных двигательных действий он должен с проявлением той же силы, что и в условиях соревнований, если бы они проводились в это время. Большая и меньшая интенсивность работы в условиях тренировки негативно скажется на спортивном результате. Причина этого в следующем.

Большая интенсивность мышечных сокращений при выполнении тренировочных упражнений предполагает включение в работу дополнительного объёма мышечной ткани и обуславливаемое этим перераспределение кислорода. Следствием этого становится тренировка аэробных возможностей мышечных волокон, не работающих в процессе соревнований, и снижение аэробной производительности двигательных единиц, в условиях соревнований работающих. По этой причине, в условиях соревнований доля окислительного фосфорилирования в структуре энергообеспечения работы оказывается меньшей, чем могла бы быть. Снижение производительности окислительного фосфорилирования, в свою очередь, становится причиной увеличенного производства лактата и более быстрый рост силы болевых ощущений. Всё это ведёт к более быстрому достижению момента потери работоспособности.

Ещё одним негативным следствием выполнения тренировочных упражнений с завышенной интенсивностью является рост массы двигательных единиц, в условиях соревнований не работающих.

Выполнение тренировочных движений с интенсивностью ниже соревновательной даёт обратный эффект. В этом случае в нужной мере не тренируются более быстрые двигательные единицы, реально работающие в условиях соревнований. При большом занижении интенсивности тренировочной работы происходит снижение эффективности тренировки дыхательного аппарата и сердечнососудистой системы. Причиной этого становится снижение потребности мышечной системы в кислороде в процессе тренировки.

Единственным случаем полезного выполнения тренировочных упражнений с пониженной интенсивностью является ситуация, когда провести полноценную тренировку с соревновательной интенсивностью спортсмен не может. Происходит такое, когда соревновательная интенсивность определяется не самим спортсменом, а чем-то извне, например, весом спортивного снаряда. И если спортсмен может справиться с нужной интенсивностью лишь небольшое число раз, то быстрое снижение силового потенциала мышц в процессе тренировки сделает невозможным её продолжение ещё до момента получения оптимальной

нагрузки. Снижение внешнего сопротивления позволит продолжить тренировку и, как следствие, выполнить оптимальный объём работы.

Выполнение тренировочных упражнений с разной интенсивностью получает смысл, когда спортсмен готовится выступать не в одном виде соревновательной программы, а в нескольких, например, на нескольких дистанциях бега. В этом случае будет иметь место тренировочный эффект во всех видах подготовки, но величина прироста в отдельных видах будет ниже, чем в случае специализированной подготовки.

*Принцип аналогичности кинестетической структуры тренировочных упражнений структуре соревновательных двигательных действий.* Тренировка выносливости посредством выполнения движений, не схожих с движениями, выполняемыми на соревнованиях, будет малоэффективной, так как потенциал кислородтранспортной системы, накапливаемый в процессе таких занятий, не будет использоваться в процессе соревнований. Причиной этого становится отсутствие у неразвитых, в плане потребления кислорода, мышц возможности утилизировать доставляемый им кислород. Необходимость развития систем утилизации кислорода и обуславливает реализацию данного принципа.

Выполнение соревновательных действий в условиях тренировки предопределяет синхронное развитие, как систем доставки кислорода, так и нужных систем его утилизации.

#### **5.4.3. Методы тренировки физической выносливости**

Физиология физической выносливости предопределяет применение двух основных методов её тренировки, а именно, *метода непрерывного выполнения тренировочных действий и серийного (интервального) метода*

Метод непрерывного выполнения – это выполнение всей тренировочной работы без перерывов на отдых. Тренировка данным методом становится возможной в случае работы мышц в режиме первого типа, при минимальном производстве лактата.

Серийный (интервальный) метод тренировки выносливости применяется в случае работы мышц в режимах второго и третьего типа, а также в режиме первого типа, при значительном производстве лактата.

Основной задачей для спортсмена при тренировке данным методом является определение оптимальной длительности отдельных серий. Физиологическим ограничителем длительности является молочная кислота, выделяемая мышечными волокнами и вызывающая ощущения боли. Необходимость устранения болевых ощущений предопределяет планирование перерывов в работе.

