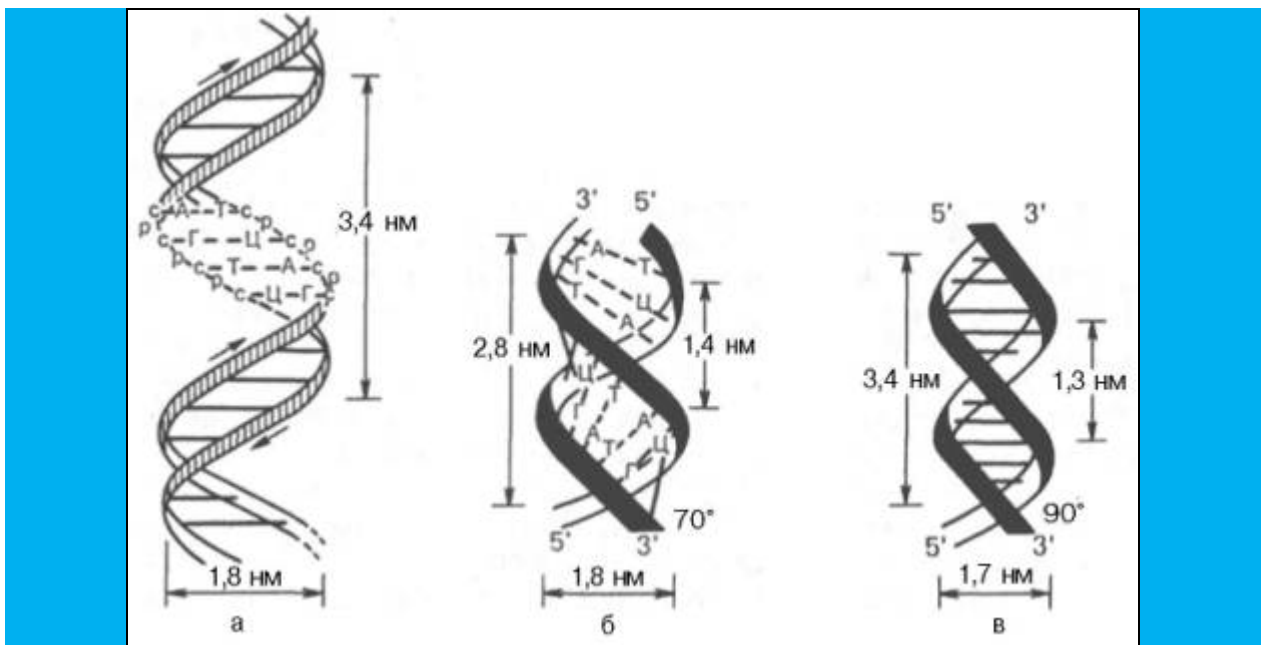


*Кучерявый В.В.*

## ФИЗИОЛОГИЯ

### С ОСНОВАМИ БИОХИМИИ.



*Москва 2016 год.*

**ДЕПАРТАМЕНТ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА Г. Москвы.**  
**Колледж физической культуры и спорта «Спарта»**

**Кучерявый В.В.**

**Физиология  
с основами биохимии.**

*Курс лекций для колледжа физической культуры.  
(издание 2-е дополненное и исправленное).*

*Рекомендовано методическим советом Департамента по физической культуре и спорту  
г. Москвы в качестве пособия для средних специальных учебных заведений по  
специальности 050141- «физическая культура».*

Москва  
ВИНИТИ  
2016 год

Автор: Кучерявый Всеволод Владимирович.

## **ФИЗИОЛОГИЯ С ОСНОВАМИ БИОХИМИИ.**

(курс лекций для студентов колледжа физической культуры).

### Основные разделы курса.

1. Основные физиологические процессы и общая возбудимость тканей.
  2. Физиология нервной системы.
  3. Эндокринная и сенсорные системы.
  4. Кровь и кровообращение.
  5. Физиология внутренних органов.
  6. Основы возрастной физиологии.
  7. Основы спортивной физиологии.
  8. Общая характеристика метаболизма.
  9. Биохимия спортивной деятельности.
  10. Спортивная работоспособность и биохимия.

### **Раздел 1. Основные физиологические процессы и общая возбудимость тканей.**

#### Основные темы раздела.

1. Физиологические принципы регуляции и возникновение нервного импульса.
2. Физиология мышечного сокращения.
3. Физиологические особенности элементарных нервных структур.

## **1. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РЕГУЛЯЦИИ И ВОЗНИКНОВЕНИЕ НЕРВНОГО ИМПУЛЬСА.**

### **Основные вопросы темы и семинарского занятия.**

1. Что изучает физиология? Принципы регуляции и работы организма.
2. Молекулярное строение клеточной мембраны и природа нервного импульса..
3. Потенциал покоя.
4. Потенциал действия.
5. Некоторые основные понятия физиологии возбуждения.

### **1. Что изучает физиология? Принципы регуляции и работы организма.**

*Физиология* – это наука, изучающая функции организма. В основе работы живых организмов лежат некоторые общие принципы и механизмы, которые направлены на сохранение нормальной жизнедеятельности организма. Эти принципы и механизмы принято называть физиологическими процессами. Они и являются в значительной мере главными предметами изучения физиологии как науки. К таким физиологическим процессам можно отнести *рефлекс, гомеостаз и адаптацию*.

*Рефлекс* – реакция организма на раздражение, реализуемая через нервную систему. Для большинства животных рефлекс – это важнейшая соматическая реакция, то есть ответ на воздействие окружающей среды. В простейшем виде рефлекс может быть представлен в виде *рефлекторной дуги*. *Рефлекторная дуга* – это путь прохождения нервного импульса

*при рефлекторной реакции.* Классическая рефлекторная дуга состоит из пяти компонентов:

- рецептора или нервного окончания, где возникает нервный импульс;
- афферентного пути, то есть нервов, несущих нервный импульс в ЦНС;
- вставочного нейрона или участка ЦНС;
- эфферентного пути, то есть нервов, несущих нервный импульс от ЦНС;
- эффектора, то есть рабочего органа.

Рефлекторные реакции, прежде всего, направлены на сохранение *гомеостаза*.

*Гомеостаз – это способность сохранять относительное постоянство внутренней среды и свойств организма.* Пожалуй, это физиологическое свойство организма – главная цель нормальной работы организма и поэтому на сохранение гомеостаза направлены основные усилия организма. Существенное изменение гомеостаза можно рассматривать как патологию или заболевание. Вначале на изменение гомеостаза реагирует нервная система, а затем кровь. Поэтому изменения в формуле крови часто говорят о процессах незаметного развития заболевания. Внутренний гомеостаз обеспечивает *адаптацию организма*.

*Под адаптацией понимают совокупность приспособлений организма к условиям внешней среды.* Адаптация осуществляется на всех уровнях организации живой системы, начиная от субклеточного, и кончая организменным уровнем. Таким образом, организм можно рассматривать как совокупность адаптаций разных уровней. Вначале организм реагирует на изменение в окружающей среде с помощью нервной системы, используя рефлексы безусловные, а если необходимо, приобретая условные рефлексы. Если таких реакций недостаточно, то происходит более глубинное изменение гомеостаза. На этом этапе возникают *функциональные системы*, то есть объединение различных органов и систем организма, направленное на получение адаптивного результата. Если и это не помогает, то происходят коренные наследственные изменения организма, что, в конечном итоге, может привести к появлению нового вида. Однако эта последняя возможность не является предметом изучения физиологии.

## **2. Молекулярное строение клеточной мембраны и природа нервного импульса.**

Природа нервного импульса известна давно – это электрический ток. Но как электрический заряд образуется в живых системах? Долгое время это было неизвестно, но в XX веке появилась теория, объясняющая происхождение нервного импульса неодинаковой концентрацией анионов и катионов внутри и вне клетки. Чтобы разобраться с возникновением нервного импульса, нужно вспомнить строение и свойства клеточной мембраны.

По современным представлениям, клеточная мембрана состоит из двойного слоя жиров или липидов двух классов фосфолипидов и гликолипидов. Внутри и снаружи от этого слоя находятся слои белков. Белки могут погружаться внутрь липидного слоя, образуя при этом поры, для прохождения внутрь клетки веществ.

В клетку вещества могут проникать несколькими путями. Во-первых, некоторые вещества проникают в клетку путем диффузии. Это значит, что проникновение идет по градиентам концентрации, то есть в сторону от большей концентрации к меньшей. Во-вторых, в ряде случаев работает, так называемый, активный транспорт, то есть когда вещества проникают в клетку против градиентов концентрации, то есть с затратами энергии. Оба этих механизма участвуют в важнейшем процессе, связанном с возникновением клеточного потенциала, называемом *натриево-калиевый насос*. В работе этого насоса участвуют особые ферменты клеточной мембраны *ионофоры*.

### 3. Потенциал покоя.

Натриево-калиевый насос работает таким образом, что при отсутствии стимула, то есть в неактивном состоянии, внутрь клетки ионы натрия не попадают вовсе. В то же время, ионы калия специально нагнетаются в клетку с помощью насоса. При этом через мембрану клетки ионы калия могут свободно выходить с помощью диффузии. Показано, что ионы калия примерно в 20 раз легче проникают в клетку и выходят из нее, нежели ионы натрия. Это приводит к тому, что внутри клетки накапливается отрицательный заряд, который и принято называть *потенциалом покоя*. Величина потенциала покоя определяется главным образом электрохимическим градиентом ионов калия. В результате сопряженного транспорта ионов калия и натрия поддерживается постоянная концентрация этих ионов внутри и вне клетки.

Таким образом, *непосредственной причиной формирования потенциала покоя является неодинаковая концентрация положительно заряженных и отрицательно заряженных ионов внутри и снаружи клетки.*

Не следует забывать, что внутри клетки и вне её имеются не только ионы калия и натрия, которые также вносят определенный вклад в создание потенциала покоя клетки. Поэтому принято считать, что потенциал покоя – это алгебраическая сумма всех внутренних и внешних зарядов самой мембраны.

В нервных клетках потенциал покоя составляет – 50 – 80 мВ, в скелетных мышцах – 60 – 90 мВ, а в сердечной мышце – 80 – 90 мВ.

### 4. Потенциал действия.

Для того, чтобы возник электрический ток в живой клетке, должна измениться проницаемость клеточной мембраны. Изменение проницаемости мембраны возбудимых клеток для ионов калия и натрия приводит к изменению разности потенциалов на мембране, к возникновению потенциалов действия и распространению нервных импульсов по нервным клеткам.

При стимуляции аксона электрическим током потенциал внутренней поверхности мембраны меняется с – 70 мВ до + 40 мВ. Это изменение полярности носит название *потенциала действия или спайка*.

- *Потенциал действия – это физиологический процесс, выражающийся в быстром колебании мембранного потенциала вследствие перемещения ионов в клетку и из клетки и способный распространяться без затухания.*

Потенциал действия – это процесс, который проходит несколько фаз.

1. Фаза деполяризации. Потенциал действия возникает в результате внезапного кратковременного повышения проницаемости мембраны для ионов натрия и входа этих, последних в клетку.
2. Фаза инверсии. Вследствие увеличения проводимости для натрия число положительно заряженных ионов внутри аксона возрастает, и мембранный потенциал снижается, а затем меняет знак.

3. Фаза реполяризации. Проницаемость для ионов калия возрастает, а для натрия поры закрываются. Снова начинает действовать натриево-калиевый насос. Потенциал покоя достигает прежней величины. Клетка опять готова проводить нервный импульс.

## 5. Некоторые основные понятия физиологии возбуждения.

Возбудимость – одно из важнейших свойств живых организмов. *Возбудимость – это способность организмов отвечать на раздражение реакцией возбуждения. Возбуждение – это форма ответной реакции на действие раздражителей, сопровождающаяся потенциалом действия.*

Для того, чтобы вызвать изменение возбудимости раздражитель должен иметь определенную силу. *Минимальная сила раздражителя, способная вызвать возбуждение называется пороговой.* Ткани, отвечающие на действие порогового возбуждения, называются *возбудимыми*.

Чем больше сила раздражителя, тем меньше требуется времени для перехода от местной электронегативности к волновому ответу. *Минимальная сила тока, при которой возникает возбуждение, называется реобаза.*

Время, необходимое для того, чтобы вызвать эффект возбуждения называется полезным временем. Чем выше сила раздражителя, тем меньше время латентного или скрытого периода, когда формируется возбуждение. *Минимальное время, в течение которого возникает ток в 2 реобазы, называется хронаксией.*

Нервные импульсы могут проходить по аксонам в обе стороны. После проведения нервного импульса ткань некоторое время не может его проводить. Это состояние ткани называется рефрактерностью. Рефрактерность проходит несколько стадий. На начальной стадии рефрактерность абсолютная. Это значит, что даже усиление сигнала не может вызвать проведение нервного импульса или потенциала действия. Однако абсолютная рефрактерность сменяется стадией относительной рефрактерности, когда более сильный раздражитель может вызвать деполяризацию мембраны.

## **2. ФИЗИОЛОЛОГИЯ МЫШЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ.**

### ***Основные вопросы лекции и семинарского занятия.***

1. Молекулярное строение скелетных мышц.
2. Теория скользящих нитей. Снабжение мышцы энергией.
3. Одиночное сокращение и тетанус.
4. Сила мышечного сокращения.
5. Особенности гладких мышц.

### **1. Молекулярное строение скелетных мышц.**

Клетки скелетной мышцы имеют столь своеобразное строение, что их принято называть мышечными волокнами. Каждое мышечное волокно покрыто мембраной, называемой сарколеммой. Внутри сарколеммы находится саркоплазма, имеющая сократительные элементы, называемые миофибриллы. При взгляде на миофибриллы в световом микроскопе видно, что они состоят из темных и светлых поперечных полос. Поэтому эти мышцы принято называть также поперечно-полосатыми мышцами.

При взгляде на эти мышцы в электронный микроскоп видно, что они состоят из белковых нитей двух типов: толстых и тонких. Толстые нити состоят из белка миозина, а тонкие – из белка актина. Между миофибриллами находятся многочисленные митохондрии. Кроме миофибрилл, саркоплазма содержит сеть внутренних мембран – саркоплазматический ретикулум.

Исследования в электронном микроскопе ясно показывают, что чередование темных и светлых полос обусловлено расположением актиновых и миозиновых нитей. Темные зоны называются зонами А, светлые – зонами I. Зона I разделена на две половины темной линией Z. В обе стороны от линии Z отходят тонкие актиновые нити. Там где тонкие актиновые нити перекрываются толстыми миозиновыми, наблюдаются темные зоны А. Средняя часть диска А светлая и называется линией H. Участок миофибриллы от одной линии Z до другой линии Z называется саркомером. Саркомер – это элементарная единица миофибриллы.

### **2. Теория скользящих нитей. Снабжение мышцы энергией.**

Используя данные, полученные с помощью электронного микроскопа, была сформулирована теория скользящих нитей. Как уже говорилось выше, миофибриллы состоят из нитей двух типов: тонких – актиновых и толстых – миозиновых. Согласно теории эти нити скользят друг по другу. Наблюдения показали, что актиновые нити сдвигаются по направлению линии H., то есть к середине саркомера. Предполагают, что головки миозиновых нитей служат своеобразными крючками для нитей актина, образуя химические поперечные мостики и втягивая нити внутрь диска А. Таким образом, саркомер способен укорачиваться на 30% своей длины.

Важную роль в процессе сокращения играют ионы кальция и магния. Когда ионы кальция проникают в саркоплазматический ретикулум, то это стимулирует сокращение мышцы, а проникновение туда ионов магния - расслабление.

Для сокращения мышцы нужна энергия. Показано, что единственным источником энергии для сокращения мышцы являются молекулы АТФ. Но запасов АТФ в мышцах мало и хватает лишь на 8 – 10 сокращений. Пополнение запасов АТФ в мышцах может осуществляться тремя путями:

1. Основной путь энергетического обмена – из глюкозы, через гликолиз, цикл лимонной кислоты и дыхательную цепь.
2. Из креатин фосфата, но запасов этого вещества в мышцах также не очень много, но достаточно для спринтерских забегов.
3. Миокиназная реакция:  $АДФ + АДФ \rightarrow АТФ$ . Но данная реакция – это не от хорошей жизни, а при недостатке глюкозы или креатин фосфата.

Таким образом главным источником АТФ в мышцах является глюкоза или запасы гликогена.

### 3.Одиночное сокращение и тетанус.

Для исследования работы мышцы обычно пользуются нервно-мышечным препаратом лягушки. При этом нервно-мышечный препарат присоединяют к прибору, называемому миограф. Этот прибор вычерчивает график сокращения мышцы, называемый *миограммой*.

**Одиночное сокращение.** При воздействии одиночного стимула мышца начинает сокращаться спустя очень короткое время (около 0,05 сек.), называемое *латентным периодом*. Затем мышца быстро укорачивается и в ней развивается *напряжение*. Эта фаза сокращения длится около 0,1 сек. Вслед за ней наступает *период расслабления*, когда напряжение уменьшается и мышца возвращается в исходное состояние. Этот период длится 0,2 сек. Такое сокращение называется *одиночное сокращение*.

**Двукратное сокращение.** Если интервал между первой и второй стимуляцией мышцы значителен, то на миограмме регистрируются два одиночных сокращения. Однако, если отрезок времени между двумя стимулами сократится, то второе сокращение накладывается на первое. Это, так называемая, «бугристая» миограмма. При второй стимуляции сокращение оказывается большим, чем при первой. Этот эффект называется механической суммацией.

**Ритмическое сокращение.** С увеличением частоты стимуляции неровности на миограмме постепенно сглаживаются, отдельные сокращения сливаются, и вычерчивается плавная линия, которая достигает определенного уровня. О такой мышце говорят, что она достигает состояния *тетануса*. *Тетанус* – это максимальное напряжение, которого может достичь мышца. Однако тетанус не может длиться бесконечно долго, так как мышца подвержена утомлению.

### 4. Сила сокращения мышцы.

Сила сокращения мышцы при динамической работе или величина напряжения при статической работе зависят от целого ряда факторов. Наиболее важными из них являются величина физиологического поперечника мышцы, число нервно-мышечных единиц, вовлекаемых в работу, микро- и макро структура мышцы.

Одиночное мышечное волокно развивает усилие до 200 мг. Чем больше суммарное поперечное сечение всех входящих в мышцу волокон, то есть физиологический поперечник, тем больше сила мышцы.

У мышц с параллельным расположением волокон анатомический поперечник равен физиологическому. Эти мышцы слабее мышц с перистым расположением волокон. Двуглавая мышца плеча, поэтому слабее трехглавой мышцы.



При повышении частоты раздражителей увеличивается и число нервно-мышечных единиц вовлекаемых в работу мышцы. Поэтому происходит и увеличение силы мышечного сокращения. Систематическая силовая тренировка увеличивает как поперечник мышцы, так и способность её отвечать на раздражение максимальным числом сокращающихся нервно-мышечных единиц, то есть координации.

Не менее важным фактором является конституция мышц. Показано, что мышцы состоят из волокон двух типов быстрых и медленных. Именно соотношение этих волокон определяет способность мышцы к той или иной форме работы: силовой, скоростно-силовой или работе на выносливость. Конституция мышцы – фактор наследственный. Поэтому рожденный спринтером никогда не станет стайером.

## **5. Особенности гладких мышц.**

Гладкие мышцы входят в состав внутренних органов, кровеносных сосудов, радужной оболочки глаза. Все эти мышцы обладают рядом особенностей.

1. Гладкая мускулатура – непроизвольная: эти мышцы не подчиняются нашему сознанию и контролируются вегетативной (автономной) нервной системой.
2. Гистологические свойства этих мышц не позволяют им сокращаться быстро, но зато они весьма пластичны и очень надежны.
3. Гладкие мышцы обладают высокой чувствительностью к воздействию химических агентов, что является необходимым условием адекватных реакций внутренних органов, сосудов артериального русла на действие гормонов и медиаторов нервной системы.
4. Автоматизм висцеральных мышц является основой ритмических сокращений желудка, кишечника, протоков желез. Вследствие этого улучшаются процессы переваривания пищи, опорожнения полых органов.
5. Это медленные мышцы, но при этом они практически неумимы. Напряжение гладких мышц растет пропорционально частоте и силе импульсов возбуждения, а тонус мышцы непрерывно возрастает за счет вовлекаемых в работу волокон.

Растяжение гладкой мускулатуры полого органа при наполнении его содержимым обычно сразу же ведет к её сокращению, и таким образом, обеспечивает проталкивание содержимого вперед.

### 3. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ НЕРВНЫХ СТРУКТУР.

#### *Основные вопросы лекции и семинарского занятия.*

1. Нейрон, нервные волокна и их функционирование .
2. Синапсы.
3. Свойства нервных центров.
4. Механизмы торможения.
5. Парабиоз.

#### **1. Нейрон, нервные волокна и их функционирование.**

Элементарной структурной единицей нервной ткани является *нейрон*. Нейрон состоит из тела и двух видов отростков – дендритов (короткие) и аксонов (длинные).

Главной функциональной особенностью нейрона является его способность к самовозбуждению. В ответ на раздражение нейрон отвечает импульсом активности – потенциалом действия.

Длинные нервные отростки – аксоны – составляют основу нервных волокон. Волокна бывают двух типов – мякотные и безмякотные.

Мякотные волокна входят в состав нервов иннервирующих скелетные мышцы и органы чувств. По ним нервный импульс движется раз в 10 быстрее, чем по безмякотным волокнам. Это и понятно, ведь от изменения поведения порой зависит жизнь живого существа. По этим волокнам импульс движется скачками, что, по-видимому, и является причиной увеличения скорости.

Безмякотные волокна контролируют работу внутренних органов. Здесь скорость проведения нервного импульса меньше, но её достаточно для нормального функционирования иннервируемых органов.

Для проведения нервного импульса по нейрону характерны три основные закономерности: *непрерывность, двусторонняя проводимость, и изолированное проведение возбуждения.*

#### **2. Синапсы.**

*Синапсы* – соединения между нервами, а также между нервами и иннервируемыми органами. Синапс состоит из пресинаптической и постсинаптической мембран и щели между ними, называемой синаптической щелью.

Различают синапсы двух типов: *безмедиаторные синапсы и медиаторные синапсы.* Безмедиаторные синапсы имеют очень узкую синаптическую щель. Такие синапсы встречаются обычно на проводящих путях нервной системы. Нервный импульс легко проскакивает такую щель. При этом скорость проведения нервного импульса не меняется.

Медиаторные синапсы имеют более широкую синаптическую щель. Поэтому для её преодоления необходима помощь

вещества – медиатора.

Медиаторы бывают двух типов – ускоряющие и тормозящие. К ускоряющим медиаторам относятся: ацетилхолин, адреналин, норадреналин. К тормозящим – г-аминомасляная кислота, серотонин, глицин. Такие синапсы встречаются в различных частях головного и спинного мозга, где благодаря им можно изменить скорость прохождения нервного импульса.

### 3. Свойства нервных центров.

*Совокупность нейронов, регулирующих определенную физиологическую функцию или рефлекторный акт, называется нервным центром.* Нервный центр – это понятие скорее функциональное, нежели морфологическое, так как части нервного центра могут находиться в разных местах нервной системы.

Нервный центр имеет ряд физиологических особенностей: *одностороннее проведение возбуждения, способности трансформировать ритм, задерживать и облегчать проведение нервного импульса, последствие и формирование доминанты.*

*Одностороннее проведение возбуждения* означает, что из нервного центра сигналы передаются только в одном направлении.

*Способность к изменению частоты проведения нервного импульса* позволяет изменить характер передаваемой информации.

*Последствие* позволяет образовать в пределах центра устойчивые связи, которые являются основой для возникновения памяти.

*Доминанта – это временно господствующая рефлекторная система, определяющая характер формирования нервных центров, обеспечивающая усиление текущей и (или) повышенную готовность к предстоящей деятельности.*

Усиление двигательной доминанты позволяет с большой эффективностью адаптироваться к физической нагрузке. Доминантная установка на достижение высокого результата позволяет настроить физиологические механизмы и все виды текущей физиологической активности на выполнение нагрузки, лежащей на пределе человеческих возможностей.

### 4. Механизмы торможения.

Торможение – это важнейшее свойство нервной системы, позволяющее избежать ей перегрузки. Различают два типа механизмов торможения *пресинаптическое и постсинаптическое.*

*Пресинаптическое* торможение осуществляется через тормозные вставочные нейроны, находящиеся на разветвлениях аксонов. Через эти вставочные нейроны поступает медиатор, усиливающий деполяризацию пресинаптических мембран аксонов, передающих возбуждение на соседние клетки. В результате этой деполяризации передача возбуждения дальше не происходит.

*Постсинаптическое торможение* может быть *прямым и возвратным.* Прямое торможение осуществляется вставочными нейронами спинного мозга, корзинчатыми нейронами таламуса и клетками Пуркинью мозжечка. В этом случае происходит гиперполяризация постсинаптической мембраны. Медиатор прямого торможения г-аминомасляная кислота увеличивает проницаемость для ионов калия. Прямое

торможение может быть следствием длительно протекающей деполяризации постсинаптической мембраны.

Возвратное торможение осуществляется через особые тормозные нейроны Реншоу. Здесь торможение осуществляется по коллатеральным путям, то есть клетка тормозит сама себя. В этом случае чаще всего в виде медиатора используется глицин.

## 5. Парабиоз.

Увеличение силы раздражителя ведет к усилению ответной реакции живой ткани. Однако это увеличение не беспредельно. При повреждении нерва его функциональная активность или лабильность падают. *Понижение лабильности в результате повреждения называется парабиозом.*

Развитие парабиоза проходит три стадии: *уравнительную, парадоксальную и тормозящую.*

*Уравнительная стадия* характеризуется тем, что и частые и редкие импульсы вызывают одинаковый ответ.

*Парадоксальная стадия* характеризуется слабым ответом, раздражаемой ткани на сильный раздражитель. На слабый раздражитель при этом реакция может быть более сильной, чем на сильный.

*Тормозящая стадия* характеризуется полной неспособностью поврежденного участка проводить нервный импульс.

Парабиотическое торможение в нервных центрах может возникать как результат длительного истощающего воздействия раздражителя.

Отсутствие видимого ответа на действие сверх частот можно считать одной из форм торможения, называемого *пессимальным торможением.*

## **Раздел 2. Физиология нервной системы.**

### **Основные темы раздела.**

- 4. Физиология спинного и головного мозга.**
- 5. Физиология эмоций и больших полушарий.**
- 6. Регуляция движений и ВНД.**

## **4. ФИЗИОЛОГИЯ СПИННОГО И ГОЛОВНОГО МОЗГА.**

### ***Основные вопросы лекции и семинарского занятия.***

1. Физиология спинного мозга.
2. Продолговатый мозг.
3. Средний мозг.
4. Физиология таламуса.
5. Физиология гипоталамуса.
6. Ретикулярная формация и лимбическая система.
7. Мозжечок.
8. Подкорковые ядра.

### **1. Физиология спинного мозга.**

Спинной мозг находится в спинномозговом канале. Он выполняет две главные функции: *проводниковую и рефлекторную*

Спинной мозг осуществляет функцию проведения нервных импульсов по пучкам длинных отростков нервных клеток, образующих нисходящие и восходящие пути. *По восходящим путям* нервные сигналы от рецепторов скелетных мышц, сухожилий, связок направляются в кору полушарий большого мозга и мозжечок. В промежуточный мозг идут импульсы сенсорной рецепции, тактильной, болевой, температурной и др.

*По нисходящим путям* направляются импульсы от коры больших полушарий головного мозга к различным частям нервной системы. У человека двигательные пути корковых клеток составляют около 30% от общего числа всех нервных волокон. Это указывает на то, что структуры коры доминируют в нервной системе человека (например, у собак они составляют 10%, а у рептилий 5%).

*Рефлекторная функция спинного мозга* также испытывает сильное влияние со стороны головного мозга. Особенностью морфологической структуры спинного мозга является количественное преобладание чувствительных нервов над двигательными. Это создает возможность некоторого первичного анализа, но при этом большая часть функций, несомненно, регулируется корой. В спинном мозге происходит, и отсекание лишних нервных импульсов, и на конечный общий путь выходит наиболее важный по биологическому значению импульс.

Особенностью иннервации спинным мозгом отдельных частей тела является *корешковая метамерия – морфологическая приуроченность* сегментов спинного мозга к частям тела. Причем, каждый метамер тела обеспечивается перекрывающейся иннервацией: кроме «главного» сегмента спинного мозга нервы идут и от верхнего и от нижележащего сегмента. Спинной мозг обеспечивает также сопряженную иннервацию двигательных актов, что достигается сопряжением возбуждения и торможения скелетных мышц.

## **2. Продолговатый мозг.**

Продолговатый мозг является и морфологически и функционально продолжением спинного мозга. Здесь расположены первичные центры дыхания, сердечной деятельности, а также центры потоотделения и пищеварения.

Продолговатый мозг контролирует рефлексы сосания, глотания, рвоты, кашля, чихания, мигания. Эти рефлексы возникают в ответ на раздражение волокон языкоглоточного, слухового, вестибулярного, тройничного и блуждающего нервов. Так раздражение чувствительных окончаний тройничного нерва при прикосновении к губам ребенка вызывает сосательные движения. Эфферентные импульсы направляются к мышцам, участвующим в акте сосания, по лицевому и подъязычному нервам.

Афферентные пути рефлекса глотания идут в составе тройничного, языкоглоточного и блуждающего нервов. По эфферентным волокнам тройничного, подъязычного и языкоглоточного нервов от центров глотания поступают сигналы к исполнительным приборам глотания.

Рефлекторные реакции рвоты, кашля, чихания, реализуются по той же схеме. По двигательным путям этих центров импульсы из продолговатого мозга передаются на исполнительные органы.

Продолговатый мозг является также важной точкой проведения нервных импульсов от коры больших полушарий и ретикулярной формации к спинному мозгу.

## **3. Средний мозг.**

Средний мозг состоит из четверохолмия и ножек среднего мозга. Основные его центры – красное пятно, черная субстанция, ядра глазодвигательного и блокового нервов. Здесь находятся первичные подкорковые центры мышечного тонуса, зрительных, ориентировочных и слуховых рефлексов и высшие подкорковые центры глотания и жевания.

Тонус мышц определяет красное пятно. Сюда сходятся все импульсы, касающиеся тонуса, идущие от коры больших полушарий, подкорковых ядер, мозжечка и ретикулярной формации. Повышение тонуса скелетной мускулатуры чаще всего связано с выключением красного пятна.

Средний и продолговатый мозг реализуют врожденные тонические рефлексы. Средний мозг обеспечивает также ориентировочные и двигательные рефлексы. В передних буграх четверохолмия находятся первичные зрительные центры. Они осуществляют поворот глаз и головы в сторону раздражителя. Задние бугры являются рефлекторными центрами слуховых ориентировочных рефлексов. Их функция схожа с функцией передних бугров, но в ответ на звуковую информацию.

## **4. Физиология таламуса.**

В таламусе содержатся афферентные пути, идущие в большие полушария. Таламус оказывает специфическое и неспецифическое влияние на кору.

Специфические ядра таламуса посылают импульсы к небольшому числу корковых клеток и имеют пространственно ограниченное влияние. Их подразделяют на переключающие и ассоциативные. Переключающие ядра передают сигналы от определенных сенсорных волокон, несущих рецепторное возбуждение к ассоциативным ядрам. Некоторые из этих ядер служат переключателями сигналов от мозжечка к передней центральной извилине коры больших полушарий.

Передние ядра таламуса входят в висцеральные пути. Висцеральная рецепция является причиной, например, отраженных болей. Известно, что заболевания внутренних органов вызывают болезненное повышение чувствительности отдельных участков кожи. Так боли в сердце, связанные с приступом стенокардии, отдают в левое плечо и под левую лопатку, а при воспалении желчного пузыря болит правый бок и т. д.

В передней части таламуса находятся ассоциативные ядра. Они связаны с ассоциативными ядрами коры. Таламус – это также подкорковый болевой центр. В его ядрах происходит переработка информации от болевых рецепторов и формирование ощущения боли.

## **5. Физиология гипоталамуса.**

Гипоталамус – это главный координирующий и регулирующий центр вегетативной нервной системы. К нему подходят сенсорные волокна от всех висцеральных, вкусовых и обонятельных рецепторов. Отсюда через продолговатый и спинной мозг информация подается на эффекторы и используется для регуляции сердечного ритма, артериального давления, дыхания и перистальтики. В гипоталамусе лежат специальные центры, от которых зависят голод, жажда, сон, а также поведенческие реакции, связанные с агрессивностью и размножением.

Гипоталамус обладает богатой сетью кровеносных сосудов и контролирует температуру крови, а также концентрацию продуктов обмена веществ в крови. На основании полученной из разных концов нервной системы информации гипоталамус вместе с гипофизом регулируют секрецию большинства гормонов и поддерживает постоянство состава крови и межклеточной жидкости.

В нейросекреторных клетках гипоталамуса образуются многие гормоны, которые раньше считались результатом работы гипофиза. Как оказалось, эти гормоны лишь хранятся в задней доле гипофиза.

## **6. Ретикулярная формация и лимбическая система.**

*Ретикулярная формация* – это особое образование сетчатых нервных клеток с густо переплетенными отростками. Она характерна практически для всех отделов ствола мозга. Ретикулярная формация оказывает активизирующее и тормозящее воздействие на кору больших полушарий мозга. Специфичность ретикулярной формации состоит в том, что она формирует многие поведенческие рефлексy: половые, пищевые и другие. Многие функции этой части мозга до сих пор непонятны.

В *лимбическую систему мозга* входят поясная извилина, грушевидная доля, область перегородки, миндалевидные ядра коры, а также части таламуса, гипоталамуса и среднего мозга. Лимбическая система участвует во многих регуляторных реакциях, например, в смене сна и бодрствования. Совместно с гипокампом, который часто включают в эту систему, она участвует в процессах долговременной памяти. Особую роль лимбическая система играет в формировании эмоций.

## 7. Мозжечок.

Мозжечок – это центр координации сложных двигательных актов и произвольных движений. Он состоит из двух полушарий и покрыт тонким слоем серого вещества, называемым корой мозжечка. Серое вещество содержит множество разнообразных нервных клеток, наибольшее значение среди которых имеют клетки Пуркинье. Полагают, что мозжечок интегрирует всю информацию о работе мышц и благодаря этому обеспечивает их координацию. При повреждении мозжечка движения становятся резкими и плохо управляемыми. Все функции мозжечка осуществляются без участия сознания, но на разных этапах тренировки могут включать элемент научения. При обучении мозжечком управляет кора больших полушарий, при этом необходимы определенные волевые усилия. Например, волевые усилия нужны при обучении ходьбе, плаванию или езде на велосипеде. После выработки навыка мозжечок берет на себя функцию контроля движений. Этому способствует наличие в мозжечке огромного числа синапсов.

## 8. Подкорковые ядра.

К подкорковым ядрам относятся такие структуры, как *хвостатое ядро, бледный шар, скорлупа*. Первые две структуры иногда объединяют общим названием *полосатое тело или стриатум*.

Бледный шар наиболее древнее образование мозга и в то же время наименее изученная его часть. Показано, например, что разрушение отдельных частей полосатого тела приводит к нарушению обширных связей коры с ядрами стволовой части мозга. У обезьян это ведет к снижению двигательной активности и каталепсии (дрожательный паралич). По-видимому, бледный шар выполняет роль коллектора, связывающего кору больших полушарий с таламусом, гипоталамусом и ядрами стволовой части мозга. Полосатое тело имеет отношение к регуляции гемодинамики. Его разрушение снижает у животных болевой порог. У человека при нарушениях работы этой части мозга снижается уровень памяти, возникает «эмоциональная тупость», происходит задержка речи, нарушается сон.



## 5. ФИЗИОЛОГИЯ ЭМОЦИЙ И БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ.

### *Основные вопросы лекции и семинарского занятия.*

1. Физиология эмоций.
2. Функциональная структура больших полушарий.
3. Сенсорные и двигательные зоны коры.
4. Ассоциативные зоны коры.
5. Асимметрия больших полушарий.

#### **1. Физиология эмоций.**

*Эмоции* – это выражение реакций возбуждения, которые являются отражением мозгом потребностей организма и вероятности их удовлетворения.

Различают эмоции *положительные и отрицательные*. Отрицательные эмоции связаны с неудовлетворением потребностей. Различают отрицательные эмоции 2 типов: *стенические и астенические*. Для отражения опасности вспыхивают стенические эмоции: ярость, негодование, гнев. Если это не дает результата, то им на смену приходят астенические эмоции: страх, тоска, ужас. Астенические эмоции возникают вследствие того, что предельное напряжение не приносит результата, цель не достигнута.

Отрицательные последствия могут иметь и сильные положительные эмоции. Известны случаи, когда чрезмерная радость оканчивалась трагически. Например, история марафонского бегуна, который принес в Афины весть о победе греков над персами в битве при Марафоне. Он умер от разрыва сердца, а причиной этому был не бег, а чрезмерная радость.

Механизмы возникновения эмоций изучены недостаточно. Известно, что эмоции у человека регулируются на сознательном и подсознательном уровне. За сознательное регулирование эмоций отвечает кора больших полушарий. Именно благодаря коре мы можем скрывать эмоции и продавать их, как это делают актеры. Вегетативный компонент эмоций регулируется различными частями лимбической системы и, прежде всего, гипоталамусом. В этой части нервной системы различают центр «удовольствия» и центр «наказания». Важную роль в волевой регуляции эмоций играют передние доли коры больших полушарий и гипокамп. Сигналы, попадающие из внешней среды, оцениваются с точки зрения вероятности их удовлетворения. В лобных долях формируется ответ на сигналы с высокой вероятностью удовлетворения, а в гипокампе – с низкой вероятностью. Разрушение гипокампа приводит к тому, что человек начинает реагировать только на события с высокой степенью вероятности. Нарушение работы передних долей мозга делает эмоции неуправляемыми.

#### **2. Функциональная структура больших полушарий.**

Кора больших полушарий представляет собой многослойную нейронную ткань, имеющую множество складок. Толщина коры всего 3 мм. Левое и правое полушария соединены мозолистым телом. Поверхность коры сильно увеличена за счет многочисленных складок, называемых извилинами.

В коре выделяют 6 слоев клеток, каждый из которых состоит из пирамидных и звездчатых клеток. Главная особенность пирамидных клеток состоит в том, что их длинные отростки – аксоны – выходят из коры, а также оканчиваются в других корковых структурах. Звездчатые клетки имеют форму звезды, их аксоны меньшей длины и также имеют окончание в коре. Показано, что восприятие нервного импульса происходит,

главным образом, во-первых четырех слоях клеток. А формирование эфферентных сигналов в 5 – 6 слоях.

В 1909 году немецкий ученый К. Бродман разделил кору больших полушарий на 52 поля, которые отличались, прежде всего, по форме и расположению нейронов. К сожалению, это деление не всегда указывает на функциональные отличия в строении коры.

С помощью электрофизиологических методов исследования было установлено, что в коре существуют функциональные области трех типов: *сенсорные зоны, ассоциативные зоны и двигательные зоны*. Сенсорные зоны обрабатывают входные сигналы, то есть получают сигналы от рецепторов. Ассоциативные зоны интерпретируют и хранят полученную информацию. Двигательные зоны посылают выходные сигналы, то есть импульсы, идущие к эффекторам. Взаимодействие между этими зонами позволяет коре больших полушарий контролировать и координировать все произвольные и некоторые непроизвольные формы деятельности, включая память, научение и свойства личности.

### **3. Сенсорные и двигательные зоны коры.**

Афферентные импульсы от всех рецепторов, за исключением обонятельных, поступают в кору через таламус. Различают *две соматосенсорные, зрительную, слуховую, вкусовую* и другие области коры, принимающие импульсы от органов чувств.

*Первая соматосенсорная зона коры* расположена в районе центральной извилины. К ней поступают импульсы от рецепторов, контролирующей работу двигательного аппарата, а также от кожных и висцеральных рецепторов.

*Вторая соматосенсорная зона* расположена под центральной (роландовой) бороздой. Импульсы поступают в нее от рецепторов мышечного аппарата и внутренних органов через вентральные ядра таламуса.

В затылочной доле мозга находится центральная зона *зрительной рецепции*. Сюда нервные импульсы поступают от колленчатых тел таламуса. Разрушение этой зоны приводит к корковой слепоте.

*Слуховая зона* располагается в височной доле. В эту зону нервные импульсы поступают по внутренним колленчатым телам таламуса.

*Зона вкусовой рецепции* находится в районе грушевидной и крючковидной извилин. Сюда импульсы поступают, минуя таламус.

Особенностью двигательных зон коры является то, что они располагаются недалеко от сенсорных зон. В области прецентральной извилины находятся зоны движения различных мышечных групп. В районе затылочной доли находится зона, контролирующая движения глаз.

### **4. Ассоциативные зоны коры.**

Ассоциативные зоны коры связывают вновь полученную сенсорную информацию с полученной ранее и хранящейся в блоках памяти. Второй функцией этих зон является сопоставление разных данных от других рецепторов. Наконец, именно здесь формируется ответ который передается в двигательную зону коры. Таким образом, именно в этих зонах формируется то, что мы в обиходе называем интеллектом человека.

Отдельные крупные ассоциативные области коры располагаются рядом с соответствующими двигательными и сенсорными зонами. Однако существуют и, так сказать, вторичные ассоциативные зоны, которые подвергают информацию дальнейшему анализу. Например, слуховая ассоциативная зона анализирует звуки, а вот речь и, следовательно, смысл слов – уже другая зона, зона устной речи.

Функции некоторых участков коры до сих пор остаются загадочными. Эти зоны физиологи называют «немыми», так как раздражение их электрическим током не дает никаких реакций и ощущений. Предполагают, что эти зоны отвечают за индивидуальные особенности человека. Показано, что удаление или поражение этих зон снижает уровень интеллекта.

## **5. Асимметрия больших полушарий.**

Еще в середине XX века были обнаружены различия в работе правого и левого полушария. Раньше существовал способ лечения эпилепсии, который выражался в рассечении мозолистого тела и нарушении связей между полушариями. Люди после такого «лечения» легко различали предмет, если он попадал в поле зрения правого глаза, а при попадании в поле зрения левого глаза, больной ничего не мог рассказать о предмете. Дальнейшее изучение людей с рассеченным мозгом продемонстрировало, что правое полушарие не наделено способностью к словесным обобщениям.

При разрушении левого полушария у правой половины тела теряется целенаправленность действий, меняется содержание понятий «настоящее» и «будущее». У людей с рассеченным мозолистым телом наблюдается раздвоение сознания.

Показано, что целостный мозг работает иначе, нежели рассеченный, но при этом ученые отмечают различие между людьми, с преобладающим правополушарным и левополушарным мышлением. Левополушарное мышление – это мышление с использованием стандартных общеупотребительных понятий. Именно это полушарие воспринимает основные научные истины и абстракции. Правополушарное мышление характерно для художников. В повседневной жизни оба полушария дополняют друг друга, но существование «леворуких» и «праворуких» людей, у которых больше развито соответственно правое и левое полушарие указывает на фундаментальность этого явления.

## 6. РЕГУЛЯЦИЯ ДВИЖЕНИЙ И ВНД.

### Основные вопросы лекции и семинарского занятия.

1. Регуляция мышечного тонуса и произвольных движений.
2. Управление двигательной деятельностью.
3. Двигательный навык.
4. Взаимосвязь двигательных и вегетативных функций.
5. Классификация безусловных и условных рефлексов.
6. Условия и механизмы образования условных рефлексов.
7. Торможение условных рефлексов.
8. Особенности ВНД человека.

#### 1. Регуляция мышечного тонуса и произвольных движений.

Все движения мышц нашего тела можно условно разбить на произвольные и непроизвольные. Гладкая мускулатура осуществляет непроизвольные движения, скелетные мышцы подчиняются нашему сознанию. Однако не все стороны работы скелетных мышц контролируются нашим сознанием.