При определении длительности работы в сериях следует иметь в виду, что за время перерыва молочная кислота, поступающая из мышечных волокон в межклеточный матрикс, в максимально большем объёме должна проникнуть в капилляры и по ним в основное русло крови. Но активное выведение молочной кислоты возможно только при достаточно большой частоте сердечных сокращений, обуславливающей высокую скорость кровотока и прохождение крови по максимально большему числу капилляров. Со снижением частоты сердеч-



ных сокращений до 100-110 ударов в минуту и ниже молочная кислота продолжает выводиться, но скорость выведения снижается в разы, в связи, с чем продолжение отдыха теряет смысл. И если работа в сериях будет слишком большая, то критическое зашлаковывание мышечной системы наступит раньше, чем организм получит оптимальную нагрузку. Реализуя серийный метод тренировки выносливости, спортсмен должен непрерывно контролировать своё состояние и останавливаться в нужный момент, руководствуясь своими ощущениями. Естественно, что способность человека к своевременному принятию подобных решений приходит с опытом.

Особым видом выносливости является выносливость в видах спорта, требующих совершения большого числа разнообразных движений с разной интенсивностью. Например, в игровых видах и в спортивных единоборствах.

Необходимость развития выносливости в этих видах спорта предопределяет применение двух разновидностей непрерывного и серийного методов, а именно, вариативно-непрерывного и вариативно-серийного (интервального).

Непрерывно-вариативный метод тренировки выносливости предполагает чередование коротких периодов максимально активной работы с продолжительными периодами работы, не требующей значительного напряжения. Тренировка данным методом получает смысл, когда особенностью соревновательной деятельности является чередование достаточно длительных отрезков низкоинтенсивной работы с относительно непродолжительными максимальными напряжениями. Таковой является соревновательная деятельность в большинстве игровых видов спорта.

Время такого рода тренировки может варьироваться в зависимости от обстоятельств и достигать длительности самих соревнований. При этом следует использовать весь арсенал движений, совершаемых в процессе соревнований, при условии, что данные движение достаточно хорошо освоены.

Серийно-вариативный метод используется для тренировки выносливости в видах спорта, предполагающих выполнение большого числа действий с высокой интенсивностью за относительно короткое время. Таковыми являются все виды спортивных единоборств. Тренировка выносливости данным методом предполагает выполнение всего набора соревновательных действий с соревновательной интенсивностью в нескольких сериях с небольшими перерывами. Естественно, что длительность каждой серии должна быть меньше, чем длительность соревновательного поединка. В тех видах спорта, где соревновательный процесс предполагает многократное чередование активной работы с отдыхом (бокс, хоккей) длительность тренировочных серий может приближаться и даже равняться времени соревновательных отрезков.

Положительным следствием тренировки выносливости перечисленными выше методами становится не только одновременная тренировка системы транспорта кислорода и систем его утилизирующих. Выполнение соревновательных действий предопределяет всё более прочное их освоение.

Вариантами непрерывно-вариативного и серийно-вариативного методов тренировки выносливости являются игровой метод и метод «спаррингов». Ведя

борьбу с реальным соперником, спортсмен не только тренирует специальную выносливость, но и приобретает умения ведения спортивной борьбы, совершенствует технику движений.

Следствием комплексной тренировки выносливости перечисленными методами становится многоборная подготовка (о чём мы говорили выше), позволяющая проявлять выносливость при выполнении многих упражнений, в разных зонах интенсивности. Но у такого рода многоборцев результаты в отдельных видах оказываются ниже, чем у спортсменов, специализирующихся в них.

ЕГУ им. И.А. Бунина

## ГЛАВА 6.

### СОДЕРЖАНИЕ СПОРТИВНОЙ ТРЕНИРОВКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Соревновательная деятельность предполагает наличие у спортсмена определённого, в зависимости от вида спорта, набора качеств, степенью проявления которых в соревновательных условиях определяется спортивный результат. В связи с этим на развитие именно этих качеств должен быть нацелен тренировочный процесс спортсмена. Все виды спорта можно разбить на несколько групп по принципу общности задач, требующих решения в ходе тренировочного процесса.

#### ***Силовые виды спорта:***

*Тяжёлая атлетика, пауэрлифтинг*

Задачи тренировки:

1. Определение индивидуально оптимальной техники выполнения соревновательных упражнений и обучение их выполнению;
2. Повышение степени освоенности соревновательных двигательных действий;
3. Повышение силового потенциала мышц, работающих при выполнении соревновательных движений;
4. Психологическая подготовка (повышение мотивации к занятиям данными видами спорта и участию в соревнованиях);
5. Улучшение подвижности в суставах (где это необходимо).

#### ***Гиревой спорт***

Задачи тренировки:

1. Определение индивидуально оптимальной техники выполнения соревновательных упражнений и обучение их выполнению;
2. Повышение степени освоенности соревновательных двигательных действий;
3. Повышение силового потенциала мышц, работающих при выполнении соревновательных движений, до оптимального уровня;
4. Повышение специальной выносливости;
5. Психологическая подготовка (повышение мотивации к занятиям данным видом спорта и участию в соревнованиях);
6. Улучшение подвижности в суставах (где это необходимо).

#### ***Армспорт***

Задачи тренировки:

1. Формирование навыков ведения борьбы (определение индивидуально оптимального состава приёмов борьбы, обучение их выполнению, обучение тому, в какой ситуации тот или иной приём следует применять, повышение быстроты применения нужного приёма в ответ на изменение ситуации, тактическая подготовка);
2. Повышение степени освоенности приёмов борьбы;

3. Повышение силового потенциала мышц, работающих при выполнении приёмов борьбы;

4. Повышение специальной выносливости;

5. Психологическая подготовка (повышение мотивации к занятиям данным видом спорта, психологическая подготовка к конкретному соревнованию, схватке);

### ***Игровые виды спорта***

Задачи тренировки:

1. Формирование умения играть (обучение максимально большему числу игровых действий данной игры, обучение тому, в какой ситуации то или иное действие следует выполнять, повышение скорости реагирования нужным игровым действием на изменение ситуации, тактическая подготовка);

2. Повышение степени освоенности техники игровых действий;

3. Повышение силового потенциала мышц, работающих при выполнении игровых действий, до оптимального уровня;

4. Повышение специальной выносливости;

5. Психологическая подготовка (повышение мотивации к занятиям данными видами спорта, психологическая подготовка к конкретным соревнованиям, к отдельной игре).

6. Улучшение подвижности в суставах (где это необходимо).

### ***Единоборства (ударные, безударные, смешанные)***

Задачи тренировки:

1. Формирование навыков ведения спортивной борьбы (определение индивидуально оптимального состава приёмов борьбы, обучение их выполнению, обучение тому, в какой ситуации тот или иной приём следует применять, повышение скорости реагирования нужным приёмом в ответ на изменение ситуации, тактическая подготовка);

2. Повышение степени освоенности приёмов борьбы;

3. Повышение силового потенциала мышц, работающих при выполнении приёмов борьбы, до оптимального уровня;

4. Повышение специальной выносливости;

5. Психологическая подготовка (повышение мотивации к занятиям данными видами спорта, психологическая подготовка к конкретным соревнованиям, к отдельному поединку).

6. Улучшение подвижности в суставах (где это необходимо).

### ***Циклические виды спорта***

Задачи тренировки:

1. Определение индивидуально оптимальной техники выполнения соревновательных движений и обучение их выполнению;

2. Повышение степени освоенности соревновательных движений;

3. Повышение силового потенциала мышц, работающих при выполнении соревновательных движений, до оптимального уровня;

4. Повышение специальной выносливости;

5. Психологическая подготовка (повышение мотивации к занятиям данными видами спорта и участию в соревнованиях);

6. Тактическая подготовка (где это необходимо).

### ***Скоростно-силовые виды спорта (прыжки, метания)***

Задачи тренировки:

1. Определение индивидуально оптимальной техники выполнения соревновательных движений и обучение их выполнению;

2. Повышение степени освоенности соревновательных движений;

3. Повышение силового потенциала мышц, работающих при выполнении соревновательных движений;

4. Психологическая подготовка (повышение мотивации к занятиям данными видами спорта и участию в соревнованиях);

5. Улучшение подвижности в суставах (где это необходимо)

### ***Сложно-координационные виды спорта***

*Гимнастика спортивная и художественная, акробатика, фигурное катание, лыжная акробатика и др.*

Задачи тренировки:

1. Обучение выполнению соревновательных движений;

2. Повышение степени освоенности соревновательных движений;

3. Повышение силового потенциала мышц, работающих при выполнении соревновательных движений, до оптимального уровня;

4. Повышение специальной выносливости;

5. Улучшение гибкости

6. Психологическая подготовка (повышение мотивации к занятиям данными видами спорта и участию в соревнованиях).