*Мышечный тонус* – это напряжение мышц, поддерживаемое нейрогуморальной регуляцией и обеспечивающее определенное положение тела или перемещение в пространстве. Тонус мышц обеспечивается *тоническими рефлексами*, которые не подчиняются нашему сознанию.

К числу врожденных тонических рефлексов относятся *статические и статокинетические рефлексы*.

*Статические рефлексы* обуславливают положение тела в покое. Сюда относятся *рефлексы положения и выпрямительные рефлексы*.

*Рефлексы положения* возникают, например, при наклонах и поворотах головы. Поднимание и опускание головы вызывает изменение тонуса мышц туловища и конечностей. Важная роль в этих процессах принадлежит вестибулярному аппарату.

*Выпрямительные рефлексы* обеспечивают сохранение позы при отклонении её от нормального положения тела. Цепь выпрямительных рефлексов начинается с поднимания головы и последующего изменения положения туловища и заканчивается восстановлением нормальной позы.

*Статокинетические рефлексы* обеспечивают тонус движений нашего тела. Сюда относят *рефлексы вращения, лифтные рефлексы, а также рефлексы отталкивания, ритмический и сгибательный рефлекс*.

Произвольные движения регулируются прежде всего корой больших полушарий, но в основе этих движений лежат механизмы поддержания тонуса мышц. Коррекцию между тонусом мышц и корой больших полушарий осуществляет мозжечок.

#### 2. Управление двигательной деятельностью.

Двигательная деятельность осуществляется под контролем коры больших полушарий и мозжечка.

В основе физиологического механизма управления движений лежит принцип сенсорных коррекций. Импульсы коррекции движений возникают в двигательных центрах в результате поступления сигналов от рецепторов мышц в центральный аппарат регуляции движений (обратная связь). Произвольные движения не осуществляются по схеме рефлекторной дуги. Связь здесь носит не морфологический, а функциональный характер. Поэтому они требуют совершенствования и неоднократного повторения.

Скорость осуществления движений ограничивает контроль их выполнения. Например, упражнение, выполняемое со скоростью 0,1 – 0,2 секунды, не корректируются. Поэтому для выработки навыка в таких упражнениях требуется особая методика. Она состоит в том, что вначале упражнение выполняется на малой скорости, а уже затем постепенно

увеличивается скорость его выполнения. Только при времени выполнения около 2 сек. создаются оптимальные условия для коррекции. Такая скорость является наиболее доступной для детей школьного возраста.

После выработки навык становится автоматизированным.

### **3. Двигательный навык как автоматизированная форма управления движениями.**

Двигательный навык относится к вторичным автоматизмам, так как на первых порах движения, составляющие его основу, осознаются. Двигательный навык рассматривается как способ управления и как произвольный акт, наиболее характерной чертой которого является автоматизм регуляторных влияний со стороны ЦНС.

Чем совершеннее навык, тем выше степень автоматизма, то есть ниже степень сознательного контроля. Однако между этими двумя формами контроля нет никакого противоречия, так как осознается результат движения, а также некоторые его элементы.

Автоматизм облегчает двигательную деятельность, способствует экономичному расходованию энергетических ресурсов организма. Это дает высшим отделам ЦНС возможность переключаться на более сложные задачи. Навык – многокомпонентная система, включающая в себя афферентный, эфферентный, вегетативный и центральный компоненты. Для спортсменов различных специализаций эти компоненты имеют разное значение. Например, для бегуна важнее всего эфферентный и вегетативный компоненты. Для гимнаста и фехтовальщика – эфферентный и центральный компоненты, а для борца – афферентный, эфферентный и центральный.

Двигательные акты сложны и поэтому компоненты двигательных приборов могут функционировать отдельно. Вот почему, одно и то же движение повторить дважды практически невозможно.

### **4. Взаимосвязь двигательных и вегетативных функций.**

Между произвольными двигательными актами и вегетативными функциями существует зависимость, которая проявляется на уровне рефлексов.

ВНС или автономная нервная система представлена двумя отделами – парасимпатическим и симпатическим, которые работают в противоположных направлениях. ВНС иннервирует внутренние органы и не подчиняется сознательному контролю.

Для ВНС характерны вегетативные рефлексы. В тех случаях, когда органы подвержены одному рефлекторному влиянию и создается впечатление, что органы влияют друг на друга, говорят об аксон рефлексах. Эти рефлексы называют еще "ложными" рефлексам.

К истинным вегетативным рефлексам относятся рефлексы двух типов: висцеро-кутаные и кожно-висцеральные. Первый тип истинных вегетативных рефлексов выражается в изменениях кожной чувствительности при нарушении работы внутренних органов. Второй тип – это, напротив, изменение работы внутренних органов при раздражении так называемых активных точек на коже. Показано, что активные точки, которые давным-давно применяются в восточном массаже и иглоукалывании, имеют пониженное электрическое сопротивление.

Между внутренними органами и двигательным аппаратом также существует взаимосвязь. Она осуществляется с помощью моторно-висцеральных рефлексов. Например, усиление работы мышц сопровождается усилением работы сердечно-сосудистой системы и системы органов дыхания, а вот работа пищеварительной системы, напротив, подавляется.

## 5. Классификация условных и безусловных рефлексов.

И.П. Павлов разделил рефлексы, связанные с поведением человека и животных на *безусловные и условные*.

Безусловные рефлексы являются также врожденными и характерными для всех представителей данного вида животных. Такие рефлексы бывают четырех типов: *пищевые, половые, защитные, ориентировочные*. Рефлексы этих типов лежат в основе поведения всех высших животных. Однако этих рефлексов не всегда достаточно для приспособления к условиям внешней среды, которые постоянно меняются.

Индивидуальный опыт обеспечивается выработкой условных рефлексов, которые возникают в течение жизни особи.

Классификация условных рефлексов гораздо сложнее, чем безусловных.

Во-первых, условные рефлексы различают по природе раздражителя. Согласно этой классификации различают рефлексы *естественные и искусственные*. Естественные рефлексы возникают на раздражители, характеризующие постоянные свойства безусловных раздражителей, таких как запах или вид пищи. Искусственные условные рефлексы возникают на искусственные раздражители, такие как звук звонка или свет лампочки.

Условные рефлексы могут базироваться не только на безусловных раздражителях, но и на устоявшихся, хорошо упроченных условных раздражителях. Рефлексы, образуемые при подкреплении условных раздражителей безусловными рефлексами, называются рефлексами *1-го порядка*. Рефлексы, образуемые при подкреплении другими условными рефлексами, называются рефлексами высших порядков: 2-го, 3-го и т.д. порядков. К этой категории относятся рефлексы, образуемые на словесные приказы, то есть на основании второй сигнальной системы.

## 6. Условия и механизмы образования условных рефлексов.

И. П. Павлов указал три основных условия возникновения условных рефлексов.

1. Неоднократное совпадение во времени условного раздражителя с безусловным рефлексом.
2. Функциональное состояние организма.
3. Большие полушария при образовании условного рефлекса должны быть свободны от других видов деятельности.

Механизм образования условного рефлекса состоит в том, что при создании в ЦНС двух очагов возбуждения, более сильный очаг притягивает к себе возбуждение из менее сильного очага. Если такого рода взаимодействие сочетать повторно несколько раз, может образоваться условный рефлекс.

В механизмах образования условных рефлексов принимают участие несколько процессов.

1. Явление генерализации при образовании рефлекса. Сущность этого явления в том, что не только конкретный раздражитель, но и многие другие схожие с ним раздражители могут вызвать рефлекс.
2. Явление концентрации при упрочении рефлекса. Этот процесс выражается в постепенной дифференцировке сигнала.

Условные рефлексы могут возникать на основе разных раздражителей: *безусловные раздражители, условные раздражители конкретные, условные раздражители совокупные*.

## 7. Торможение условных рефлексов.

Торможение – это один из важнейших процессов, происходящих в нервной системе. Торможение условных рефлексов разгружает нервную систему. Различают два типа торможения *внешнее и внутреннее*.

*Внешнее торможение* выражается в том, что более сильный раздражитель вытесняет более слабый. Например, при сильном голоде человек порой не может нормально работать.

*Внутреннее торможение* бывает разных форм: угасательное, дифференцировочное, запаздывающее, условное.

*Угасательное торможение* развивается в результате неподкрепления условного раздражителя безусловным подкрепляющим агентом. Это не разрушение, а лишь временное торможение сложившихся связей, так что спустя некоторое время рефлекс восстанавливается.

*Дифференцировочное торможение* обуславливает различение сходных раздражителей, например, на оттенки цвета или тон звука.

*Запаздывающее торможение* обеспечивает задержку на время ответа действия условного сигнала. Например, хищник не сразу бросается на жертву, а способен сидеть в засаде и ждать.

*Условное торможение* формируется по типу отрицательного условного рефлекса. Новый раздражитель действует в качестве тормоза для старого.

## 8. Особенности ВНД человека.

Поведение человека отличается от поведения животного. У животных и человека нервная система действует на основе рефлекторного принципа. Этот принцип является основой и физиологическим содержанием *первой сигнальной системы*.

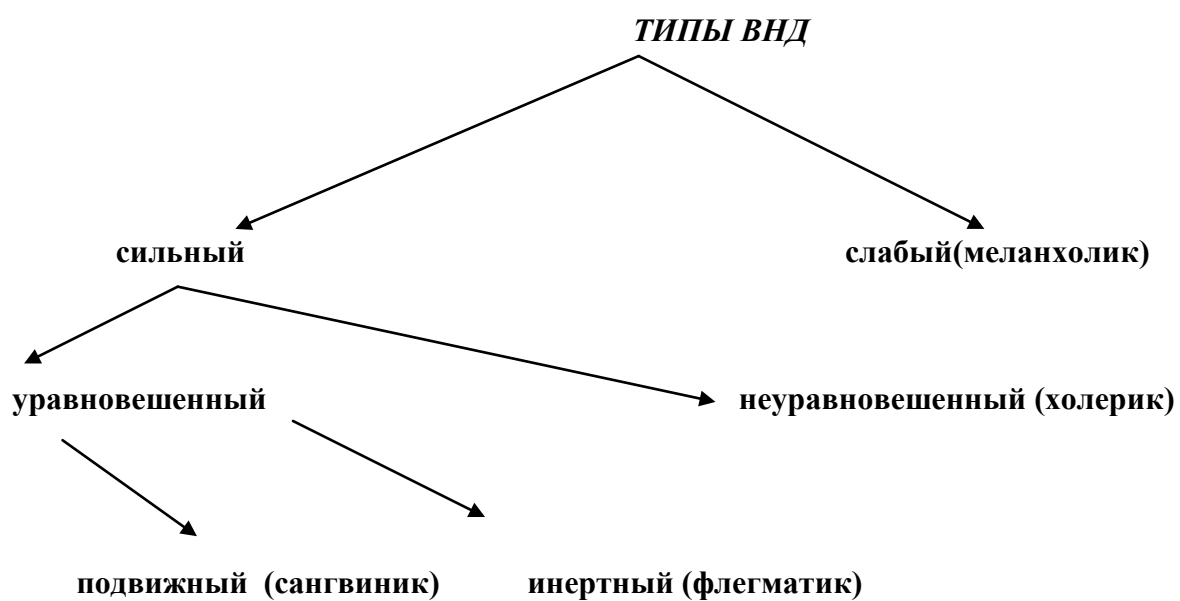
В процессе эволюции у человека развилась *вторая сигнальная система* отражения действительности. Это способность передавать знания об окружающем мире с помощью речи. Слово стало для человека сигналом сигналов. Главным отличием ВНД человека от животных стало материальное единство первой и второй сигнальной систем. Именно это слияние обеспечило человечеству возможности социального и культурного развития.

Не следует, однако, путать психические процессы и ВНД. Высшая нервная деятельность – это только материальное основание психических процессов. Так что мысль нельзя выделить в пробирку.

Недавно был обнаружен механизм образования долговременной памяти. В основе этого процесса лежит биосинтез белков. Были обнаружены особые белковые факторы, которые ведут к активизации генов и тем самым приводят к синтезу белков усиливающих синаптическую связь. Оказалось, что синтез этих белков связан с частотой нервного импульса. "Белки памяти" не требуют адресации к определенным синапсам. Они действуют только на те синапсы, которые претерпели временное повышение своей эффективности и повышают силу этих связей на длительное время.

*Схема №1. Типы ВНД.*

---





### **Раздел 3. Сенсорные и эндокринная системы.**

#### **Основные темы раздела.**

**7. Сенсорные системы.**

**8. Эндокринная система.**

### **7. СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ.**

#### **Основные вопросы лекции и семинарского занятия.**

1. Сенсорная информация и рецепторы.
2. Соматосенсорная рецепция и проприорецепция.
3. Орган зрения.
4. Орган слуха.
5. Физиология обоняния.
6. Вкусовая рецепция.
7. Вестибулярный аппарат.
8. Органы чувств и коррекция движений.

#### **1. Сенсорная информация и рецепторы.**

*Система анализа раздражителей определенной физической или химической природы, завершающаяся их кодированием в нервных структурах называется сенсорной системой.*

Система кодирования информации заключается в двух принципах: 1) локализация окончания нервного сигнала в структуре ЦНС, 2) интенсивность сигнала. Нарушение этих принципов кодирования приводит к ошибочным ощущениям.

В высших корковых проекциях сенсорных систем происходит расшифровка кода сигналов, их интеграция и формирование ощущений. *Ощущение – это восприятие действительных событий, основанное на предшествующем опыте.*

И. П. Павлов сформулировал понятие анализатора. *Анализатор – это система восприятия окружающего мира на основе предыдущего опыта.* Иными словами, анализатор – это механизм образования ощущения.

Анализатор состоит из рецепторных образований, афферентных путей и отделов ЦНС, где собственно и происходит анализ. От центрального отдела анализатора к эффекторам идут эфферентные нервы, которые призваны передать импульс действия.

*Рецепторами называются специализированные клетки, воспринимающие действие раздражителей.* Рецепторы могут быть организованы довольно просто, например, тактильные или вкусовые рецепторы, а могут быть организованы очень сложно, как глаз или ухо. В последнем случае их принято называть *органами чувств.*

Рецепторы различают по уровню специфичности и по способам взаимодействия с раздражителями. В первом случае выделяют *мономодальные (зрительный) и полимодальные(болевые) рецепторы.* Во втором случае контактные (тактильные) и дисконтактные (зрительный, слуховые) рецепторы.

## 2. Соматосенсорная и проприорецепция.

*Соматосенсорная или кожная рецепция обеспечивает ощущения тепла, холода, боли, прикосновения, давления.*

**Тактильные рецепторы** относятся к типу быстро адаптирующихся рецепторов. Это значит, что в момент "включения" и "выключения" стимула они отвечают на изменения его интенсивности высокочастотным разрядом импульсов. Этот тип рецепторов находится в разных частях кожи, а также на языке, где их особенно много.

**Рецепторы давления** имеются на коже, суставах, мышцах, брыжейке. Это тип рецепторов медленной адаптации, то есть они отвечают на постоянный стимул постоянно уменьшающейся частотой импульсов.

**Терморепцепторов** два типа – *холодовые и тепловые*. Тепловых рецепторов в коже примерно на порядок меньше. Это свидетельствует о том, что перегрев менее опасен для организма, чем переохлаждение.

**Рецепторы боли (ноцицепторы)** хуже всего изучены. Считается, что они есть почти везде, кроме мозговой и костной тканей. Боль – это важное ощущение, так как предупреждает организм об опасности, болезни, нарушении функции.

Особое значение для спортсменов имеет **мышечное чувство или проприорецепция**. Наиболее сложными для иннервации являются мышечные веретена.

Мышечные веретена – это пучки мышечных волокон, заключенных в соединительно-тканную капсулу. Именно здесь расположены рецепторы мышечного чувства. При растяжении мышечных веретен происходит возбуждение сенсорных нервов.

Кроме собственно проприорецепторов, в иннервации мышечного аппарата большую роль играют нервные сухожильные окончания, а также рецепторы связок, суставных сумок и фасций.

## 3. Орган зрения.

Орган зрения состоит из оптической и рецепторной систем, зрительного пути и центральной части анализатора, расположенной в затылочной доле коры больших полушарий.

*Оптическая система глаза представлена роговицей, передней камерой глаза, хрусталиком, задней камерой глаза и стекловидным телом. Рецепторная система – это сетчатка. Она представлена цветочувствительными клетками колбочками и светочувствительными клетками палочками.*

В нормальном глазу изображение оказывается уменьшенным и перевернутым вследствие особого устройства глаза. Нормальное и прямое изображение предметов возникает в результате работы центрального отдела анализатора.

В сетчатке глаза содержится около 130 млн. палочек и более 7 млн. колбочек. Палочки находятся на периферии, а колбочки в центре сетчатки. Колбочки обладают высокой чувствительностью к электромагнитным волнам длиной от 430 до 575 нм.

Наше зрение в норме обладает *высокой остротой, бинокулярностью и восприятием пространства.*

*Острота зрения* – это способность различать наименьшее расстояние между двумя точками. Она зависит от точности фокусировки изображения на сетчатке.

*Бинокулярность* позволяет видеть предметы рельефно, а также определять расстояние до видимого предмета. Мы ощущаем правым и левым глазом предметы несколько по-разному. Это явление называется диспаратностью.

*Для восприятия пространства* имеет значение движения глаз и взаимное перекрывание полей правого и левого глаза.

Пока не существует единой теории, объясняющей восприятие цвета. Наиболее распространенной является теория Юнга – Гельмгольца, утверждающая, что колбочки воспринимают три основных цвета красный, желтый и синий. Ощущение цвета возникает при смешении этих цветов.

#### **4. Орган слуха.**

Вначале звук попадает через наружное ухо к барабанной перепонке.

Колебания барабанной перепонки, вызываемые звуками разной высоты, длительности и громкости воспринимаются звукопроводящим аппаратом среднего уха по-разному. Слуховые косточки усиливают звуковые колебания в 60 раз. Колебания передаются в костный лабиринт внутреннего уха.

В костном лабиринте внутреннего уха расположен кортиев орган. Он представляет собой систему, где механические звуковые колебания превращаются в электрические колебания нервных импульсов.

Ухо человека воспринимает колебания с частотой от 16 до 20000 герц. Анализ звуковых колебаний заканчивается в височных областях коры. Высшим корковым отделам слухового анализатора принадлежит решающая роль в анализе частоты и направления звука, а также фонемный анализ речевых сигналов.

Предложена гипотетическая модель парного центра, нейроны которого распределены на левой и правой половине слухового анализатора. В зависимости от направления звука слева или справа сила звука воспринимается большей с той самой стороны.

Речь мы выделяем из огромного числа окружающих звуков. Это происходит в центре восприятия звука. Однако восприятие и расшифровка слов происходит в другом центре мозга – центре восприятия устной речи. Поэтому мы хорошо воспринимаем родной язык, а для восприятия иностранного языка необходимо дополнительное обучение, так как услышать слово – это не значит понять его смысл. Вначале слово в мозгу кодируется, как и другая информация, а затем в центре речи расшифровывается его смысл.

#### **5. Физиология обоняния.**

По происхождению обоняние и вкус – наиболее древние органы чувств. У человека биологическая значимость обонятельной рецепции резко понижена по сравнению с другими животными, что связано, прежде всего, с прямохождением.

У очень многих людей (по американским данным до 15 %) наблюдается полная anosmia, то есть отсутствие чувствительности к запахам. У многих людей наблюдается частичная anosmia при насморке.

Первичный анализ запахов осуществляется обонятельными клетками, на которых имеется множество цилиндрических выростов цитоплазмы. Эти выросты увеличивают площадь первичной рецепции в 100 – 150 раз. Обонятельные клетки лежат в стороне от главных дыхательных путей. Они выстилают верхний носовой ход. Для возбуждения обонятельных клеток необходимо, чтобы молекулы пахучих веществ вошли в контакт с чувствительными волосковыми клетками.

Запах вещества – это результат взаимодействия различных групп ферментов с пахучим веществом. Наиболее распространенной теорией восприятия запаха является, так называемая, стереохимическая теория. Согласно этой теории вещества, вызывающие запах, совпадают с ультрамикроскопической структурой обонятельных клеток наподобие ключа и замка. Однако, есть данные противоречащие этой теории. Возможно, что запах – это результат колебательных свойств молекул пахучих веществ.

## 6. Вкусовая рецепция.

Основным органом вкусовой рецепции являются рецепторы, расположенные на языке. Такими рецепторами являются вкусовые почки, осуществляющие первичную вкусовую рецепцию. В каждой вкусовой почке находится по 9 – 10 рецепторных клеток, снабженных выростами. Эти выросты возбуждаются под действием химических раздражителей. От вкусовых почек отходят афферентные волокна, несущие возбуждение в центральные отделы анализатора.

Человек различает соленое (передние края языка), кислое (верхняя треть края языка), сладкое (кончик языка), горькое (корень языка). Кислый вкус обусловлен ионами  $H^+$ , солёный вкус - ионами  $Na^+$ , а сладкий вкус ионами  $OH^-$ .

Существуют разные гипотезы, объясняющие механизмы возникновения вкусовых ощущений. Одна из них рассматривает возникновение вкуса как взаимодействие вкусовых веществ с рецепторами клеточных мембран. При этом большую роль может играть молекулярная структура веществ, вступающих во взаимодействие с рецепторными клетками.

Резкие вкусовые раздражители – перец, горчица – вызывают длительное последствие в результате раздражения вкусовых рецепторов.

Восходящие сигналы кодируются и передаются в высший подкорковый центр вкусового анализатора в продолговатом мозге. Далее в работу вступают обширные корковые зоны, отвечающие за вкус.

## 7. Вестибулярный аппарат.

Вестибулярный аппарат включает в себя преддверие и три полукружных канала внутреннего уха.

На костных гребешках расширенных частей полукружных каналов имеются рецепторные волосковые клетки. Они погружены в желеобразную массу – *купулу*. Отклонения купулы приводят к изменению распределения зарядов на её поверхности с последующей деполяризацией клеточных мембран волосковых клеток.

Рецепторы прямолинейных ускорений находятся в мешочках и маточке преддверия. Здесь же находятся кристаллы отолиты. Они также оказывают влияние на отклонения купулы.

Возбуждение от чувствительных клеток вестибулярного аппарата передается к ядрам вестибулярного нерва, входящего в состав VIII пары черепно-мозговых нервов. Вестибулярный нерв состоит из клеток Скрипа, которые центральными отростками соединяются с ядрами продолговатого мозга.

Возбуждение вестибулярного нерва вызывает реакции в центрах рвоты, потоотделения, глазодвигательного нерва. Это ведет к вегетативным расстройствам: тошноте, рвоте, усиленному потоотделению.

Ведущая роль в возникновении вестибулярных расстройств принадлежит лимбической системе и ретикулярной формации мозга.

Вегетативные нарушения являются причинами таких состояний, как не проходящая морская болезнь, которой страдали некоторые мореплаватели.

## 8. Органы чувств и коррекция движений.

Для анализа движений мозг использует данные от разных органов, систем и прежде всего от проприоцептивной системы. Благодаря разным органам чувств мы достаточно точно оцениваем положение тела в пространстве, что дает возможность корректировать движение. Как известно, анализ движений происходит в высших центрах коры, в районе центральной извилины.

Огромное влияние на коррекцию движений имеет вестибулярный аппарат. Вестибулярный контроль мышечной деятельности зависит от функционального состояния спортсмена. При перетренировке, например, ухудшается переносимость вращательных проб.

Для коррекции движений очень важны такие органы чувств, как зрение и слух. С функцией слухового анализатора связана возможность оценки продолжительности и частоты отдельных движений. Это важно, например, в таком виде спорта, как гребля, где синхронность движений достигается с помощью звуковых команд.

Зрительный анализатор корректирует точность броска или удара. Здесь очень большое значение имеет ортофония – оптимальное состояние баланса зрительного анализатора. Значительное физическое напряжение сопровождается нарушением ортофонии. При этом ухудшается точность ударов и бросков.

В некоторых видах спорта таких как горные лыжи, спортивные игры важная роль принадлежит периферическому зрению.

Ну а такие виды спорта, как стрельба или городки напрямую зависят от остроты зрения. Чем выше тренированность спортсмена, тем выше точность его пространственной ориентации.

## 8. ЭНДОКРИННАЯ СИСТЕМА.

### План лекции и семинарского занятия.

1. Общий обзор эндокринной системы. Методы изучения желез и гормонов.
2. Механизмы секреции и действия гормонов.
3. Гипоталамус и гипофиз.
4. Щитовидная железа и паращитовидные железы.
5. Надпочечники.
6. Поджелудочная железа. Половые железы.
7. Влияние эндокринной системы на двигательную активность.

### 1. Общий обзор эндокринной системы. Методы изучения желез и гормонов.

Эндокринная система и нервная система – это главные регулирующие системы организма. Нервная система работает быстро, но порой её действия недостаточно для нормального протекания процесса. Эндокринная система действует медленнее, но зато её действие более постоянно.

В систему желез внутренней секреции или эндокринных желез входят разные по происхождению и строению железы: *гипофиз, эпифиз, тимус, щитовидная железа, надпочечники*, а также железы смешанной секреции – *поджелудочная и половые*. Все указанные железы не имеют протоков и выделяют непосредственно кровь биологически активные вещества – *гормоны*.

Большая часть сведений о работе эндокринных желез и их секретов была получена при изучении заболеваний, связанных с этими железами. В некоторых случаях проводилось экспериментальное удаление этих желез у животных.

Биохимические методы анализа очистки и синтеза гормонов дали возможность ученым выяснить роль гормонов в процессах обмена веществ и жизнедеятельности, а также углубили познания в роли эндокринных желез в физиологических процессах.

В настоящее время хуже всего изучены эпифиз и тимус. Гормоны этих желез не выделены в чистом виде. Эпифиз древние римляне называли вместилище души. Существует мнение, что эпифиз отвечает за биологические ритмы. Тимус является важнейшим органом иммунной системы. Здесь образуется гормон тимозин, который отвечает за созревание Т-лимфоцитов. Однако, данный гормон не выделен в чистом виде и свойства его не описаны.

## 2. Механизмы секреции и действия гормонов.

По химической природе гормоны делятся на четыре группы:

- 1) производные аминов,
- 2) пептиды и белки,
- 3) стероиды,
- 4) жирные кислоты.

В регуляции секреции гормонов могут участвовать следующие механизмы.

**А.** Присутствие специфического метаболита в крови. Например, избыток в ней глюкозы вызывает секрецию поджелудочной железой гормона инсулина. В данном случае работает механизм, основанный на принципе отрицательной обратной связи.

**Б.** Присутствие в крови другого гормона. Например, многие гормоны передней доли гипофиза, стимулируют секрецию гормонов другими железами организма. Таким образом контролируется работа надпочечников. В данном случае работает каскадный механизм, так как для выработки других гормонов не требуется больших количеств исходного гормона. Здесь работает механизм положительной обратной связи.

**В.** Стимуляция со стороны вегетативной нервной системы. Например, при беспокойстве и стрессе мозговое вещество надпочечников выделяет адреналин и норадреналин.

Особенностью действия гормонов является их высокая специфичность. Эти вещества действуют не на все клетки, а лишь на определенные, называемые "мишенями". Клетки "мишени" имеют на своих поверхностных мембранах особые рецепторы, к которым могут прикрепляться гормоны. Многие гормоны имеют в своих молекулах специфические участки, ответственные за прикрепление к рецептору.

## 3. Гипоталамус и гипофиз.

В настоящее время известно, что гипоталамус и гипофиз очень тесно связаны между собой. Гипоталамус вырабатывает нейропептиды, усиливающие и угнетающие работу гипофиза. Кроме того, многие гормоны передней доле гипофиза образуются нейросекреторными клетками гипоталамуса. Поэтому в последнее время в литературе принято говорить о единой *гипофизарно-гипоталамической системе*.

Гипофиз человека состоит из двух долей. Передняя доля называется *аденогипофиз*, а задняя – *нейрогипофиз*.

Основной гормон передней доли – *соматотропный гормон или гормон роста*. Недостаток этого гормона делает человека карликом или лилипутом, а избыток – гигантом. (Карликами считаются люди ниже 1м 50 см, а гигантами выше 2м). Кроме того, передняя доля выделяет группу гормонов стимулирующих работу половых желез. Гормон тиротонин увеличивает продукцию гормонов щитовидной железы. Адренотропный гормон

(АКТГ) вызывает усиленный синтез гормонов надпочечников. Таким образом, гормоны влияют на функции очень многих желез внутренней секреции.

В задней доле – нейрогипофизе – содержатся два гормона вазопрессин и окситоцин. Первый из них усиливает реадсорбцию воды в почках. При недостатке вазопрессина у человека развивается заболевание несахарный диабет или мочеизнурение. (Больной выделяет до 50 л мочи в сутки и погибает от обезвоживания). Окситоцин оказывает разнообразное влияние на матку.

#### **4. Щитовидная железа и паращитовидные железы.**

Основное влияние гормоны щитовидной железы оказывают на регуляцию белкового обмена, и тем самым оказывают влияние на рост и развитие организма. Основными гормонами этой железы являются тироксин и трийодтироксин. Все гормоны щитовидной железы содержат йод.

При недостаточной функциональной активности щитовидной железы у взрослых людей развивается болезнь – *микседема*, а у детей – *кретинизм*.

Микседема выражается в снижении уровня обмена веществ, одутловатости, снижении уровня интеллекта. При кретинизме наблюдается задержка роста и умственного развития ребенка.

Повышенная активность щитовидной железы называется тиреотоксикоз или базедова болезнь. Она выражается в разрастании тканей щитовидной железы, повышенной раздражительности, нарушению кровообращения и тахикардии, к психическим травмам.

Паращитовидные железы – это четыре небольшие железы, расположенные рядом со щитовидной железой. Гормон паращитовидных желез – паратгормон – отвечает за обмен кальция в организме. Нарушение в работе этих желез приводит к нарушению роста и развития костной ткани. Полное удаление паращитовидных желез у животных сопровождается судорожными сокращениями с последующей гибелью от расстройства дыхания. При избыточной функции паращитовидных желез возникает остеопороз – разрушение костей при нагрузках.

#### **5. Надпочечники.**

Надпочечники покрывают верхнюю часть почек. Это парные железы, состоящие из коркового и мозгового слоев.

В 1855 году английский врач Томас Аддисон описал заболевание, которое назвал бронзовая болезнь. Симптомами этого заболевания являются общая слабость мышц, пониженный обмен веществ, бронзово-землистый цвет кожи. При дальнейшем изучении этой болезни оказалось, что она является результатом комплексного недостатка гормонов коры надпочечников.

Корковый слой делится на три зоны: внутренней, средней и наружной. Внутренняя зона выделяет половые гормоны и является единственным их источником до периода полового созревания и во время климакса.

Средняя зона выделяет гормоны глюкокортикоиды. Эти гормоны влияют на обмен углеводов. Например, гормон кортизон регулирует образование гликогена. Многие стероидные гормоны этого слоя надпочечников стимулируют физическую работоспособность и снижают утомляемость скелетных мышц. Использование экзогенных препаратов этих гормонов считается в спорте допингом. Главный вред этих препаратов состоит в том, что они не только влияют на спортивный результат, но и отрицательно

сказываются на здоровье спортсмена. Это выражается, прежде всего, в нарушении нормального функционирования надпочечников.

Наружный слой корковой зоны является источником минералкортикоидов. Эти гормоны регулируют обмен минеральных веществ в организме.

Корковый слой надпочечников является жизненно необходимым: удаление его у животных приводило к их гибели в 100% случаев.

В мозговом слое надпочечников вырабатываются такие гормоны, как адреналин и норадреналин. Это "стрессовые" гормоны, которые выделяются в периоды больших нагрузок на нервную систему. Известно, что они являются ускоряющими медиаторами нервной системы и, по-видимому, в этом состоит основной механизм их деятельности.

#### **6. Железы смешанной секреции: поджелудочная железа и половые железы.**

Поджелудочная железа и половые железы состоят из двух частей экзокринной и эндокринной и поэтому их иногда называют железами смешанной секреции или гетерокринными.

Основными гормонами **поджелудочной железы** являются гормоны *инсулин и глюкагон*. Инсулин поддерживает уровень глюкозы в крови. При его отсутствии у человека развивается заболевание сахарный диабет: в крови скапливается глюкоза, а к клеткам она не попадает. Диабет системное заболевание, так как нарушаются разные стороны обмена веществ. При отсутствии надлежащего лечения больной погибает. Сахарный диабет бывает *первого и второго типа*. Диабет первого типа заболевание наследственное и связано с плохой работой генов, которые вырабатывают белок инсулин. Диабет второго типа развивается постепенно в результате несбалансированного питания и связан с недостаточной работоспособностью инсулина. Последствия диабета первого типа обычно устраняются введением экзогенного инсулина, а в случае диабета второго типа порой достаточно щадящей диеты с пониженным содержанием углеводов и жиров.

Гормон глюкагон мобилизует увеличение концентрации глюкозы в крови за счет запасов гликогена. Избыточное количество глюкозы удаляется с мочой.

На различные физиологические функции оказывают влияние и другие гормоны поджелудочной железы. *Липокаин* участвует в регуляции фосфолипидного обмена и предупреждает ожирение печени. *Ваготонин* повышает активность нейронов блуждающего нерва и т.д.

**Половые железы.** У мальчиков и девочек до периода полового созревания и женские и мужские гормоны образуются примерно в равных количествах. Затем гормоны противоположного пола продолжают секретироваться в половых железах, но их количество примерно в 10 раз меньше.

Мужские половые гормоны образуются в семенниках, в клетках Лейдинга. Основным мужским гормоном является *тестостерон*. Он регулирует сперматогенез, развитие вторичных половых признаков, влияет на уровень белкового и углеводного обмена, а значит на рост мышечной массы. Введение тестостерона экзогенным путем считается в спорте допингом.

Женские половые гормоны - *эстрогены* – выступают регуляторами месячного цикла, нормального протекания беременности, развития женских вторичных половых признаков, лактации.

#### **7. Влияние эндокринной системы на двигательную активность.**

Адаптация к физическим нагрузкам проходит несколько фаз. Этим фазам соответствует активность эндокринной системы.



1. *Фаза тревоги.* Во время этой фазы происходит декомпенсация работы многих органов и систем. Эндокринная система реагирует на это активизацией надпочечников. Выделяется в большом количестве адреналин и некоторые гормоны коры надпочечников. В то же время несколько подавлена работа щитовидной железы.
2. *Фаза устойчивости (резистентности).* На этой фазе организм особенно устойчив к неблагоприятным воздействиям. Активизируется белковый синтез, что сопровождается усилением работы большинства эндокринных желез. Особенно активизируются гормоны системы гипоталамус – гипофиз – надпочечники. Гипоталамус воспринимает нервный сигнал реальной или предстоящей физической нагрузки и превращает его в гормональные сигналы. Происходит высвобождение гормонов гипофиза, а те в свою очередь способствуют секреции гормонов надпочечников. Гормоны надпочечников повышают устойчивость организма к физическим нагрузкам. В то же время, чрезмерные нагрузки подавляют деятельность надпочечников. Продолжает выделяться в больших количествах и адреналин. На короткое время повышается активность поджелудочной железы. А вот активность щитовидной железы выражается в более быстром наступлении физического переутомления.
3. *Фаза истощения.* Главная характеристика этой фазы – это исчерпание физических резервов организма. На этой стадии падает активность большинства желез внутренней секреции за исключением, пожалуй, щитовидной. Гормоны щитовидной железы на этой стадии могут посылать работу многих гормонов и, прежде всего, гормонов коркового слоя надпочечников.

**Раздел 4.**  
**Кровь и кровообращение.**

**Основные темы раздела.**

- 9. Строение и функции крови.**  
**10. Иммунная система.**  
**11. Кровообращение.**

**9. СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ КРОВИ.**

**План лекции и семинарского занятия.**

1. Строение крови: плазма крови и эритроциты.
2. Лейкоциты и тромбоциты.
3. Функции крови.
4. Транспорт газов кровью.
5. Свертывание крови.
6. Заживление ран.

**1. Строение крови: плазма крови и эритроциты.**

Кровь состоит из межклеточного вещества, называемого плазма и форменных элементов крови: эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов.

Плазма крови – это бледно-желтая жидкость, которая на 90% состоит из воды, 10% - это растворенные и взвешенные в ней вещества. Содержание одних веществ в плазме колеблется незначительно, других довольно существенно.

Основные компоненты плазмы.

*Вода* служит источником для клеток, разносит по телу множество растворимых в ней веществ, способствует поддержанию кровяного давления и объема крови.

*Белки:*

1. *Сывороточный альбумин.* Содержится в очень больших количествах. Связывает ионы Са
2. *Сывороточные глобулины.* Это белки иммунной системы.
3. *Протромбин и фибриноген.* Белки участники процесса свертывания крови.
4. *Минеральные соли, находящиеся в составе крови в виде ионов.*

*Эритроциты или красные клетки крови* – это мелкие клетки, лишенные ядра и имеющие форму двояковогнутых дисков. Их диаметр 7 – 8 микрометров. Специфическая форма эритроцитов увеличивает газообмен. Благодаря своей эластичности эритроцит может проходить через капилляры, просвет которых меньше его диаметра.

Эритроциты образуются в гематопоэтической ткани, а разрушаются в печени и селезенке. За 1 сек, в организме человека образуется до 10 млн. этих клеток и столько же разрушается. В 1 куб. мм крови эритроцитов содержится от 5 до 5,5 миллионов. Эти

клетки переносят кислород и участвуют в переносе углекислого газа. Продолжительность жизни эритроцитов до 3 месяцев.

## 1. Белые клетки крови – лейкоциты. Тромбоциты.

*Лейкоциты* – более крупные клетки, нежели эритроциты. В 1 кубическом мм крови их содержится около 7000. Различают два класса этих клеток: зернистые лейкоциты – гранулоциты и незернистые – агранулоциты.

*Гранулоциты* образуются в костном мозге. Они имеют разделенное на лопасти ядро и зернистую цитоплазму. Это клетки способные к самостоятельному передвижению. Выделяют три основных вида этих клеток: *нейтрофилы*, *базофилы* и *эозинофилы*.

*Нейтрофилы* составляют до 70% всех лейкоцитов. Они могут через стенки капилляров проникать в межклеточные пространства и направляться к очагам инфекции. Нейтрофилы уничтожают болезнетворные бактерии (фагоцитоз).

*Эозинофилы* (1,5%) обладают антигистаминовым действием, то есть увеличивают вероятность свертывания крови при ранениях.

*Базофилы* (0,5%) вырабатывают вещества *гепарин* и *гистамин* и являются активными участниками в процессах препятствующих свертыванию крови внутри сосудов.

*Агранулоциты* содержат ядро овальной формы и незернистую цитоплазму. Их различают два основных вида: *моноциты* (4%) и *лимфоциты* (24%).

*Моноциты* содержат ядро бобовидной формы и образуются в костном мозге. Они активно участвуют в процессах фагоцитоза, но нападают на иные, нежели нейтрофилы, микроорганизмы и вещества.

*Лимфоциты* являются производителями *антител*. Их различают два класса Т-клетки и В-клетки.

*Тромбоциты* или *красные пластинки* – это фрагменты клеток, имеющие неправильную форму и, обычно, лишены ядра. Они играют важную роль в системе свертывания крови. В 1 кубическом мм крови их содержится около 250 тыс.

## 2. Функции крови.

Функции крови можно разделить на две группы:

1. Функции исключительно плазмы крови,
2. Функции, выполняемые совместно плазмой крови и форменными элементами.

*Самостоятельно* плазма крови выполняет следующие функции:

1. Перенос растворимых органических веществ от тонкого кишечника к различным органам и тканям, где эти вещества откладываются про запас или участвуют в обмене веществ.
2. Транспорт подлежащих выделению веществ из тканей, где они образуются, к органам выделения.
3. Перенос побочных продуктов обмена веществ из мест их образования к другим участкам тела.
4. Транспорт гормонов из желез внутренней секреции к органам "мишеням".
5. Перенос тепла от глубоко расположенных органов, предупреждающий перегрев этих органов и поддерживающий равномерное распределение тепла в организме.

*Совместно* с форменными элементами плазма крови выполняет следующие функции:

1. Доставка кислорода из легких по всем тканям организма (эритроциты) и перенос в обратном направлении углекислого газа.
2. Защита от болезней в которой участвуют три механизма: *свертывание крови*, *фагоцитоз*, *синтез антител*.

3. Поддержание постоянного осмотического давления и кислотности среды с помощью белков плазмы и гемоглобина.

#### 4. Транспорт газов кровью.

**Перенос кислорода.** Кислород переносят молекулы гемоглобина, содержащиеся в эритроцитах. Гемоглобин обладает способностью образовывать соединения с кислородом при повышенном парциальном давлении этого газа. При этом образуется оксигемоглобин. При низком парциальном давлении кислорода, которое имеется обычно в тканях, гемоглобин легко отдает кислород.

К сожалению, этот механизм играет с организмом злую шутку, так как другой газ – угарный – имеет большее химическое сродство с гемоглобином, нежели кислород. Поэтому он, соединясь с гемоглобином образует более устойчивые соединения. В результате угарный газ связывает весь гемоглобин в крови и кислород переносить становится нечем, что является причиной гибели организма от удушья.

В мышцах имеется вещество близкое по строению к гемоглобину – *миоглобин*. Этот белок способен сохранять кислород. У человека запасы этого белка невелики, а вот китообразные благодаря миоглобину могут не всплывать на поверхность воды часами.

**Перенос углекислого газа.** Существуют три пути переноса  $\text{CO}_2$  кровью: *перенос в растворенном в воде виде, перенос в соединении с белком, перенос угольной кислоте.*

1. В растворённом виде переносится около 5% всего углекислого газа.
2. Примерно 10 – 20% присоединяется к аминок группам гемоглобина. Чем меньше кислорода, тем больше углекислого газа переносится таким способом.
3. 75% всего углекислого газа переносится внутри эритроцитов, углекислый газ превращается в угольную кислоту.

#### 5. Свертывание крови.

Система свертывания крови – важнейшая защитная система организма. В осуществлении этого процесса участвует по меньшей мере 15 факторов.

Процесс свертывания крови многостадийный. Это нужно для того, чтобы сделать его более безопасным и уменьшить риск свертывания крови внутри сосудов. Начало свертывания инициирует соприкосновение крови после ранения с атмосферным кислородом. После ранения происходит разрушение тромбоцитов о края разорванного сосуда. В результате из кровяных пластинок начинают выделяться ферменты, запускающие процесс свертывания. Результатом этого является появление в кровяном русле белка тромбопластина. Этот белок вступает во взаимодействие с белком плазмы протромбином, который образуется в печени. В этом взаимодействии участвуют также ферменты плазмы (факторы 7 и 10), витамин К, ионы Са. Результатом этого взаимодействия является белок тромбин. Этот белок в свою очередь вступает во взаимодействие с белком плазмы фибриногеном. В конечном итоге образуется белок фибрин. Фибрин – это тончайшие нити, тоньше шелковых. Эти нити опутывают эритроциты, и в результате этого процесса появляется появление сгустка или тромба. Тромб закупоривает раненый сосуд и кровотечение останавливается.

Помимо системы свертывания крови организм выработал систему препятствующую свертыванию крови внутри сосудов. Важнейшими компонентами этой системы являются вещества гепарин и гистамин. При недостатке этих веществ и при наличии на внутренней поверхности сосудов склеротических бляшек, может развиваться тромбоз – образование тромбов внутри кровеносного русла. Тромбоз является причиной таких тяжелых заболеваний, как инфаркт, инсульт, тромбофлебит.

## 6.Заживление ран.

*Заживление ран* – это сложный и много стадийный процесс. Началом заживления является процесс *свертывания крови*. После этого наступает стадия фагоцитоза. *Фагоцитоз* – *поглощение чужеродных веществ клетками*. В этом процессе участвуют, главным образом, нейтрофилы, которые обладают способностью распознавать любые бактерии, проникшие в организм. В печени и лимфатических узлах имеются неподвижные фагоциты – макрофаги, которые поглощают токсичные вещества и чужеродных микроорганизмов. Практически одновременно с фагоцитозом наступает воспаление.

*Воспаление* – *это местная реакция окружающих тканей, которая проявляется в опухании и болезненности*. Эта реакция связана с выделением из поврежденных тканей некоторых веществ, вызывающих местное сужение капилляров (гистамин и серотонин). Воспаление сопровождается притоком крови к поврежденному участку и повышением его температуры. Возрастает также проницаемость капилляров, и в результате плазма выходит в межклеточные пространства и вызывает набухание – *отек*. Таким образом, воспаление – это ответная реакция организма, в которой участвуют различные бактерицидные факторы, препятствующие распространению инфекции. Конец воспалительного процесса – это собственно заживление ран. Вначале образуется *рубцовая ткань*, состоящая в основном из коллагена. Решающую роль в процессе образования коллагена играет витамин С. Примерно через две недели после ранения рубцовая ткань начинает заменяться обычными тканями.

Итак, заживление ран проходит следующие стадии:

1. После ранения в поврежденном участке происходит свертывание крови;
2. Начинается воспалительный процесс;
3. В ране происходит фагоцитоз;
4. Образуется рубцовая ткань;
5. Происходит рассасывание рубца и восстановление разрушенных тканей.

## 10. ИММУННАЯ СИСТЕМА.

### План лекции и семинарского занятия.

1. Механизмы иммунитета.
2. Развитие Т- лимфоцитов.
3. Развитие В-лимфоцитов.
4. Клонально-селекционная теория развития антител.
5. Типы иммунитета.
6. Группы крови.
7. Система интерферона.

#### 1. Механизмы иммунитета.

Чтобы разобраться в сложных вопросах, связанных с иммунологической защитой организма от инфекций необходимо усвоить некоторые понятия.

*Антитело – это молекула, синтезированная организмом животного в ответ на присутствие чужеродного вещества, которая обладает с этим веществом высокой степенью химического сродства.* Все антитела – это белки, называемые также иммуноглобулинами.

*Антигены – это чужеродные вещества, обычно представляющие собой белки или полисахариды.* Именно антигены распознают антитела

У млекопитающих сложились два механизма иммунитета: клеточный и гуморальный. Существование, упомянутых механизмов связано с наличием в организме нескольких типов клеток, и прежде всего, Т-лимфоцитов и В-лимфоцитов.

*Клеточный механизм* иммунитета связан с Т-клетками, которые при взаимодействии с антигеном распознают его и начинают размножаться, образуя клон таких же Т-клеток. Клетки этого клона вступают в борьбу с носителем антигена и уничтожают его.

*Гуморальный механизм* связан с В-лимфоцитами. При встрече с антигеном данные клетки также дают клон клеток, но которые синтезируют антитела. Антитела связываются с антигенами и ускоряют их захват фагоцитами.

Оба эти механизма дополняют друг друга и являются двумя неразрывными сторонами единого иммунного ответа.

#### 2. Развитие Т-лимфоцитов.

Тимус расположен в грудной клетке под грудиной. Он начинает функционировать в период внутриутробного развития и проявляет наибольшую активность в момент рождения. После окончания вскармливания материнским молоком тимус уменьшается в размерах и вскоре перестает функционировать. Опыты на мышах показали, что при удалении этой железы у новорожденных, в крови наблюдалась хроническая недостаточность лимфоцитов, что было причиной их гибели.

Т-лимфоциты образуются не в тимусе, а в костном мозге. Но только после пребывания в тканях тимуса они становятся способными осуществлять свои функции. Процесс созревания Т-клеток не совсем ясен. Известно, что тимус выделяет гормон *тимозин*, который, возможно, способствует созреванию этих клеток. Роль тимуса, как эндокринной железы практически не изучена.

В тканях тимуса находятся незрелые клетки, называемые *timoцитами*. После взаимодействия с антигеном Т-клетки начинают производить сложные молекулы

лимфокины, которые помогают им уничтожать чужеродные частицы. Кроме того, они образуют клоны клеток, которые способны узнавать данный антиген. Зрелые Т-лимфоциты способствуют созреванию В-клеток.

### 3. Развитие В-клеток.

В-клетки как и Т-лимфоциты образуются в костном мозге, но созревают в другом месте – в лимфатических узлах, селезенке и печени.

Когда поверхностные рецепторы В-лимфоцитов узнают соответствующий им антиген, то эти клетки начинают делиться, давая клон плазматических клеток и "клеток памяти". Плазматические клетки генетически идентичны друг другу. Они синтезируют огромные количества антител одного вида. Клетки, образующие антитела живут всего несколько дней, но в это время они синтезируют антитела со скоростью 2000 молекул в секунду!

К сожалению, нам мало, что известно о "клетках памяти". Мы судим об их существовании, главным образом, по результату их работы. Этот результат выражается в том, что повторный иммунный ответ гораздо эффективнее первого. Это возможно лишь в том случае, когда клетки существуют достаточно длительное время. Про плазматические клетки нам известно, что живут они недолго, значит, в повторном иммунном ответе должны участвовать какие-то другие клетки. Вот и все, что, собственно, нам известно.

Нам также известно, что антитела – это белки, называемые иммуноглобулины и относящиеся к 5 классам. Одни белки выделяются во время первичного ответа, другие создают вторичный ответ, о третьих мы знаем, что они создают надежную линию обороны против вирусов, о четвертом и пятом классе мы не знаем ничего. Классы иммуноглобулинов обозначаются буквами греческого алфавита.

### 4. Клонально-селекционная теория образования антител. (Ерно, Бернет, Толмедж, Ледерберг).

В вопросе образования антител остается много таинственного. Антитела – белки, то есть их структура закодирована в ДНК. При этом эти белки высокоспецифичные. Откуда же организм знает, что ему могут встретиться определенные антигены, если он никогда не встречался с ними?

Для ответа на эти и многие другие сложные вопросы была разработана *клонально-селекционная теория образования антител*. Вот её положения.

1. У каждого индивидуума имеется чрезвычайно широкий набор лимфоцитов, каждый из которых способен распознавать только один специфический антиген.
2. Специфичность антитела зависит от его аминокислотной последовательности, которая определяется кодирующей её последовательностью ДНК. Таким образом, способность клетки к синтезу антитела закладывается задолго до встречи организма с антигеном.
3. Каждая клетка во время созревания образует небольшие количества антител, которые встраиваются в ее мембрану и играют роль рецептора для соответствующего антигена.
4. Предполагается, что во время внутриутробного развития незрелые лейкоциты встречаются с соответствующими антигенами и погибают. Так организм учится распознавать свои и чужие антигены.
5. Взаимодействие антигена с рецептором зрелого лимфоцита заставляет эту клетку образовывать антитела. Контакт с антигеном заставляет клетку делиться, давая клоны плазматических клеток и "клеток памяти".
6. Все клетки данного клона производят идентичные антитела.

7. "Клетки памяти" продолжают жить и после исчезновения антигена, сохраняя способность при повторном появлении антигена стимулироваться для производства антител. Поэтому повторный иммунный ответ гораздо эффективнее, нежели первый.

## 5. Типы иммунитета.

Существует несколько типов иммунитета: *естественный пассивный иммунитет, приобретенный пассивный иммунитет, естественный активный иммунитет и приобретенный активный иммунитет.*

*Естественный пассивный иммунитет* это иммунитет, возникающий в утробе матери. Антитела матери, проходя через плаценту, защищают плод от инфекции. Этот тип иммунитета кратковременный, он может действовать в течение 10 дней после рождения ребенка.

*Приобретенный пассивный иммунитет* тоже по времени кратковременный. Он создается искусственно введением готовых антител от одного индивидуума другому. Так вводят антидифтерийную или противостолбнячную сыворотки.

*Естественный активный иммунитет* – это долговременный тип иммунитета. Он вырабатывается в результате перенесенной болезни или бывает наследственным. Естественный активный иммунитет может сохраняться в течение всей жизни, как это имеет место в случае таких "детских" болезней, как корь, скарлатина, ветрянка, паротит ("свинка") и др.

*Приобретенный активный иммунитет* достигается введением вакцин. *Вакцина* – это препарат, содержащий инактивированный или ослабленный антиген безопасный для человека, но вызывающий синтез антител. С помощью вакцинации удалось победить такую болезнь как оспа, сократить заболеваемость дифтерией, полиомиелитом, туберкулезом и другими. В настоящее время помимо традиционных способов получения вакцин разрабатываются генно-инженерные способы, которые сделают вакцины еще более безопасными для использования.

## 6. Группы крови.

При переливании крови необходимо учитывать совместимость групп крови. В случае несовместимости наблюдается особого рода иммунная реакция агглютинации, когда эритроциты "слипаются". Эта реакция обусловлена наличием в клеточных мембранах эритроцитов особых полисахаридов – агглютиногенов. В мембранах эритроцитов встречаются два вида агглютиногенов *A* и *B*. В плазме им соответствуют белки, называемые агглютинины *a* и *b*. Вариантов распределения этих компонентов может быть 4, что соответствует 4 группам крови.

*Группа крови I(0)* соответствует варианту, когда в крови присутствуют только агглютиногены *a* и *b*.

*Группа крови II(A)* содержит агглютиноген *A* и агглютинин *b*.

*Группа крови III(B)* содержит агглютиноген *B* и агглютинин *a*.

*Группа крови IV (AB)* содержит оба агглютиногена, но не содержит агглютининов.

*Первую группу* можно переливать в организмы, содержащие другие группы, но при этом людям с первой группой можно переливать кровь только от доноров с первой группой. *Вторую и третью* группу можно переливать пациентам с четвертой группой и самим себе. А вот *четвертую группу* можно переливать только самим себе. На нашей планете представители первых трех групп встречаются приблизительно в равных количествах, а вот представителей четвертой группы довольно мало – несколько процентов.



У 85% людей эритроциты содержат особый агглютиноген, называемый резус-фактор (Rh) таких лиц называют резус-положительными (Rh+). У остальных 15% людей резус-фактор отсутствует и их называют резус-отрицательными (Rh-). Плазма резус-отрицательной крови обычно не содержит резуса агглютининов. Однако, если резус-положительная кровь попадает в организм человека с резус-отрицательной кровью, то у этого последнего образуются резус-агглютинины. Это особенно опасно в случае резус-отрицательной матери и резус-положительного плода. В этом случае плод может отторгаться организмом матери.

## 7. Система интерферона.

*Интерфероны* – это группа белков, имеющих сходные противовирусные свойства. Вырабатываются эти белки клетками большинства типов тканей и действуют в большей или меньшей степени против всех вирусов.

Клетки при заражении вирусом, начинают производить интерферон. Этот белок сам не обладает противовирусным действием, но он запускает цепь событий в клетке, которые препятствуют размножению вируса. Образование интерферона могут вызывать не только вирусы, но и другие агенты, например двуспиральные РНК, синтетические полинуклеотиды и бактериальные эндотоксины.

Биологическая активность интерферона очень высока. У мышинового интерферона, например, она составляет 2 млрд. единиц в 1мл. Одна единица интерферона снижает образование вирусов приблизительно на 50%. Это на практике означает, что достаточно одной молекулы интерферона, чтобы сделать клетку устойчивой к вирусной инфекции. Однако беда состоит в том, что выработка этих белков начинается уже после инфицирования клеток вирусом. Поэтому интерфероны – это скорее профилактические средства, нежели лекарственные. Интерфероны вызывают ряд других биологических эффектов, в том числе подавляют размножение клеток. Это свойство пытались использовать для борьбы с раком, но без видимых успехов.

Система интерферона – это часть общей защитной системы организма и достаточно эффективная профилактика против вирусных заболеваний.

## 11. КРОВООБРАЩЕНИЕ.

### План лекции и семинарского занятия.

1. Строение сердца и сердечный цикл.
2. Регуляция работы сердца.
3. Гемодинамика.
4. Артериальное давление.
5. Адаптация системы кровообращения к физическим нагрузкам.

#### 1. Строение сердца и сердечный цикл.

Кровеносная система состоит из сердца и трех типов сосудов: *артерий, вен капилляров.*

Сердце состоит из четырех камер: двух предсердий и двух желудочков. Правая половина сердца полностью отделена от левой. У человека два круга кровообращения. Большой круг начинается в левом желудочке и заканчивается в правом предсердии, а малый (легочный) круг начинается в правом желудочке и заканчивается в левом предсердии. Функция предсердий состоит в том, чтобы задержать кровь на короткое время, пока она не перейдет в желудочки. Расстояние от предсердий до желудочков небольшое, поэтому предсердиям не требуется большой силы сокращения и поэтому стенки предсердий значительно тоньше стенок желудочков. Мышечные стенки правого желудочка, по меньшей мере в три раза тоньше левого. Поэтому кровь, поступающая в аорту находится под давлением в несколько раз больше, чем кровь поступающая в легочную артерию. Предсердия от желудочков отделены створчатыми клапанами, а сосуды от желудочков отделены полулунными клапанами.

Сердечный цикл можно разбить на три стадии:

- ✓ *систола предсердий (сокращение)*, длительностью 0,1 секунды – створчатые клапаны открыты, а полулунные закрыты;
- ✓ *систола желудочков(сокращение)*, длительностью 0,3 секунды – створчатые клапаны закрыты, полулунные открыты.
- ✓ *общая паузу – диастола*, длительностью 0,4 секунды – створчатые клапаны открыты, полулунные закрыты.

*Секрет работы сердца состоит в том, что половину жизни сердечная мышца находится в расслабленном состоянии.*

При прослушивании работы сердца различают два тона сердца:

- ✓ первый тон – низкочастотный, глухой, продолжительный ("лаб");
- ✓ второй тон - высокий, короткий ("дап").

Первый тон соответствует закрытию створчатых клапанов, а второй тон – закрытию полулунных клапанов.

#### 2.Регуляция работы сердца.

В специальном растворе Рингера сердце может работать, извлеченное из тела несколько суток. Это указывает на явление, называемое автоматией сердца. Стенка сердечной мышцы содержит особые возбуждающие участки, которые составляют

проводящую систему сердца. Это, прежде всего, водители ритма: первый и второй, а также ножки и пучки Гиса.

Возбудимость сократительной мускулатуры сердца значительно ниже её проводящей системы. Поэтому на кардиограмме наблюдается не состояние сердечной мышцы, а скорее состояние её проводящей системы.

Важной особенностью сердечной мышцы является её абсолютная рефратерность, а это значит, что начав сокращаться сердце не может отвечать на другие нервные импульсы, пока не расслабится. Эта особенность сердечной мышцы создает возможность избежать кислородной задолженности.

Еще одной особенностью работы сердечной мышцы является то, что мощность сердечного выброса не зависит от силы раздражителя. Эта закономерность получила название закона "все или ничего".

Возникает вопрос, а как же сердце меняет параметры своей работы? Оказывается, увеличение мощности сердечного выброса происходит при увеличении притока крови к сердцу. Эта закономерность получила название "закона сердца" или закона Франка – Старлинга. Это явление имеет огромное адаптивное значение при больших физических нагрузках, так как мощность сердечного выброса напрямую зависит от повышения давления в крупных артериях, а это происходит во время физических упражнений. Через приток крови к сердцу оказывают влияние на его работу ВНС и гормоны. Известно, что симпатические нервы усиливают работу сердца, парасимпатические, напротив, снижают ЧСС. Так же, соответственно, действуют адреналин и ацетилхолин.

### **3. Гемодинамика: скорость и объем кровотока.**

Сердце выталкивает кровь толчками, но благодаря эластичности сосудов движение крови осуществляется плавно и непрерывно. Этому служит пульсовая волна или пульс. В норме, в спокойном состоянии пульс составляет 60 – 80 ударов в минуту. Пульс в покое выше этих показателей может считаться *тахикардией*, а ниже *брадикардией*.

Главными показателями гемодинамики является объем и скорость кровотока. В физиологии пользуются понятием объемная скорость, которая зависит от давления в начале и конце, а также от вязкости крови. Хотя кровь на 40% состоит из форменных элементов, её вязкость всего в 3 – 4 раза выше вязкости воды. Эта особенность связана, прежде всего, со свойствами эритроцитов, а именно с их формой.

В аорте скорость кровотока максимальна и составляет 40 – 50 см/сек. В капиллярах она меньше в 800 – 1000 раз. Это связано с тем, что общий просвет капилляров примерно в 1000 раз больше.

Время полного оборота крови составляет в среднем 20 – 25 секунд, то есть за минуту кровь проходит по организму 2,5 – 3 раза.

Лишь 50% крови в покое циркулирует по сосудам, а 50% находится в депонированном состоянии в печени, селезенке и подкожной клетчатке. Во время физических нагрузок депонированная кровь выходит в кровоток и этим экономит работу сердца. При этом резко увеличивается приток крови к работающему органу. При физических нагрузках особенно сильно, примерно в 12 – 15 раз, возрастает приток крови к венечным сосудам сердца.

#### 4. Артериальное давление.

Важнейшим показателем гемодинамики является *артериальное давление* (АД). Во время систолы АД возрастает, а во время диастолы падает. Нормальное систолическое давление составляет 110 – 125 мм рт. ст., а диастолическое 70 – 85 мм рт. ст. В течение суток давление может падать и возрастать. У нормального здорового человека в дневное время систолическое давление может колебаться от 60 до 150 мм рт. ст., а диастолическое от 30 до 100 мм рт. ст.

На регуляцию давления оказывают влияние нервные и гуморальные факторы. Парасимпатические нервы вызывают расширение сосудов, а симпатические – сужение. Нервная система контролирует изменения АД с помощью специальных барорецепторов, которые расположены в аорте и сонных артериях.

В головном мозге имеется специальный вазомоторный центр, который контролирует сужение и расширение сосудов. Химическая регуляция вазомоторного центра осуществляется на основе данных о концентрации углекислого газа в крови, полученных от особых хеморецепторов. При избытке углекислого газа сосуды сужаются, скорость движения крови повышается, АД повышается.

Гуморальная регуляция осуществляется с помощью сосудосужающих и сосудорасширяющих веществ. К сосудорасширяющим веществам относится гистамин, ацетилхолин и др. К сосудосужающим веществам относятся адреналин, норадреналин, вазопрессин.

Значительную роль в поддержании нормального давления играют и почки, выделяющие сосудосужающие факторы. Кроме того, почки влияют на АД через водно-солевой баланс крови, который должны поддерживать в норме.

#### 5. Адаптация системы кровообращения к физическим нагрузкам.

Физические нагрузки, как показывают физиологические исследования, оказывают влияние на структуру сокращения желудочков. В систоле желудочков различают несколько фаз: фазу изгнания и фазу напряжения. У тренированных спортсменов фаза изгнания по времени чуть укорачивается, а фаза напряжения – чуть увеличивается. Это явление получило название *синдрома регулируемой гиподинамии*. Не вызывает сомнения адаптивный характер этого явления к тренировкам.

В основе физиологического механизма развития синдрома регулируемой гиподинамии лежит повышение тонуса блуждающего нерва, который оказывает на работу сердца тормозящее влияние. В свою очередь, блуждающий нерв повышает свою активность под влиянием деятельности скелетных мышц.

Синдром регулируемой гиподинамии является причиной многих физиологических эффектов связанных с тренировкой: *брадикардией покоя и укорочением периода вработывания*.

*Брадикардия покоя* характерна для спортсменов многих специализаций: бегунов на средние и длинные дистанции, конькобежцев, футболистов и др. У них наблюдается снижение ЧСС в покое до 40 – 50 ударов в минуту. Зато при физических нагрузках ЧСС легко поднимается до 150 – 160 ударов в минуту. Это, по-видимому, одна из причин быстрого вработывания тренированных спортсменов. Брадикардия покоя экономит работу сердца. Однако, в повседневной жизни она является неприятной особенностью, которую всегда замечают врачи и считают патологией.

Кроме того, у спортсменов наблюдается увеличение размеров сердца – компенсаторная гипертрофия сердца. Однако, этот эффект изменение обратимое. После окончания регулярных тренировок объем сердечной мышцы постепенно уменьшается.

Правда, это происходит лишь в том случае, если спортсмен во время тренировок не перенес инфекционных заболеваний.

## **Раздел 5. ФИЗИОЛОГИЯ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ.**

*Основные темы раздела.*

*12. Физиология пищеварения.*

*13. Физиология дыхания.*

*14. Физиология выделения и терморегуляция.*

### **12. ФИЗИОЛОГИЯ ПИЩЕВАРЕНИЯ.**

**Основные вопросы темы и семинарского занятия.**

1. Общий обзор строения и функций системы органов пищеварения.
2. Пищеварение в ротовой полости.
3. Пищеварение в желудке.
4. Пищеварение в тонком кишечнике.
5. Всасывание пищи. Толстый кишечник.
6. Регуляция пищеварения. Appetit.

#### **1. Общий обзор строения и функций системы органов пищеварения.**

Пища необходима организму для получения энергии и строительных материалов для тела. Растения получают энергию непосредственно от солнца и благодаря процессу фотосинтеза создают органические вещества, которыми пользуются сами, а также другие, гетеротрофные организмы.

У животных для извлечения энергии и получения строительных веществ в процессе эволюции возникла система пищеварения. У млекопитающих и человека эта система состоит из органов, где происходят отдельные этапы разложения пищи. Благодаря этому, организм может извлекать энергию более полно, а детали сложных питательных веществ использовать для получения собственных белков, углеводов, жиров и нуклеиновых кислот.

Система органов пищеварения человека устроена так. Вначале пища попадает в ротовую полость, где обрабатывается механически и ферментами слюны. Затем через глотку и пищевод пища попадает в желудок, где обрабатывается желудочным соком. После этого идет переваривание пищи в тонком кишечнике, где, главным образом, происходит всасывание основной части питательных веществ. Завершаются эти процессы в толстом кишечнике, где происходит в основном всасывание воды, а также формирование каловых масс. Этим процессам помогают многочисленные железы: слюнные, печень, поджелудочная железа, а также железы стенок желудка и кишечника.

## 2. Пищеварение в ротовой полости.

В ротовой полости происходит начальный этап процесса пищеварения. Он сводится к двум физиологическим актам: механической обработке пищи и обработке пищи слюной.

У человека 32 зуба. С помощью зубов пища перетирается и измельчается. Язык помогает сформировать пищевой комок

Важную роль в процессе формирования пищевого комка играет слюна. В слюне много воды, что способствует смачиванию сухой пищи. Слюна содержит ферменты. Важнейшим ферментом является *амилаза (птиалин)*, которая гидролизует крахмал. В сутки выделяется до 1,5 литров слюны. Помимо ферментов слюна содержит минеральные вещества соли натрия, калия, магния и др.

Необходимым компонентом слюны является *лизоцим*. Это вещество разрушает клеточные стенки бактерий и этим защищает организм от проникновения в него болезнетворных микроорганизмов. Слизь смачивает и обволакивает пищу, облегчая тем самым её глотание.

Всасывание некоторых веществ происходит уже в ротовой полости. В частности здесь всасывается глюкоза и алкоголь.

Глотание начинается как произвольный акт, но, уже начавшись, продолжается как непроизвольный процесс. Поэтому мы проглатываем иногда жевательную резинку или косточки вишни.

По пищеводу пища попадает в желудок.

## 3. Пищеварение в желудке.

Желудок – это расширенная часть пищеварительного тракта. В среднем его емкость достигает 3 л, однако, этот объем может быть и больше и меньше.

Желудок состоит из двух функциональных частей неравных по объему. Большая часть желудка, составляющая 4/5 его объема, называется фундальной частью. 1/5 объема желудка составляет пилорическая часть желудка. Фундальная часть желудка находится слева от белой линии живота. Желудочный сок, который выделяется здесь, на 99% состоит из воды, 0,5 % составляет соляная кислота, а остальное составляют ферменты: пепсин, химозин и другие. В желудочном соке человека практически отсутствуют липазы, поэтому жиры в желудке почти не усваиваются. Пепсин, пожалуй, главный фермент желудочного сока, гидролизует белки, превращая их в пептиды, содержащие меньше аминокислот. В желудке продолжается процесс разложения полисахаридов, в частности крахмала. Здесь же происходит всасывание в кровь некоторых веществ: витаминов, глюкозы, алкоголя и др.

Пилорическая часть желудка находится справа от белой линии. Железы этой части желудка кислоты практически не вырабатывают и пищевой комок, частично, нейтрализуется. Этим самым пищевой комок подготавливается к переходу в тонкий кишечник, где среда щелочная.

В желудке пища задерживается от 4 до 8 часов. Время пребывания пищи в желудке зависит от состава пищи. После обработки желудочным соком пища переходит в тонкий кишечник, а именно, в двенадцатиперстную кишку. Это происходит не сразу, а порциями.

#### 4. Пищеварение в тонком кишечнике.

Начальный отдел тонкого кишечника называется двенадцати перстная кишка. Хотя длина этой части кишечника всего 25 см, за важность процессов, происходящих в этом отделе кишечника, двенадцатиперстную кишку иногда называют "вторым желудком".

В двенадцатиперстную кишку открываются протоки двух крупнейших желез нашего организма – печени и поджелудочной железы.

Поджелудочная железа вырабатывает *поджелудочный или панкреатический сок*. Этот сок содержит важнейшие пищеварительные ферменты, такие как *трипсин, липазы и амилазы*. *Трипсин* продолжает дело, начатое в желудке пепсином – расщепление белков. При этом расщепление еще не окончательное, то есть до аминокислот, но пептиды делаются заметно короче. *Липазы* проводят гидролиз жиров. Однако эту функцию они не могут осуществлять в отсутствие желчи, вырабатываемой печенью.

Желчь выполняет следующие функции:

- нейтрализует соляную кислоту;
- эмульгирует жиры, то есть облегчает их расщепление;
- стимулирует движения кишечника;
- обеспечивает механизм пристеночного пищеварения;
- оказывает угнетающее влияние на развитие гнилостных микроорганизмов в кишечнике.

Процессы, начатые в двенадцатиперстной кишке, продолжаются и в других частях тонкого кишечника. В кишечном секрете и слизистой оболочке тонкой кишки содержится более 20 ферментов, продолжающих процесс пищеварения. Это и различные формы липаз, и нуклеазы, и пептидазы. Результатом работы этих ферментов является окончательное разложение компонентов пищи до аминокислот, нуклеотидов, простых сахаров, глицерина и жирных кислот, которые всасываются в кровь.

#### 5. Всасывание в тонком кишечнике. Толстый кишечник.

Слизистая тонкого кишечника образует множество пальцевидных отростков, называемых ворсинками. стенки ворсинок обильно снабжены капиллярами и лимфатическими сосудами. Ворсинки способны непрерывно сокращаться, благодаря чему они находятся в тесном постоянном контакте с пищей. Распложенные на поверхности ворсинок клетки имеют большое количество микроворсинок, что ещё больше увеличивает площадь всасывания.

Всасывание простых сахаров и аминокислот происходит, главным образом, в тонком кишечнике. С наибольшей скоростью всасывается глюкоза. Показано, что процессу всасывания глюкозы способствуют ионы натрия, в присутствии которых процесс всасывания глюкозы происходит в 100 раз быстрее. Простые сахара и аминокислоты всасываются непосредственно в кровь. С жирными кислотами и глицерином – продуктами распада жиров – дело обстоит иначе. Поступив в цилиндрический эпителий ворсинок, они вновь превращаются здесь в жиры, которые переходят затем в лимфатические сосуды.

Всасывание невозможно без перистальтических движений кишечника. Эти движения бывают двух типов: ритмическая сегментация и маятникообразные движения.

Вода и минеральные соли всасываются, главным образом, в толстом кишечнике, здесь же происходит всасывание некоторых витаминов.

В толстом кишечнике переваривается, главным образом, растительная клетчатка. Этому способствует микрофлора толстого кишечника. Кроме того, микрофлора выполняет еще ряд функций:

- защищает организм от вредных микробов, оказывая конкуренцию им;
- продуцирует биологически активные вещества, способствующие нормальному пищеварению;

- синтезирует многие витамины, прежде всего, группы В;
  - инактивирует ферменты пищеварительных секретов.
- В толстом кишечнике пища может задерживаться до 36 часов.

## 6. Регуляция секреции пищеварительных желез.

Секреция пищеварительных ферментов происходит с затратами энергии, и поэтому этот процесс происходит не непрерывно, а по мере необходимости.

*Секреция слюны* в полости рта регулируется безусловным и условными рефлексам. Контакт пищи с вкусовыми сосочками языка вызывает выделение слюны – это безусловный рефлекс. Условный рефлекс возникает на вид, запах пищи или на слова о ней.

*Секреция желудочного сока происходит в три стадии.*

- Первая стадия называется *вагусной*, так как решающую роль в регуляции секреции желудочного сока играет *блуждающий нерв*. Эта фаза наступает еще до того, как пища попала в желудок.
- Вторая стадия - *фаза растяжения* – выделение желудочного сока стимулируется растяжением его стенок желудка.
- Третья стадия – *гуморальная* – осуществляется с помощью гормонов, важнейшим из которых является гормон гастрин.

На каждой стадии состав желудочного сока несколько меняется, что выражается, прежде всего, в содержании соляной кислоты. На последней стадии содержание кислоты падает, что подготавливает пищевой комок к переходу в тонкий кишечник, где среда щелочная.

*Секреция сока поджелудочной железы проходит две фазы.*

- Первая фаза проходит под контролем блуждающего нерва.
- Вторая фаза, гуморальная, проходит под контролем специфических гормонов.

*Секреция желчи происходит под контролем ВНС.* Блуждающий нерв усиливает образование и выделение желчи, а симпатические нервы подавляют.

*Регуляция аппетита* у человека находится под контролем двух центров, расположенных в гипоталамусе: *центре голода и центре насыщения*. Эти центры реагируют на концентрацию глюкозы в крови. При ее недостатке начинает работать центр голода. При повышении концентрации глюкозы в крови, что происходит примерно через 20 минут после еды, наступает чувство насыщения. На аппетит влияют многие факторы: *рефлексы растяжения пищеварительного тракта, физиологическое и психологическое состояние, повреждение головного мозга и т. д.*



## 13. ФИЗИОЛОГИЯ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ.

### План лекции и семинарского занятия.

1. Значение и эволюция органов дыхания.
2. Газообмен в легких и жизненная емкость легких.
3. Газообмен в тканях.
4. Возрастные изменения системы дыхания.
5. Регуляция процессов дыхания.
6. Дыхание в необычных условиях (для самостоятельного изучения).

### 1. Значение и эволюция органов дыхания.

*Дыхание* – это совокупность процессов, обеспечивающих поступление кислорода в организм и использование его для окисления органических веществ с освобождением энергии и выделением углекислого газа в окружающую среду.

Когда в атмосфере стал накапливаться кислород, который выделялся в качестве побочного продукта фотосинтеза, у всех живущих на Земле организмов возникла необходимость использовать этот газ или погибнуть. Кислород – сильнейший окислитель. В периодической системе он находится рядом с очень ядовитыми веществами – фтором, хлором, серой. Но именно использование кислорода в качестве конечного окислителя дало возможность организмам *увеличить свою энергетическую производительность почти в 20 раз.*

Процессы дыхания можно разбить на три этапа:

1. *Внешнее дыхание* – процессы, связанные с непосредственным извлечением кислорода из внешней среды.
2. *Транспорт кислорода к тканям.*
3. *Внутреннее дыхание* – поступление кислорода в ткани и использование его там.

У человека и многих других животных внешнее дыхание осуществляется через специальную систему органов дыхания, возникшую в ходе эволюции. Она состоит из дыхательных путей и легких. Именно в легких происходит газообмен с кровью: кровь насыщается кислородом, а углекислый газ покидает её.

Затем наступает очередь крови, которая переносит кислород к тканям.

Наконец, в тканях происходят процессы внутреннего или тканевого дыхания, где кровь отдает тканям кислород, а принимает углекислый газ.

### 2. Газообмен в легких.

Строение легких таково, что они могут поглощать и выбрасывать воздух. Механически – это напоминает губку.

Объемы вентиляции легких зависят от глубины вдоха и выдоха. Вентиляция легких – это газообмен между атмосферным воздухом и легкими. Существуют два противоположных понятия, которые надо запомнить, говоря о вентиляции легких. 1. *Гипервентиляция* – это произвольное усиление дыхания, связанное с метаболическими потребностями организма. 2. *Гиперпноное, непроизвольное усиление дыхания в связи с реальными потребностями организма.*

Различают объемы вентиляции и их емкость.

1. Дыхательный объем (ДО) – это объем воздуха, который человек вдыхает при спокойном дыхании. Этот объем составляет в среднем около 500 кубических сантиметров.
2. Резервный объем вдоха (РО вдоха) – максимальный объем воздуха, который человек может дополнительно вдохнуть после спокойного вдоха. Этот объем составляет 1500 – 2000 см в кубе.

3. Резервный объем выдоха (РО выдоха) – максимальный объем выдоха, который можно выдохнуть после спокойного выдоха. Этот объем также составляет 1500 – 2000 мл.
4. Остаточный объем воздуха (ОО) – это объем воздуха, который остается в легких после максимального выдоха. Этот объем составляет порядка 1000 мл.
5. Жизненная емкость легких (ЖЕЛ) – это объем легких за вычетом остаточного объема. Он составляет от 3,5 до 4,5 л (ДО+ РО вдоха + РО выдоха = ЖЕЛ). У спортсменов ЖЕЛ выше на 1 - 1,5 л.
6. Функциональная остаточная емкость (ФОЕ) – это количество воздуха, остающегося в легких после спокойного выдоха. (ФОЕ = ОО + РО выдоха). У нормального человека ФОЕ равняется 2,5 – 3 л.
7. Общая емкость легких (ОЕЛ) равняется сумме ЖЕЛ и ОО. В нашем примере 4,5 – 5,5 л.

Кроме того, в физиологии используют такие понятия как *минутный объем воздуха (МОВ)* и *максимальная вентиляция легких (МВЛ)*.

МОВ – это объем проходящего воздуха за 1 мин. Он составляет 6 – 8 л.

МВЛ – это объем воздуха, который проходит через легкие при максимальной глубине и частоте дыхания. У молодого человека она достигает 120 л/мин, а у спортсменов может достигать 180 л/мин.

### 3. Газообмен в тканях.

О механизме переноса газов кровью было рассказано в предыдущем разделе. Напомним лишь, что переход кислорода из легких в кровь и из крови в ткани происходит потому, что парциальное давление кислорода в крови ниже, чем в легочных пузырьках, а в тканях ниже, чем в крови.

При интенсивной работе парциальное давление кислорода в тканях, например, в мышцах, может быть равным нулю.

Важным показателем усвоения кислорода является *коэффициент утилизации кислорода (КУК)*, выраженный в процентах. В покое он составляет 35 – 40 %, а при физической работе – 60 – 70%. Причиной увеличения коэффициента утилизации является снижение парциального давления и ускорение газообмена в тканях.

Для оценки потенциальных возможностей спортсменов используют показатель *произвольной легочной вентиляции (ПВЛ)*. *Произвольная легочная вентиляция – это способность произвольно учащать и замедлять дыхание.* При перенапряжении и перетренировке этот показатель может падать.

Пожалуй, важнейшим показателем, характеризующим физическое состояние спортсмена, является **максимальное потребление кислорода (МПК)**. МПК связано с тренированностью человека напрямую: чем выше тренированность, тем выше МПК. У спортсменов МПК в среднем составляет 3 – 5 л/мин, в отдельных случаях выше 6 л/мин.

МПК на практике измеряется прямым и непрямым способом. Прямой способ требует достаточно сложной аппаратуры. Непрямой способ доступен всем, так как между величиной *потребления кислорода (ПК)* и частотой сердечных сокращений (ЧСС) существует прямая зависимость. Эта зависимость отражена в таблицах, которые можно найти в учебниках по спортивной физиологии.

Интенсивность анаэробного обмена может быть оценена *по кислородному долгу*. (О чем более подробно будет рассказано в другом разделе курса.)

#### 4. Возрастные изменения в системе дыхания.

Внешнее звено системы дыхания детей раннего возраста отличается от такового у взрослых. Это естественно отражается на показателях внешнего дыхания и прежде всего на *частоте дыханий в минуту, дыхательном объеме, минутном объеме воздуха, ЖЕЛ*. Например, у ребенка 3 лет МОВ составляет 3100 мл, ЖЕЛ – около 1000мл, в то время как у 14 летнего подростка – эти показатели, соответственно, - 5000 мл и 2700 мл, а у взрослых людей – 8000 мл и 4000мл.

Тип дыхания ребенка первых лет жизни преимущественно брюшной. Грудной тип дыхания затруднен, так как ребра вследствие слабой эластической тяги занимают почти горизонтальное положение. У новорожденных эластическая тяга легких отсутствует, так как они не растянуты, поэтому отрицательного давления в плевральной полости не наблюдается. Только с 3 – 7 лет в связи с развитием мышц плечевого пояса и увеличением эластической тяги легких ребра опускаются вниз, и грудной тип дыхания начинает преобладать над брюшным. Половые различия типа дыхания начинают выявляться с 7 – 8 летнего возраста и полностью формируются лишь к 14 – 17 годам. У девушек формируется грудной тип дыхания, а у юношей – брюшной.

Главной опасностью для неправильного развития дыхания является *гиподинамия*. При этом дыхание становится поверхностным, а ещё хуже, если оно осуществляется, главным образом, через рот. Тренировки способствуют увеличению произвольной легочной вентиляции, увеличивают частоту и глубину дыхания, делают его более полноценным.

#### 5. Регуляция дыхания.

Регуляция дыхания может происходить произвольным и непроизвольным путем.

Непроизвольная регуляция осуществляется дыхательным центром, основным компонентами которого являются центры вдоха и центры выдоха, расположенные в продолговатом мозге. Парасимпатическая часть нервной системы контролирует вдох и выдох, а симпатические нервы вызывают растяжение стенок альвеол и их сужение. Таким образом, процесс дыхания происходит рефлекторно, когда вдох стимулирует выдох и наоборот.

Главным гуморальным фактором, контролирующим частоту дыхания является концентрация углекислого газа в крови. При повышении концентрации углекислого газа в крови специальные рецепторы посылают сигнал в центр вдоха. От центра вдоха через диафрагмальные и грудные нервы импульс поступает в диафрагму и межреберные мышцы. что ведет к их сокращению. Таким образом, автоматически стимулируется вдох. При вдохе альвеолы расширяются и рецепторы, находящиеся в них, посылают импульсы в центр выдоха. Так стимулируется выдох. Весь этот цикл непрерывно и ритмично повторяется на протяжении всей жизни организма.

Произвольная регуляция частоты и глубины дыхания осуществляется под контролем коры больших полушарий. но через дыхательный центр.

В настоящее время показано, что концентрация кислорода также играет роль при регуляции дыхания. Однако это, по-видимому, резервный механизм, влияние которого на процесс в целом относительно невелико.

## **6. Дыхание в необычных условиях.** (для самостоятельной работы).

Необычные условия дыхания возникают в горах и при погружении на большие глубины.

В горах кислорода меньше, что вызывает состояние гипоксии. Оно связано с уменьшением парциального давления кислорода. Например, на высоте 5450 метров над уровнем моря атмосферное давление вдвое ниже. Хотя процентное содержание кислорода в воздухе не меняется, но концентрация его на единицу объема вдвое меньше.

Дыхательная активность стимулируется хеморецепторами. На больших высотах уменьшение легочной вентиляции, вызванное потребностью в большем количестве кислорода, приводит к тому, что из крови в легкие поступает большее количество углекислого газа и снижается кислотность крови. Повышение щелочности крови вызывает состояние, называемое алкалоз или "горная болезнь", выражающаяся в недомогании, сильной усталости.

Кровеносная и дыхательная системы постепенно приспосабливаются к этим необычным условиям. Через несколько дней выводится щелочная моча и симптомы "горной болезни" исчезают. Концентрация углекислого газа снова становится основным фактором, определяющим интенсивность дыхания. Наступает процесс акклиматизации. (Подробнее смотри в параграфе, посвященном альпинизму и горному туризму).

При погружении на большие глубины в дыхательной и кровеносной системах происходят значительные изменения. В начале погружения рефлекторно снижается ЧСС и замедляется ток крови. АД остается на прежнем уровне, так как сосуды сужаются. Некоторые сосуды сжимаются полностью, то есть отключаются вообще. При этом меняется кровоснабжение: кровью снабжаются только самые главные органы – головной мозг, сердце и некоторые части нервной системы. Эти изменения означают, что кислород в крови используется медленно, но при этом остается всегда доступным для тех органов, которые наиболее чувствительны к гипоксии. У человека при работе на больших глубинах из-за повышенного парциального давления кислорода может возникнуть кессонная болезнь. Опасность этого заболевания требует особого процесса декомпрессии – постепенного перехода от повышенного давления к нормальному.

## **14. ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ И ВЫДЕЛЕНИЕ.**

### **План лекции и семинарского занятия.**

1. Теплообразование и температура тела человека.
2. Роль почек в выделительных процессах.
3. Регуляция мочеобразования.
4. Потоотделение.

### **1. Теплообразование и температура тела человека.**

Человек относится к животным с постоянной температурой тела (гомойотермным). Но в то же время температура тела человека носит относительный характер: она меняется в течение суток. Максимальная температура наблюдается с 16 – 18 часов – 37,0 – 37,1 гр., а минимальная с 3 – 4 часов – 36,2 – 36,0 гр. Кроме того температура разных мест тела – разная. Самое "холодное" место организма – легкие – 35,5 гр., а самое горячее место – печень 41 гр.

Главным источником теплопродукции являются мышцы. В покое на их долю приходится 60 – 70 % теплопродукции, а при интенсивной работе – до 90 %.

Тепло выделяется нашим телом тремя способами: теплоизлучением, теплопроводением и потоотделением. Каждым из этих способов выделяется примерно 30 % избыточного тепла. 5 – 10 % идет на согревание вдыхаемого воздуха, воды и пищи.

Терморегуляция осуществляется нейрогуморальными механизмами. Холодовые и тепловые рецепторы кожи передают сигналы в гипоталамус и ретикулярную формацию среднего мозга. Эти части головного мозга являются высшим подкорковым центром терморегуляции. Разрушение гипоталамуса делает животное пойкилотермным.

Гормоны обеспечивают гуморальный контроль за терморегуляцией. Главную роль здесь играет система гипоталамус – гипофиз – надпочечники. Но это влияние осуществляется не прямым способом, а через обмен веществ.

Важная роль в терморегуляции принадлежит коре больших полушарий. Эмоции и изменение психического состояния может приводить к изменению теплоотдачи и температуры тела. Спортсменам хорошо известно состояние "предстартовой горячки", когда температура тела перед стартом важных соревнований может возрасти до критических значений 39 и выше гр. Повышение температуры тела при различных заболеваниях – защитная реакция организма, которая порой ускоряет выздоровление.

## **2. Роль почек в выделительных процессах.**

В основе поддержания гомеостаза (постоянства внутренней среды организма) лежат три процесса: *экскреция, секреция и осморегуляция*.

*Экскреция* – это удаление из организма ненужных продуктов обмена веществ. *Секреция* – это выделение веществ, которые отходами не являются. *Осморегуляция* – это регулирование относительных концентраций воды и растворенных в ней веществ. Работа выделительной системы направлена на осуществление этих трех процессов.

Почки – важнейший компонент выделительной системы. Работа почек основана на трех механизмах: *ультрафильтрации, избирательной реабсорбции и активном переносе растворимых веществ в окружающую среду (секреции в узком смысле)*.

*Ультрафильтрация* происходит в важнейшей части нефрона – клубочке. Здесь многие низкомолекулярные вещества, такие как глюкоза, вода, мочевины, переходят в жидкость – фильтрат.

*Избирательная реабсорбция* происходит в канальцах нефрона. Здесь все вещества, которые могут быть использованы организмом, всасываются из фильтрата обратно в кровь.

В канальцах нефронов происходит и *активная секреция* ненужных организму веществ, например избыток некоторых ионов ( $K^+$ ,  $H^+$ ,  $NH_4^+$ ).

Мочеобразование происходит в два этапа: 1) образование первичной мочи (ультрафильтрация) и 2) образование вторичной мочи (реабсорбция и секреция). Почки пропускают ежедневно около 2000 л крови, из которой образуется около 200 л первичной мочи и около 2 л вторичной.