*Горные лыжи и другие виды спусков с гор*

Задачи тренировки:

1. Формирование навыков спусков (обучение базовым элементам техники спусков, определение и обучение индивидуально оптимальным способам прохождения дистанций в зависимости от их структуры, обучение способам реагирования и повышение скорости реагирования на не планируемые ситуации спуска);

2. Повышение степени освоенности элементов техники спусков;

3. Повышение силового потенциала мышц, работающих при выполнении соревновательных движений, до оптимального уровня;

4. Повышение специальной выносливости;

5. Улучшение подвижности в суставах (где это необходимо)

6. Психологическая подготовка (повышение мотивации к занятиям данными видами спорта и участию в соревнованиях).

*Прыжки в воду*

Задачи тренировки:

1. Обучение выполнению соревновательных движений;

2. Повышение степени освоенности соревновательных движений;



3. Повышение силового потенциала мышц, работающих при выполнении соревновательных движений, до оптимального уровня;

4. Улучшение гибкости

5. Психологическая подготовка (повышение мотивации к занятиям данными видами спорта и участию в соревнованиях).

*Прыжки на лыжах с трамплина*

Задачи тренировки:

1. Определение и обучение индивидуально оптимальной технике прыжков;

2. Повышение степени освоенности движений прыжков;

3. Обучение способам реагирования и повышение быстроты реагирования на не планируемые изменения полётных ситуаций;

4. Улучшение подвижности в суставах (где это необходимо);