## **3. Регуляция мочеобразования.**

Мочеобразование в почках во многом определяется их способностью к соморегуляции. Отключение корковых и подкорковых центров не приводит к прекращению мочеобразования. Однако кора и гипоталамус оказывают существенное влияние на этот процесс.

В гипоталамусе образуется вазопрессин или антидиуретический гормон (АДГ), усиливающий реабсорбцию воды из первичной мочи. В процессе реабсорбции играет важную роль гормон коры надпочечников – альдостерон. Благодаря этому гормону происходит реабсорбция ионов натрия и калия.

Мышечная работа оказывает существенное влияние на скорость мочеобразования, состав и объем образующейся мочи. Это влияние выражается в увеличении экскреции продуктов катаболизма глюкозы – молочной и фосфорной кислот. Это сказывается и на функциях дыхания, так как ведет к гипервентиляции легких или дыхательному ацидозу.

При напряженной тренировке или перетренировке иногда наступает избыточное потребление белка – метаболический ацидоз. Его признаком является увеличение кислых продуктов в моче, а при сильной перетренировке – появление в моче белка. Врачи рекомендуют в этих случаях овощную диету до тех пор, пока моча не сделается снова щелочной.

#### 4. Потоотделение.

Одна из главных экскреторных функций кожи – *потоотделение*. Этот процесс проходит под нейрогуморальным контролем. В состав пота входят как органические (мочевина, мочева кислота, креатин, гиппуровая кислота), так и неорганические вещества (хлорид натрия, хлорид калия, фосфаты сульфаты). Плотность пота чуть выше воды (1,012 – 1,010).

Потоотделение бывает заметным и незаметным. При незаметном потоотделении пота образуется немного, и он сразу испаряется с поверхности кожи. При заметном потоотделении пот начинает течь по поверхности кожи. Поэтому сказать, что человек не потеет вовсе нельзя.

У человека заметное потоотделение начинается всякий раз, когда температура тела поднимается выше средней – 36,6 ° С. В умеренном климате за сутки человек выделяет около 1 л пота. При очень сильной жаре и достаточном снабжении водой потоотделение может достигать 12 – 20 л пота в сутки.

Видимо, решающую роль в регуляции образования пота играет гипоталамус. При нарушении работы гипоталамуса нарушается и потообразование. Это подтверждается и косвенными фактами. Например, снижение температуры тела после питья или приложения льда к сонным артериям, снабжающим гипоталамус кровью, уменьшает потоотделение.

## **Раздел 6. Основы возрастной физиологии.**

### **Основные темы раздела.**

**15. Возрастные изменения показателей физического развития.**

**16. Развитие ВНД и психики.**

**17. Развитие опорно-двигательного аппарата.**

### **15. ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ.**

#### **План лекции и семинарского занятия.**

1. Основные возрастные этапы развития детей и подростков.
2. Изменения массы тела ребенка с возрастом.
3. Возрастные изменения роста детей и пропорции тела.
4. Возрастные изменения показателей развития мальчиков и девочек.
5. Проблемы и причины акселерации.

#### **1. Основные возрастные этапы развития детей и подростков.**

В отечественной педагогической практике и литературе принята периодизация возраста детей и подростков, которая легла в основу деления нашей школы на *начальную, базовую и полную*. Согласно этой периодизации выделяют:

- предшкольный возраст до 3 лет;
- дошкольный возраст от 3 – 7 лет;
- школьный возраст, который в свою очередь делится на *младший (7 – 10 лет), средний (11 – 14 лет) и старший (15 – 18 лет)*.

Подобная периодизация очень грубая с точки зрения биологических показателей развития, поэтому в физиологической и медицинской практике используется другая периодизация. Биологическая периодизация в большей степени учитывает биологические особенности развития человека и предусматривает 7 периодов развития ребенка.

1. Период новорожденности – это первые 10 дней развития ребенка, пока не начнет работать его собственная иммунная система.
2. Грудной возраст – от 10 дней до 1 года. В течение этого периода ребенка обычно вскармливают грудным молоком.
3. Раннее детство – от 1 года до 3 лет.
4. Первое детство – от 4 лет – до 7 лет.
5. Второе детство: *мальчики от 8 до 12 лет;*  
*девочки от 8 до 11 лет.*
6. Подростковый возраст: *мальчики от 13 до 16 лет.*  
*девочки от 12 до 15 лет.*
7. Юношеский возраст: *юноши от 17 лет до 21 года;*  
*девушки от 16 до 20 лет.*

Данная периодизация, прежде всего, учитывает различные физиологические показатели развития организма: степень окостенения скелета, развития вторичных половых признаков, прорезания и смены зубов, изменения основных показателей физического развития и т. д. Указанные изменения трудно учесть в административных целях, но их необходимо учитывать при работе с детьми. Следует также помнить, что изменения показателей развития имеет свои индивидуальные особенности. Это особенно важно при преподавании физической культуры, где в первую очередь должен действовать принцип посильности нагрузки.

## **2. Изменения массы тела ребенка с возрастом.**

Масса тела – один из важнейших антропометрических показателей. Масса новорожденных девочек в среднем ниже, чем у мальчиков. У новорожденных девочек средняя масса тела составляет 3,3 кг, а мальчиков 3,5 кг. За первый месяц жизни масса ребенка должна увеличиться на 600 г, а за второй и третий месяцы на 800 г. В каждый последующий месяц ежемесячное увеличение составляет на 50 г меньше, чем в предыдущий и эта тенденция сохраняется до конца первого года жизни. Первоначальная масса ребенка к 4 – 5 месяцам удваивается, а к году утраивается. За второй год жизни ребенок прибавляет 2,5 – 3,5 кг, а за третий год – 1,5 – 2,0 кг. Тенденция, наблюдаемая в третий год жизни, сохраняется и на четвертом, пятом и шестом году жизни, то есть прибавка составляет 1,5 – 2,0 кг. С 7 лет начинается усиленное нарастание массы тела. Особенно велика прибавка массы тела в период полового созревания – 5 – 7 кг в год. Для ориентировочного определения массы тела ребенка в том или ином возрасте к массе его тела в конце первого года жизни прибавляют 2 кг, умноженные на число лет. Таким образом, средняя масса пятилетнего ребенка должна составлять 20 кг.  $10 \text{ кг} + 2 \times 5 = 20 \text{ кг}$ .

## **3. Возрастные изменения роста детей и пропорций тела.**

Так же как и масса тела, прибавка роста тела идет неравномерно. Средний рост новорожденных 50 сантиметров. За год жизни рост ребенка увеличивается на 25 сантиметров. За второй и третий годы он прибавляет ежегодно по 8 см, а с 4 до 7 лет годовая прибавка роста составляет 5 – 7 см. Резко увеличивается рост в период полового созревания, когда ежегодная прибавка может составлять 7 – 8 сантиметров. Для приблизительного определения роста следует к росту годовалого ребенка добавить 5 см, умноженные на число лет. Таким образом, рост пятилетнего ребенка должен составлять 100 см, согласно формуле  $75 \text{ см} + 5 \times 5 \text{ см} = 100 \text{ см}$ .

С возрастом меняются и пропорции тела. У новорожденных, например, длина головы составляет  $\frac{1}{4}$  часть общего роста, у двухлетнего ребенка –  $\frac{1}{5}$  часть, у шестилетнего –  $\frac{1}{6}$ , а у взрослого –  $\frac{1}{8}$ .

Меняется и окружность головы. При рождении окружность головы больше, чем окружность грудной клетки. Окружность головы новорожденного ребенка 34 см, а груди – 33 сантиметра. К концу первого года жизни показатели окружности груди и головы меняются местами, и далее эта тенденция сохраняется.

За весь период развития длина ног увеличивается в пять раз, рук – в 4 раза, а туловища – в 3 раза.

## **4. Возрастные изменения показателей физического развития мальчиков и девочек.**

Изменения показателей физического развития, происходящие в период роста организма, неодинаковы по своей интенсивности. Как уже подчеркивалось выше, наибольшее увеличение всех показателей физического развития происходит на первом году жизни ребенка. Еще одним периодом, когда показатели физического развития меняются очень интенсивно является пубертатный период или период полового созревания. Однако, временные рамки этого периода разные у девочек и мальчиков.

У девочек наибольшая прибавка роста происходит с 10 до 13 лет, а у мальчиков с 12 до 15 лет. Рост тела у девушек заканчивается к 17 – 18 годам (хотя возможен и до 25 лет), а у юношей рост заканчивается в основном к 19 годам. Наибольшее увеличение веса девочек происходит в возрасте 11-14 лет, а у мальчиков – 13 – 15 лет. В эти же сроки происходит наибольшее увеличение окружности грудной клетки. После 11 лет девочки начинают обгонять в своем развитии мальчиков, а после 15 лет мальчики начинают обгонять девочек.



Неравномерное развитие мальчиков и девочек создает определенные проблемы для учителей физической культуры. Одним из способов преодолеть эти трудности является введение в школах отдельных уроков физкультуры, начиная с 6-х классов. Однако, подобное решение проблемы порой наталкивается на сложности, связанные с недостатком помещений и инвентаря в школах, а также с дефицитом кадров.

## 5. Проблемы и причины акселерации.

В последние десятилетия во всех странах мира произошли существенные изменения в физическом развитии детей. Эти изменения выражаются в увеличении антропометрических показателей и ускоренном завершении развития. В литературе они получили название *акселерация*. Иногда используют термин *эпохальная акселерация или эпохальный трейд* (вековая традиция). Это понятие включает в себя общие изменения, происходящие с человечеством за последние 100 лет: *непрерывный рост размеров тела, увеличение продолжительности жизни, более позднее прекращение менструаций у женщин, изменение скорости психических функций и т. д.*

Особенно ярко проявляется акселерация в изменениях роста и массы тела. В России за последние 50 лет средняя длина тела выросла на 11 см у мужчин, а женщин на 7 сантиметров. В Германии за этот же период мужчины выросли на 12,5 см, а женщины на 7,5 сантиметров. В конце 19 века средний рост призывников в России был 162 см, а сейчас 175см.

Масса новорожденных в среднем увеличилась на 3 – 4 %. Сдвинулись сроки первых менструаций. В начале 30-х годов они начинались у девушек в 14-15 лет, а сейчас – 11 – 12 лет. На 1 –3 года раньше стало происходить окостенение скелета. Постоянные зубы появляются раньше на 9 месяцев.

Биологические механизмы акселерации пока не ясны. Существует несколько гипотез.

Следует отметить, что акселерация проявляется у разных детей по-разному. В каждой группе детей можно найти детей акселератов и детей ретардантов, то есть отстающих в физическом развитии от сверстников. Их число в разных группах может достигать 13-20%.

Акселерация имеет и положительные и отрицательные тенденции. К положительным тенденциям следует отнести более быстрое и совершенное развитие психических функций. К отрицательным тенденциям: увеличение количества мертворожденных детей из-за увеличения размеров плода. У акселератов наблюдается ослабление иммунной системы, что ведет к развитию аллергии и некоторых хронических заболеваний.

## **16 .ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВНД И ПСИХИКИ.**

### **План лекции и семинарского занятия.**

1. ВНД детей первого года жизни.
2. ВНД и психика детей в возрасте от 1 года до 3 лет.
3. ВНД и психика детей дошкольного возраста.
4. Изменения ВНД и психики детей в период учебы в школе.

### **1.ВНД детей первого года жизни.**

Развитие мыслительной деятельности – одна из главных тайн человеческого организма. Исследования показывают, что в своем развитии психика человека проходит несколько критических периодов: в первый год жизни, далее в трехлетнем возрасте, затем в семилетнем и, наконец, в период полового созревания.

Первый год жизни – очень важен для ребенка, но исследовать его психические функции очень трудно, так как двигательная активность его развита плохо и совсем не развита речь. Поэтому для исследования ВНД грудных детей разработаны специальные методики, в подробности которых мы вдаваться не будем.

Было выяснено, что первые условно-рефлекторные реакции у детей вырабатываются уже на 6 – 8-е сутки жизни. Все это первичные условные рефлексы, при выработке которых главную роль играет связь условного раздражителя с безусловным.

Искусственные условные рефлексы вырабатываются значительно труднее и позже: в конце первого в начале второго месяца жизни.

Развитие условных рефлексов у ребенка проходит ряд стадий.

1. Стадия неспецифических реакций – ориентировочные реакции – вздрагивание, замирание.
2. Стадия торможения – приостановка или уменьшение деятельности ребенка.
3. Стадия неустойчивого условного рефлекса – реакция на действие сигнала проявляется не всегда.
4. Стадия устойчивого условного рефлекса.

Длительность этих стадий зависит от ряда факторов: возраста, состояния рецепторов и, наконец, индивидуальных особенностей.

Торможение у грудных детей, главным образом внешнее. Это, по-видимому, связано с высокой возбудимостью грудных детей.

### **2.ВНД и психика детей в возрасте от 1 до 3 лет.**

У детей 1 – 2 лет условный рефлекс сильно растянут во времени. Наблюдается иррадиация возбуждения, например, двигательная реакция руки, сопровождается движением ноги.

Дети этого возраста очень живо реагируют на окружающий мир, что выражается в неусидчивости и беспокойстве. У ряда детей образовавшийся как будто рефлекс вновь возвращается к неустойчивости.

Скорость выработки условного рефлекса в этом возрасте очень индивидуальна. Большое значение имеет характер условного рефлекса и его подкрепление.

У детей 1 – 3 лет хорошо развито безусловное торможение, в основе чего лежат хорошо проявляющиеся ориентировочные рефлексы. Появление чего-то нового отвлекает ребенка от еды. Увлекательная игра может вызвать у ребенка индукционное торможение, что объясняется развитием у него состояния доминанты.

Дети этого возраста слабо различают ощущения особенно тактильные.

У детей 1,5 лет легко вырабатываются стереотипы, но ломаются они довольно трудно. Это возраст "упрямства".

В период от 1 до 3 лет происходит интенсивное развитие речи. Словесные раздражители приобретают большое значение, а слова – понятийный смысл. Вначале

ребенок реагирует на смысл слова движениями, а затем начинает повторять слова за взрослыми людьми. Именно в этот период ребенок овладевает основными грамматическими формами языка, поэтому грамотность его речи зависит от грамотности, окружающих его взрослых. Отсутствие достаточного внимания со стороны взрослых ведет к тому, что ребенок начинает позже говорить, как это часто происходит в детских домах.

Показано также, что для развития речи большое значение имеют двигательные рефлексы: чем свободнее ребенок движется, тем легче развивается речь.

### **3. ВНД и психика детей дошкольного возраста (4 – 6 лет).**

У детей дошкольного возраста очень живая ориентировочная реакция на экспериментальную обстановку. Это возраст вопросов. В этот момент двигательные описания предметов заменяют зрительные образы. Процесс образования условных рефлексов происходит у детей этого возраста очень быстро. Достаточно 2 – 5 проб, чтобы выработать условный рефлекс. Условная двигательная реакция растянута во времени, ее интенсивность не велика. У большинства детей хорошо выражена иррадиация возбуждения: основное условно-рефлекторное движение сопровождается дополнительными двигательными реакциями. Возбуждение преобладает над торможением. У них развиваются условное и безусловное торможение, но угасание условных рефлексов происходит медленно. Это очень благоприятный возраст для выработки различных рефлексов. Однако не следует слишком этим увлекаться, так как это может привести к перегрузкам нервной системы.

У детей дошкольного возраста слово приобретает все большее обобщающее значение. В ясельном возрасте наблюдается обобщение первой и второй степени, когда слово заменяет образ какого-нибудь конкретного предмета, либо очень схожего с ним. У дошкольников появляется более широкое обобщение третьей степени, а к 4 – 5 годам уже и четвертой степени. По схеме:

**кукла → куклы → игрушки → вещи.**

Происходит дальнейшее развитие аналитическо-синтетической деятельности. Хорошо различаются сложные раздражители. Динамические стереотипы развиваются с трудом, но с большим трудом переделываются.

### **4. Изменения ВНД и психики в период учебы в школе.**

За время учебы в школе ребенок очень сильно меняется и физически и психологически. Изменения ВНД и психики происходят вначале в 7 – 10- летнем возрасте, затем в период полового созревания 11 – 14 лет, а затем в юношеском возрасте в 15 – 18 лет.

В 7 – 10- летнем возрасте образование условных рефлексов происходит быстро. Большое значение имеет характер рефлекса, на базе которого образуется временная связь. Торможение у детей этого возраста отличается от детей дошкольников, так как обе формы безусловного торможения менее выражены. Все формы условного торможения приобретают большое значение. Дифференцированное торможение выражено хорошо. Неодинаково осуществляется детьми дифференцирование раздражителей разного характера: легко различаются различные географические ландшафты, изображения животных различаются труднее, а хуже всего детям даются количественные различия.

Подвижность нервных процессов в этом возрасте хорошая. Переделки раздражителей (положительного на отрицательный и наоборот) происходят легко. Словесные отчеты детей этого возраста обстоятельны, вполне отвечают обстановке и конкретны.

В период полового созревания повышенная активность внутри секреторной функции половых желез влияет весьма заметным образом на ВНД подростков. В этот период наблюдается повышенная возбудимость нервной системы. У подростков наблюдается резкая неуравновешенность нервных процессов, нарастание возбудимости и ослабление внутреннего торможения. У подростков затрудненное по сравнению с предыдущим возрастом образование временных связей. Уменьшается скорость образования условных рефлексов, в том числе и на речевые раздражители. В этот период возможны парадоксальные реакции на раздражители, когда положительный раздражитель вызывает отрицательную реакцию. Особенность ВНД подростков требует особенно внимательного подхода к ним со стороны педагогов, создания спокойной обстановки, правильного режима дня, хорошо продуманной учебно-воспитательной работы.

После окончания полового созревания происходит уравнивание процессов торможения и возбуждения. Нервная система постепенно начинает работать в режиме взрослых людей. Правда, следует помнить, что этот период становления нервных процессов растянут во времени и очень индивидуален.

## 17. ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.

### План лекции и семинарского занятия.

1. Возрастные особенности развития скелета.
2. Анатомические особенности развития скелетной мускулатуры.
3. Физиологические особенности развития скелетных мышц.
4. Критические периоды в развитии опорно-двигательного аппарата и особенности обучения движениям детей и подростков.

### 1. Возрастные особенности развития скелета.

**Череп.** У новорожденных объем мозгового черепа в 8 раз больше лицевого, а у взрослого человека только в 2 – 2,5 раза. В два года отношение лицо/череп равно 1: 6, в 5 лет – 1:4, а в 10 лет – 1:3. У новорожденного между костями имеются швы, заполненные соединительной тканью, размером около 3мм и называемые "роднички". После 30 лет происходит полное окостенение швов. У новорожденных толщина костей черепа в 8 раз меньше, чем у взрослого человека.

**Скелет туловища.** Полное срастание отростков с телом позвонков осуществляется в возрасте 18 – 24 лет. За весь период развития длина позвоночника увеличивается в 3,5 раза, причем особенно интенсивно рост позвоночника происходит в первые два года. Изгибы в позвоночном столбе также возникают не сразу: вначале возникает шейный лордоз, затем – поясничный лордоз, а затем уже кифозы. Полное срастание всех костных участков грудины происходит после 25 – 30 лет.

**Скелет конечностей.** Срастание первичных и вторичных ядер окостенения в костях пояса верхней конечности заканчивается 16 – 25 годам, а окостенение свободной верхней конечности происходит несколько раньше (13-14 лет).

Тазовая кость новорожденных состоит из отдельных несросшихся костей: подвздошной, лобковой и седалищной. Срастание всех трех частей тазовой кости происходит к 16 годам, а заканчивается окостенение таза лишь к 25 годам. Меняется и форма и размеры таза. Половые различия начинают проявляться после 10 лет.

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что в школьном возрасте идет активное формирование и рост скелета, что требует от учителя физической культуры, а также от тренеров, работающих с юными спортсменами дополнительного внимания.

### 2. Анатомические особенности роста скелетных мышц.

У новорожденных масса мышц составляет 23, 3 % массы тела, а у взрослого человека этот показатель возрастает до 44, 2 %. У младенцев сухожильная часть мышцы развита слабо и составляет меньшую, чем у взрослого человека, часть длины мышцы. Фасции и апоневрозы широких мышц тонки и легко от мышц отделяются.

В целом масса мышц за период развития увеличивается в среднем на 21%. К 8 годам масса мышц по отношению к массе всего тела становится равной 32,6%, а к 17 – 18 годам становится равной массе тела взрослого человека. К моменту рождения ребенка наибольшего развития достигают мышцы туловища, головы, верхних конечностей. Их масса составляет около 40% от массы всех мышц, в то время, как у взрослых людей – 30%.

Относительная масса мышц верхних конечностей от рождения до 23 –25 лет возрастает лишь на 2%. В то время, как масса нижних конечностей возрастает на 16%. В дошкольном и младшем школьном возрасте особенно резко увеличивается масса мышц, которые

вызывают движения пальцев. Масса мышц разгибателей увеличивается интенсивнее, чем масса мышц сгибателей, так как сгибатели обеспечивают внутриутробную позу плода.

Мышцы, которые обеспечивают большой размах движений, интенсивно растут в длину, а мышцы, функция которых требует сокращений большой силы, увеличиваются в диаметре.

С возрастом происходит увеличение длины сухожилий. Рост мышц в длину может продолжаться до 23 – 25 лет. Он осуществляется за счет зоны роста, расположенной на границе мышечной и сухожильной частей. К 15 –18 годам зона роста уменьшается в 3 раза. Диаметр мышц увеличивается до 35 лет. Наиболее интенсивный рост мышечной массы наблюдается в период полового созревания. К 11 –12 годам полностью формируется структура нервных окончаний.

### **3. Физиологические особенности роста скелетных мышц.**

Процесс возбуждения мышечного волокна предшествующий его сокращению приобретает характеристики, свойственные мышцам взрослых людей не сразу. Например, увеличение содержания внутриклеточных ионов калия происходит до 9 лет, то есть у детей до 9 лет потенциал покоя ниже, чем у взрослых.

Электровозбудимость мышц детей в эмбриональный период и первые месяцы после рождения меньше, чем у взрослых, а это значит, что порог возбуждения более высокий. Чем меньше возраст ребенка, тем ниже хронаксия скелетных мышц. Величина хронаксии мышц новорожденных превосходит хронаксию мышц взрослых людей в 10 раз. Это означает, что мышцы детей имеют более низкую возбудимость и лабильность. Лишь к 17 годам хронаксия всех мышц становится такой, как у взрослых людей.

Сила мышечного сокращения с возрастом увеличивается, так как растет анатомический и физиологический поперечник мышц. Для разных мышц наибольшая величина их силы отмечается в разном возрасте. Большинство мышц верхней конечности и шеи достигает наибольшей силы к 20 –30 годам. В то же время сила мышц разгибающих туловище становится максимальной к 16-ти годам.

Различия между показателями мышечной массы у мальчиков и девочек становятся по мере роста все более выраженными. В младшем школьном возрасте у мальчиков и девочек мышечная сила имеет примерно одинаковую величину. К 10 – 12 годам и абсолютная и относительная мышечная сила больше у девочек. Однако в дальнейшем наблюдается преимущественный рост силы у мальчиков. Особенно интенсивно разница в силе начинает проявляться в период полового созревания, когда увеличивается количество мужских половых гормонов у мальчиков, а у девочек рост этих гормонов незначителен.

Возрастает и выносливость мышц. Однако этот показатель растет медленнее других. Даже в 16 –18 лет величина выносливости мышц составляет 85% выносливости взрослого человека.

### **4. Критические периоды в развитии опорно-двигательного аппарата и особенности обучения движениям детей и подростков.**

За жизнь человека его тело сильно меняется. Выделяют несколько *критических периодов* развития опорно-двигательного аппарата, которые соответствуют критическим периодам обучения ребенка определенным движениям.

*Первый критический период* связан со скачком, который происходит в возрасте 3 лет, когда ребенок овладевает элементарными навыками бега. До этого двигательная

деятельность ребенка более хаотична и имеет лишь отдаленное сходство с движениями взрослого человека.

*Второй критический период* связан с резким увеличением темпов роста ребенка с 5 –7 лет. Ребенок растет на 7 –10 см в год. В этом возрасте начинается интенсивное развитие мелких мышц, модулирующих движения. В результате такого развития движения становятся плавными. Для детей этого возраста вполне доступны элементарные двигательные акты и упражнения. Этот возраст считается благоприятным для начала обучения фигурному катанию, гимнастике, плаванию.

В младшем школьном возрасте дети сравнительно легко адаптируются к новым двигательным ситуациям, требующим быстрого решения и исполнения. Скорость изучения новых движений возрастает и во многом зависит от мастерства педагогов. Однако все успехи, достигнутые в данном возрасте, могут быть сведены на нет в последующем периоде, совпадающем с периодом полового созревания.

*Третий критический период* у девочек начинается в 11 –12 лет, а у мальчиков 12 –13 лет. Снова резко увеличивается рост тела (8 –10см в год), за которым порой не успевают другие системы организма. Нарушается координация, резко меняется гормональный фон. У подростков наблюдается угловатость и скованность движений, которые исчезают лишь к концу данного периода. Этот период очень сложен для юных спортсменов, особенно успешных, так как результаты становятся нестабильными. Это создает неблагоприятный психологический фон и требует порой огромных усилий от тренера.

После окончания этого периода движения подростка становятся "взрослыми". Вновь улучшается координация

## **Раздел 7. Основы спортивной физиологии.**

### **Основные темы раздела.**

**18. Физиологическая классификация физических упражнений. Физиологическое состояние спортсмена.**

**19. Общие физиологические принципы (закономерности) занятий физической культурой и спортом.**

**20. Физиологические характеристики отдельных видов спорта.**

## **18. ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ. ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СПОРТСМЕНА.**

### **План лекции и семинарского занятия.**

1. Общие принципы физиологической классификации физических упражнений.
2. Классификация циклических упражнений.
3. Классификация ациклических упражнений.
4. Предстартовое состояние и разминка.
5. Врабатывание.
6. Устойчивое состояние.
7. Утомление.
8. Восстановление.

### **1. Общие принципы физиологической классификации физических упражнений.**

Огромное число физических и, прежде всего, спортивных упражнений требует их классификации. В физиологической литературе предлагаются разные способы и принципы классификации физических упражнений.

*Классификация на основе объема мышечной масса* разделяет все физические упражнения на *локальные, региональные и глобальные*.

- Локальные упражнения затрагивают менее трети всей мышечной массы. Сюда относят, например, упражнения с ручным эспандером или стрельбу из пистолета.
- Региональные упражнения затрагивают от трети до половины всех мышц. Сюда относят некоторые гимнастические упражнения.
- Глобальные упражнения затрагивают более половины мышечной массы. Сюда относятся бег, плавание, лыжные гонки и т. д.

Данная классификация грешит тем, что уж больно неравные классы упражнений получаются.

*Классификация на основе типа мышечных сокращений* делит упражнения на *статические и динамические*. В данном случае статические упражнения направлены на сохранение позы, а динамические на осуществление движений. И здесь мы сталкиваемся с неравными классами упражнений, так как статических упражнений значительно меньше, чем динамических.

*Классификация по силе и мощности* разделяет упражнения на *силовые и скоростно-силовые*. В случае силовых упражнений проявляется максимальная сила, а в случае скоростно-силовых упражнений – максимальная мощность. Согласно этой классификации к силовым упражнениям относятся тяжелоатлетические упражнения, а спринт, например, это скоростно-силовые упражнения. Кстати, согласно этой классификации к скоростно-силовым упражнениям относятся и упражнения на выносливость. Выходит, что спринтер и стайер – это одно и то же. Правда, некоторые ученые предлагают выделить упражнения на выносливость в отдельный класс упражнений.



Наиболее часто используется *классификация по структуре упражнений*. Согласно этой классификации упражнения разделяются на *циклические и ациклические*.

## 1. Классификация циклических упражнений.

*Циклическими упражнениями называются упражнения с относительно постоянной повторяющейся структурой и мощностью*. Сюда относят все виды бега, ходьбу, плавание, лыжные гонки, конькобежный спорт, греблю и т. д.

Циклические упражнения подразделяются на два класса: *анаэробные и аэробные*.

*Анаэробные* упражнения характеризуются тем, что проходят в режиме дефицита кислорода в мышцах. Однако при дефиците кислорода упражнения не могут быть продолжительными, поэтому анаэробные упражнения, как правило кратковременные. Сюда относятся легкоатлетические и *конькобежные* спринтерские дистанции. Причем, чем короче дистанция, тем выше мощность упражнения. Различают анаэробные упражнения *максимальной, околосредней и субмаксимальной мощности*.

*Аэробные упражнения* характеризуются нормальным снабжением мышц кислородом. Считается, что упражнение аэробное, если преодолен порог анаэробного обмена (ПАНО). Чем тренированнее спортсмен, тем выше уровень ПАНО. Уровень ПАНО обозначается чаще всего в процентах от максимального потребления кислорода (МПК). У нетренированных людей уровень ПАНО 40 – 45 % от МПК, а у высококлассных спортсменов – 55 – 60 %, а иногда 70 %.

Аэробные упражнения подразделяются на пять классов: *малой, средней, субмаксимальной, околосредней и максимальной аэробной мощности*. Упражнения малой аэробной мощности – это прогулки в невысоком темпе, средней аэробной мощности – это бег трусцой. А вот три последних класса – это бег на длинные дистанции, стайерские конькобежные дистанции, плавание свыше 400 м, академическая гребля и гонки на велосипеде свыше 4 км.

## 2. Классификация ациклических упражнений.

**К ациклическим** относятся упражнения, где каждый новый момент времени, движения упражнения могут быть новой структуры и мощности. Это *все виды единоборств, спортивные игры, гимнастика, фигурное катание и т. д.*

Различают четыре группы таких упражнений: *взрывные, стандартно-переменные, нестандартно-переменные, интервально-повторные*.

*Взрывные упражнения* характеризуются наличием одного или нескольких *акцентированных кратковременных усилий большой мощности*. К этой группе относятся прыжки и метания. Их важная особенность небольшая продолжительность по времени.

*Стандартно-переменные упражнения* характеризуются наличием *объединенных в непрерывную, строго фиксированную, цепочку сложных действий – элементов*. Каждый элемент может разучиваться отдельно. К этой группе упражнений относятся *фигурное катание, гимнастика, синхронное плавание, акробатика и т. д.*

*Нестандартно-переменные упражнения или ситуационные упражнения* – это упражнения, на протяжении которых резко и нестандартным образом чередуются периоды с разным характером и интенсивностью двигательной деятельности. Сюда относятся все спортивные игры, единоборства, различные виды горнолыжного спорта. Эти упражнения разделяются на периоды интенсивной двигательной активности (рабочий период) и промежуточные периоды с малой интенсивностью работы.

*Интервально-повторные упражнения* характеризуются постоянно повторяющимися во времени периодами с разной интенсивностью работы. К этой группе упражнений

относится *биатлон, спортивное ориентирование*. Такие упражнения встречаются в тренировочной практике многих видов спорта. Например, отработка отдельных элементов в фигурном катании, приемов в единоборствах, работа в тренажерном зале.

### 3. Предстартовое состояние и разминка.

Предстартовое состояние характеризуется функциональными изменениями, предшествующими началу работы. Значение этих изменений состоит в подготовке организма к началу предстоящей деятельности.

Длительность предстартового состояния может быть разная. Она зависит от индивидуальных особенностей человека и может продолжаться от нескольких минут до нескольких дней.

Природа этого явления условнорефлекторная и гуморальная. важную роль в этом процессе играют эмоциональные реакции. Поэтому наиболее резкие функциональные изменения наблюдаются перед соревнованиями. Причем, степень предстартовых изменений прямо пропорциональна значимости соревнований.

Различают три основных типа предстартовых состояний: *состояние готовности, стартовая лихорадка и стартовая апатия*. Эти состояния абсолютно по разному могут влиять на спортивный результат. Состояние готовности, как правило, ведет к повышению спортивного результата. Стартовая лихорадка – непредсказуемое состояние, чреватое либо понижением, либо повышением результата. Стартовая апатия – это состояние, ведущее к снижению результата.

Для оптимизации предстартового состояния служит **разминка**. *Разминка – это выполнение упражнений, которое предшествует выступлению на соревнованиях или основной части тренировочного занятия*. Разминка обеспечивает ускорение процессов вработывания и призвана повысить работоспособность.

Воздействие разминки на организм многообразно:

- 1) повышение возбудимости сенсорных и моторных центров;
- 2) усиление работы всех звеньев кислородно-транспортной системы;
- 3) оказывает положительное влияние на терморегуляцию, облегчая теплоотдачу и предотвращая перегревание тела;
- 4) повышает температуру тела и особенно рабочих мышц.

Разминка бывает *общей и специальной*. Общая разминка может состоять из разных упражнений, цель которых способствовать повышению температуры тела, возбудимости ЦНС и т. д. Специальная разминка ближе к предстоящей деятельности, её облегченный вариант.

Значение и роль разминки для разных видов спорта неодинаковая. Положительное влияние разминки особенно заметно в скоростно-силовых видах спорта. А вот перед бегом на длинные дистанции положительное влияние разминки выражено значительно меньше, при высоких температурах может быть даже вредным.

### 4. Вработывание.

Теорию, объясняющую процессы, происходящие в мышцах при физических упражнениях, разработал английский физиолог лауреат Нобелевской премии *Арчибальд Хилл*. Согласно его теории физическая работа проходит несколько стадий: 1-вработывание, 2-устойчивое состояние, 3-утомление. Эти этапы идеально описываются при осуществлении циклических упражнений, особенно на выносливость.

Во время вработывания происходят следующие физиологические процессы:

- 1) настройка нервных и нейрогуморальных механизмов управления движениями и вегетативными процессами;

- 2) постепенное формирование необходимого стереотипа движений, ведущего к улучшению координации;
- 3) достижение требуемого уровня вегетативных функций, обеспечивающих данную мышечную деятельность.

Для вработывания характерны некоторые особенности:

1. Относительная замедленность в усилении вегетативных процессов и функций, что обусловлено характером нервной и гуморальной регуляции.
2. Гетерохронизм – неодновременность в усилении отдельных функций, так как вработывание двигательного аппарата происходит быстрее, чем вработывание вегетативных систем.
3. Прямая зависимость между мощностью выполняемой работы и скоростью изменения вегетативных функций.
4. Прямая зависимость времени вработывания от уровня тренированности спортсмена.

Через несколько минут после начала напряженной и продолжительной работы у спортсмена возникает состояние называемое "мертвая точка". Появление этого состояния зависит от интенсивности начала работы, степени тренированности спортсмена, индивидуальных физиологических особенностей и т. д. Это состояние характеризуется тяжелыми субъективными ощущениями: чувства стеснения в груди, головокружения, пульсации сосудов головного мозга, одышки и желания прекратить работу.

Объективно это состояние выражается в повышении потребления кислорода и увеличенном выделении углекислого газа в выдыхаемом воздухе. Кровь приобретает кислую среду, так как происходит первичное накопление в ней молочной кислоты.

Преодоление временного состояния "мертвой точки" требует больших волевых усилий. Если работа продолжается, то это состояние сменяется чувством внезапного облегчения, что объясняется ликвидацией возникшего кислородного дефицита. Это чувство получило название "второго дыхания", так как характеризуется, прежде всего, облегчением дыхания. Потребление кислорода становится постоянным, дыхание выравнивается – все это свидетельствует о переходе организма спортсмена в устойчивое состояние.

## 6. Устойчивое состояние.

Одним из важнейших понятий, внесенных в науку А. Хиллом, является понятие устойчивое состояние. При определении устойчивого состояния, согласно теории Хилла учитывается, прежде всего, потребление кислорода. Хилл различал несколько типов устойчивого состояния: *истинное устойчивое состояние*, *условно устойчивое состояние*, *ложное устойчивое состояние*.

*Истинное устойчивое состояние* характеризуется постоянным потреблением кислорода, когда кислородный долг не превышает кислородного дефицита, возникающего при вработывании. Такой кислородный долг легко ликвидируется. Истинное устойчивое состояние наблюдается при аэробных упражнениях малой мощности.

*Условно устойчивое состояние* характерно для упражнений *средней и субмаксимальной мощности*. В этом случае скорость потребления кислорода увеличивается, но незначительно. После периода такой работы регистрируется кислородный долг, который прямо пропорционально зависит от продолжительности и мощности работы.

*Ложное устойчивое состояние* характеризуется максимальным уровнем потребления кислорода, когда потребление кислорода достигло потолка и уже увеличиваться не может, а иногда к концу упражнения потребление кислорода даже снижается. Такое состояние наблюдается при аэробных упражнениях максимальной мощности.

Что касается анаэробных упражнений, то теория их рассматривает, как состояние вработывания, так как потребление кислорода увеличивается прямо пропорционально усилиям. Кислородный долг очень мал и легко ликвидируется за несколько секунд.

Гораздо сложнее определить устойчивое состояние при ациклических упражнениях, так как в них периоды активной работы сменяются паузами и снижением активности. МПК возрастает здесь импульсами. По-видимому, стоит рассматривать его уровень в каждый из рабочих периодов и по его изменениям судить о степени готовности спортсмена. При этом также будет накапливаться кислородный долг, который лишь частично будет компенсироваться в период паузы между рабочими периодами. Измерение общего кислородного долга может дать представление о степени утомления спортсмена и о необходимой длительности и интенсивности восстановительных мероприятий.

## **7. Утомление.**

*Утомление* – это совокупность изменений, происходящих в различных органах, системах и организме в целом, которое характеризуется вызванным работой временным снижением работоспособности и субъективным ощущением усталости.

Утомление развивается постепенно и с разной скоростью в разных системах организма. Поэтому можно сказать, что утомление характеризуется двумя основными параметрами: локализацией и механизмом.

По локализации различают три группы утомления:

1. регулирующие системы – ЦНС, ВНС, гуморальная система;
2. системы вегетативного обеспечения – системы дыхания, крови и кровообращения;
3. исполнительные системы – двигательный аппарат.

К сожалению, механизмы развития утомления в тех или иных системах изучены не одинаково хорошо. Развитие утомления в управляющих системах изучено недостаточно, и поэтому мы не будем говорить о них подробно. Несколько лучше изучены вегетативные механизмы утомления. В их основе лежит недостаточное развитие кислородно-транспортной системы. И если развитие системы дыхания вполне подвержено тренировке, то с сердечно-сосудистой системой все несколько сложнее, так как к эффектам тренировки прибавляется еще и наследственные факторы.

Наиболее подробно изучены механизмы утомления мышц. Выделяют три типа утомления мышц: 1) истощение энергетических ресурсов, 2) отравление накапливающимися продуктами распада, прежде всего молочной кислотой, 3) недостаточное снабжение мышцы кислородом.

Первый механизм характерен для анаэробных упражнений разной мощности и связан с расходом фосфогенов – АТФ и креатин фосфат (КФ).

Второй механизм связан с отравлением мышцы молочной кислотой. Этот механизм особенно характерен для упражнений максимальной аэробной мощности.

Третий механизм характерен для упражнений различной аэробной мощности, кроме средней и малой.

Различные упражнения отличаются по локализации утомления. Например, при выполнении упражнений максимальной анаэробной мощности наиболее важную роль в развитии утомления играют процессы происходящие в ЦНС и исполнительном нервно-мышечном аппарате. А при выполнении упражнений максимальной аэробной мощности утомление связано, прежде всего, с кислородно-транспортной системой.

## **8. Восстановление.**

*Обратные изменения, происходящие в деятельности функциональных систем после выполнения работы, называются восстановлением.* Основной особенностью этого периода является не просто процесс возвращения к предрабочему состоянию, но и такие изменения, которые обеспечивают повышение функциональных возможностей организма, то есть положительный тренировочный эффект.

В этом периоде можно выделить четыре фазы: 1) быстрого восстановления, 2) замедленного восстановления, 3) суперкомпенсации, 4) длительного (позднего) восстановления.

Во время первой фазы происходит быстрое восстановление всех функций, но затем скорость процесса несколько снижается, и все же к концу этих двух фаз работоспособность не только достигает предрабочего уровня, но и превышает его. Это значит, что наступила фаза суперкомпенсации. Однако затем работоспособность все же несколько снижается, но превышает предрабочий уровень, если, конечно, правильно были проведены восстановительные мероприятия.

Общие закономерности восстановления функций после работы состоят в следующем.

1. Чем выше мощность работы, тем выше скорость восстановления. Иными словами, чем короче предельная продолжительность упражнения, тем короче период восстановления. После спринта восстановление продолжается несколько минут, а после марафонского бега – несколько дней.
2. Восстановление различных функций происходит гетерохронно, то есть не одновременно.
3. Работоспособность не только восстанавливается, но и повышается.

Для восстановительных процессов большое значение имеет понятие *кислородный долг*. Согласно теории А. Хилла *кислородный долг* – это избыточное потребление кислорода *сверх предрабочего уровня покоя, которое обеспечивает энергией организм для восстановления предрабочего состояния*.

Запасы кислорода в мышцах очень невелики: на всю мышечную массу приходится от 0,5 до 1 л кислорода. Поэтому скорость восстановления запасов кислорода в мышцах целиком зависит от кислородно-транспортной системы. В момент начала работы возникает кислородный дефицит, что соответствует "мертвой точке". Затем кислородно-транспортная система начинает справляться с доставкой кислорода и этот момент работы соответствует "второму дыханию". Ну а в конце работы накапливается кислородный долг.

Сразу после окончания работы запасы кислорода в мышцах восстанавливаются очень быстро, но этим не исчерпывается восстановление. Дело в том, что для полного восстановления необходимо еще восстановить запасы фосфогенов и гликогена в мышцах.

С фосфогенами дело обстоит проще, чем с гликогеном. Их запасы восстанавливаются за первые минуты после окончания работы. Иное дело гликоген. Для восстановления его запасов в мышцах и печени необходимо усиленное питание и снабжение углеводами на фоне небольших физических нагрузок.

Параллельно с восстановлением запасов гликогена происходит и удаление из мышц, крови и тканевой жидкости молочной кислоты. Этот процесс также требует затрат кислорода.

Восстановительный период лишь первый час после работы должен носить пассивный характер, далее наступает активная фаза восстановления, когда требуются облегченные нагрузки. Такой режим обеспечивает полное и быстрое восстановление.

## 19. ОБЩИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ (ПРИНЦИПЫ) ЗАНЯТИЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ И СПОРТОМ.

### Основные вопросы лекции и семинарского занятия.

1. Основные функциональные эффекты тренировки.
2. Пороговые (критические) нагрузки.
3. Специфичность тренировочных эффектов.
4. Обратимость тренировочных эффектов.
5. Тренируемость.
6. Принципиальные отличия спорта высших достижений и физической культуры.

### 1. Основные функциональные эффекты тренировки.

Систематические занятия физической культурой и спортом вызывают адаптацию организма к физическим нагрузкам. В основе такой адаптации лежат, возникающие в результате тренировки морфологические, метаболические, функциональные изменения в различных органах и тканях. Все эти изменения определяют тренировочные эффекты. Они проявляются в улучшении разнообразных функций организма, обеспечивающих осуществление данной мышечной деятельности и, как следствие, в повышении уровня физической подготовленности человека. При анализе факторов, определяющих тренировочные эффекты, выделяются следующие *физиологические закономерности*:

- 1) основные функциональные эффекты тренировки;
- 2) пороговые (критические) нагрузки для возникновения тренировочных эффектов;
- 3) специфичность тренировочных эффектов;
- 4) обратимость тренировочных эффектов;
- 5) тренируемость.

*Основных функциональных эффектов тренировки выделяют два:*

- 1) усиление максимальных функциональных возможностей всего организма в целом и его ведущих систем, обеспечивающих выполнение тренируемого упражнения;
- 2) повышение эффективности (экономичности) деятельности всего организма в целом и его органов и систем при выполнении тренируемого вида мышечной деятельности.

О первом эффекте свидетельствует рост максимальных показателей при выполнении предельных тестов или упражнений. Например, об эффекте тренировки выносливости свидетельствует повышение максимальных аэробных возможностей организма, что выражается, прежде всего, в росте МПК.

О втором эффекте свидетельствует уменьшение функциональных сдвигов в деятельности различных органов и систем органов при выполнении *стандартной не максимальной нагрузки*. Если сравнить тренированного человека и нетренированного, то после выполнения определенного рода деятельности у них наблюдаются разные функциональные сдвиги в ЧСС, легочной вентиляции, МПК и т.д. При этом снижаются и энергетические расходы организма.

### 2. Пороговые (критические) тренирующие нагрузки.

Не всякая даже систематическая физическая активность может рассматриваться, как тренировка, поскольку повышение функциональных возможностей отдельных органов, систем и всего организма в целом, т. е. тренировочные эффекты возникают только в том случае, если систематические функциональные тренирующие нагрузки достигают или превышают некоторую пороговую нагрузку. Такая пороговая нагрузка должна заведомо превышать обычную нагрузку, к которой организм привык. Поэтому принцип пороговых нагрузок часто обозначают, как *принцип нарастающей прогрессивной сверхнагрузки*.

. Наиболее существенное правило при выборе пороговых нагрузок состоит в том, что они должны находиться в определенном соответствии с текущими функциональными возможностями человека. Например, одна и та же тренировочная нагрузка может быть и пороговой для малотренированного человека и ниже пороговой и потому неэффективной для высокотренированного спортсмена. Следовательно, педагогический принцип индивидуализации занятий опирается в значительной мере на принцип пороговых нагрузок. На этом же принципе по существу базируется и другой принцип – постепенности повышения нагрузок.

Основными параметрами физической нагрузки являются ее интенсивность, длительность и частота. Эти параметры причудливым образом связаны между собой. Иногда достаточно изменить один из этих параметров, чтобы добиться тренировочных эффектов, а иногда необходимо менять все три.

Относительное значение параметров пороговых нагрузок зависит также от вида тренировки (силовой, скоростно-силовой, технической игровой, на выносливость) и характера тренировки (непрерывной циклической или интервально-повторной).

Например, пороговая частота занятий для тренировки выносливости 3 – 5 раз в неделю, а для скоростно-силовой тренировки 3 раза в неделю. Существует определенная зависимость частоты и длительности тренировочных нагрузок и прироста МПК. Существуют также зависимости между интенсивностью тренировки и ЧСС.

### **3. Специфичность тренировочных эффектов.**

Систематическое выполнение того или иного упражнения вызывает специфическую адаптацию организма, обеспечивающую более совершенное выполнение тренируемого упражнения. Такая адаптация проявляется в специфических тренировочных эффектах, что выражается в максимальном повышении результата в тренируемом упражнении и повышении экономичности его выполнения. Отсюда следует, что тренировочные программы должны составляться так, чтобы развивать специфические физиологические способности, необходимые для выполнения данного упражнения или данного вида физической, спортивной деятельности.

Специфичность тренировочных эффектов в значительной степени связана с принципом пороговых нагрузок. Дело в том, что тренировочные эффекты проявляются только в отношении тех органов и систем, для которых в процессе тренировки достигаются или превышаются пороговые нагрузки. Соответственно, специфичность тренировочных эффектов выражается в преимущественном или исключительном повышении уровня физических качеств, ведущих энергетических систем, а также в совершенствовании координации движений, состава и степени активности мышечных групп, участвующих в осуществлении тренируемого упражнения.

Среди огромного числа физических упражнений можно выделить упражнения сходные друг с другом по характеру функциональных запросов. В этом случае использование сходных упражнений в качестве тренировочных может вызвать сходные тренировочные эффекты. Например, такое качество, как выносливость, может совершенствоваться при использовании разных тренировочных упражнений – ходьбы, бега, плавания, ходьбы на лыжах, катания на коньках и велосипеде.

Однако, чем более высокие функциональные запросы предъявляет выполнение физического упражнения, тем больше проявляются специфичность физиологических реакций и их специфическая адаптация в результате тренировки. Поэтому в занятиях физической культурой с оздоровительными целями и на начальных этапах спортивной тренировки могут широко использоваться разнообразные сходные упражнения,

вызывающие общие тренировочные эффекты (общеразвивающие упражнения). По мере повышения функциональных запросов для дальнейшего роста спортивного результата все больше должен учитываться принцип специфичности тренировки. Общим правилом считается то, что на уровне спортивного мастерства наибольшие тренировочные эффекты достигаются при использовании в качестве тренировочных тех спортивных упражнений, которые являются основными для данного вида спорта.

#### 4. Обратимость тренировочных эффектов.

Свойство обратимости тренировочных эффектов проявляется в том, что тренировочные эффекты постепенно уменьшаются при снижении тренировочных нагрузок ниже тренировочного уровня или вообще исчезают при полном прекращении тренировок.

**У людей систематически занимающихся физической культурой снижение работоспособности наблюдается уже через две недели детренировки.** Через 3- 8 месяцев уровень физической подготовленности снижается до предтренировочного. Особенно быстро уменьшаются тренировочные эффекты в первый период после прекращения тренировок или резкого снижения тренировочных нагрузок. За первые 1 –3 месяца достигнутые в результате предыдущей тренировки приросты функциональных показателей деятельности кислородно-транспортной системы снижаются наполовину. У занимающихся физической культурой в течение не очень продолжительного времени большинство тренировочных эффектов исчезает за первые два месяца детренировки. Даже у спортсменов высокого уровня короткие перерывы в тренировке (например, из-за травмы) вызывают заметное снижение работоспособности.

В отрицательных эффектах детренировки существенную роль играет не только её продолжительность, но и степень гипокинезии, то есть обездвиживания. Уже давно замечено, чем выше двигательная активность человека в период детренировки, тем медленнее и меньше снижаются тренировочные эффекты. Отсюда вытекает педагогический принцип регулярности тренировочных занятий.

#### 5. Тренируемость.

Тренируемость – это свойство живого организма изменять свои функциональные возможности под влиянием систематической специфической физической тренировки. *Количественно степень тренируемости оценивается величиной тренировочных эффектов: чем больше тренировочные эффекты в ответ на данную тренировку, тем выше тренируемость.*

Тренируемость – это, прежде всего, наследственное свойство организма. Это свойство зависит от пола, возраста, индивидуальных особенностей строения тела и других причин. В меньшей степени от наследственных факторов зависит мышечная сила. Но четко показано, что от генов зависит МПК, а ведь это важнейший показатель степени готовности спортсмена.

Еще одним важным свойством тренируемости является специфичность, которое вытекает из наследственного характера тренируемости. Сколько ни старайся сделать из спринтера стайера – это труд тщетный, так как выносливость зависит от структуры мышц, а это свойство наследственное и тренировкой не изменяемое.

Тренируемость находится в обратно пропорциональной зависимости от степени тренированности: чем выше степень тренированности, тем ниже тренируемость. Это



связано с принципом пороговых нагрузок, которых все труднее достигать по мере достижения определенной степени мастерства.

По величине и скорости развития выделяют четыре варианта тренируемости, которые могут отражать как качества отдельных людей, так и этапы развития одного и того же человека.

1. *Высокая быстрая тренируемость* – большие тренировочные эффекты быстро нарастают. Обычно такой тип тренируемости наблюдается в начальный период тренировок, но, впрочем, зависит и от наследственных факторов, так как проявляется не у всех новичков. Как правило, за первыми успехами наступает остановка. Эта остановка свидетельствует о наступлении второго этапа или варианта тренируемости.

2. *Высокая медленная тренируемость* – большие тренировочные эффекты нарастают постепенно, медленно. Чаще всего наступление этого этапа свидетельствует о том, что мастерство возросло и все труднее достигать пороговых нагрузок, так как они стали значительно выше.

3. *Низкая быстрая тренируемость* – небольшие тренировочные эффекты нарастают быстро и проявляются уже после относительно короткого периода тренировок. Данный вариант тренируемости либо свидетельствует о недостаточном таланте, либо о недостаточной работоспособности спортсмена.

4. *Низкая медленная тренируемость* – небольшие тренировочные эффекты нарастают медленно в процессе систематических тренировок. Скорее всего это говорит об отсутствии наследственной предрасположенности человека к данному виду спорта. Тренеру нужно честно сказать ученику об этом. Может быть, в другом виде спорта он добьется лучших результатов.

Главный вывод состоит в том, что у каждого человека есть генетический предел тренируемости, который ограничивает его возможности достичь в данном виде спорта максимального успеха. Успех складывается из таланта, работоспособности и везения.

## **6. Принципиальные различия спорта высших достижений и физической культуры.**

В нашем сознании физическая культура и спорт представляются неким единым понятием. Это, по-видимому, связано с тем, что оба эти направления человеческой деятельности имеют общее происхождение. Действительно, до тех пор, пока спорт был деятельностью непрофессиональной эти понятия во многом были схожи. И все же давайте определимся.

Физическая культура – это род деятельности человека, направленный на укрепление его здоровья, это важнейший компонент здорового образа жизни. В наше время, когда едва ли не главным бичом становится гиподинамия, физическая культура приобретает все большее и большее значение. Уже само определение понятия физической культуры указывает нам на то, что этот род деятельности не может приносить вред, он целиком направлен на укрепление здоровья человека. Физическая культура должна быть явлением массовым, и тогда люди будут здоровее. К понятию физическая культура примыкает понятие массовый спорт. Действительно, эти понятия близкие, так как занятия массовым спортом требуют от человека минимальных умений, а физические нагрузки сравнимы с таковыми при занятиях физической культурой.

Физиологические изменения, происходящие при занятиях ФК и массовым спортом могут быть значительны, но никогда не наносят вред здоровью. Конечно, здесь возможны и травмы, но они, как правило, возникают по неосторожности самих занимающихся.

Спорт высших достижений – это профессиональная деятельность, направленная на достижение спортивного результата и, как следствие, победы в спортивных

соревнованиях. Таким образом, исходно, цели, поставленные в СВД полностью расходятся с целями ФК. Здоровье в данном случае не цель, а лишь важное средство достижения совершенно других целей. Как любая другая профессиональная деятельность, спортивная деятельность зависит от здоровья, но не более, чем зависит профессиональная деятельность при работе в горячем цехе или в шахте. Физиологические изменения, происходящие в организме спортсменов очень часто вредны для их здоровья. Многие виды спорта портят осанку, вызывают необратимые изменения в работе сердечно-сосудистой системы, приводят к серьезным изменениям обмена веществ, ведущим к ухудшению здоровья в особенности после окончания занятий спортом. Травмы, которые получают спортсмены, могут быть настолько серьезными, что нередко ведут к инвалидности.

Таким образом, между ФК и СВД существуют настолько существенные различия, что их скорее нужно относить к разным, а не к одному роду деятельности.

## 20. ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ СПОРТА.

### Основные вопросы лекции и семинарского занятия.

1. Спортивная гимнастика.
2. Отдельные виды легкой атлетики.
3. Льжные гонки.
4. Конькобежный спорт.
5. Велосипедный спорт.
6. Гребля.
7. Плавание.
8. Спортивные игры.
9. Тяжелая атлетика.
10. Борьба и искусственное снижение веса.
11. Альпинизм и горный туризм.

### 1. Спортивная гимнастика.

Гимнастика является эффективным средством физического развития и совершенствования двигательных способностей человека. При занятиях гимнастикой формируются различные двигательные навыки, и совершенствуется *ловкость, сила, быстрота*.

В гимнастических упражнениях преобладает динамическая работа в сочетании с одновременными статическими усилиями многих мышечных групп. Эти упражнения часто выполняются в необычных условиях опоры. Здесь есть элементы, где максимально проявляется сила, а также присутствуют скоростно-силовые элементы.

Воздействие спортивной гимнастики на организм весьма разнообразно. В отношении двигательного аппарата идет развитие возбудимости мышц, укорочение хронаксии мышц в особенности верхних конечностей. Квалифицированные гимнасты отличаются большой разницей между твердостью и произвольным расслаблением мышц.

Гимнастика оказывает и разнообразное влияние на ЦНС. Прежде всего это выражается в выработке условных рефлексов, связанных с осанкой, прямыми ногами, вытянутыми носками и т. д. Улучшается координация движений, чему способствует выработка двигательных стереотипов, характерных для гимнастики. Занятия гимнастикой способствуют повышению эластичности мышц, вырабатывают способность произвольно менять тонус мышц.

Занятия гимнастикой предъявляют большие требования к двигательному, тактильному, вестибулярному и звуковому анализаторам.

Гимнастические упражнения в связи с кратковременностью требуют относительно небольшого расходования энергии. Но в зависимости от периода подготовки и интенсивности занятий расход энергии может достигать 4000 – 4500 ккал.

Многие гимнастические упражнения выполняются при задержке дыхания. Однако квалифицированные гимнасты правильно сочетают дыхание с мышечной деятельностью и обеспечивают необходимую легочную вентиляцию. Кислородный долг развивается у малоквалифицированных гимнастов вначале довольно большой. Однако по мере увеличения тренированности он уменьшается.

Выполнение гимнастических упражнений предъявляет к сердечно-сосудистой системе весьма специфические требования. Поэтому изменения в функциональном состоянии этой системы происходят своеобразные изменения. У гимнастов не бывает такой брадикардии и гипертрофии сердечной мышцы, как у бегунов или лыжников. При гимнастических упражнениях большое значение имеет перераспределение крови. Выполнение гимнастических элементов сопровождается повышением ЧСС и АД. Например, при

выполнении стоек на кистях ЧСС увеличивается на 5 - 20–ударов в минуту, а АД на 5 – 25 мм рт. ст.

## **2. Характеристика отдельных видов легкой атлетики.**

А) Бег. Бег – это пример циклических упражнений. В зависимости от длины дистанции работа может быть разной интенсивности и мощности.

В процессе тренировки у бегуна формируются и закрепляются относительно однообразные динамические стереотипы нервной деятельности, лежащие в основе техники бега. При беге по гладкой дорожке движения спортсмена несколько изменяются лишь при ускорениях в процессе бега по виражу, а также при финишном броске.

Для достижения высоких результатов в беге большую роль играет подвижность нервных процессов. Бегуну же на длинные дистанции необходима хорошая их уравновешенность. Особых требований к работе анализаторов бег не проявляет. Лишь при беге по пересеченной местности увеличивается значение зрительной и проприоцептивной рецепции.

Двигательный аппарат бегунов на длинные и короткие дистанции приспособлен соответственно к аэробным и анаэробным упражнениям. Общим является то, что у бегунов всех специализаций увеличивается возбудимость и лабильность мышц. Хронаксия наиболее короткая у спринтеров. Бегуны хорошо умеют расслаблять мышцы, причем, это свойство напрямую связано с их тренированностью.

Бег на короткие дистанции осуществляется исключительно за счет анаэробных процессов. Кислородный долг – небольшой, восстановление при этом проходит легко.

При беге на средние дистанции наблюдается комбинация анаэробных и аэробных реакций. Кислородный долг на этих дистанциях значительно увеличивается.

При беге на длинные дистанции преобладают аэробные процессы. Возникает кислородный долг. А вот при беге на сверхдальние дистанции кислородный долг может возникать небольшой, так как у тренированных спортсменов наблюдается истинное устойчивое состояние.

Для бегунов на длинные и средние дистанции характерна брадикардия. Например, у бегунов стайеров в одном из исследований частота сердцебиений в минуту не превышала 48 ударов, а на средние дистанции 56 ударов. Брадикардия у бегунов часто сопровождается синусовой аритмией.

При беге на длинные дистанции вес уменьшается в среднем на 1 – 4 кг за забег.

Б) Прыжки. В легкой атлетике различают прыжки в длину, тройной, в высоту и с шестом. Все эти упражнения относят к ациклическим упражнениям. Координация двигательной деятельности при прыжках очень сложна.

При выполнении прыжков главную роль играет проприорецепция, особенно, большое значение имеют импульсы от проприорецепторов шеи.

При прыжках вегетативные сдвиги небольшие, что связана с кратковременностью их выполнения.

В) Метания. Среди легкоатлетических метаний различают метания копья, диска, молота и толкание ядра. Все метания являются ациклическими упражнениями скоростно-силового типа. Силовой компонент имеет особенно большое значение при метании молота и толкании ядра. При метаниях различных снарядов движения неодинаковы. Но все они имеют своей целью сообщить снаряду максимальную скорость и обеспечить правильное направление его полета.

Движения при метаниях предъявляют высокие требования к работе двигательного, вестибулярного и зрительного анализатора.

Для метателей характерна высокая возбудимость и лабильность скелетных мышц. в процессе тренировки у метателя происходит снижение реобазы и хронаксии скелетных

мышц и происходит сближение этих показателей у основных мышц, участвующих в выполнении движений.

У метателей не наблюдается больших вегетативных сдвигов. Расход энергии невелик и возрастает лишь при многократном повторении движений.

### **3. Лыжный спорт (гонки на лыжах).**

Наиболее распространенными дистанциями в лыжных гонках являются 5 и 10 км для женщин и 10, 15, 30, 50 для мужчин. По мере увеличения длины дистанции интенсивность работы гонщика несколько снижается. Однако интенсивность зависит и от рельефа местности, а также от погодных условий.

Передвижение на лыжах различными способами является циклической динамической работой.

Лыжные гонки требуют развития общей и скоростной выносливости, а также хорошей координации. Правильная техника обеспечивает экономичность двигательной деятельности и снижение потребления кислорода на 15–20 %.

Для лыжников гонщиков наибольшее значение имеют проприоцептивные анализаторы. Высокие требования предъявляются так же к зрительному анализатору.

Бег на лыжах выполняется при участии всех основных мышц тела. Поэтому у лыжников, как правило гармонично развита скелетная мускулатура.

При лыжных гонках очень велик расход энергии. В среднем за 1 минуту работы на дистанции он составляет около 20 ккал. Суммарный расход энергии может достигать от 4000 до 5000 ккал в зависимости от длины дистанции и интенсивности работы. Поэтому большое значение в тренировочном и соревновательном процессе играет режим питания.

Весьма большое значение играет приучение лыжника правильно дышать. У лыжников повышена ЖЕЛ в среднем до 5л. Легочная вентиляция повышается в среднем до 60-80 л. Потребление кислорода при соревновательной скорости достигает 4- 5 л/мин, что составляет 85 – 90 % их МПК. При этом, чем больше МПК лыжника, тем выше его соревновательная скорость. Для хороших результатов в соревнованиях лыжнику нужна также высокая анаэробная производительность.

Суммарный кислородный долг при беге на лыжах очень велик. На дистанциях 30 и 50 км он достигает сотен литров.

Тренированные лыжники, как правило, отличаются резко выраженной брадикардией. В состоянии покоя ЧСС у них колеблется от 44 до 49 уд/мин. у мужчин, а у женщин и того меньше – 32 – 45 уд/мин. В 90% случаев брадикардия у лыжников сопровождается синусовой аритмией. АД в состоянии покоя в пределах нормы.

За прохождение дистанции лыжник теряет от 0.5 кг до 5 кг веса, главным образом за счет потерь воды.

Низкая температура окружающей среды при беге на лыжах вызывает усиленную теплоотдачу. Повышенная теплопродукция обусловлена включением в работу больших количеств мышечных масс при работе лыжника.

### **4. Конькобежный спорт.**

Скоростной бег на коньках – циклическая динамическая работа. В зависимости от длины дистанции он может быть субмаксимальной мощности (500, 1000, 1500м) и около максимальной мощности (5000 и 10000 м). Тренировка к скоростному бегу развивает быстроту и скоростную выносливость.

Для бега на коньках необходимо уменьшить сопротивление воздуха. Поэтому телу конькобежца придается максимально горизонтальное положение. Поддержка наклонной позы требует подавления выпрямительных рефлексов.

В связи с наклонным положением тела мышцы конькобежца находятся в статическом напряжении. Для скоростного бега на коньках характерна длительная статическая работа одних мышц и длительная динамическая работа других.

Для конькобежцев характерно хорошее развитие вестибулярной, зрительной, тактильной и проприоцептивной рецепции. Именно эти рецепторы обеспечивают сохранение равновесия, особенно, при прохождении виражей.

Суммарный расход энергии при беге на длинные дистанции достигает нескольких сот ккал, а при беге на короткие дистанции он несколько меньше.

Легочная вентиляция при беге на коньках достигает 100 –200 л/мин., а потребление кислорода 4 –5,5 л/мин. Кислородный долг значителен, причем, особенно велик на коротких дистанциях.

Для конькобежцев характерна брадикардия покоя. В покое ЧСС составляет 40 - 50 ударов в минуту. В процессе бега ЧСС резко увеличивается и может достигать 180 – 200 ударов в минуту, а при финишном броске даже – 220 ударов в минуту.

Сердце у конькобежцев нередко гипертрофированно. Гипертрофия левого желудочка наблюдается в 46% случаев, а обоих в 19%. Это явление имеет прямую зависимость от стажа тренировки.

Концентрация молочной кислоты в крови при беге на коньках возрастает.

Бег на коньках значительно воздействует а функции почек. Кислотность мочи после бега бывает резко увеличенной, нередко в моче появляется белок.

## **5. Велосипедный спорт.**

В двигательной деятельности велосипедиста преобладает динамическая циклическая работа. Мышцы нижних конечностей при этом совершают динамическую циклическую работу, мышцы же рук и спины статически напряжены.

В зависимости от длины дистанции езда на велосипеде относится к работе различной интенсивности. Максимальная интенсивность достигается на очень коротких дистанциях 200 и 500 метров, а по мере роста длины дистанции интенсивность падает. При тренировке гонщика на любых дистанциях необходимо уделять внимание развитию быстроты, скоростной и общей выносливости, то есть повышению как анаэробной, так и аэробной производительности.

Рабочая поза велосипедиста характеризуется наклонным положением туловища, что очень важно для уменьшения сопротивления воздуха, которая возрастает по мере увеличения скорости. Сохранение наклонного положения туловища в течение длительного времени утомительно. Поэтому зачастую на длинных дистанциях посадка гонщика более высокая, чем на коротких. Наиболее распространен наклон туловища равный 25 - 41° при езде по шоссе и 18 - 22° при езде по треку.

Низкая посадка велосипедиста требует длительного статического напряжения мышц туловища, что несколько затрудняет дыхание.

В связи с особенностями посадки гонщика при занятиях велосипедным спортом могут возникать нарушения осанки. Они обусловлены патологическими изменениями в структурах тел позвонков и хрящевых дисков. Нарушается и анатомическая кривизна позвоночного столба. Эти изменения являются, как правило, результатом неправильной организации тренировки, особенно при ранней специализации без должной общей физической подготовки.

Главным при обучении езде на велосипеде является умение сохранять равновесие. Это обеспечивается соответствующим распределением мышечного тонуса на основе импульсов от зрительных и проприоцептивных рецепторов.

Влияние велосипедного спорта на вегетативные функции организма не имеет каких-либо специфических особенностей. Следует лишь отметить, что своеобразная поза

гонщика и длительное статическое напряжение больших групп мышц несколько затрудняет деятельность органов дыхания и кровообращения.

У велогонщиков, несмотря на затруднения в дыхании, очень большая легочная вентиляция, которая может достигать 120 л и более в минуту, а поглощение кислорода 5 и более л/мин.

Для велогонщиков характерна брадикардия покоя – ЧСС 45 – 50 ударов в минуту. На подъемах уровень ЧСС возрастает до 190 уд/мин. АД находится в пределах нормы.

Потери веса велогонщиков в зависимости от длины дистанции колеблются от 300г до 1800 г.

## **6.Гребля.**

Гребной спорт в зависимости от типа строения лодок подразделяется на академическую, народную и байдарочную греблю.

Как и другие виды гребного спорта академическая гребля является динамической, циклической работой преимущественно околомаксимальной и максимальной интенсивности. Работу гребца можно характеризовать как скоростно-силовую работу.

Гребля предъявляет большие требования к анализаторам, прежде всего, мышечному чувству, осязанию, зрению, вестибулярному аппарату, слуху.

Движения гребцов в распашных лодках асимметричны, что приводит к неодинаковому развитию правой и левой сторон тела, а иногда к искривлению позвоночника. Изменения при этом чаще всего локализуются в районе 6 – 8 грудного позвонка. Тела позвонков и хрящевые диски этого отдела позвоночника при работе гребцов испытывают наибольшее давление. Изменения в позвоночнике особенно часто возникают при ранней специализации без наличия общей физической подготовки. Важным средством профилактики искривления позвоночника у гребцов являются корригирующие упражнения. С этой целью может быть использована гребля в лодках с парными веслами или гребля в распашных лодках попеременно на загребной и баковой сторонах.

Этот вид спорта оказывает очень большое воздействие на внутренние органы.

Расход энергии в гребле большой около 300 ккал на 1.5 км.

Своеобразная скоростно-силовая работа при гребле обуславливает особый характер дыхательных движений: задержка дыхания совпадает с активной фазой работы, то есть проводкой весел в воде. Вдох при этом типе дыхания осуществляется вначале проводки. Глубокий вдох производится при подъеме и заносе весла.

Для повышения работоспособности гребцов необходимо развитие анаэробной и аэробной производительности. Кислородный запрос при гребле на 2 км составляет 50 –60 л, а кислородный долг равен 20 – 30% от запроса.

У гребцов нередко наблюдается гипертрофия миокарда. Имеется также брадикардия: ЧСС покоя в среднем равна 40 –50 ударов в мин. На финише ЧСС может повышаться до 220 уд/мин.

## **7.Плавание.**

Плавание по структуре – динамическая циклическая работа. Плавание на дистанциях 100 и 200 м обычно относят к работе субмаксимальной мощности, но по мере уменьшения дистанции мощность падает. Так плавание на 1500 м можно считать работой большой мощности.

Особенности плавания связаны с особенностями водной среды. Кроме того плавание происходит в горизонтальном положении и при уменьшении веса пловца, которое связано с погружением в воду. Эти обстоятельства уменьшают нагрузку на мышцы.

В то же время тело пловца испытывает гидравлическое давление. Например, на глубине 10 см оно составляет 10 г на 1 кв. см. Сопротивление воды, которое должен преодолевать спортсмен, возрастает по мере увеличения скорости плавания. например, при плавании на

400м со временем 5 мин. тело пловца испытывает сопротивление 4,1 кг, а при плавании на 100 м за 58,8 сек это сопротивление возрастает до 11,5 кг.

Плаучесть тела зависит от плотности, которая уменьшается при вдохе и увеличивается при выдохе.

Движения в необычной среде вызывает у человека некоторое затруднение при формировании динамических стереотипов, лежащих в основе двигательных навыков.

У пловцов в процессе тренировки формируется особое комплексное восприятие различных раздражителей, называемое "чувство воды". Решающую роль здесь играют тактильные, температурные, проприоцептивные и вестибулярные рецепторы.

В процессе тренировки у пловцов значительно развивается сила мышц. Причем развитие мышц рук и ног идет более гармонично, чем, например, у легкоатлетов.

При плавании достаточно велик расход энергии, так как пребывание в воде сопровождается большой теплоотдачей. Причем, при разной скорости и способах передвижения в воде отмечается различная величина расхода энергии. Наибольший расход энергии наблюдается при проплыве дистанции вольным стилем и баттерфляем, а при плавании на спине и брасом расход энергии несколько меньше.

Пловцы имеют большую емкость легких 6 – 7 л. До 6 л возрастает и МПК.

Спортивное плавание предъявляет серьезные требования к органам кровообращения. Однако, при плавании имеются некоторые факторы, облегчающие деятельность сердца. В частности, почти полное отсутствие статического напряжения скелетных мышц и их сокращения, сочетающегося с глубоким дыханием.

## **8. Спортивные игры.**

По типу спортивные игры – это нестандартно-переменные упражнения. При спортивных играх производится, главным образом, скоростно-силовая работа.. Статические напряжения в спортивной игре встречаются редко. Они кратковременны и выражены не резко.

Спортивные игры способствуют развитию быстроты, силы и специальной выносливости в работе с переменной интенсивностью.

Разные спортивные игры имеют различную продолжительность, проводятся на площадках разных размеров, по различным правилам, при наличии различного числа игроков в командах. Все это обуславливает разную степень физиологических сдвигов, возникающих при игре и различную длительность восстановления. При этом, чем больший удельный вес имеет в игре бег, тем относительно резче выражены сдвиги в состоянии соматических и вегетативных функций.

При игре в футбол, в связи с большими размерами поля, бег имеет важнейшее значение для результативности игры. Скоростной бег при этом осуществляется лишь с небольшими интервалами, что требует развития анаэробной производительности. Наряду с этим футболисту необходима и высокая аэробная производительность, так как на протяжении игры ему приходится пробежать в общей сложности до 8 – 10 км.

При игре в баскетбол, хоккей с шайбой, проводимых на небольших относительно полях, бег имеет большое значение. Однако здесь он производится на меньших отрезках пути и с более частыми остановками.

Одна и та же игра в каждом конкретном случае может вызвать вегетативные реакции разной степени. Это зависит от темпа игры, соотношения сил между командами, тренированности игроков и т. д.

Большинство спортивных игр требует сложной координации движений. Сложность игровой деятельности увеличивается в связи с тем, что многие элементы игры осуществляются во время движения. У квалифицированных игроков стереотипно и автоматизировано производятся не только технические приемы, но и многие тактические действия, что необходимо для решения более сложных тактических задач.



Игрок должен уметь применять различные приемы в различных условиях игры. Таким образом в игре важна не только стереотипная деятельность, но и творческая деятельность, обеспечивающая создание новых форм движений. У представителей разных спортивных игр хорошо скоординированы мышцы, а они обладают высокой степенью лабильности, то есть быстро реагируют на любые изменения темпа игры.

Спортивные игры предъявляют высокие требования к различным анализаторам, в особенности к зрению, слуху и проприоцептивному. Большое значение имеет и развитие вестибулярного аппарата.

У квалифицированных баскетболистов, волейболистов, футболистов, хоккеистов наблюдается гипертрофия сердца и брадикардия покоя.

Тренировочные и соревновательные игры сопровождаются уменьшением веса тела. За игру футболисты в среднем теряют 2 кг, теннисисты 2 – 3 кг, волейболисты до 1,5 кг.

## **9. Тяжелая атлетика.**

Работа тяжелоатлета имеет динамический силовой характер. При удержании штанги на груди и при фиксации веса атлет испытывает статическое напряжение.

Тяжелая атлетика, главным образом, развивает силу скелетных мышц и адаптирует органы дыхания и кровообращения к силовой работе. Тренировка штангиста ведет не только к развитию силы, но и быстроты и силовой выносливости.

Движения штангиста кратковременны и сложны по координации. Большой вес и лучшее развитие силы позволяет штангистам тяжелого веса поднимать большие грузы по сравнению со спортсменами более легких категорий. Но их относительная сила, высчитанная на 1 кг веса тела, часто оказывается меньшей, чем у спортсменов легкого веса. Это объясняется тем, что сила мышц зависит не только от их строения, но и от их иннервации. Наибольший вес поднимается спортсменами во время толчка.

В течение тренировки и соревнований тяжелоатлеты многократно повторяют подъемы штанги. Поэтому суммарный объем работы у штангистов очень большой. Средний прирост силы составляет 40 – 60 % исходной величины.

Увеличение силы обусловлено не только местными морфологическими и функциональными изменениями, но и, главным образом, совершенствованием деятельности иннервирующих их нервных центров. Твердость мышц в состоянии покоя и при произвольном напряжении у штангистов по сравнению со спортсменами других специальностей больше. Способность мышц к произвольному расслаблению несколько понижена.

Гиперфункция скелетных мышц часто сопровождается у штангистов увеличением веса тела (иногда на 15 – 30 кг). Это происходит в основном за счет увеличения "тощей" массы тела, а не жировой ткани.

При поднимании штанги большие требования предъявляются к двигательному и вестибулярному анализаторам.

Расход энергии при поднимании штанги, высчитанный на единицу времени, очень велик. Суммарный расход энергии составляет около 500 ккал за 1 час работы.

Поднимание штанги производят, как правило, при задержке дыхания. Происходящее при этом повышение внутригрудного давления рефлекторно увеличивает силу сокращения мышц. Особенности дыхания при подъемах штанги зависят от квалификации штангиста.

Брадикардия и гипертрофия сердца у тяжелоатлетов наблюдается лишь в редких случаях. АД повышается при работе на 10 – 20 мм рт. ст.

## 10. Борьба и искусственное снижение веса.

Различные виды единоборств характеризуются нестандартными ациклическими движениями переменной интенсивности и различной длительности. Соответственно силовая и скоростно-силовая работа чередуется при этом со статическими напряжениями.

Тренировка борца обеспечивает развитие у него разнообразных специфических двигательных навыков, а также силы, быстроты, ловкости и специфической выносливости.

Большие требования борьба предъявляет к подвижности нервных процессов, а проявление силы требует значительной концентрации возбуждающих процессов в соответствующих двигательных центрах.

Борцам необходимо развитие проприоцептивной чувствительности. Работа зрительного анализатора менее значима.

Борцы характеризуются хорошим развитием мускулатуры и повышенной возбудимостью мышц.

Расход энергии у борцов очень большой: за 1 минуту схватки он достигает 20 ккал.

Квалифицированные борцы могут произвольно регулировать дыхание. В момент статических напряжений происходит задержка дыхания. Кислородный долг может достигать у борцов значительной величины.

У борцов не наблюдается значительной брадикардии. Во время схваток пульс может подниматься до 200 ударов, а артериальное давление до 180 мм рт. ст.

После напряженных схваток в моче может появляться белок и повышаться концентрация кислых продуктов.

**Искусственное снижение веса.** Соревнования борцов боксеров, штангистов проводятся по определенным весовым категориям. Поэтому важной проблемой в этих видах спорта является слежение за весом.

Часто в практике этих видов спорта используется искусственное снижение веса. Для этого применяют специальные диеты, паровую баню, светотепловые ванны.

Применение диет с ограниченным содержанием углеводов и солей обеспечивает уменьшение веса в течение 2 суток на 2 – 3,5 кг.

Пользование баней способствует быстрому и значительному снижению веса тела. При этом необходимо учитывать, что длительное (до 25 – 35 минут) пребывание в парной при температуре около 55° С, сочетаемое с ограниченным приемом жидкости, часто приводит к ухудшению самочувствия, общей слабости, беспокойному сну, повышению возбудимости нервной системы, учащению пульса, повышению АД. Все это снижает работоспособность. Кратковременное пользование баней (до 15 минут) не вызывает неблагоприятных явлений, но менее эффективно для сгонки веса.

Для искусственного снижения веса можно также пользоваться воздушной баней (сауной) и горячим душем. Кроме того, рекомендуют светотепловые ванны, которые не вызывают неблагоприятных изменений в организме и почти не снижают его работоспособности. Этот способ дает снижение до 2 кг и более.

Наиболее физиологически целесообразным средством снижения веса тела является продолжительная физическая работа в теплой одежде. Однако непосредственно перед соревнованиями такой способ снижения веса вреден, так как ведет к упадку сил.

Следует отметить, что в любом случае, снижение веса тела в короткие сроки ведет к снижению работоспособности, нарушает нормальную работу органов и систем органов. Поэтому за весом следует следить постоянно во время тренировочного периода.

## 11 Физиологическая характеристика альпинизма и горного туризма.

Альпинизм и горный туризм без преувеличения можно назвать экстремальными видами спорта. Риск, связанный с походами в горных условиях и восхождениями на вершины усугубляется теми условиями, в которых приходится находиться спортсменам.

Атмосферный воздух имеет значительный вес, который определяет барометрическое давление. Он сжимается под собственным весом, поэтому его давление и плотность наибольшие на поверхности Земли (на уровне моря), уменьшаются с высотой. Снижение барометрического давления с высотой создает гипобарические условия. Это приводит к снижению парциального давления кислорода. Этот фактор играет для человека, находящегося на большой высоте решающую роль, так как создаются условия гипоксии – кислородного голодания.

Вместе с тем на высоте уменьшается внешнее сопротивление воздуха, что при не слишком большой высоте 2500 – 3000 м облегчает физическую работу. В то же время, чем больше высота, тем ниже температура воздуха. По мере подъема температура может уменьшаться на 6,5 ° С через каждые 1000м вплоть до высоты 11 км. На высоте также уменьшается относительная влажность, что ведет к обезвоживанию организма.

В результате снижения парциального давления кислорода в артериальной крови развивается гипоксемия, то есть пониженное содержание кислорода в крови, а затем развивается гипоксия тканей.

Еще одним эффектом влияния высоты можно назвать снижение МПК. Уже на высоте 1500 м МПК начинает снижаться. А далее снижение этого показателя снижается на 1% через каждые 100 м высоты. На высоте 2000 – 3000 м уровень МПК снижается в среднем на 15 %, на высоте 3000м на 20 %, на 4000м на 30%.

Снижение уровня МПК на больших высотах ведет поначалу к снижению выносливости. Но затем уровень выносливости по мере акклиматизации к условиям высокогорья повышается.

В горах начинают действовать несколько компенсаторных механизмов, что способствует акклиматизации.

1. Увеличение вентиляции легких.
2. Повышение кислородной емкости легких: выбрасывание в кровотоки депонированной крови и депонированных эритроцитов, отличительной чертой которых является более высокое содержание гемоглобина.
3. Увеличение кровоснабжения органов тела.

Однако бывает так, что компенсаторные механизмы не могут предотвратить развитие гипоксии. Результатом этого является развитие синдрома, называемого "горная болезнь". Она выражается в ряде симптомов:

- в нервной системе возбуждение начинает преобладать над торможением;
- нарушаются функции дыхания, что выражается в возникновении одышки;
- изменения в сердечно-сосудистой системе вызывает головокружение, носовые кровотечения, шум в ушах, ощущение пульсации сосудов и т. д.
- снижение остроты зрения ("снеговая слепота"), обоняние ухудшается вплоть до аносмии, изменяется ощущение вкуса.

Но при правильном подходе и понимании ситуации после "горной болезни" наступает адаптация к высоте. Акклиматизация в высокогорье происходит благодаря двум физиологическим механизмам: 1) повышение доставки кислорода к тканям; 2) приспособление тканей к существованию при пониженном содержании кислорода.

Особый интерес с точки зрения физиологии представляют восхождения на высоты свыше 7000м. Такие сверхвысокогорные восхождения требуют от спортсмена максимального волевого напряжения и сопровождаются резкими функциональными изменениями. Особенно сильно меняется работа сердечно-сосудистой и дыхательной

систем. Само восхождение совершают медленно. На один шаг приходится несколько дыханий: после 8000 м – 2–3, а после 8380 м 8–10 дыханий. За час подъема альпинисты максимально преодолевали 33 м (!). Поэтому при сверхвысокогорных восхождениях альпинисты чаще всего используют кислородные приборы и систему промежуточных лагерей. Эта тактика позволяет преодолевать объективные трудности такого восхождения.

## Раздел8. Общая характеристика метаболизма.

### 21. Строение белков и ферментативный катализ.

#### Тема 22. Метаболизм отдельных групп.

#### Тема23. Водно-минеральный обмен. Витамины. Гормоны.

### Тема21. СТРОЕНИЕ БЕЛКОВ И ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ КАТАЛИЗ.

#### Вопросы лекции и семинарского занятия.

1. Введение. Чем занимается биохимия?(не для рассказа на семинарском занятии)
2. Биологическая роль белков.
3. Строение молекулы белка.
4. Классификация белков.
5. Физико-химические свойства белков.
6. Строение ферментов.
7. Механизм действия ферментов. Специфичность.
8. От чего зависит скорость ферментативных реакций?
9. Классификация и номенклатура ферментов.
10. Общая характеристика обмена веществ.
11. Строение и биологическая роль АТФ.
12. Тканевое дыхание.
- 13 Анаэробное, микросомальное и свободнорадикальное окисление.

#### 1. Введение. Чем занимается биохимия?

(не для рассказа на семинарском занятии).

**Биохимия** изучает химические процессы, происходящие в живых системах. Иначе говоря, биохимия изучает химию жизни. Наука эта относительно молодая. Она родилась в 20 веке. Условно курс биохимии можно разделить на три части.

**Общая биохимия** занимается общими закономерностями химического состава и обмена веществ разных живых существ от мельчайших микроорганизмов и кончая человеком. Оказалось, что эти закономерности во многом повторяются.

**Частная биохимия** занимается особенностями химических процессов, протекающих у отдельных групп живых существ. Например, биохимические процессы у растений, животных, грибов и микроорганизмов имеют свои особенности, причем, в ряде случаев очень существенные.

**Функциональная биохимия** занимается особенностями биохимических процессов протекающих в отдельных организмах, связанных с особенностями их образа жизни. Направление функциональной биохимии, исследующее влияние физических упражнений на организм спортсмена называется **биохимией спорта или спортивной биохимией**.

Развитие физической культуры и спорта требует от спортсменов и тренеров хороших знаний в области биохимии. Это связано с тем, что без понимания того, как работает организм на химическом, молекулярном уровне трудно надеяться на успех в современном спорте. Многие методики тренировки и восстановления базируются в наше время именно на глубоком понимании того, как работает организм на субклеточном и молекулярном уровне. Без глубокого понимания биохимических процессов невозможно бороться и допингом – злом, которое может погубить спорт.

## 2. Биологическая роль белков.

Роль белков в организме трудно переоценить. Именно поэтому наш курс начинается с описания роли и строения именно этого класса биоорганических соединений. Белки в организме выполняют следующие функции.

1. *Структурная* или пластическая функция. Белки являются универсальным строительным материалом, из которого состоят практически все структуры живых клеток. Например, в организме человека белки составляют около 1/6 от массы тела. Причем, у тренированных людей с хорошо развитыми мышцами эта цифра может быть и выше.
2. *Каталитическая функция*. Многие белки, называемые *ферментами* или *энзимами*, выполняют в живых системах функцию катализаторов, то есть изменяют скорости протекания химических реакций (о чем подробно будет сказано ниже)
3. *Сократительная функция*. Именно белковые молекулы лежат в основе всех форм движения живых систем. Мышечное сокращение = это, прежде всего работа белков.
4. *Регуляторная функция*. В основе этой функции лежит способность белковых молекул реагировать и с кислотами и основаниями, называют в химии *амфотерностью*. Белки участвуют в создании гомеостаза организма. Многие белки являются гормонами.
5. *Рецепторная функция*. В основе этой функции лежит способность белков реагировать на возникающие изменения условий внутренней среды организма. Различные рецепторы в организме, чувствительные к температуре, давлению, освещенности являются белками. Рецепторы гормонов – это тоже белки.
6. *Транспортная функция*. Белковые молекулы имеют большой размер, хорошо растворимы в воде, что позволяет им легко перемещаться по водным растворам и переносить различные вещества. Например, гемоглобин переносит газы, альбумины крови переносят жиры и жирные кислоты.
7. *Защитная функция*. Белки защищают организм, прежде всего, участвуя в создании иммунитета.
8. *Энергетическая функция*. Белки не являются главными участниками энергетического обмена, но все же до 10% суточной потребности организма в энергии обеспечивают именно они. В то же время, это слишком ценный продукт, чтобы использовать его, как источник энергии. Поэтому белки используются в качестве источника энергии только после углеводов и жиров.

## 3. Строение молекулы белка.

Белки – это высокомолекулярные азотсодержащие соединения, состоящие из аминокислот. В состав белков входят сотни остатков аминокислот. Однако все белки, независимо от происхождения образуются 20 видами аминокислот. Эти 20 аминокислот называют, поэтому **протеиногенными**.

Аминокислоты содержат карбоксильную группу **COOH** и аминогруппу **NH<sub>2</sub>**. Правда, некоторые белки все же содержат в очень малых количествах аминокислоты, не входящие в состав протеиногенных. Такие аминокислоты называют **минорными**. Они образуются из протеиногенных аминокислот после завершения синтеза белковых молекул.

Аминокислоты соединяются друг с другом **пептидной связью**, образуя длинные неразветвленные цепи – **полипептиды**. Пептидная связь возникает при взаимодействии карбоксильной группы одной аминокислоты и аминогруппы другой с выделением воды. Пептидные связи обладают высокой прочностью, их образуют все аминокислоты. Именно, эти связи образуют первый уровень организации белковой молекулы – **первичную структуру белка**. **Первичная структура** – это последовательность аминокислотных остатков в полипептидной цепи белка.

**Вторичная структура белка** представляет собой спиральную структуру, образованную, главным образом, за счет водородных связей.