5. Психологическая подготовка (повышение мотивации к занятиям данным видом спорта и участию в соревнованиях).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виру, А.А. Гормоны и спортивная работоспособность / А.А. Виру, П.К. Кырге. – М.: Физкультура и спорт, 1983. – 159 с.
2. Воробьёв, А.Н. Тяжелоатлетический спорт. Очерки по физиологии и спортивной тренировке. – Изд. 2-е / А.Н. Воробьёв. – М.: Физкультура и спорт, 1997.
3. Грин, Н. Биология: в 3-х т; под ред. Р. Сопера / Н. Грин, У. Стаут, Д. Тейлор. – М.: Мир, 1996. – 376 с.
4. Данилова, Н.Н. Физиология высшей нервной деятельности: учебник / Н.Н. Данилова, А.Л. Крылова. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 399 с.
5. Дубровский, В.И. Физиология физического воспитания и спорта / В.И. Дубровский, В.Н. Смирнов. – М.: Владос, 2002. – 255 с.
6. Михайлов, С.С. Спортивная биохимия: учебник для Вузов и колледжей физической культуры – 4-е. изд. / С.С. Михайлов. – М.: Советский спорт, 2007. – 260 с.
7. Петровский, А.В. Психология: учеб. для студ. ВУЗов / А.В. Петровский, М.Г. Ярошевский. – 7-е изд., стер. – М.: ИЦ «Академия», 2007. – 512 с.
8. Попов, Г.И. Биомеханика: учебник для студ. высш. уч. заведений / Г.И. Попов. – М.: «Академия», 2007. – 256 с.
9. Психология; под ред. А.В. Петровского, М.Г. Ярошевского. – М.: 1990. – 494 с.
10. Роен, Й. Большой атлас по анатомии / Й. Роен, Ч. Йокочи, Э. Лютьен-Дрекол. – М.: АСТ-ЛТД, 1998. – 486 с.
11. Спортивная физиология: учебн. для ин-тов физ. культуры; под ред. Я.М. Коца. – М.: Физкультура и спорт, 1986. – 240 с.
12. Теория и методика физического воспитания: учеб. для фак. физ. культуры пед. институтов по спец. физ. культура; под ред. Б.А. Ашмарина. – М.: Просвещение, 1990. – 287 с.
13. Трофимов, А.М. Развитие силы и силовые виды спорта: учеб. пособ. для студ. спорт. фак. пед. узов / А.М. Трофимов. – Елец: ЕГУ им. И.А. Бунина, 2003. – 113 с.
14. Трофимов, А.М. Атлетическая гимнастика: учеб. пособ. для студ. спорт. фак. / А.М. Трофимов. – Елец: ЕГУ им. И.А. Бунина, 2007. – 93 с.
15. Трофимов, А.М. От теории двигательной деятельности к методам спортивной тренировки: монография / А.М. Трофимов. – Елец: ЕГУ им. И.А. Бунина, 2015. – 130 с.
16. Трофимов, А.М. Физическая выносливость и её видовая дифференциация / А.М. Трофимов, А.И. Прокофьев // Теория и практика физической культуры. – 2014. – № 6.
17. Физиология мышечной деятельности: учебник для институтов физической культуры; под ред. Я.М. Коца. – М., 1982. – 347 с.
18. Физиология центральной нервной системы: учеб. пособие / Т.В. Алейникова, В.Н. Думбай и др. – Ростов н/Д.: Феникс, 2000. – 384 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение .....</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. Основные анатомо-функциональные системы, обеспечивающие реализацию двигательных функций организма человека ..</b>	<b>4</b>
1.1. Нервная система .....	4
1.1.1. Строение и функции нервной системы .....	4
1.1.2. Роль нервной системы в обеспечении двигательных функций организма человека .....	7
1.2. Система внешнего дыхания .....	8
1.3. Сердечнососудистая система .....	11
1.4. Эндокринная система .....	16
1.5. Система крови .....	20
1.6. Пищеварительная система .....	22
1.7. Опорно-двигательный аппарат .....	23
1.7.1. Мышцы .....	23
1.7.2. Строение тела человека, обеспечивающее реализацию двигательных функций, и виды движений человека .....	25
<b>Глава 2. Биохимия двигательной деятельности .....</b>	<b>32</b>
2.1. Химические вещества, необходимые для реализации двигательных функций организма .....	32
2.2. Основные биохимические процессы, обеспечивающие реализацию двигательных функций организма .....	43
<b>Глава 3. Психофизиологические механизмы организации и управления движениями .....</b>	<b>51</b>
<b>Глава 4. Факторы, определяющие физические способности индивида .....</b>	<b>58</b>
4.1. Факторы, определяющие силовые способности индивида .....	58
4.2. Факторы, определяющие скоростные способности индивида .....	63
4.3. Факторы, определяющие возможности ловкости индивида .....	69
4.4. Факторы, определяющие возможности физической выносливости индивида .....	71
<b>Глава 5. Развитие физических способностей (физиологические аспекты, принципы и методы тренировки) .....</b>	<b>78</b>
5.1. Развитие силовых способностей .....	78
5.1.1. Физиология тренировочного эффекта при развитии силы мышечных сокращений .....	78
5.1.2. Свойства суперкомпенсации и принципы развития силы мышц .....	79
5.1.3. Методы силовой тренировки .....	88
5.1.4. Принципы и методы силовой тренировки в зависимости от цели тренировки .....	92
5.2. Развитие скоростных способностей .....	95
5.3. Развитие ловкости .....	98

5.4. Тренировка физической выносливости .....	98
5.4.1. Изменения систем организма при тренировке физической вы- носливости .....	98
5.4.2. Принципы тренировки физической выносливости .....	100
5.4.3. Методы тренировки физической выносливости .....	103
<b>Глава 6. Содержание спортивной тренировки в зависимости от со- держания соревновательной деятельности .....</b>	<b>106</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>110</b>

Учебное издание

**Александр Михайлович Трофимов**

**УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ  
ДВИГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ  
ОРГАНИЗМОМ ЧЕЛОВЕКА И ДОСТИЖЕНИЯ  
ТРЕНИРОВОЧНОГО ЭФФЕКТА  
ПРИ ЗАНЯТИЯХ СПОРТОМ**

(ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ,  
БИОМЕХАНИКА ДВИГАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
И СПОРТИВНОЙ ТРЕНИРОВКИ)

Учебное пособие

*Техническое исполнение – В. М. Гришин  
Книга печатается в авторской редакции*

Формат 60 x 84 /16. Гарнитура Times.

Печ.л. 7,0. Уч.-изд.л. 6,8

Электронная версия. Заказ 19

Размещено на сайтах: <http://elsu.ru/kaf/sport/edu>,  
<https://elibrary.ru/defaultx.asp>

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина»  
399770, г. Елец, ул. Коммунаров, 28,1