**Третичная структура белка** представляет собой **глобулу** или клубочек, в которую сворачивается вторичная спираль в некоторых белках. В образовании глобулы участвуют различные межмолекулярные силы, прежде всего дисульфидные мостики. Поскольку дисульфидные связи образуются аминокислотами, которые содержат серу, то **глобулярные белки** обычно содержат много серы.

Некоторые белки образуют **четвертичную структуру**, состоящую из нескольких глобул, называемых тогда **субъединицами**. Например, молекула гемоглобина состоит из четырех субъединиц, выполняющих единую функцию.

*Все структурные уровни молекулы белка зависят от первичной структуры. Изменения в первичной структуре ведут к изменениям на других уровнях организации белка.*

#### 4. Классификация белков.

Классификация белков базируется на их химическом составе. Согласно этой классификации белки бывают **простые** и **сложные**. Простые белки состоят только из аминокислот, то есть из одного или нескольких полипептидов. К простым белкам, имеющимся в организме человека, относятся *альбумины, глобулины, гистоны, белки опорных тканей*.

В молекуле сложного белка, кроме аминокислот, ещё имеется неаминокислотная часть, называемая **протетической группой**. В зависимости от строения этой группы выделяют такие сложные белки, как **фосфопротеиды**(содержат фосфорную кислоту), **нуклеопротеиды**(содержат нуклеиновую кислоту), **гликопротеиды**(содержат углевод), **липопротеиды**(содержат липоид) и другие.

Согласно классификации, которая базируется на пространственной форме белков, белки разделяются на **фибриллярные** и **глобулярные**.

Фибриллярные белки состоят из спиралей, то есть преимущественно из вторичной структуры. Молекулы глобулярных белков имеют шаровидную и эллипсоидную форму.

Примером фибриллярных белков является *коллаген* – самый распространенный белок в теле человека. На долю этого белка приходится 25 – 30% от общего числа белков организма. Коллаген обладает высокой прочностью и эластичностью. Он входит в состав сосудов мышц, сухожилий, хрящей, костей, стенки сосудов.

Примером глобулярных белков являются *альбумины и глобулины плазмы крови*.

#### 5. Физико-химические свойства белков.

Одной из главных особенностей белков является их **большая молекулярная масса**, которая колеблется в диапазоне от 6000 до нескольких миллионов дальтон.

Другим важным физико-химическим свойством белков является их **амфотерность**, то есть наличие, как кислотных, так и основных свойств. Амфотерность связана с наличием в составе некоторых аминокислот свободных карбоксильных групп, то есть кислотных, и аминогрупп, то есть щелочных. Это приводит к тому, что в кислой среде белки проявляют щелочные свойства, а в щелочной среде – кислотные. Однако при определенных условиях белки проявляют нейтральные свойства. Значение рН, при

котором белки проявляют нейтральные свойства, называется **изоэлектрической точкой**. Изоэлектрическая точка для каждого белка индивидуальна. Белки по этому показателю делят на два больших класса – *кислые и щелочные*, так как изоэлектрическая точка может быть сдвинута либо в одну, либо в другую сторону.

Еще одно важное свойство белковых молекул – это **растворимость**. Несмотря на большой размер молекул белки довольно хорошо растворимы в воде. Причем растворы белков в воде весьма устойчивы. Первой причиной растворимости белков является наличие на поверхности молекул белков заряда, благодаря чему белковые молекулы практически не образуют нерастворимые в воде агрегаты. Второй причиной устойчивости белковых растворов является наличие у белковой молекулы гидратной (водной) оболочки. Гидратная оболочка отделяет белки друг от друга.

Третье важное физико-химическое свойство белков – это **высаливание**, *то есть способность выпасть в осадок под действием водоотнимающих средств*. Высаливание – процесс обратимый. Эта способность то переходить в раствор, то выходить из него очень важна для проявления многих жизненных свойств.

Наконец, важнейшим свойством белков является его способность к **денатурации**. *Денатурация - это потеря белком нативности*. Когда мы делаем яичницу на сковороде, мы получаем необратимую денатурацию белка. Денатурация заключается в постоянном или временном нарушении вторичной и третичной структуры белка, но при этом первичная структура сохраняется. Помимо температуры (выше 50 градусов) денатурацию могут вызвать другие физические факторы: излучение, ультразвук, вибрация, сильные кислоты и щелочи. Денатурация может быть обратимой и необратимой. При небольших воздействиях разрушение вторичной и третичной структур белка происходит незначительное. Поэтому белок при отсутствии денатурирующего может восстановить свою нативную структуру. Процесс обратный денатурации называется **ренатурация**. *Однако при продолжительном и сильном воздействии ренатурация становится невозможной, а денатурация, таким образом, необратимой*.

## 6. Строение ферментов.

**Ферменты или энзимы** – это белки, выполняющие в организме каталитические функции. Катализ предусматривает, как ускорение, так и замедление химических реакций.

Ферменты практически всегда ускоряют химические реакции в организме, причем, ускоряют в десятки и сотни раз. У иных реакций, проходящих под контролем ферментов, скорость в их отсутствие падает практически до нуля.

Участок фермента, который непосредственно участвует в катализе, называется **активным центром**. Он может быть по-разному организован у ферментов, имеющих только третичную и четвертичную структуру. У сложных белков в образовании активного центра участвуют, как правило, все субъединицы, а также их простетические группы.

В активном центре выделяют два участка – *адсорбционный и каталитический*.

*Адсорбционный участок – это центр связывания*. Он по своему строению соответствует структуре реагирующих веществ, называемых в биохимии *субстратами*. Говорят, что субстраты и адсорбционный центр фермента совпадают как ключ и замок. У большинства ферментов один активный центр, но бывают ферменты, имеющие несколько активных центров.

Надо сказать, что в ферментативной реакции принимает участие не только активный центр фермента, но и другие его части. Общая конформация фермента играет важную роль в его активности. Поэтому, изменение даже одной аминокислоты в части молекулы, которая не имеет отношения непосредственно к активному центру, может сильно повлиять на активность фермента и даже свести её к нулю. Благодаря изменению



конформации фермента происходит «приспособление» его активного центра к структуре субстратов, участвующих в ускоряемой ферментом реакции.

## 7. Механизм действия ферментов. Специфичность.

Надо помнить, что при осуществлении каталитической функции, сам катализатор не меняет своей химической природы. Это утверждение справедливо и для ферментов.

В любой каталитической реакции, осуществляемой ферментами, различают *три стадии*.

1. Образование фермент-субстратного комплекса. На этой стадии активный центр фермента, связывается с субстратами за счет слабых связей, обычно водородных. Особенностью этого этапа является полная обратимость, так как фермент-субстратный комплекс легко может распадаться на фермент и субстраты. На этой стадии возникает благоприятная ориентация молекул субстратов, что способствует ускорению их взаимодействия.
2. Эта стадия проходит с участием каталитического участка активного центра. Сущность этого этапа состоит в снижении энергии активации и ускорении реакции между субстратами. Результатом этого этапа является образование нового продукта.
3. На этой стадии происходит отделение готового продукта от активного центра с освобождением фермента, который вновь готов для осуществления своей функции.

В клетке ферменты, катализирующие многостадийные процессы часто объединяются в комплексы, называемые **мультиферментными системами**. Чаще всего эти комплексы встроены в биомембраны или связаны с органоидами клеток. Такое объединение ферментов делает их работу более эффективной.

В некоторых случаях белки-ферменты содержат небелковые компоненты, участвующие в катализе. Такие небелковые элементы называются **коферментами**. Большинство коферментов в своем составе содержат **витамины**.

Важнейшим свойством ферментов является их высокая специфичность. В биохимии существует правило: **одна реакция – один фермент**. Различают два вида специфичности: специфичность действия и специфичность субстратная.

**Специфичность действия** - это способность фермента катализировать только один определенный тип химической реакции. Если субстрат может вступать в различные реакции, то для каждой реакции нужен свой фермент.

**Субстратная специфичность** – это способность фермента действовать только на определенные субстраты.

Субстратная специфичность бывает *абсолютная и относительная*.

*При абсолютной специфичности фермент катализирует превращения только одного субстрата.*

*При относительной - может быть группа похожих субстратов.*

## 8. От чего зависит скорость ферментативных реакций?

В основе химических реакций лежит энергия активации. Если энергия активации высокая, то вещества не могут вступить в реакцию или скорость их взаимодействия будет низкой. Ферменты снижают порог энергии активации.

Скорость ферментативных реакция существенно зависит от многих факторов. К ним относятся *концентрации* веществ участников ферментативной реакции, а также *условия среды*, в которых протекает реакция.

Показано, что *чем выше концентрация фермента, тем выше скорость реакции*. Это объясняется тем, что концентрация фермента намного ниже концентрации субстрата.

При низких концентрациях субстрата скорость прохождения реакции прямо пропорциональна концентрации субстратов. Однако по мере возрастания концентрации субстрата она начинает замедляться и, наконец, достигнув максимальной скорости, перестает расти. Это связано с тем, что по мере увеличения концентрации субстрата количество свободных активных центров становится ограничивающим фактором.

Температура влияет на ферментативные реакции своеобразно. Дело в том, что ферменты – это белки, а это значит, что при высоких температурах (выше 80 градусов), они полностью теряют активность. Поэтому для ферментативных реакций существует понятие **температурного оптимума**. Таким оптимумом для большинства ферментов является температура тела 37 – 40 градусов. При низких температурах ферменты также неактивны.

Еще одним фактором, определяющим активность ферментов, является рН среды. Здесь для каждого фермента существует свой **рН-оптимум**. Например ферменты желудочного сока имеют рН-оптимум в кислой среде (рН – 1,0 до 2,0), а ферменты поджелудочной железы предпочитают щелочную среду (рН – 9,0 – 10,0).

Помимо указанных выше факторов на скорость ферментативных реакций оказывают различные вещества – **ингибиторы и активаторы**.

**Ингибиторы** – это, чаще всего, низкомолекулярные вещества, тормозящие скорость реакции. Ингибитор связывается с ферментом, мешая ему осуществлять свою функцию.

**Активаторы** – вещества, избирательно повышающие скорость ферментативных реакций.

Гормоны могут выступать и активаторами, и ингибиторами ферментов.

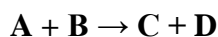
Скорость ферментативных реакций зависит и от ряда других факторов:

- изменения скорости синтеза ферментов;
- . модификации ферментов;
- изменение конформации фермента

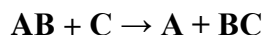
## 9. Классификация и номенклатура ферментов.

Современная классификация ферментов базируется на характеристике химической реакции, катализируемой ферментом. Различают шесть основных классов ферментов.

1. **Оксидоредуктазы** – ферменты, катализирующие окислительно-восстановительные реакции. Схематично это выглядит так:



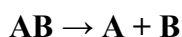
2. **Трансферазы** – ферменты, катализирующие перенос химических группировок с одной молекулы на другую



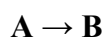
3. **Гидролазы** – ферменты, расщепляющие химические связи путем присоединения воды, то есть гидролиза.



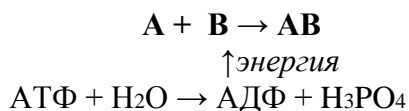
4. **Лиазы** – ферменты катализирующие расщепление химических связей без присоединения воды:



5. **Изомеразы** – ферменты, катализирующие изомерные превращения, то есть перенос отдельных химических групп в пределах одной молекулы:



6. **Синтетазы** – ферменты катализирующие реакции синтеза, происходящие за счет энергии АТФ:



Каждый класс в свою очередь делится на подклассы, а те на подподклассы.

Название фермента, как правило состоит из двух частей. Первая часть отражает название субстрата, превращения которого катализируется данным ферментом. Вторая часть названия имеет окончание «-аза», указывает на природу реакции. Например, фермент, отщепляющий от молочной кислоты (лактата) атомы водорода, называется лактатдегидрогеназа. А фермент, катализирующий изомеризацию глюкозо-6-фосфата в фруктозо-6-фосфат называется глюкозофосфатизомераза. Фермент, участвующий в синтезе гликогена называется гликогенсинтетаза.

## 10. Общая характеристика обмена веществ.

Обмен веществ и энергии – это обязательное условие существования живых организмов.

Организм из внешней среды получает энергию и строительные вещества, затем эти вещества перерабатываются и, наконец, ненужные продукты переработки выделяются из организма в окружающую среду. Таким образом, обмен веществ может быть представлен в виде трех процессов.

**1. Пищеварение** – это процесс в ходе которого пищевые вещества, как правило высокомолекулярные и для организма чужеродные, под действием пищеварительных ферментов расщепляются и превращаются в простые соединения – универсальные для всех живых организмов. Белки, например, распадаются на аминокислоты точно такие же как аминокислоты самого организма. Из углеводов пищи образуется универсальный моносахарид – глюкоза. Поэтому конечные продукты пищеварения могут вводиться во внутреннюю среду организма и использоваться клетками для разнообразных целей.

**2. Метаболизм** – это совокупность химических реакций, протекающая во внутренней среде организма. Правда, иногда слово «метаболизм» понимают как синоним обмена веществ.

**3. Выделение** – это процесс удаления отработанных веществ из организма. Этот процесс происходит, как на последних этапах пищеварения, так и в ходе метаболизма. В последнем случае в выделении участвует кровь и особые органы выделения продуктов распада азотистых веществ - почки.

Рассмотрим, однако, более подробно собственно **метаболизм**.

Метаболизм включает в себя два процесса, которые являются двумя его неразрывными сторонами: **катаболизм и анаболизм**.

**Катаболизм** – это процессы расщепления веществ, результатом которых является извлечение энергии и получение молекул меньшего размера. Конечными продуктами катаболизма являются углекислый газ, вода, аммиак.

Катаболизм в организме человека и большинства живых существ характеризуется следующими особенностями.

- В процессе катаболизма преобладают реакции окисления.
- Катаболизм протекает с потреблением кислорода.

- В процессе катаболизма выделяется энергия, примерно половина которой аккумулируется в форме молекул **аденозинтрифосфата (АТФ)**. Значительная часть энергии выделяется в виде тепла.

**Анаболизм** – это реакции синтеза. Для этих процессов характерны следующие особенности.

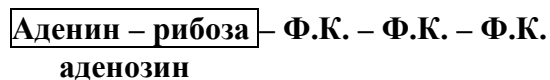
- Анаболизм – это, главным образом, реакции восстановления.
- В процессе анаболизма происходит потребление водорода.
- Источником энергии для реакций анаболизма служит АТФ.

## 11. Структура и биологическая роль АТФ.

Аденозинтрифосфат или сокращенно АТФ – это универсальное энергетическое вещество организма. АТФ – нуклеотид, в состав молекулы которого входят азотистое основание – **аденин**, углевод – **рибоза** и три остатка **фосфорной кислоты**.

Особенностью молекулы АТФ является то, что второй и третий остатки фосфорной кислоты присоединяются связью, богатой энергией, иначе называемой **макроэргической связью**. Часто соединения, имеющие макроэргическую связь (а мы столкнемся с ними в процессе изучения предмета) обозначаются термином «**макроэрги**» или **макроэргические вещества**.

Структура АТФ можно отразить схемой



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



В физиологических условиях, то есть при условиях, которые имеются в живой клетке, расщепление моля АТФ сопровождается выделением 10 – 12 ккал энергии (43 -50 кДж).

Главными потребителями энергии АТФ в организме являются

- реакции синтеза;
- мышечная деятельность;
- транспорт молекул и ионов через мембраны.

Таким образом биологическая роль АТФ заключается в том, что это вещество в организме является своего рода эквивалентом ЕВРО или доллара в экономике. Основным поставщиком АТФ в клетке является тканевое дыхание – завершающий этап катаболизма, протекающий в митохондриях большинства клеток организма.

## 12. Тканевое дыхание.

Тканевое дыхание – это основной способ получения АТФ используемый абсолютным большинством клеток организма.

В процессе тканевого дыхания от окисляемого вещества отнимаются два атома водорода и по дыхательной цепи, состоящей из ферментов и коферментов, передаются на молекулярный кислород, доставляемый кровью из воздуха во все ткани организма. В результате присоединения атомов кислорода и водорода образуется вода. За счет энергии, выделяющейся при движении электронов, по дыхательной цепи, в митохондриях осуществляется синтез АТФ из АДФ и фосфорной кислоты. Обычно синтез трех молекул АТФ сопровождается образованием одной молекулы воды.

В качестве субстрата окисления в тканевом дыхании используются разнообразные промежуточные продукты распада углеводов, жиров и белков. Однако наиболее часто подвергаются окислению промежуточные продукты цикла лимонной кислоты, называемого иначе циклом трикарбоновых кислот или циклом Кребса (изолимонная, альфа-кетоглутаровая, янтарная, яблочная кислоты – это субстраты цикла трикарбоновых кислот). Цикл лимонной кислоты – это завершающий этап катаболизма, в ходе которого происходит окисление остатка уксусной кислоты, входящей а ацетилкофермент А до углекислого газа и воды. В свою очередь ацетилкофермент А – универсальное вещество организма, в которое при своем распаде превращаются главные органические вещества – белки, жиры и углеводы. Тканевое дыхание – это сложный ферментативный процесс. Ферменты тканевого дыхания делятся на три группы: **никотинамидные дегидрогеназы, флавиновые дегидрогеназы и цитохромы**. Эти ферменты и составляют дыхательную цепь.

**Никотинамидные дегидрогеназы** отнимают два атома водорода у окисляемого субстрата и присоединяют его к молекуле кофермента НАД (никотинамидадениндинуклеотид) При этом НАД переходит в свою восстановленную форму НАД.Н<sub>2</sub>.

**Флавиновые дегидрогеназы** отщепляют два атома водорода от НАД.Н<sub>2</sub> и временно присоединяют к ФМН (флавиномононуклеотид). Это кофермент в состав которого входит витамин В<sub>2</sub>. Затем происходит передача двух атомов водорода флавину, который в свою очередь передает эти атомы на цитохромы.

**Цитохромы** – это ферменты, содержащие в своем составе ионы трехвалентного железа, которые, присоединяя водород, переходят в двухвалентную форму. Цитохромов несколько и они обозначаются латинскими буквами **a, a-3 b, c**. Цитохромы передают водород на молекулярный кислород, и образуется вода.

При движении по дыхательной цепи выделяется энергия, которая аккумулируется в виде молекул АТФ. Этот процесс называется **окислительным или дыхательным фосфорилированием**. В сутки в организме образуется не менее 40 кг АТФ. Особенно интенсивно эти процессы идут в мышцах при физической работе.

### **13. Анаэробное, микросомальное и свободнорадикальное окисление.**

В некоторых случаях отнятие атома водорода от окисляемых веществ происходит в цитоплазме. Эти процессы происходят без участия кислорода. Поэтому **акцепторы** водорода здесь другие. Наиболее часто водород присоединяет **пировиноградная кислота**, возникающая при распаде углеводов и аминокислот. Пировиноградная кислота может присоединить водород и таким образом превратиться в **лактат или молочную кислоту**. Такой процесс, происходящий, в частности в мышцах при недостатке кислорода, называется **анаэробным окислением или гликолизом**. За счет выделяющейся при этом энергии в цитоплазме также идет образование АТФ. Процесс образования АТФ в цитоплазме получил название **анаэробного или субстратного фосфорилирования**. Этот процесс гораздо менее эффективен, нежели тканевое дыхание.

В некоторых случаях при окислении атомы кислорода включаются в молекулы окисляемых веществ. Такое окисление протекает на мембранах эндоплазматической сети и называется **микросомальное окисление**. За счет включения кислорода окисляемого субстрата возникает гидроксильная группа (-ОН). Поэтому этот процесс часто называют **гидроксилированием**. В этом процессе активное участие принимает аскорбиновая кислота или **витамин С**.

Биологическая роль этого процесса не связана с синтезом АТФ. Она состоит в следующем.

1. Включаются атомы кислорода в синтезируемое вещество.

2. Обезвреживаются различные токсичные вещества, так как включение атома кислорода в молекулу яда уменьшает токсичность этого яда, делает его водорастворимым, и облегчат почкам его выведение.

В редких случаях кислород, поступающий из воздуха в организм, превращается в активные формы ( $O_2$ ,  $HO_2$ ,  $HO^+$ ,  $H_2 O_2$  и др.), называемые **свободными радикалами или оксидантами**.

Свободные радикалы кислорода вызывают реакции окисления, затрагивающие белки, жиры, нуклеиновые кислоты. Это окисление получило название **свободнорадикальное окисление**.

Особенное влияние этот процесс оказывает на жирные кислоты. **Перекисное окисление липидов (ПОЛ)** помогает обновлению липидного слоя биологических мембран.

Свободнорадикальное окисление может приносить и вред, если происходит слишком интенсивно. Поэтому в организме существует специальная **антиоксидантная система**, важнейшей частью которой является **витамин Е (токоферол)**.

**Вопросы семинарского занятия см. в начале лекции!**

## Тема 22. МЕТАБОЛИЗМ ОТДЕЛЬНЫХ ГРУПП ВЕЩЕСТВ

### Вопросы лекции и семинарского занятия.

1. Общая характеристика и классификация углеводов. Функции углеводов в организме.
2. Строение и биологическая роль глюкозы и гликогена. Синтез и распад гликогена.
3. Пути катаболизма углеводов. Гексозодифосфатный путь расщепления глюкозы.
4. Гексозомонофосфатный путь распада углеводов.
5. Химическое строение и биологическая роль жиров и липоидов.
6. Переваривание и всасывание жиров.
7. Катаболизм жиров.
8. Синтез жиров.
9. Строение моноклеотидов.
10. Строение нуклеиновых кислот.
11. Переваривание нуклеиновых кислот. Катаболизм.
12. Синтез нуклеотидов.
13. Синтез нуклеиновых кислот.
14. Переваривание и всасывание белков.
15. Катаболизм белков.
16. Синтез белков.
17. Метаболизм аминокислот.
18. Азотистый баланс. Обезвреживание аммиака.

### 1. Общая характеристика и классификация углеводов. Функции углеводов в организме.

Углеводы составляют более 80% всех органических соединений биосферы Земли.

Исключительную роль в энергетическом обмене биосферы играет глюкоза. Именно этот углевод образуется в процессе фотосинтеза. И именно, глюкоза запускает энергетический обмен в нашем организме.

Углеводы делятся на три основных класса: *моносахариды, олигосахариды и полисахариды.*

**Моносахариды или простые сахара** не подвергаются гидролизу и получить из них более простые углеводы невозможно. К моносахаридам относятся: *рибоза, дезоксирибоза, глюкоза, фруктоза, галактоза и другие.*

**Олигосахариды** состоят из нескольких моносахаридов, соединенных ковалентными связями. При гидролизе они распадаются на входящие в них моносахариды. Примером олигосахаридов могут служить дисахариды, состоящие из двух молекул моносахаридов. Наиболее распространенные дисахариды *сахароза (пищевой или тростниковый сахар)*, состоящий из остатков глюкозы и фруктозы, *лактоза (молочный сахар)*, состоящий из остатков глюкозы и галактозы.

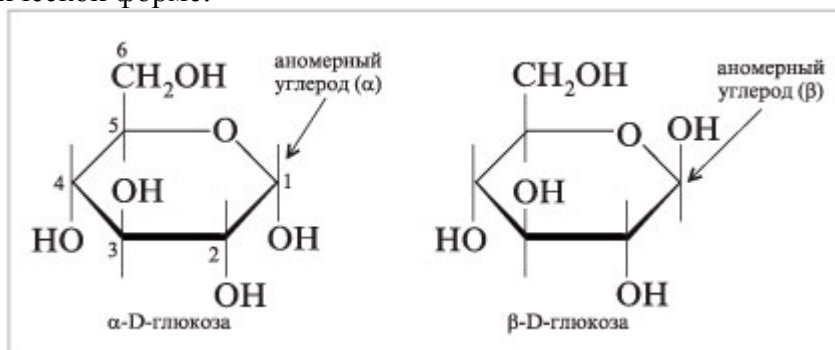
**Полисахариды** представляют собой длинные неразветвленные цепи. Включающие сотни и тысячи моносахаридных остатков. Наиболее известные из них – *крахмал, целлюлоза, гликоген* - состоят из остатков глюкозы.

Функции углеводов в организме весьма разнообразны.

1. Энергетическая.
2. Структурная функция (входят в состав клеточных структур).
3. Защитная (синтез иммунных тел в ответ на антигены).
4. Антисвертывающая (гепарин).
5. Гомеостатическая (поддержание водно-солевого обмена)
6. Механическая (входят в состав соединительных и опорных тканей).

## 2. Структура и биологическая роль глюкозы и гликогена. Синтез и распад гликогена.

Эмпирическая формула глюкозы  $C_6H_{12}O_6$ . Она может иметь различные пространственные формы. В организме человека глюкоза как правило находится в циклической форме:



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

*Глюкоза главный источник энергии в организме.*

Другим углеводом типичным для человека является **гликоген**. Состоит гликоген из сильно разветвленных молекул большого размера, содержащих десятки тысяч остатков глюкозы. Эмпирическая формула гликогена:  $(C_6H_{12}O_5)_n$  где  $n$  число остатков глюкозы.

Основные запасы гликогена сосредоточены в печени и мышцах.

*Гликоген является запасной формой глюкозы.*

В норме с пищей поступает 400 – 500 г углеводов. Это, главным образом, крахмал, клетчатка, сахароза, лактоза, гликоген. Переваривание углеводов происходит в разных частях пищеварительного тракта, начиная с ротовой полости. Осуществляют его ферменты **амилазы**. Единственный углевод, который не расщепляется в нашем организме – это клетчатка. Все остальные расщепляются до глюкозы, фруктозы, галактозы и т. д. и вовлекаются в процессы катаболизма. Значительная часть глюкозы превращается в печени в гликоген. Между приемами пищи часть гликогена в печени превращается в глюкозу, которая поступает в кровь.

Глюкоза, используемая для синтеза гликогена, предварительно активируется. Затем после ряда превращений образует гликоген. В этом процесс участвует нуклеотид УТФ (уридинтрифосфат), который по строению напоминает АТФ. В ходе реакций образуется промежуточное соединение – **уридиндифосфатглюкоза (УДФ-глюкоза)**. Именно это соединение образует молекулы гликогена, вступая в реакцию с так называемой **затравкой**. Затравкой служат имеющиеся в печени молекулы гликогена.

Реакции образования гликогена обеспечиваются энергией молекулами АТФ. Синтез гликогена ускоряется гормоном **инсулином**.

Распад гликогена в печени осуществляется в обратном порядке и в конечном итоге образуется глюкоза и фосфорная кислота. Этот процесс ускоряется гормонами **глюкагоном и адреналином**. Распад гликогена в мышцах стимулирует гормон адреналин, который выделяется в кровь во время мышечной работы. При этом в мышцах не образуется свободная глюкоза и путь расщепления гликогена несколько иной.

## 3. Катаболизм углеводов. Гексозодифосфатный путь расщепления глюкозы.

Катаболизм глюкозы осуществляется двумя путями.



- Основная часть углеводов (до 95%) подвергается распаду по **гексозодинофосфатному пути**. Именно этот путь является основным источником энергии для организма.
- Остальная часть глюкозы расщепляется через гексозомонофосфатный путь.

**ГДФ-путь** может протекать в условиях отсутствия кислорода – **анаэробно** и в присутствии кислорода, то есть в **аэробных условиях**. Это очень сложная цепь последовательных реакций, конечным результатом которой является образование **углекислого газа и воды**. Этот процесс можно разбить на три этапа, последовательно идущих друг за другом.

**Первый этап**, называемый **гликолизом**, происходит в цитоплазме клеток. Конечным продуктом этого этапа является **пировиноградная кислота**.

1. Реакция состоит в том, что глюкоза превращается в **глюкозо-6-фосфат**.



2. Глюкоза-6-фосфат превращается во фруктозо-6-фосфат

3. Фруктозо-6-фосфат переходит во фруктозо-1,6-фосфат

4. Далее из фруктозо-6-фосфата образуется фосфоглицериновый альдегид.

5. Затем из фосфоглицеринового альдегида образуется 1,3-дифосфоглицерат

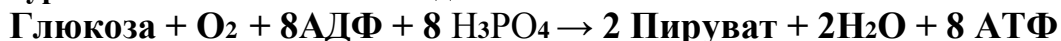
6. 1,3-дифосфоглицерат переходит в 3-фосфоглицерат,

7 который переходит в 2-фосфоглицерат, а затем

8 в фосфопируват, а тот

9 в пируват (пировиноградная кислота).

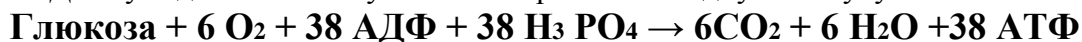
**Общее уравнение гликолиза выглядит так:**



Первый этап распада углеводов практически обратим. Из пирувата, а также из возникающего в анаэробных условиях лактата (молочная кислота), может синтезироваться глюкоза, а из неё гликоген.

**Второй и третий этапы ГДФ-пути** протекают в *митохондриях*. Эти этапы требуют присутствия кислорода. В ходе второго этапа от пировиноградной кислоты отщепляется **углекислый газ и два атома водорода**. Отщепленные атомы водорода по дыхательной цепи передаются на кислород с одновременным синтезом АТФ. Из пирувата же образуется **уксусная кислота**. Она присоединяется к особому веществу, **коферменту А**. Это вещество является переносчиком остатков кислот. Результатом этого процесса является образование вещества **ацетилкофермент А**. Это вещество обладает высокой химической активностью.

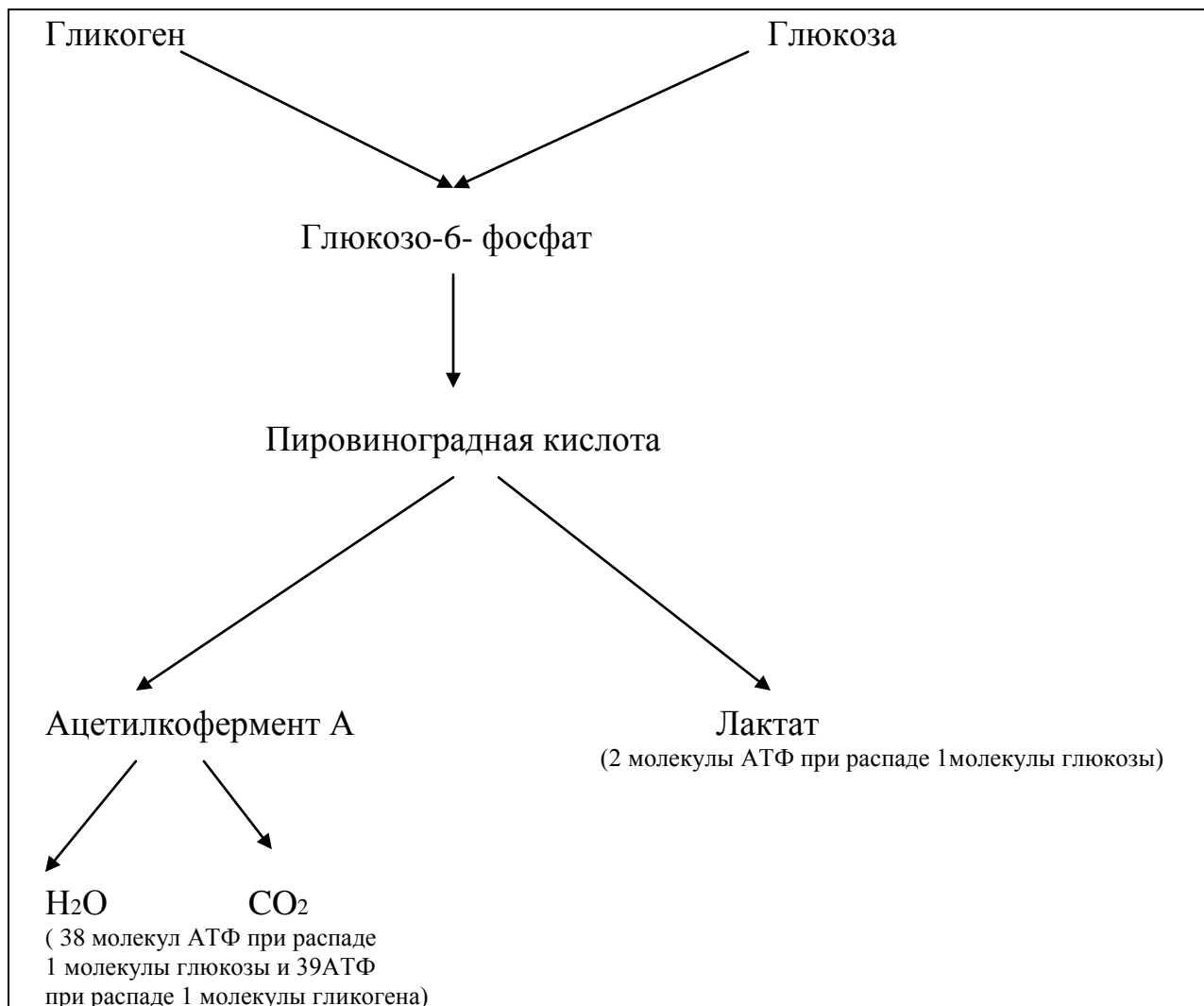
Ацетилкофермент А подвергается дальнейшему окислению в **цикле трикарбоновых кислот**. Это и есть **третий этап**. Первой реакцией цикла является взаимодействие ацетилкофермента А **со щавелево-уксусной кислотой** с образованием **лимонной кислоты**. Поэтому эти реакции и называют циклом лимонной кислоты. Образуя ряд промежуточных трикарбоновых кислот лимонная кислота вновь превращается в щавелево-уксусную и цикл повторяется. Результатом этих реакций является образование отщепленного водорода, которые, пройдя по дыхательной цепи (см. предыдущую лекцию), образует с кислородом воду. В результате всех этих реакции образуется 36 молекул АТФ. В сумме ГДФ-путь дает 38 молекул АТФ в пересчете на одну молекулу глюкозы



*Расщепление гликогена добавляет к этому уравнению еще одну молекулу АТФ,*

При недостатке кислорода аэробный путь прерывается образованием пирувата, который превращается в лактат. В результате таких превращений образуется лишь две молекулы АТФ.

Общая схема ГДФ-пути выглядит так:



#### 4. Гексозомонофосфатный путь распада углеводов.

Как уже подчеркивалось выше ГМФ-путь распада углеводов – побочный. Данный путь встречается в надпочечниках, эритроцитах, жировой ткани, печени и протекает в цитоплазме клеток.

ГМФ-путь распада глюкозы имеет анаболическое назначение и обеспечивает различные реакции синтеза **рибозой и водородом**.

ГМФ-путь можно разделить на два этапа, причем, первый этап протекает обязательно, а второй не всегда.

**Первый этап** начинается с перехода глюкозы в активную форму глюкозо-6-фосфат, от которого затем отщепляется молекула углекислого газа и две пары атомов водорода, присоединившиеся к коферменту НАДФ (никотинамидадениндинуклеотидфосфат). Конечным продуктом первого этапа является **рибозо-5-фосфат**.

Образовавшийся в результате первого этапа НАДФ·Н<sub>2</sub> поставляет атомы водорода в различные процессы синтеза, в частности для синтеза жирных кислот и холестерина.

Рибозо-5-фосфат используется для синтеза нуклеотидов, из которых образуются затем нуклеиновые кислоты и коферменты.

**Второй этап** протекает тогда, когда рибозо-5-фосфат полностью не расходуется для синтеза. Неиспользованные молекулы этого вещества вступают во взаимодействия друг с другом, в ходе которых они обмениваются группами атомов и в качестве промежуточных продуктов появляются моносахариды с различным числом атомов углерода, такие как триозы, пентозы, тетрозы, гексозы. В конечном итоге из шести молекул рибозо-5-фосфата образуется 5 молекул глюкозо-6-фосфата.

Таким образом, второй этап делает данный способ распада глюкозы циклическим, поэтому его называют **пентозным циклом**.

Пентозный цикл – это резервный путь энергетического обмена, который в ряде случаев может выдвигаться на первые роли

### § 5. Химическое строение и биологическая роль жиров и липоидов.

Жиры или липиды – это группа разнообразных по строению веществ, обладающих одинаковыми физико-химическими свойствами: они не растворимы в воде, но хорошо растворимы в органических растворителях (бензол, толуол, бензин, гексан и др.)

Жиры делятся на две группы – **собственно жиры или липиды и жироподобные вещества или липоиды**.

Молекула жира состоит из **глицерина и трех остатков жирных кислот**, соединенных сложноэфирной связью. Это так называемые **истинные жиры или триглицериды**.

Жирные кислоты, входящие в состав жиров делятся на *предельные и непредельные*. Первые не имеют двойных связей и называются ещё *насыщенными*, а вторые имеют двойные связи и называются *ненасыщенными*. Есть ещё *полиненасыщенные* жирные кислоты, имеющие две и более двойные связи. Такие жирные кислоты в организме человека не синтезируются и должны обязательно поступать с пищей, так как являются для синтеза некоторых важных липоидов. Чем больше двойных связей, тем ниже температура плавления жира. Ненасыщенные жирные кислоты делают жиры более жидкими. Их много содержится в растительном масле.

Жиры разного происхождения отличаются набором жирных кислот, входящих в их состав.

Жиры нерастворимы в воде. Однако, в присутствии особых веществ – эмульгаторов – жиры при смешивании с водой образуют устойчивую смесь – эмульсию. Пример эмульсии – молоко, а пример эмульгатора – мыла – натриевые соли жирных кислот. В организме человека в роли эмульгаторов выступают желчные кислоты и некоторые белки.

В организме животных и человека можно выделить три класса липоидов.

1. **Фосфолипиды**, состоящие из жирных кислот, спирта и обязательно фосфорной кислоты.

2. **Гликолипиды**, состоящие из жирной кислоты, спирта и какого-нибудь простого углевода, чаще всего галактозы.

3. **Стероиды**, содержащие сложное стерановое кольцо.

Значение жиров и стероидов в организме очень велико.

- Жиры являются важным источником энергии. Из одного грамма жира организм извлекает около 9 ккал энергии, что в 2 раза больше, чем из 1 г углеводов.
- Жиры защищают организм от переохлаждения и механических воздействий (например ударов).
- Жирные кислоты и липоиды входят в состав многих гормонов.
- Липоиды являются важнейшими компонентами клеточных мембран.
- Под воздействием УФ-излучения из липоида – холестерина образуется витамин D.

## 6. Переваривание и всасывание жиров.

В суточном рационе обычно содержится 80- 100 г жиров. Переваривание жира в организме человека происходит в тонком кишечнике. Жиры предварительно с помощью желчных кислот превращается в эмульсию. В процессе эмульгирования крупные капли жира превращаются в мелкие, что значительно увеличивает их суммарную поверхность. Ферменты сока поджелудочной железы – липазы, являясь белками, не могут проникать внутрь капель жира и расщепляют только молекулы жира, находящиеся на поверхности. Поэтому увеличение общей поверхности капель жира за счет эмульгирования значительно повышает эффективность действия этого фермента. Под действием липазы жир путем гидролиза расщепляется до **глицерина и жирных кислот**.

Поскольку в пище присутствуют разнообразные жиры, то в результате их переваривания образуется большое количество разновидностей жирных кислот.

Продукты расщепления жира всасываются слизистой тонкого кишечника. Глицерин растворим в воде, поэтому его всасывание происходит легко. Жирные кислоты, нерастворимые в воде, всасываются в виде комплексов с желчными кислотами (комплексы, состоящие из жирных и желчных кислот, называются холеиновыми кислотами) В клетках тонкой кишки холеиновые кислоты распадаются на жирные и желчные кислоты. Желчные кислоты из стенки тонкого кишечника поступают в печень и затем снова выделяются в полость тонкого кишечника.

Освободившиеся жирные кислоты в клетках стенки тонкого кишечника вновь соединяются с глицерином, в результате чего вновь образуется молекула жира. Но в этот процесс вступают только жирные кислоты, входящие в состав жира человека. Таким образом, синтезируется человеческий жир. Такая перестройка пищевых жирных кислот в собственные жиры называется **ресинтезом жира**.

Ресинтезированные жиры по лимфатическим сосудам минуя печень поступают в большой круг кровообращения и откладываются в запас в жировых депо. Главные жировые депо организма располагаются в подкожной жировой клетчатке, большом и малом сальниках, околопочечной капсуле.

## 7. Катаболизм жиров.

Использование жира в качестве источника энергии начинается с его выхода из жировых депо в кровяное русло. Этот процесс называется **мобилизация жира**. Мобилизация жира ускоряется под действием симпатической нервной системы и гормона адреналина.

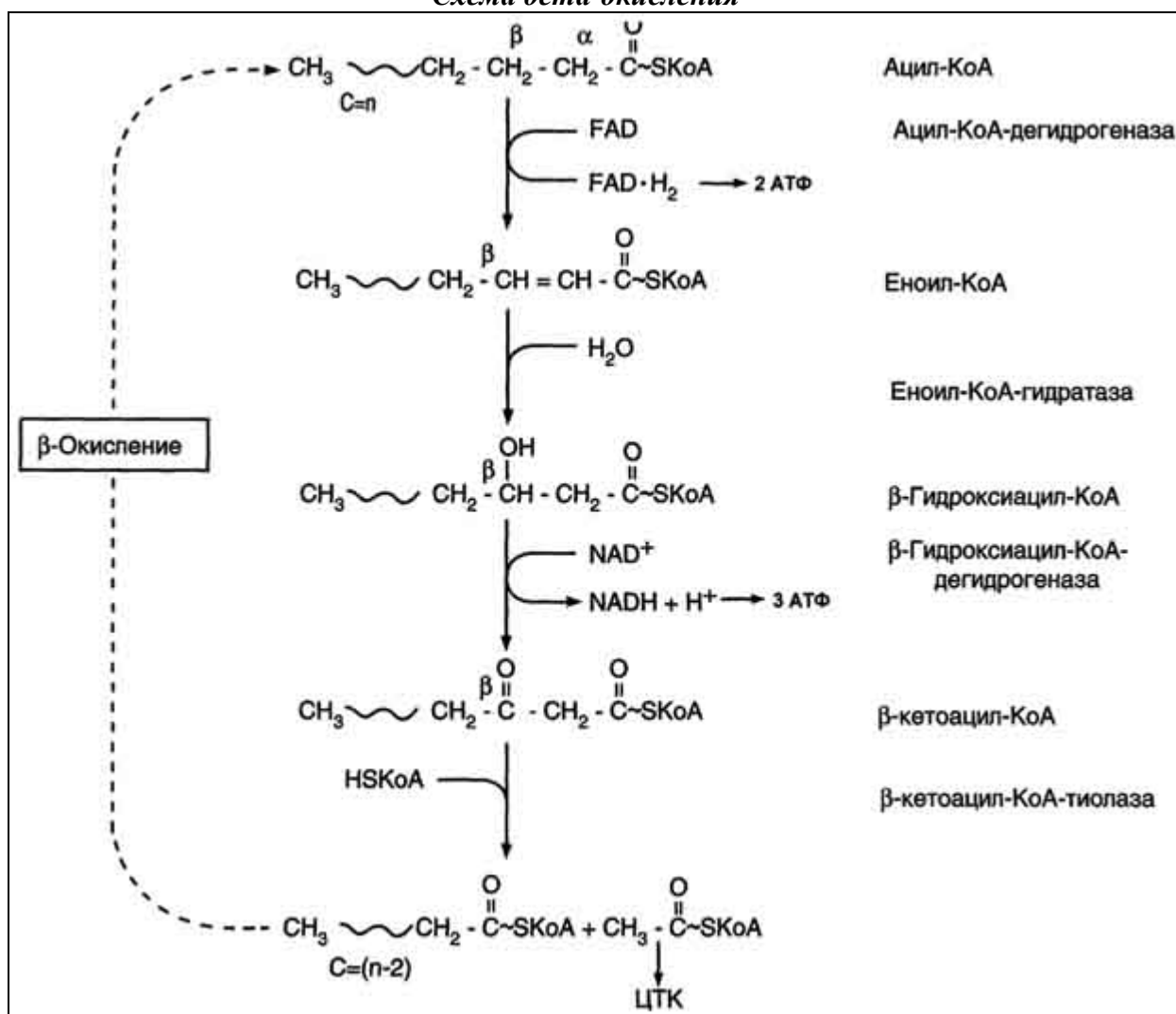
В печени происходит гидролиз жира до глицерина и жирных кислот.

**Глицерин** легко переходит в **фосфоглицериновый альдегид**. Это вещество является также промежуточным продуктом углеводов в поэтому легко вовлекается в углеводный обмен.

**Жирные кислоты** соединяются с **коферментом А** и образуют соединение **ацилкофермент А (ацил-КоА)**. эти процессы происходят в цитоплазме. Далее ацил-КоА передает жирную кислоту корнетину. **Корнетин** переносит жирную кислоту внутрь митохондрии и вновь отдает ее коферменту А, но в этот раз митохондриальному. В митохондриях окисление жирных кислот проходит в два этапа.

**Первый этап –  $\beta$ -окисление.** Окислению подвергается углеродный атом жирной кислоты, находящийся в положении «бета». От жирной кислоты, связанной с КоА, дважды отщепляется по два атома водорода, которые затем по дыхательной цепи передаются на молекулярный кислород. В итоге образуется вода и образуется пять молекул АТФ. Этот процесс повторяется многократно, пока жирная кислота полностью не превратится в ацетил-КоА.

### Схема бета-окисления



**Второй этап окисления – цикл трикарбоновых кислот**, в котором происходит дальнейшее окисление остатка уксусной кислоты, входящей в ацетилкофермент А, до углекислого газа и воды. При окислении одной молекулы ацетилкофермента А выделяется до 12 молекул АТФ. Таким образом, окисление жирных кислот до углекислого газа и воды дает большое количество энергии. Например, из одной молекулы **пальмитиновой кислоты** (C<sub>15</sub> H<sub>31</sub>COOH) образуется 130 молекул АТФ. Однако, в силу особенностей строения жирных кислот (слишком много атомов углерода по сравнению с кислородом) их окисление существенно затруднено по сравнению с углеводами. Поэтому жир обеспечивает организм энергией при работе средней мощности, но зато продолжительной. Отсюда вывод, *чтобы сжигать жир нужно осуществлять работу средней мощности, но продолжительную.*

При продолжительных физических нагрузках и избыточном образовании ацетилкофермента А, происходит реакция конденсации уксусной кислоты с образованием кетоновых тел. В мышцах, почках и миокарде эти тела вновь переходят в ацетилкофермент А. Таким образом кетоновые тела играют важную роль при длительных спортивных тренировках. Однако при перетренировке они могут образовывать в крови ацетон, который выделяется с потом, мочой и выдыхаемым воздухом.



**Схема. Активация синтеза кетонových тел при голодании.** Точечные линии - скорость метаболических путей снижена; сплошные линии - скорость метаболических путей повышена. При голодании в результате действия глюкагона активируются липолиз в жировой ткани и β-окисление в печени. Количество оксалоацетата в митохондриях уменьшается, так как он, восстановившись до малата, выходит в цитозоль, где опять превращается в Оксалоацетат и используется в глюконеогенезе. В результате скорость реакций ЦТК снижается и, соответственно, замедляется окисление ацетил-КоА. Концентрация ацетил-КоА в митохондриях увеличивается, и активируется синтез кетонových тел. Синтез кетонových тел увеличивается также при сахарном диабете

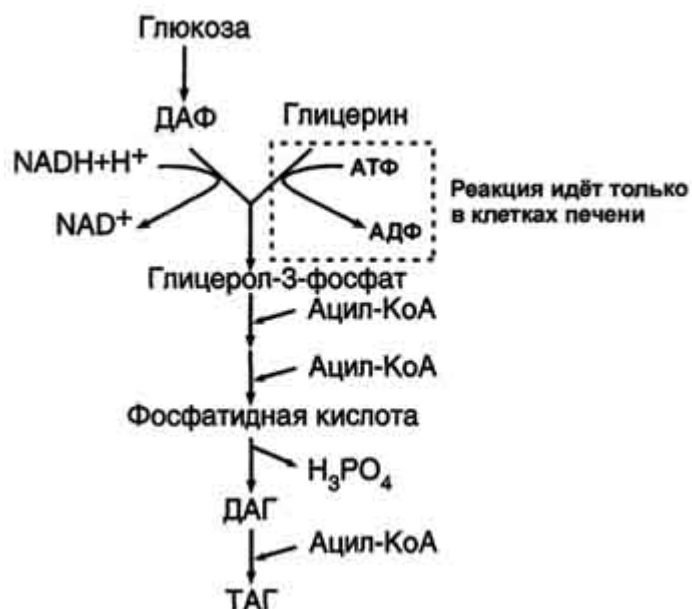
## 8. Синтез жиров

Синтезируются жиры из глицерина и жирных кислот.

Глицерин в организме возникает при распаде жира (пищевого и собственного), а также легко образуются из углеводов.

Жирные кислоты синтезируются из ацетилкофермента А. Ацетилкофермент А – универсальный метаболит. Для его синтеза необходимы водород и энергия АТФ. Водород же получается из НАДФ.Н<sub>2</sub>. В организме синтезируются только насыщенные и мононасыщенные (имеющие одну двойную связь) жирные кислоты. Жирные кислоты, имеющие две и более двойных связей в молекуле, называемые полинасыщенные, в организме не синтезируются и должны поступать с пищей. Для синтеза жира могут быть использованы жирные кислоты – продукты гидролиза пищевого и собственного жиров.

Все участники синтеза жира должны быть в активном виде: глицерин в форме **глицерофосфата**, а жирные кислоты в форме **ацетилкофермента А**. Синтез жира осуществляется в цитоплазме клеток (преимущественно жировой ткани, печени, тонкой кишки). Пути синтеза жиров представлены в схеме.



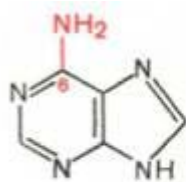
Следует отметить, что глицерин и жирные кислоты могут быть получены из углеводов. Поэтому при избыточном потреблении их на фоне малоподвижного образа жизни развивается ожирение.

## 9. Строение мононуклеотидов.

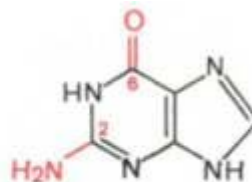
По своему строению нуклеиновые кислоты являются **полинуклеотидами**, состоящими из **мононуклеотидов** или **нуклеотидов**.

Нуклеотид сложное органическое соединение, состоящее из трех частей: **азотистого основания, углевода и остатков фосфорной кислоты**.

Азотистые основания - это гетероциклические органические соединения, относящиеся к двум классам – **пурины и пиримидины**. Из пуринов в состав нуклеиновых кислот входят **аденин и гуанин**

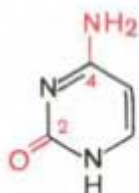


Аденин

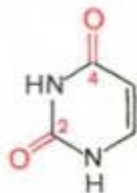


Гуанин

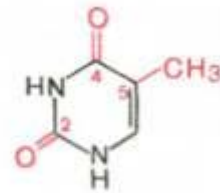
А из пиримидинов **цитозин**, **тимин**(ДНК) и **урацил**(РНК) .



Цитозин

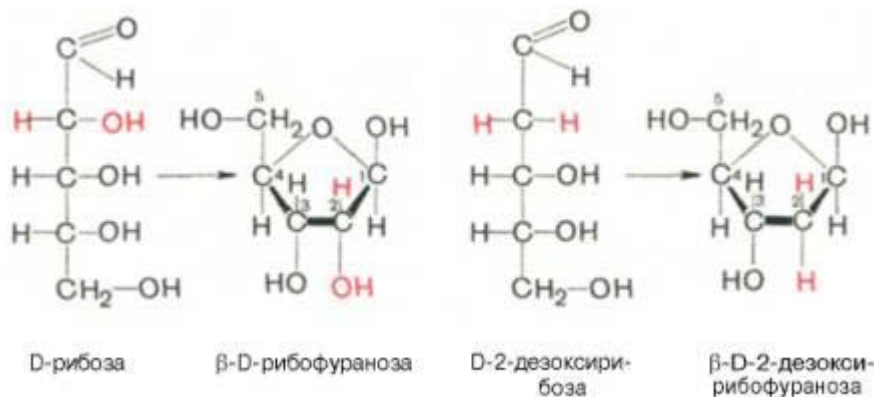


Урацил



Тимин

Углеродом, входящим в состав нуклеотидов может быть **рибоза** (РНК) и **дезоксирибоза** (ДНК)



D-рибоза

β-D-рибофураноза

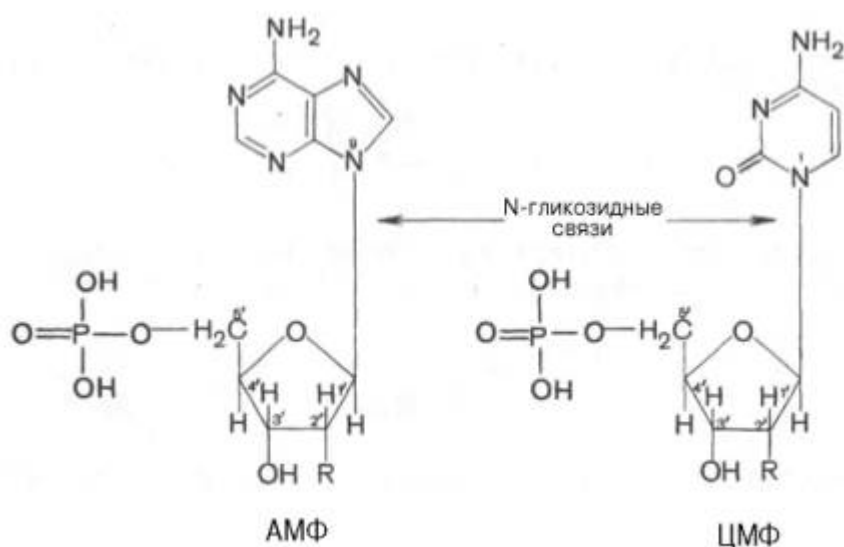
D-2-дезоксирибоза

β-D-2-деоксирибофураноза

Азотистое основание, связанное с углеводом называется **нуклеозидом**.

Фосфорная кислота присоединяется эфирной связью к пятому атому углерода рибозы или дезоксирибозы. Нуклеотиды, входящие в состав нуклеиновых кислот имеют один остаток фосфорной кислоты и называются **моонуклеотидами**. Однако в клетке встречаются ди- и тринуклеотиды.





Например, нуклеотид, состоящий из аденина, рибозы и одного остатка фосфорной кислоты называется аденозинмонофосфат или АМФ, а из цитозина и одного остатка фосфорной кислоты цитозинмонофосфат или ЦМФ.

### 10. Строение нуклеиновых кислот.

С точки зрения химии нуклеиновые кислоты – нерегулярные полимеры, состоящие из довольно сложно устроенных мономеров, называемых нуклеотидами.

Нуклеиновых кислот в клетках встречается два класса – ДНК и РНК. **ДНК – дезоксирибонуклеиновая кислота, а РНК – рибонуклеиновая кислота.**

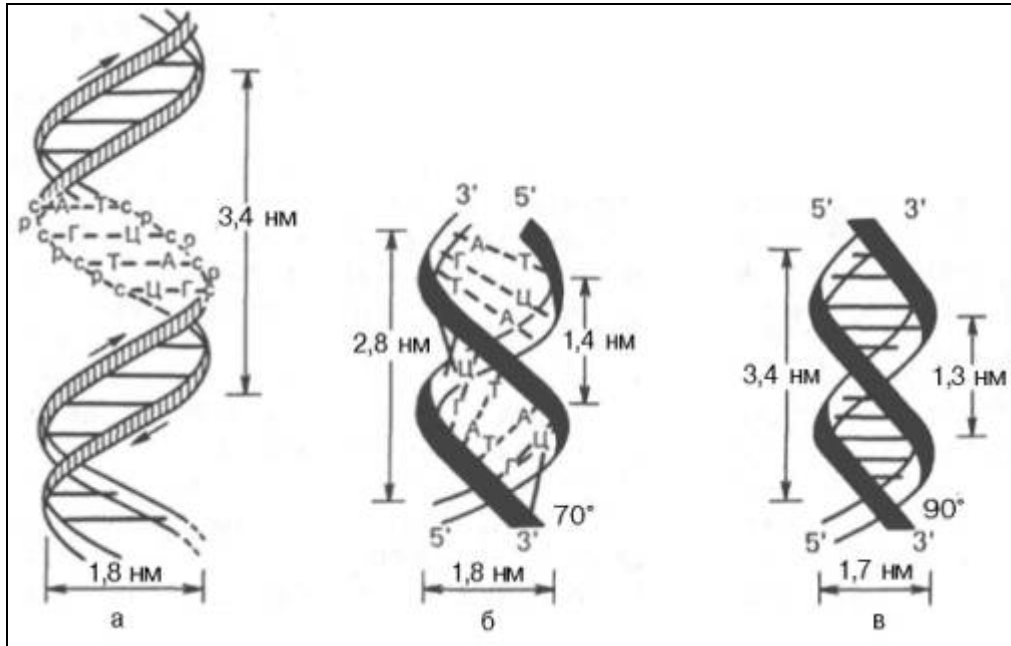
Структура ДНК очень сложна и своеобразна. Каждый нуклеотид, из которого состоит ДНК, состоит из остатков сахара дезоксирибозы, остатка фосфорной кислоты и азотистого основания. Азотистых оснований четыре разновидности: *аденин, гуанин, цитозин, и тимин*. Нуклеотиды соединены в длинные цепи с помощью фосфорно-диэфирных связей.

В 1953 году исследователи Джеймс Уотсон и Френсис Крик предложили модель, которая объясняла строение молекулы ДНК. Согласно их теории ДНК состоит из двух спиральных цепей, соединенных водородными связями. Азотистые основания обеих цепей находятся внутри спирали и образуют водородные связи. Эти связи соединяют цепи ДНК не случайным образом, а по принципу *комплементарности или соответствия*. Суть этого принципа в следующем, если в одной цепи стоит **тимин**, то в противоположной цепи, ему соответствует **аденин**, а против **гуанина** всегда стоит **цитозин**. Это значит, что при удвоении ДНК на каждой из её цепей может быть построена другая, и вместо одной молекулы получатся сразу две.

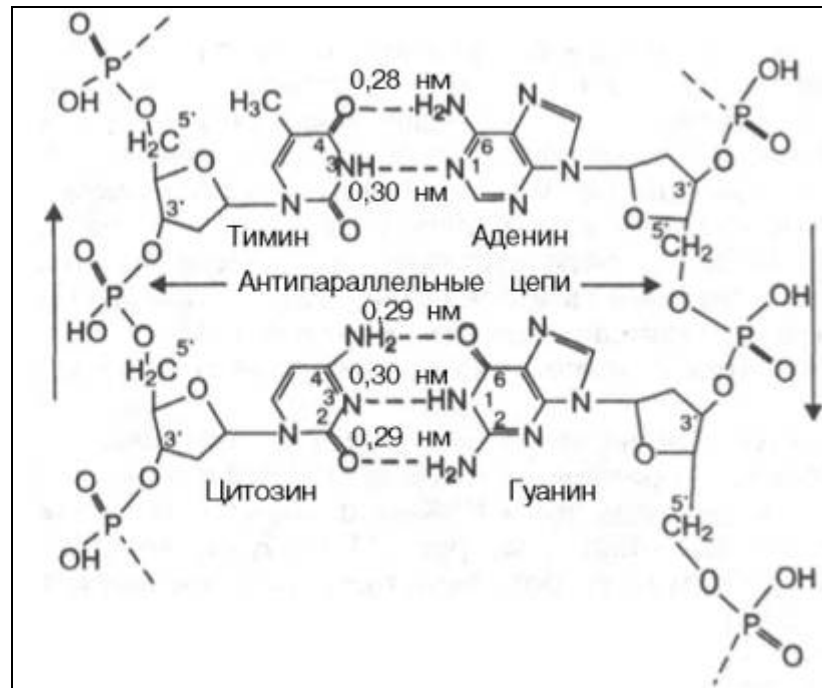
Принцип комплементарности лежит в основе всех процессов связанных с реализацией генетической информации: *репликации ДНК (удвоения ДНК), транскрипции (синтеза РНК на ДНК матрицах), и трансляции (биосинтеза белка на основе матриц РНК)*.

*На схемах ниже продемонстрирована структура ДНК и принцип комплементарности.*

## Структура ДНК



### Принцип комплементарности.



Помимо ДНК в клетках встречаются три разновидности РНК: информационные (*i*-РНК), транспортные (*t*-РНК) и рибосомные (*r*-РНК). Все они отличаются от ДНК рядом особенностей. Во-первых, вместо азотистого основания тимина они содержат урацил. Во-вторых, вместо сахара дезоксирибозы они содержат рибозу. В-третьих, они, как правило, односпиральные.

## 11. Переваривание и всасывание нуклеиновых кислот. Катаболизм.

С пищей в сутки в организм поступает около 1 г нуклеиновых кислот.

Переваривание нуклеиновых кислот происходит в тонком кишечнике. Сначала, поступившие с пищей нуклеиновые кислоты под действием ферментов панкреатического сока – нуклеаз – превращаются в мононуклеотиды. Затем уже под влиянием ферментов тонкого кишечника от мононуклеотидов отщепляется фосфорная кислота, и образуются нуклеозиды. Часть нуклеозидов расщепляется затем на азотистое основание и углевод.

Продукты переваривания нуклеиновых кислот поступают в кровь, а затем в печень и другие органы.

В клетках организмов обмен РНК протекает значительно более интенсивно, чем обмен ДНК. В конечном итоге нуклеиновые кислоты расщепляются на азотистые основания, углеводы и фосфорную кислоту.

Далее **пуриновые** азотистые основания в процессе катаболизма теряют аминогруппу в виде аммиака, окисляются и превращаются в **мочевую кислоту**.

**Пиримидиновые** основания подвергаются более глубокому расщеплению до **углекислого газа, воды и аммиака**.

**Углеводы** вовлекаются в ГМФ-путь распада и превращаются в глюкозу.

**Фосфорная кислота** распаду не подвергается. Она используется в реакциях фосфорилирования и фосфолиза или при избытке выделяется из организма с мочой.

## 12. Синтез нуклеотидов.

Все клетки организма способны синтезировать необходимые нуклеиновые кислоты и не нуждаются в наличии в пище готовых нуклеиновых кислот или их составных частей. Поэтому содержание готовых нуклеиновых кислот в пище для организма принципиального значения не имеет, хотя продукты их распада могут частично использоваться организмом.

**Синтез** пуриновых и пиримидиновых нуклеотидов происходит на основе рибозо-5-фосфата. из глюкозы при её распаде по ГМФ-пути. Свободные азотистые основания обычно для этого синтеза не используются.

При синтезе пуриновых нуклеотидов к рибозо-5-фосфату присоединяются атомы углерода и азота, из которых образуется пуриновое кольцо. Источниками этих атомов являются аминокислоты **глицин, глутамин, аспарагиновая кислота**. Часть атомов углерода поставляется коферментами, содержащими в своём составе фолиевую кислоту и биотин. Промежуточным продуктом синтеза пуриновых нуклеотидов является **инозиновая кислота**. Далее из инозиновой кислоты образуются пуриновые нуклеотиды.

Синтезу пиримидиновых нуклеотидов предшествует образование необычного азотистого основания **оротовой кислоты**, содержащей пиримидиновое кольцо. Синтезируется оротовая кислота из аммиака и аспарагиновой кислоты. Оротовая кислота присоединяется к рибозо-5-фосфату и возникает пиримидиновый нуклеотид **оротидинмонофосфат**. Далее оротовая кислота в составе этого нуклеотида преобразуется в обычные азотистые основания, в результате чего появляются пиримидиновые нуклеотиды.

В связи с высокой важностью оротовой кислоты в спортивной практике в качестве пищевой добавки используется её соль **оротат калия**.

**Дезоксирибонуклеотиды** образуются из соответствующих рибонуклеотидов путём восстановления входящей в них рибозы в дезоксирибозу.

### 13. Синтез нуклеиновых кислот.

Для синтеза нуклеиновых кислот используются монопнуклеотиды обязательно в трифосфатной форме. Такие нуклеотиды содержат в своей молекуле три остатка фосфорной кислоты и обладают повышенным запасом энергии. Переход нуклеотидов в трифосфатную форму осуществляется путем взаимодействия с АТФ. Для синтеза РНК используются АТФ, ГТФ, УТФ, ЦТФ. А для синтеза ДНК, соответственно, дАТФ, дГТФ, дТТФ, дЦТФ.

**Процесс репликации или редупликации** ДНК иначе можно назвать удвоением. Он происходит перед делением клетки. Осуществляет его специальный фермент ДНК полимеразы. Этот фермент разделяет две цепи двойной спирали и достраивает к каждой из них комплементарную ей цепь. Таким образом, из одной молекулы образуется две одинаковые дочерние молекулы, причем обе цепи ДНК служат матрицами для дочерних цепей. По мере присоединения к матрице нуклеотиды связываются в полинуклеотидные нити, которые сразу же закручиваются в двойную спираль. Биологический смысл репликации состоит в том, что из одной молекулы ДНК появляются две ее полные копии. Процесс этот идет с очень высокой точностью – ошибки крайне редки.

Процесс синтеза РНК называется **транскрипцией**. Процесс образования белков на матрицах информационной РНК называется **трансляцией**.

**Транскрипцию** осуществляет фермент РНК-полимеразы. Этот фермент соединяет между собой рибонуклеотиды, составляющие остов молекулы РНК. Делает это фермент на основании считывания последовательности молекулы ДНК и, достраивая комплементарные ей последовательности. Показано, что в этом процессе только одна из двух цепей ДНК играет роль матрицы. Бывают, правда, и исключения – это ДНК некоторых вирусов. В процессе транскрипции участвует только ограниченный участок ДНК. Именно этот участок ДНК и понимают в молекулярной биологии, как ген.

### 14. Переваривание и всасывание белков.

В сутки с пищей поступает около 100 г белков. Переваривание белков осуществляют **протеолитические ферменты** желудочного панкреатического и кишечного соков.

Расщепление пищевых белков начинается в полости желудка под действием желудочного сока. Желудочный сок содержит фермент **пепсин**. Вначале пепсин активируется при этом в его предшественнике – пепсиногене – открывается активный центр. Этот механизм активации называется аутокатализ. Образование активного центра в полости желудка предупреждает нежелательное воздействие этого фермента на белки клеток желудка, где происходит его образование. Муцин, покрывающий защитным слоем поверхность пищеварительного тракта, устойчив к действию пепсина.

Под воздействием пепсина в пищевых белках расщепляются пептидные связи, находящиеся в глубине молекул. В результате такого действия пепсина белковые молекулы превращаются в смесь полипептидов различной длины, которую иногда называют пептон. Тепловая переработка пищи вызывает денатурацию белков, то есть изменение пространственной формы белковой молекулы. Это делает внутренние пептидные связи более доступными для пепсина и других протеолитических ферментов.

В состав желудочного сока входит и соляная кислота. Она также способствует активизации пепсина. Кроме того, она создает оптимальную для действия пепсина сильноокислую среду. Соляная кислота также вызывает денатурацию пищевых белков, что

способствует облегчению действия пепсина. Наконец, соляная кислота обладает бактерицидным действием, обезвреживает пищу от микроорганизмов.

Дальнейшее переваривание белков протекает в тонком кишечнике. Из желудка поступает полипептидная смесь, состоящая из фрагментов разной величины и длины. В тонком кишечнике эта смесь вначале подвергается действию ферментов поджелудочной железы (трипсина, химотрипсина, эластазы). Эти ферменты расщепляют полипептиды, поступившие в кишечник до ди- и трипептидов. Причем, эластаза расщепляет прочные белки – коллаген и эластин. Таким образом, возникают олигопептиды.

Завершается переваривание белков в тонком кишечнике под действием ферментов кишечного сока. Эти ферменты встроены в стенки микроворсинок и выделяются в полость кишечника. Выделяют два типа переваривания **пристеночное и полостное**. Аминокислоты, возникающие на поверхности микроворсинок, сразу всасываются в кровь. Незначительная часть аминокислот всасывается в лимфатическую систему. Всасывание аминокислот процесс активный, идущий с затратами АТФ,

## 15. Катаболизм белков.

Внутри клеток также имеются протеолитические ферменты – **внутриклеточные протеиназы или катепсины**. Эти ферменты сосредоточены в специальных органоидах клетки – **лизосомах**. Мембраны, окружающие лизосомы непроницаемы для ферментов, но они пропускают белки внутрь, чтобы подвергнуть их протеолизу. Белки, которые необходимо подвергнуть протеолизу, расщепляются в лизосомах до отдельных аминокислот.

Кроме того, в цитоплазме клеток имеются особые мультиферментные комплексы – протеосомы, предназначенные для избирательного расщепления белков, которых не должно быть в клетках. Это чужеродные и дефектные белки, а также молекулы, присутствие которых ограничено во времени.

Для предотвращения нежелательного переваривания белков в цитоплазме имеются особые белки – эндогенные ингибиторы протеиназ. Ингибиторов такого рода особенно много в плазме крови.

В сутки внутриклеточному протеолизу подвергается от 200 до 300 г собственных белков.

Глубокий распад белков, сопровождающийся расщеплением всех пептидных связей и приводящий к образованию аминокислот, называется **тотальным протеолизом**.

В некоторых случаях под действием протеолитических ферментов в молекуле белка избирательно расщепляется лишь одна пептидная связь между строго определенными аминокислотами и от белка отщепляется часть его молекулы – полипептид. Такой распад белков называют **ограниченный протеолиз**. Примером ограниченного протеолиза является превращение проферментов в действующие ферменты: переход неактивных форм факторов свертывания крови в активные.

## 16. Синтез белков.

В синтезе белков из аминокислот можно выделить три этапа.

Первый этап – **транскрипция** – был описан в предыдущей теме. Он состоит в образовании молекул РНК на матрицах ДНК. Для синтеза белка особое значение имеет синтез матричных или информационных РНК, так как здесь записана информация о

будущем белке. Транскрипция протекает в ядре клеток. Затем с помощью специальных ферментов, образовавшаяся матричная РНК перемещается в цитоплазму.

Второй этап называется **рекогниция**. Аминокислоты избирательно связываются с своими переносчиками *транспортными РНК*.

Все т-РНК построены сходным образом. Молекула каждой т-РНК представляет собой полинуклеотидную цепь, изогнутую в виде «клеверного листа». Молекулы т-РНК устроены таким образом, что имеют разные концы, имеющие сродство и с м-РНК (антикодон) и с аминокислотами. Т-РНК имеет в клетке 60 разновидностей.

Для соединения аминокислот с транспортными РНК служит особый фермент *т-РНК синтетаза* или, точнее, *амино-ацил – т-РНК синтетаза*.

Третий этап биосинтеза белка называется трансляция. Он происходит на рибосомах. Каждая рибосома состоит из двух частей – большой и малой субъединиц. Они состоят из рибосомных РНК и белков.

Трансляция начинается с присоединения матричной РНК к рибосоме. Затем к образовавшемуся комплексу начинают присоединяться т-РНК с аминокислотами. Присоединение это происходит путем связывания антикодона т-РНК к кодону информационной РНК на основании принципа комплементарности. Одновременно к рибосоме могут присоединиться не более двух т-РНК. Далее аминокислоты соединяются друг с другом пептидной связью, образуя постепенно полипептид. После этого рибосома передвигает информационную РНК ровно на один кодон. Дальше процесс повторяется снова до тех пор пока информационная РНК не закончится. На конце и-РНК находятся бессмысленные кодоны, которые являются точками в записи и одновременно командой для рибосомы, что она должна отделиться от и-РНК

Таким образом, можно выделить несколько особенности биосинтеза белков.

1. Первичная структура белков формируется строго на основе данных записанных в молекулах ДНК и информационных РНК,

2. Высшие структуры белка (вторичная, третичная, четвертичная) возникают самопроизвольно на основе первичной структуры.

3. В некоторых случаях полипептидная цепь после завершения синтеза подвергается незначительной химической модификации, в результате чего в ней появляются неcodируемые аминокислоты, не относящиеся к 20 обычным. Примером такого превращения является белок коллаген, где аминокислоты лизин и пролин превращаются в оксипролин и оксилизин.

4. Синтез белков в организме ускоряется соматотропным гормоном и гормоном тестостероном.

5. Синтез белков очень энергоемкий процесс, требующий огромного количества АТФ.

6. Многие антибиотики подавляют трансляцию.

## 17. Метаболизм аминокислот.

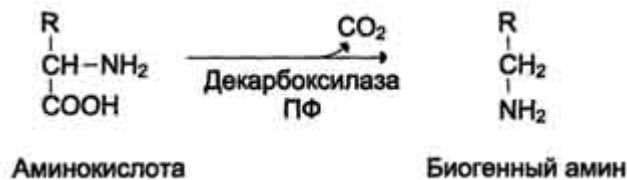
Аминокислоты могут использоваться для синтеза различных небелковых соединений. Например, из аминокислот синтезируется глюкоза, азотистые основания, небелковая часть гемоглобина – гем, гормоны – адреналин, тироксин и такие важные соединения, как креатин, карнитин, принимающие участие в энергетическом обмене.

Часть аминокислот подвергается распаду до углекислого газа, воды и аммиака.

Распад начинается с реакций общих для большинства аминокислот.

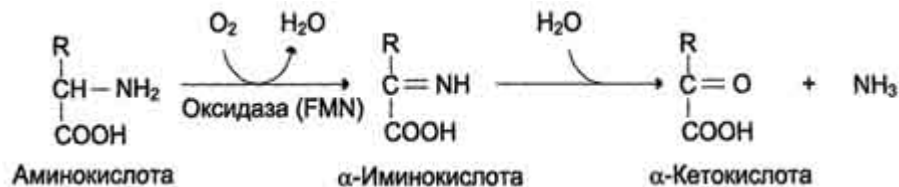
К ним относятся.

**1. Декарбоксилирование** - отщепление от аминокислот карбоксильной группы в виде углекислого газа.

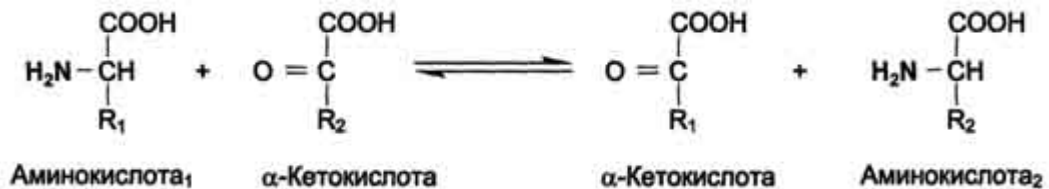


Так, например, образуется гистамин из аминокислоты гистидина. Гистамин – важное сосудорасширяющее вещество.

**2. Дезаминирование** - отщепление аминогруппы в виде  $\text{NH}_3$ . У человека дезаминирование аминокислот идет окислительным путем.



**3. Трансаминирование** – реакция между аминокислотами и  $\alpha$ -кетокислотами. В ходе этой реакции её участники обмениваются функциональными группами.



Трансаминированию подвергаются все аминокислоты. Этот процесс – главное превращение аминокислот в организме, так как у него скорость значительно выше, чем у двух первых описанных реакций.

Трансаминирование выполняет две основные функции.

1. За счет этих реакций одни аминокислоты превращаются в другие. При этом общее количество аминокислот не меняется но меняется общее соотношение между ними в организме. С пищей в организм поступают чужеродные белки, у которых аминокислоты находятся в иных пропорциях. Путем трансаминирования происходит корректировка аминокислотного состава организма.

2. Трансаминирование является составной частью процесса **косвенного дезаминирования аминокислот** – процесса, с которого начинается распад большинства аминокислот.



В результате трансаминирования образуются  $\alpha$ -кетокислоты и аммиак. Первые разрушаются до углекислого газа и воды. Аммиак для организма высокотоксичен. Поэтому в организме существуют молекулярные механизмы его обезвреживания.

### 18. Азотистый баланс. Пути обезвреживания аммиака.

**Азотистый баланс.** Состояние белкового обмена можно оценить по азотистому балансу, то есть по соотношению между азотом, поступающим в организм с пищей и азотом, который выводится из организма в составе пота, слюны и мочи.

Взрослый человек при обычном питании находится в состоянии азотистого равновесия (азота выводится столько же, сколько поступает с пищей). Это свидетельствует об одинаковой скорости синтеза и распада белков.

При положительном азотистом балансе с пищей азота поступает больше, чем выводится. В этом случае синтез белков протекает с более высокой скоростью, чем распад. Положительный азотистый баланс наблюдается у растущего организма, а также у спортсменов, наращивающих мышечную массу.

При отрицательном азотистом балансе (азота выводится больше, чем поступает) белков в организме распадается больше, чем образуется. Такой баланс характерен для длительного белкового голодания.

#### **Пути обезвреживания аммиака.**

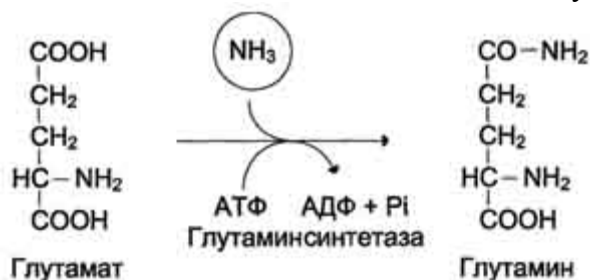
В таблице показаны основные источники выделения аммиака в организме.

**Таблица. Основные источники аммиака**

<b>Источник</b>	<b>Процесс</b>	<b>Ферменты</b>	<b>Локализация процесса</b>
Аминокислоты	Непрямое дезаминирование (основной путь дезаминирования аминокислот)	Аминотрансферазы, ПФ Глутаматдегидрогеназа, НАД+	Все ткани
	Окислительное дезаминирование глутамата	Глутаматдегидрогеназа, НАД+	Все ткани
	Неокислительное дезаминирование Гис, Сер, Тре	Гистидаза-Серин, треониндегидратазы, ПФ	Преимущественно печень
	Окислительное дезаминирование аминокислот (малозначимый путь дезаминирования)	Оксидаза L-аминокислот, ФМН	Печень и почки
Биогенные амины	Окислительное дезаминирование (путь инактивации биогенных аминов)	Аминооксидазы, ФАД	Все ткани
АМФ	Гидролитическое дезаминирование	АМФ-дезаминаза	Интенсивно работающая мышца

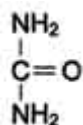


По мере образования, аммиак во всех тканях связывается с глутаминовой кислотой с



образованием глутамина.

Это временное обезвреживание аммиака. С током крови глутамин поступает в печень, где распадается опять на глутаминовую кислоту и аммиак. Глутаминовая кислота с кровью снова поступает в органы для обезвреживания новых порций аммиака. Освободившийся аммиак, а также углекислый газ используются в печени для синтеза **мочевины**:



Синтез мочевины – это циклический многостадийный процесс, идущий с большими затратами энергии. В синтезе мочевины важнейшую роль играет аминокислота **орнитин**

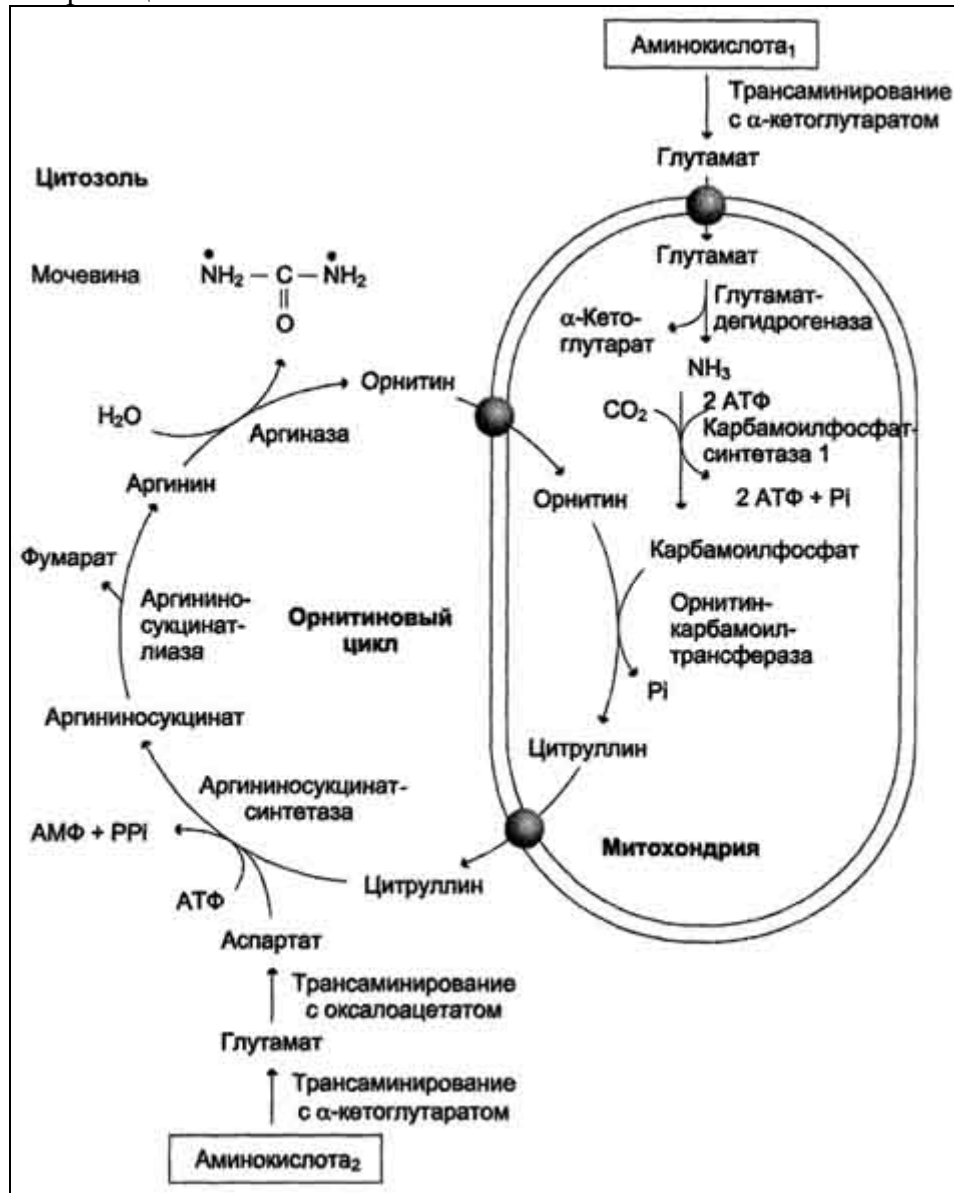
Синтез мочевины часто называют **орнитиновым циклом**.

В процессе синтезе к орнитину присоединяются две молекулы аммиака и молекула углекислого газа, и орнитин превращается в другую аминокислоту – аргинин. От аргинина отщепляется мочевина и вновь образуется орнитин.

Синтез мочевины – это окончательное обезвреживание аммиака. Из печени с кровью мочевина поступает в почки и выделяется с мочой. В сутки её образуется 20 – 35 г. выделение мочевины с мочой характеризует интенсивность распада белков в организме.

**Орнитиновый цикл.** Окислительное дезаминирование глутамата происходит в митохондриях. Ферменты орнитинового цикла распределены между митохондриями и цитозолем. Поэтому необходим трансмембранный перенос глутамата, цитруллина и орнитина с помощью специфических транслоказ. На схеме показаны пути включения азота двух разных аминокислот (аминокислота 1 и аминокислота 2) в молекулу мочевины:

- одна аминокислота - в виде аммиака в матриксе митохондрии;
- вторую аминокислоту поставляет аспартат цитозоля.



## Тема 23. ОБМЕН ВОДЫ И СОЛЕЙ. ВИТАМИНЫ. ГОРМОНЫ.

### Вопросы лекции и семинарского занятия.

1. Содержание воды в организме. Физико-химические свойства воды.
2. Биологическая роль воды. Поступление и выделение воды.
3. Регуляция водного баланса и его нарушения.
4. Содержание минеральных веществ и их роль.
5. Общая характеристика витаминов.
6. Общая характеристика гормонов.
7. Биохимия крови.
8. Химический состав и физико-химические свойства мочи.

### 1. Содержание воды в организме. Физико-химические свойства воды.

Роль воды в жизнедеятельности живых организмов огромна. Для живых систем вода – это, прежде всего, главная среда, в которой протекают все жизненно важные процессы.

Содержание воды в организме взрослого человека около 60 – 65% массы тела, причем чем старше человек, тем меньше воды содержит его тело.

При потере 4 - 5% воды возникает сильная жажда, а потеря 20 – 25% воды не совместима с жизнью.

В организме вода распределена неравномерно. Больше всего – до 90% - воды в крови и лимфе, что и не удивительно. А меньше всего (около 1%) в эмали зубов.

2/3 всей воды находится внутри клеток. Остальная вода – внеклеточная – входит в состав спинномозговой жидкости, плазмы крови, лимфы.

Вода обладает уникальными физико-химическими свойствами.

- По своим физико-химическим параметрам вода должна быть газом. Это вытекает из положения кислорода и водорода в таблице Менделеева. Вода является жидкостью благодаря водородным связям. Воду ещё называют жидким кристаллом. Именно, водородные связи заставляют воду замерзать при температуре близко к нулю градусов по Цельсию и кипеть при 100 градусах.
- Благодаря огромному количеству водородных связей вода имеет большую теплоемкость и участвует в терморегуляции организма.
- Вода обладает низкой вязкостью и представляет собой подвижную жидкость. Причиной высокой подвижности является малое время существования водородных связей. Водородные связи в воде постоянно возникают и разрушаются. Это придает воде высокую текучесть, что весьма важно для существования живых организмов.
- Благодаря выраженной полярности молекул воды в ней легко растворяются многие органические и неорганические вещества, имеющие полярные молекулы.

### 2. Биологическая роль воды. Поступление и выделение воды.

Вода выполняет в организме множество функций.

1. **Вода – универсальный растворитель.** Большинство химических соединений организма растворимы в воде.
2. **Транспортная функция.** Вода вследствие низкой вязкости легко перемещается по кровеносным и лимфатическим сосудам, по межклеточному пространству и переносит растворенные в ней вещества.
3. **Терморегуляторная функция.** Вода участвует в поддержании постоянства температуры тела.
4. **Вода создает гидратную оболочку** высокомолекулярных соединений (белков, полисахаридов), способствуя их стабильности.

**5. Вода активный участник обмена веществ.** В частности расщепление пищевых веществ в процессе гидролиза происходит при непосредственном участии воды. Вода является также конечным продуктом ряда химических процессов, протекающих в организме. Например, в ходе тканевого дыхания образуется около 400 мл воды в сутки.

Средняя суточная потребность человека в воде составляет 40мл на 1кг веса, то есть в среднем 2,5 л.

Основными источниками воды являются: питьевая вода (около половины всей воды), жидкая пища (примерно четверть), твердая пища (еще четверть) и эндогенная вода (остаток).

Вода выделяется из организма в основном почками. Но посильное участие в этом принимают легкие, кожа, кишечник.

Выделение воды почками напрямую зависит от объема поступившей в организм воды.

Выделение воды с потом резко возрастает при мышечной работе в результате интенсивного потоотделения. При сильном потении человек может потерять за сутки более 5 л воды. При больших потерях воды с потом уменьшается выделение мочи. Во время тренировки увеличиваются потери воды с выдыхаемым воздухом.

### **3. Регуляция водного баланса и его нарушения.**

Обмен воды находится под контролем нервно-гуморальной регуляции. Поступление в организм воды контролируется чувством жажды. Жажда возникает при уменьшении содержания воды в организме на несколько процентов. При дефиците воды происходит повышение осмотического давления крови. На изменение осмотического давления реагируют осморорецепторы, которые передают эту информацию в головной мозг, где и формируется это чувство.

Основным гормоном, вызывающим задержку воды в организме, является **вазопрессин**. Этот гормон вырабатывается гипоталамусом и хранится в задней доле гипофиза, и из нее выделяется в кровь. Под влиянием этого гормона в почках ускоряется реабсорбция воды из первичной воды обратно в кровь, что позволяет задержать воду в организме.

Удержанию воды в организме способствует гормон коры надпочечников – **альдостерон**. Под влиянием этого гормона в процессе образования мочи повышается скорость обратного всасывания в кровь ионов натрия и уменьшается реабсорбция ионов калия. Ионы натрия в отличие от ионов калия взаимодействуют с водой, образуя гидратную оболочку. Таким образом, задержка ионов натрия в организме сопровождается сохранением воды в организме.

Гормон щитовидной железы – **тироксин** – стимулирует выделение воды. При избытке этого гормона усиливается потоотделение. Благодаря нервно-гуморальной регуляции в организме поддерживается водный баланс.

Задержка воды в организме обычно сопровождается появлением **отеков**. Отеки могут возникать при заболеваниях сердечнососудистой системы, почек, при длительном голодании. Задержка воды в организме может быть связана с приемом соленой пищи, так как ионы натрия связывают воду.

Уменьшение воды в организме приводит к **обезвоживанию** тканей. Причины обезвоживания могут быть разными. Например, ограничение поступления воды в организм. Еще одной причиной обезвоживания могут быть некоторые заболевания, такие как сахарный и несахарный диабет. У спортсменов обезвоживание организма может быть вызвано большими потерями воды с потом и выдыхаемым воздухом при выполнении ими большого объема нагрузок, особенно при высокой температуре и влажности.

Для предупреждения обезвоживания рекомендуется выполнять питьевой режим. Например, за час до начала тренировки рекомендуется выпить до полулитра воды. Во время нагрузки необходимо пополнять запасы воды за счет приема небольших доз воды (40 – 50 мл) или лучше, углеводно-минеральных напитков.

#### 4. Содержание минеральных веществ и их роль в организме.

В организме человека содержится около 3 кг минеральных веществ, что составляет 4% массы тела. Минеральный состав организма очень разнообразен и в нем можно обнаружить почти всю таблицу Менделеева.

Минеральные вещества распределены в организме крайне неравномерно. В крови, мышцах, внутренних органах содержание минеральных веществ низкое – около 1%. А вот в костях на долю минеральных веществ приходится около половины массы. Эмаль зубов на 98% состоит из минеральных веществ.

Формы существования минеральных веществ в организме также разнообразны.

Во-первых в костях они встречаются в форме нерастворимых солей.

Во-вторых, минеральные элементы могут входить в состав органических соединений.

В-третьих, минеральные элементы могут находиться в организме виде ионов.

Суточная потребность в минеральных веществах невелика и поступают они в организм с пищей. Их количества обычно в пище достаточно. Однако в редких случаях их может не хватать. Например, в некоторых местностях не хватает йода, в других избыток магния и кальция.

Выводятся из организма минеральные вещества тремя путями в составе мочи, кишечником – в составе кала и с потом – кожей.

Биологическая роль этих веществ очень разнообразна.

**Натрий и калий** находятся в организме в виде ионов. Ионы натрия содержатся вне клеток, а ионы калия сосредоточены внутри клетки. Эти ионы играют важную роль в создании осмотического давления и клеточного потенциала, необходимы для нормальной работы миокарда.

Кальций и магний находятся в основном в костной ткани в виде нерастворимых солей. Эти соли придают костям твердость. Кроме того в ионном виде они играют важную роль в сокращении мышц.

**Фосфор** играет в организме важную роль. Он является составной частью солей, входящих в кости. Фосфорная кислота играет исключительно важную роль в энергетическом обмене.

**Железо** входит в состав **гема**, составной части **гемоглобина**.

#### 5. Общая характеристика витаминов.

**Витамины** – низкомолекулярные органические вещества разнообразного строения, которые не синтезируются в организме но являются жизненно необходимыми и поэтому должны обязательно поступать в организм с пищей, хотя и в очень небольших количествах. Некоторые витамины вырабатываются в ограниченном количестве микрофлорой кишечника.

Биологическая роль большинства известных витаминов состоит в том, что они входят в состав **коферментов** и **простетических групп** ферментов.

По физико-химическим свойствам витамины делятся на две группы: **водорастворимые** и **жирорастворимые**.

**Водорастворимые витамины** – это витамины группы **В**, витамины **С**, **Р**, **РР**.

**Жирорастворимые** – витамины **А**, **Д**, **Е**, **К**.

Недостаток витамина в организме называется **гиповитаминоз**, а избыток витамина – **гипервитаминоз**. И то и другое состояние может перерасти в заболевание.

Дадим краткую характеристику отдельным витаминам..

*Витамин В<sub>1</sub>(антиневритный) – тиамин – влияет на обмен углеводов. При его отсутствии нарушается тканевое дыхание.*

*Витамин В<sub>2</sub> (рибофлавин) входит в состав флавиновых ферментов. При его отсутствии нарушается энергетический обмен.*

*Витамин РР входит в состав НАД и НАДФ. При отсутствии нарушаются многие реакции катаболизма и анаболизма.*

*Витамин Н – биотин – входит в состав ферментов, ответственных за обмен азотсодержащих и фосфорсодержащих веществ. При его отсутствии нарушается обмен нуклеиновых кислот и мочевины.*

*Витамин С связан с синтезом коллагена, стероидных гормонов, гемоглобина, адреналина.*

*Витамин А – ретинол – входит в состав родопсина, обуславливающих сумеречное зрение, изменяет проницаемость мембран клеток.*

*Витамин Е влияет на обмен в организме селена и репродуктивную функцию.*

В таблице на стр. 34 обещаются многие сведения о витаминах

### Рекомендуемая суточная потребность в витаминах

Категория	Возраст (лет)	A	E	D	K	C	В1	В <sub>2</sub>	В <sub>5</sub>	В <sub>6</sub>	Вс	В12	РР	Н
		МЕ	МЕ	МЕ	мкг	мг	мг	мг	мг	мг	мг	мкг	мг	мг
Грудные дети	0-0.5	1250	3	300	5	30	0.3	0.4	2	0.3	0025	0.3	5	10
	0.5-1	1250	4	400	10	35	0.4	0.5	3	0.6	0035	0.5	6	15
Дети	1-3	1340	6	400	15	40	0.7	0.8	3	1	005	0.7	9	20
	4-6	1670	7	400	20	45	0.9	1.1	4	1.1	0075	1	12	25
	7-10	2335	7	400	30	45	1	1.2	5	1.4	0.1	1.4	7	30
Лица мужского пола	11-14	3333	10	400	45	50	1.3	1.5	4-7	1.7	015	2	17	30-100
	15-18	3333	10	400	65	60	1.5	1.8	4-7	2	02	2	20	30-100
	19-24	3333	10	400	70	60	1.5	1.7	4-7	2	02	2	19	30-100
	25-50	3333	10	200	80	60	1.5	1.7	4-7	2	02	2	19	30-100
	51 и старше	3333	10	200	80	60	1.2	1.4	4-7	2	02	2	15	30-100
Лица женского пола	11-14	2667	8	400	45	50	1.1	1.3	4-7	1.4	015	2	15	30-100
	15-18	2667	8	400	55	60	1.1	1.3	4-7	1.5	018	2	15	30-100
	19-24	2667	8	400	60	60	1.1	1.3	4-7	1.6	018	2	15	30-100
	25-50	2667	8	200	65	60	1.1	1.3	4-7	1.6	018	2	15	30-100
	51 и старше	2667	8	200	65	60	1	1.2	4-7	1.6	018	2	13	30-100
<b>В период беременности</b>		2667	10	400	65	70	1.5	1.6	4-7	2.2	0.4	2.2	17	30-100
<b>В период лактации</b>		4333	17	400	М	9'''	1.6	1.А						

**Классификация, номенклатура витаминов и их специфические функции в организме человека**

<b>Витамин</b>	<b>Витамеры</b>	<b>Активные формы витаминов</b>	<b>Специфические функции витаминов</b>
<b>Водорастворимые витамины</b>			
<b>Витамин С</b>	Аскорбиновая кислота, дегидро-аскорбиновая кислота	Не известны	Участвует в гидроксировании пролина в оксипролин в процессе созревания коллагена
<b>Тиамин (витамин В<sub>1</sub>)</b>	Тиамин	Тиаминдифосфат (ТДФ, тиаминпирофосфат, кокарбоксилаза)	В форме ТДФ является коферментом ферментов углеводно-энергетического обмена
<b>Рибофлавин (витамин В<sub>2</sub>)</b>	Рибофлавин	Флавиномононуклеотид (ФМН), флавинадениндинуклеотид (ФАД)	В форме ФМН и ФАД образует простетические группы флавиновых оксидоредуктаз - ферментов энергетического, липидного, аминокислотного обмена
<b>Пантотеновая кислота (устаревшее название - витамин В<sub>5</sub>)</b>	Пантотеновая кислота	Кофермент А (коэнзим А; КоА)	В форме КоА участвует в процессах биосинтеза, окисления и других превращениях жирных кислот и стероидов (холестерина, стероидных гормонов), в процессах ацетилирования, синтезе ацетилхолина
<b>Витамин В<sub>6</sub></b>	Пиридоксаль, пиридоксин, пиридоксамин	Пиридоксальфосфат (ПАЛФ)	В форме ПАЛФ является коферментом большого числа ферментов азотистого обмена (трансаминаз, декарбоксилаз аминокислот) и ферментов, участвующих в обмене серосодержащих аминокислот, триптофана, синтезе гема
<b>Витамин В<sub>12</sub> (кобаламины)</b>	Цианокобаламин, оксикобаламин	Метилкобаламин (СН <sub>3</sub> В <sub>12</sub> ), дезоксиаденозилкобаламин (ДАВ <sub>12</sub> )	В форме СН <sub>3</sub> В <sub>12</sub> участвует в синтезе метионина из гомоцистеина; в форме ДАВ <sub>12</sub> участвует в расщеплении жирных кислот и аминокислот с разветвленной цепью или нечетным числом атомов углерода
<b>Ниацин (витамин РР)</b>	Никотиновая кислота, никотинамид	Никотинамидадениндинуклеотид (НАД); никотинамидадениндинуклеотидфосфат (НАДФ)	В форме НАД и НАДФ является первичным акцептором и донором электронов и протонов в окислительно-восстановительных реакциях, катализируемых различными деадрогеназами
<b>Фолат (устаревшее название - витамин В<sub>с</sub>)</b>	Фолиевая кислота, полиглутаматы фолиевой кислоты	Тетрагидрофолиевая кислота (ТГФК)	В форме ТГФК осуществляет перенос одноуглеродных фрагментов при биосинтезе пуриновых оснований, тимидина, метионина

<b>Биотин</b> (устаревшее название - витамин Н)	Биотин	Остаток биотина, связанный с ε-аминогруппой остатка лизина в молекуле апофермента	Входит в состав карбоксилаз, осуществляющих начальный этап биосинтеза жирных кислот
<b>Жирорастворимые витамины</b>			
<b>Витамин А</b>	Ретинол, ретиналь, ретиноевая кислота, ретинола ацетат	Ретиналь, ретинилфосфат	В форме ретиналя входит в состав зрительного пигмента родопсина, обеспечивающего восприятие света (превращение светового импульса в электрический). В форме ретинилфосфата участвует как переносчик остатков сахаров в биосинтезе гликопротеидов
<b>Витамин D (кальциферолы)</b>	Эргокальциферол (витамин D <sub>2</sub> ); холекальциферол (витамин D <sub>3</sub> )	1,25-Диоксихолекальциферол (1,25(OH) <sub>2</sub> D <sub>3</sub> )	Гормон, участвующий в поддержании гомеостаза кальция в организме; усиливает всасывание кальция и фосфора в кишечнике и его мобилизацию из скелета; влияет на дифференцировку клеток эпителиальной и костной ткани, кроветворной и иммунной систем
<b>Витамин Е (токоферолы)</b>	α-, β-, γ-, δ-токоферолы	Наиболее активная форма α-токоферол	Выполняет роль биологического антиоксиданта, инактивирующего свободнорадикальные формы кислорода, защищает липиды биологических мембран от перекисного окисления
<b>Витамин К</b>	Филлохинон (витамин К <sub>1</sub> ); менахиноны (витамины К <sub>2</sub> ); 2-метил-1, 4-нафтохинон (менадион, витамин К <sub>3</sub> )	Дигидровитамин К	Участвует в превращении препротромбина в протромбин, а также в аналогичных превращениях некоторых белков, участвующих в процессе свертывания крови, и костного белка остеокальцина



## 6. Общая характеристика гормонов.

**Гормоны** – биологически активные вещества разнообразного строения, вырабатываемые в специализированных органах – железах внутренней секреции, - поступающие с кровью в различные органы и оказывающие в них регулирующее влияние на метаболизм и физиологические функции.

В клетках, на которые действуют гормоны – клетках мишенях – имеются на клеточных мембранах особые белки, называемые рецепторами. К ним и прикрепляются гормоны.

Внутриклеточные механизмы действия гормонов разнообразны. Можно, однако, выделить три главных механизма присущие большинству гормонов.

1. Гормоны влияют на скорость синтеза ферментов, ускоряя или замедляя его. В результате такого воздействия в органах-мишенях повышается или снижается концентрация определенных ферментов, что сопровождается соответствующим изменением скорости ферментативных реакций.

2. Гормоны влияют на активность ферментов в этих органах. В одних органах они выступают активаторами, а в других ингибиторами ферментативных реакций.

3. Гормоны влияют на проницаемость клеточных мембран по отношению к определенным химическим соединениям. В результате такого воздействия в клетки поступает больше или меньше субстратов для ферментативных реакций, что тоже обязательно сказывается на скорости химических процессов.

Все указанные механизмы влияют на скорость метаболизма, что в свою очередь влияет на физиологические функции.

По химическому строению гормоны можно разделить на несколько групп.

**1. Гормоны белковой природы:** 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.

**3. Гормоны стероидного строения:** Гормоны коры надпочечников, гормоны половых желез.

Синтез и выделение гормонов в кровь находится под контролем нервной системы и других гормонов. Причем, нервная система действует через гуморальную, главным образом через гормоны гипоталамическо-гипофизарной системы.

## 7. Биохимия крови.

В спортивной практике анализ крови используется для оценки влияния на организм спортсмена тренировочных и соревновательных нагрузок, оценки функционального состояния спортсмена и его здоровья. Поэтому специалист в области физической культуры должен иметь представление о химическом составе крови.

Объем крови у человека около 5 л, что составляет примерно 1\13 часть от объема или массы тела.

Кровь, как известно, состоит из **плазмы (55% объема) и форменных элементов (45%)**.

### Функции крови. ( из курса физиологии)

Функции крови можно разделить на две группы:

3. Функции исключительно плазмы крови,
4. Функции, выполняемые совместно плазмой крови и форменными элементами.  
*Самостоятельно* плазма крови выполняет следующие функции:
  6. Перенос растворимых органических веществ от тонкого кишечника к различным органам и тканям, где эти вещества откладываются про запас или участвуют в обмене веществ.
  7. Транспорт подлежащих выделению веществ из тканей, где они образуются, к органам выделения.
  8. Перенос побочных продуктов обмена веществ из мест их образования к другим участкам тела.
  9. Транспорт гормонов из желез внутренней секреции к органам "мишеням".
  10. Перенос тепла от глубоко расположенных органов, предупреждающий перегрев этих органов и поддерживающий равномерное распределение тепла в организме.*Совместно* с форменными элементами плазма крови выполняет следующие функции:
  5. Доставка кислорода из легких по всем тканям организма (эритроциты) и перенос в обратном направлении углекислого газа.
  6. Защита от болезней в которой участвуют три механизма: *свертывание крови, фагоцитоз, синтез антител.*

Химический состав плазмы крови в покое относительно постоянный. Вот его основные компоненты:

Вода	90%
Белки	6 – 8%
Прочие органические вещества	около 2%
Минеральные вещества	около 1%

**Белки плазмы крови** делятся на две основные группы *альбумины и глобулины*.

**Альбумины** – низкомолекулярные белки. Они выполняют две основные функции.

1. *Транспортная*. Благодаря хорошей растворимости они переносят с током крови нерастворимые в воде вещества

2. *Задерживают воду в кровяном русле*. Воды в кровяном русле больше, чем в других тканях, поэтому она стремится покинуть его. Альбумины препятствуют этому.

**Глобулины** – это высокомолекулярные белки. Они также участвуют в транспортной и удерживающей функциях. Однако, помимо этого многие глобулины крови участвуют в *создании иммунитета и свертывании крови*.

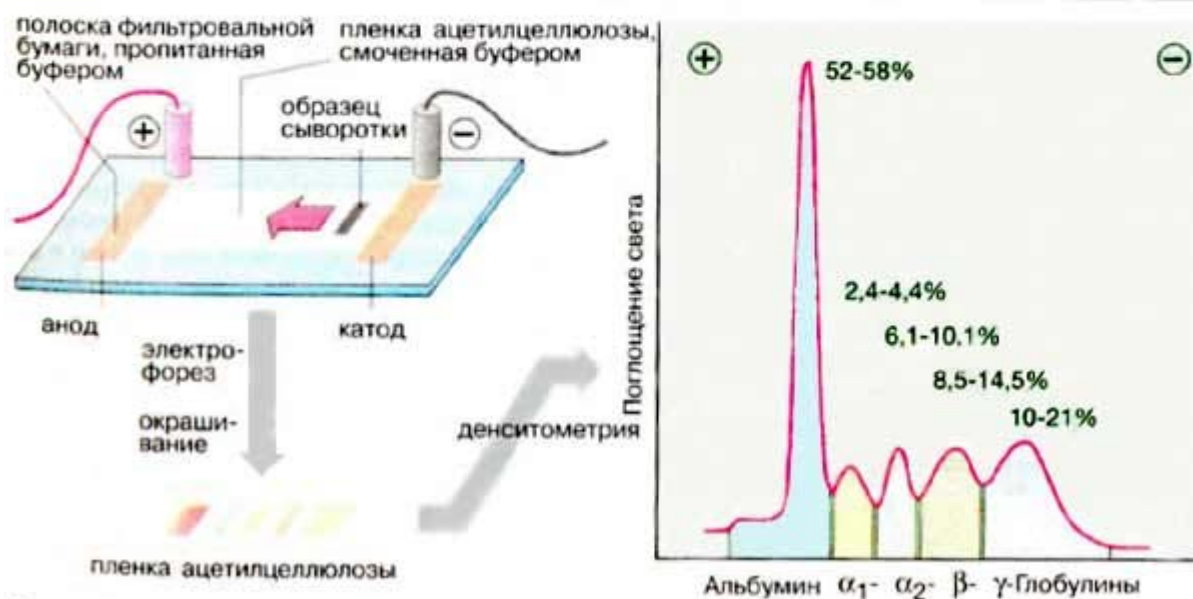
Белки плазмы синтезируются в печени.

(На рисунке, приведенном ниже, имеется таблица, где сведены основные свойства белков плазмы крови, их функции и то, как осуществляется электрофорез белков.)

## Белки плазмы

Группа	Белки	Мол. масса, кДа	Функция
Альбумины:	Транстретин Альбумин 45 г/л	50-66 67	Транспорт тироксина и триодтиронина Поддержание осмотического давления, транспорт жирных кислот, билирубина, желчных кислот, стероидных гормонов, лекарств и неорганических ионов
$\alpha_1$ -Глобулины:	Антитрипсин Антихимотрипсин Липопротеин (ЛВП) Протромбин	51 58-68 200-400 72	Ингибирование трипсина и др. протеиназ Ингибирование химотрипсина Транспорт липидов Фактор свертывания крови II, предшественник тромбина (3.4.21.5)
	Транскортин	51	Транспорт кортизола, кортикостерона и прогестерона
	Кислый гликопротеин	44	Транспорт прогестерона
	Тироксин-связывающий глобулин	54	Транспорт тироксина и триодтиронина
$\alpha_2$ -Глобулины:	Церулоплазмин Антитромбин III Галтоглобин Холинэстераза (3.1.1.8) Плазминоген Макроглобулин	135 58 100 около 350 90 725	Транспорт ионов меди Ингибирование свертывания крови Связывание гемоглобина Расщепление эфиров холина Предшественник пламина (3.4.21.7)
	Ретинол-связывающий белок	21	Связывание протеиназ, транспорт ионов цинка Транспорт витамина А
	Витамин D-связывающий белок	52	Транспорт кальциферолов
$\beta$ -Глобулины:	Липопротеин (ЛНП) Трансферрин Фибриноген Глобулин, связывающий половые гормоны Транскобаламин С-реактивный белок	2000-4500 80 340 65 38 110	Транспорт липидов Транспорт ионов железа Фактор свертывания крови I Транспорт тестостерона и эстрадиола
	Транспорт витамина B <sub>12</sub>		Транспорт витамина B <sub>12</sub>
	Активация комплемента		Активация комплемента
$\gamma$ -Глобулины:	IgG IgA IgM IgD IgE	150 360 935 172 196	Поздние антитела Антитела, защищающие слизистые Ранние антитела Рецепторы В-лимфоцитов Реагин (см. с.288)

### А. Белки плазмы крови



### Б. Электрофорез

Прочие органические вещества (кроме белков) обычно разделяют на *азотистые и безазотистые*.

**Азотистые соединения** – это промежуточные и конечные продукты обмена белков и нуклеиновых кислот. Это низкомолекулярные пептиды, аминокислоты, креатин, нуклеотиды, нуклеозиды, а также мочевина, мочевая кислота, билирубин и креатинин.

**Безазотистые вещества** – это глюкоза, фруктоза, галактоза, рибоза, пировиноградная и молочная кислоты, жиры, фосфолипиды и холестерин.

Кроме того в плазме крови находятся минеральные вещества, представленные катионами натрия, калия, кальция, магния и анионами хлором, остатками угольной, фосфорной и серной кислот.

Клетки крови мы подробно изучали в курсе анатомии и физиологии. Важнейшим химическим компонентом красных клеток крови является белок гемоглобин – основной переносчик кислорода в крови. Лейкоциты вырабатывают белки иммуноглобулины – важнейший компонент иммунной системы человека.

#### **Форменные элементы крови (из курса физиологии)**

*Эритроциты или красные клетки крови* – это мелкие клетки, лишенные ядра и имеющие форму двояковогнутых дисков. Их диаметр 7 – 8 микрометров. Специфическая форма эритроцитов увеличивает газообмен. Благодаря своей эластичности эритроцит может проходить через капилляры, просвет которых меньше его диаметра.

Эритроциты образуются в гематопоэтической ткани, а разрушаются в печени и селезенке. За 1 сек, в организме человека образуется до 10 млн. этих клеток и столько же разрушается. В 1 куб. мм крови эритроцитов содержится от 5 до 5,5 миллионов. Эти клетки переносят кислород и участвуют в переносе углекислого газа. Продолжительность жизни эритроцитов до 3 месяцев.

*Лейкоциты* – более крупные клетки, нежели эритроциты. В 1 кубическом мм крови их содержится около 7000. Различают два класса этих клеток: зернистые лейкоциты – гранулоциты и незернистые – агранулоциты.

*Гранулоциты* образуются в костном мозге. Они имеют разделенное на лопасти ядро и зернистую цитоплазму. Это клетки способные к самостоятельному передвижению. Выделяют три основных вида этих клеток: *нейтрофилы, базофилы и эозинофилы*.

*Нейтрофилы* составляют до 70% всех лейкоцитов. Они могут через стенки капилляров проникать в межклеточные пространства и направляться к очагам инфекции. Нейтрофилы уничтожают болезнетворные бактерии (фагоцитоз).

*Эозинофилы (1,5%)* обладают антигистаминовым действием, то есть увеличивают вероятность свертывания крови при ранениях.

*Базофилы (0,5%)* вырабатывают вещества *гепарин и гистамин* и являются активными участниками в процессах препятствующих свертыванию крови внутри сосудов.

*Агранулоциты* содержат ядро овальной формы и незернистую цитоплазму. Их различают два основных вида: *моноциты (4%) и лимфоциты (24%)*.

*Моноциты* содержат ядро бобовидной формы и образуются в костном мозге. Они активно участвуют в процессах фагоцитоза, но нападают на иные, нежели нейтрофилы, микроорганизмы и вещества.

*Лимфоциты* являются производителями *антител*. Их различают два класса Т-клетки и В-клетки.

*Тромбоциты или кровяные пластинки* – это фрагменты клеток, имеющие неправильную форму и, обычно, лишенные ядра. Они играют важную роль в системе свертывания крови. В 1 кубическом мм крови их содержится около 250 тыс.

В покое у здорового человека кровь имеет слабощелочную реакцию: рН 7,4 – 7,36.

Постоянство рН крови обеспечивается буферными системами крови. Самой мощной **буферной системой** крови является **гемоглобиновая система**.

Кровь хорошо нейтрализует кислоты, что очень важно для нормального хода обмена веществ.

Однако при нарушениях метаболизма наблюдается **ацидоз** – увеличение кислотности крови. Снижение рН ниже 6,8 – несовместимо с жизнью.

Реже наблюдается **алкалоз** – увеличение щелочности крови. Предельное значение рН в этом случае 8,0.

У спортсменов часто встречается ацидоз, вызванный образованием в мышцах больших количеств молочной кислоты.

### § 8. Химический состав и физико-химические свойства мочи.

Из курса физиологии
<b>Роль почек в выделительных процессах.</b>
В основе поддержания гомеостаза (постоянства внутренней среды организма) лежат три процесса: <i>экскреция, секреция и осморегуляция.</i>
<i>Экскреция</i> – это удаление из организма ненужных продуктов обмена веществ. <i>Секреция</i> – это выделение веществ, которые отходами не являются. <i>Осморегуляция</i> – это регулирование относительных концентраций воды и растворенных в ней веществ. Работа выделительной системы направлена на осуществление этих трех процессов.
Почки – важнейший компонент выделительной системы. Работа почек основана на трех механизмах: <i>ультрафильтрации, избирательной реабсорбции и активном переносе растворимых веществ в окружающую среду (секреции в узком смысле).</i>
<i>Ультрафильтрация</i> происходит в важнейшей части нефрона – клубочке. Здесь многие низкомолекулярные вещества, такие как глюкоза, вода, мочевины, переходят в жидкость – фильтрат.
<i>Избирательная реабсорбция</i> происходит в канальцах нефрона. Здесь все вещества, которые могут быть использованы организмом, всасываются из фильтрата обратно в кровь.
В канальцах нефронов происходит и <i>активная секреция</i> ненужных организму веществ, например избыток некоторых ионов (K <sup>+</sup> , H <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).
Мочеобразование происходит в два этапа: 1) образование первичной мочи (ультрафильтрация) и 2) образование вторичной мочи (реабсорбция и секреция). Почки пропускают ежедневно около 2000 л крови, из которой образуется около 200 л первичной мочи и около 2 л вторичной.

#### Регуляция мочеобразования.

Мочеобразование в почках во многом определяется их способностью к соморегуляции. Отключение корковых и подкорковых центров не приводит к прекращению мочеобразования. Однако кора и гипоталамус оказывают существенное влияние на этот процесс.

В гипоталамусе образуется вазопрессин или антидиуретический гормон (АДГ), усиливающий реабсорбцию воды из первичной мочи. В процессе реабсорбции играет важную роль гормон коры надпочечников – альдостерон. Благодаря этому гормону происходит реабсорбция ионов натрия и калия.

Мышечная работа оказывает существенное влияние на скорость мочеобразования, состав и объем образующейся мочи. Это влияние выражается в увеличении экскреции продуктов катаболизма глюкозы – молочной и фосфорной кислот. Это сказывается и на функциях дыхания, так как ведет к гипервентиляции легких или дыхательному ацидозу.

При напряженной тренировке или перетренировке иногда наступает избыточное потребление белка – метаболический ацидоз. Его признаком является увеличение кислых продуктов в моче, а при сильной перетренировке – появление в моче белка. Врачи рекомендуют в этих случаях овощную диету до тех пор, пока моча не сделается снова щелочной.

**Физико-химические свойства мочи.** Объем мочи зависит от количества потребляемой жидкости и составляет в среднем 50 – 80% от её объема. Суточное количество мочи у здорового взрослого человека составляет 2000 мл.

Увеличение объема мочи бывает при приеме большого количества жидкости. Особенно выделение мочи возрастает при употреблении в больших количествах чая, кофе, алкогольных напитков. Содержащийся в них кофеин (чай, кофе) и этиловый спирт (алкогольные напитки) угнетают выработку вазопрессина. Синтез этого гормона подавляется также при охлаждении.

При ограниченном приеме жидкости объем мочи уменьшается. Снижение выделения мочи наблюдается и при болезнях почек, при рвоте, поносе, испарении воды кожей при повышенной температуре.

У спортсменов снижение уровня выделения мочи встречается после интенсивных тренировок и соревнований вследствие большой потери воды с потом и выдыхаемым воздухом.

Плотность мочи у нормального здорового человека составляет 1,010 – 1,040 г/мл. После выполнения физических нагрузок, сопровождаемых значительным потоотделением, моча может иметь высокую плотность – до 1,035 – 1,040 г/мл.

Кислотность мочи зависит от питания. Обычно моча имеет слабокислую реакцию. Употребление в пищу мяса делает мочу ещё более кислой, а овощная диета, напротив, делает мочу более щелочной. После выполнения физических нагрузок кислотность мочи возрастает, что объясняется выделением с мочой больших количеств молочной кислоты.

В норме моча имеет соломенно-желтую окраску. Эту окраску придают моче главным образом пигменты, образующиеся при распаде гемоглобина. Интенсивность окраски зависит от плотности мочи. Чем выше плотность, тем насыщеннее окраска мочи.

Свежевыделенная моча у здоровых людей, как правило, прозрачна. Далее возможно ее помутнение. Прозрачность мочи следует оценивать сразу после её выделения.

В сутки с мочой из организма выделяется 50 – 70 г растворенных в ней веществ.

На первом месте в составе мочи – **мочевина**. За сутки ее выделяется 20 – 35 г. По содержанию мочевины можно судить об интенсивности распада белков в организме. У здорового человека выделение мочевины повышается при приеме богатой белками пищи.

Еще одно вещество – **мочевая кислота** – выделяется при распаде нуклеиновых кислот. Её обычное содержание в моче 0.7 г. Мочевая кислота и её соли плохо растворимы в воде, поэтому они могут образовывать камни в почках, мочевом пузыре и выпадать в виде осадка в собранной моче.

В моче в сутки может выделяться также 1- 2 г **креатина**, **8 -15 г хлористого натрия**.

При **патологических** состояниях в моче может появляться белок. Это явление называется **протеинурия**. Это явление связано с серьезными нарушениями работы почек и сердечной недостаточности. Оно нередко встречается при занятиях спортом и говорит о перетренировке.

Ещё одним поводом для беспокойства может служить **глюкозурия – повышенное содержание глюкозы в моче**. Причин здесь может быть две: либо повышенное содержание глюкозы в крови, либо плохая работа почек.

Кетоновые тела появляются в моче при диабете, продолжительных физических нагрузках, при голодании. Наличие в моче избытка кетоновых тел называется **кетонурия**.

Наконец при воспалительных процессах в моче может появляться кровь. **Гематурия** – называется это явление. У спортсменов – это явление носит, как правило, травматический характер. По виду эритроцитов в этой крови можно сказать о месте нарушения мочевыделительной системы.

## ***Раздел 9. Биохимия спортивной деятельности.***

**Тема 24. Биохимия мышечной деятельности.**

**Тема 25. Биохимические сдвиги при мышечной работе.**

**Тема 26. Биохимические механизмы утомления.**

**Тема 27. Восстановление с точки зрения биохимии.**

**Тема 28. Общие биохимические закономерности адаптации к мышечной работе.**

### **Тема 24. БИОХИМИЯ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.**

#### **Вопросы лекции и семинарского занятия.**

1. Общая характеристика мышц. Строение мышечных клеток.
  2. Строение миофибрилл.
  3. Сокращение и расслабление мышцы.
  4. Количественные критерии путей ресинтеза АТФ.
  5. Аэробный путь ресинтеза АТФ.
  6. Анаэробные пути ресинтеза АТФ.
  7. Соотношения между различными путями ресинтеза АТФ при мышечной работе.
- Зоны относительной мощности мышечной работы.

#### **1. Общая характеристика мышц. Строение мышечных клеток.**

Учение о мышцах – это важнейший раздел биохимии, имеющий исключительное значение для спортивной биохимии.

Важнейшей особенностью функционирования мышц является то, что в процессе мышечного сокращения происходит непосредственное превращение химической энергии АТФ в механическую энергию сокращения мышц. Это явление не имеет аналогов в технике и присуще только живым организмам.

У животных и человека два основных типа мышц: **поперечнополосатые и гладкие**, причем поперечнополосатые мышцы делятся на два вида – *скелетные и сердечные*. Гладкие мышцы характерны для внутренних органов, кровеносных сосудов.

Поперечнополосатые мышцы состоят из тысяч мышечных клеток – волокон. Волокна объединены соединительно-тканными прослойками и такой же оболочкой – фасцией. Мышечные волокна – миоциты – представляют собой сильно вытянутые многоядерные клетки гигантских размеров от 0,1 до 10 см длиной и толщиной около 0,1 – 0,2 мм.

Миоцит состоит из всех обязательных компонентов клетки. Особенностью мышечного волокна является то, что внутри эта клетка содержит большое количество сократительных элементов – **миофибрилл**. Как и другие клетки тела миоциты содержат ядро, причем, у клеток поперечнополосатых мышц ядер несколько, рибосомы, митохондрии, лизосомы, цитоплазматическую сеть.

**Цитоплазматическая сеть** называется в этих клетках **саркоплазматической сетью**. Она связана с помощью особых трубочек, называемых Т-трубочками, с клеточной мембраной – сарколеммой. Особо следует выделить в саркоплазматической сети пузырьки, называемые цистернами. Они содержат большое количество ионов кальция. С помощью специального фермента кальций накачивается в цистерны. Этот механизм называется кальциевым насосом и необходим для сокращения мышцы.

**Цитоплазма** или саркоплазма миоцитов содержит большое количество белков. Здесь немало активных ферментов, среди которых важнейшими являются **ферменты**

**гликолиза, креатинкиназа.** Немалое значение имеет белок **миоглобин**, сохраняющий кислород в мышцах.

Кроме белков в цитоплазме мышечных клеток содержатся **фосфогены** – АТФ, АДФ, АМФ, а также **креатинфосфат**, необходимые для нормального снабжения мышцы энергией.

Основной углевод мышечной ткани – гликоген. Его концентрация достигает 3%. Свободная глюкоза в саркоплазме встречается в малых концентрациях. В тренируемых на выносливость мышцах накапливается **запасной жир**.

Снаружи сарколема окружена нитями белка – коллагена. Мышечное волокно растягивается и возвращается в исходное состояние за счет упругих сил, возникающих в коллагеновой оболочке.

## 2. Сократительные элементы (миофибриллы).

Сократительные элементы – миофибриллы – занимают большую часть объема миоцитов. В нетренированных мышцах миофибриллы расположены, рассеяно, а тренированных они сгруппированы в пучки, называемые **полями Конгейма**.

Микроскопическое изучение строения миофибрилл показало, что они состоят из чередующихся светлых и темных участков или дисков. В мышечных клетках миофибриллы располагаются таким образом, что светлые и темные участки рядом расположенных миофибрилл совпадают, что создает видимую под микроскопом поперечную исчертанность всего мышечного волокна.

Использование электронного микроскопа с очень большим увеличением позволило расшифровать строение миофибрилл и установить причины наличия у них светлых и темных участков. Было обнаружено, что миофибриллы являются сложными структурами, построенными в свою очередь, из большого числа мышечных нитей двух типов – **толстых и тонких**. Толстые в два раза толще тонких, соответственно 15 и 7 нм.

Состоят миофибриллы из чередующихся пучков параллельно расположенных толстых и тонких нитей, которые концами заходят друг на друга.

Участок миофибриллы, состоящий из толстых нитей и находящимися между ними концов тонких нитей, обладает двойным лучепреломлением. Под микроскопом эти участки кажутся темными и получили название **анизотропных или темных дисков (А-диски)**.

Тонкие участки состоят из тонких нитей и выглядят светлыми. Такие участки называются **изотропными или светлыми дисками (I-диски)**. В середине пучка тонких нитей поперечно располагается тонкая пластинка из белка, которая фиксирует положение мышечных нитей в пространстве. Эта пластинка хорошо видна под микроскопом и названа **Z-пластинкой или Z-линией**.

Участок между соседними Z-линиями называется **саркомер**. Каждая миофибрилла состоит из тысяч саркомеров.

Изучение химического состава миофибрилл показало, что тонкие и толстые нити образованы белками.

Толстые нити состоят из белка **миозина**. Эти белки образуют двойную спираль с глобулярной головкой на конце. Миозиновые головки обладают АТФазной активностью, то есть способностью расщеплять АТФ. Второй участок миозина обеспечивает связь толстых нитей с тонкими.

Тонкие нити состоят из белков **актина, тропонина и тропомиозина**.

Основной белок в данном случае актин. Он обладает двумя важнейшими свойствами:

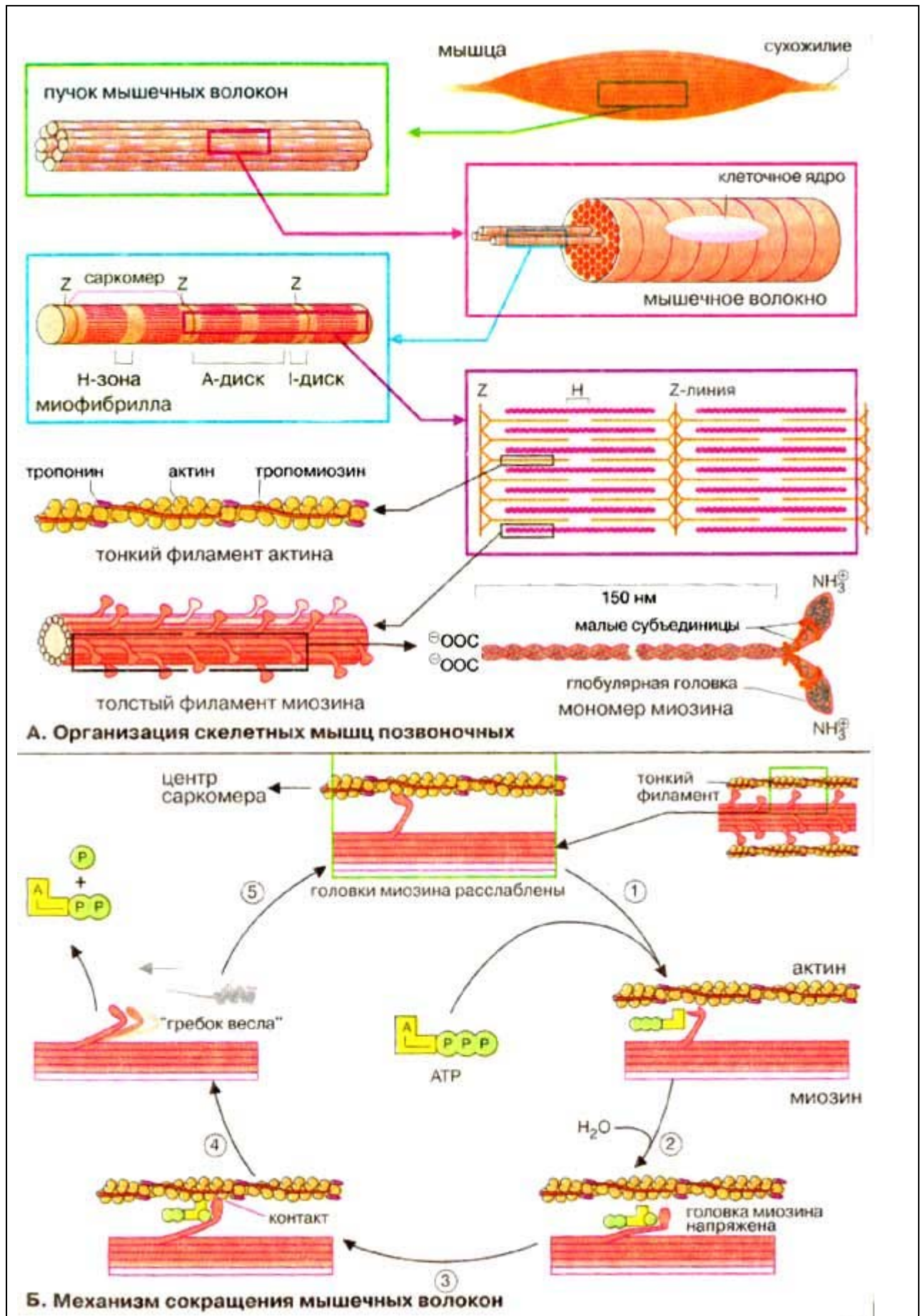
- образует фибриллярный актин, способный к быстрой полимеризации;
- актин способен соединяться с миозиновыми головками поперечными мостиками.

Другие белки тонких нитей помогают актину осуществлять его функции.

На странице 44 на рисунке А. подробно показано строение мышц.



## Строение и механизм сокращения скелетных мышц.



### 3. Механизм мышечного сокращения и расслабления.

Механизм **мышечного сокращения** до настоящего времени раскрыт не полностью. Достоверно известно следующее.

1. Источником энергии для мышечного сокращения являются молекулы АТФ.
2. Гидролиз АТФ катализируется при мышечном сокращении миозином, обладающим ферментативной активностью.
3. Пусковым механизмом мышечного сокращения является повышение концентрации ионов кальция в саркоплазме миоцитов, вызываемое нервным двигательным импульсом.
4. Во время мышечного сокращения между тонкими и толстыми нитями миофибрилл возникают поперечные мостики или спайки.
5. Во время мышечного сокращения происходит скольжение тонких нитей вдоль толстых, что приводит к укорочению миофибрилл и всего мышечного волокна в целом.

Гипотез объясняющих механизм мышечного сокращения много, но наиболее обоснованной является так называемая **гипотеза (теория) «скользящих нитей» или «гребная гипотеза»**.

В покоящейся мышце тонкие и толстые нити находятся в разъединенном состоянии.

Под воздействием нервного импульса ионы кальция выходят из цистерн саркоплазматической сети и присоединяются к белку тонких нитей – тропонину. Этот белок меняет свою конфигурацию и меняет конфигурацию актина. В результате образуется поперечный мостик между актином тонких нитей и миозином толстых нитей. При этом повышается АТФазная активность миозина. Миозин расщепляет АТФ и за счет выделившейся при этом энергии миозиновая головка подобно шарниру или веслу лодки поворачивается, что приводит к скольжению мышечных нитей навстречу друг другу.

Совершив поворот, мостики между нитями разрываются. АТФазная активность миозина резко снижается, прекращается гидролиз АТФ. Однако при дальнейшем поступлении нервного импульса поперечные мостики вновь образуются, так как процесс, описанный выше, повторяется вновь.

В каждом цикле сокращения расходуется 1 молекула АТФ.

**Расслабление мышцы** происходит после прекращения поступления длительного нервного импульса. При этом проницаемость стенки цистерн саркоплазматической сети уменьшается, и ионы кальция под действием кальциевого насоса, используя энергию АТФ, уходят в цистерны. Белки вновь приобретают конформацию характерную для состояния покоя.

Таким образом, и процесс мышечного сокращения и процесс мышечного расслабления – это активные процессы, идущие с затратами энергии в виде молекул АТФ,

В гладких мышцах ионы кальция также играют роль в сокращении, но поступают в мышцу не из цистерн, а из внеклеточного вещества. Этот процесс медленный и поэтому медленно работают гладкие мышцы. На странице 44 рис. Б показан механизм сокращения мышц.

## 5. Количественные критерии путей ресинтеза АТФ.

Сокращение и расслабление мышцы нуждаются в энергии, которая образуется при гидролизе молекул АТФ.

Однако запасы АТФ в мышце незначительны, их достаточно для работы мышцы в течении 2 секунд. Образование АТФ в мышцах называется **ресинтезом АТФ**.

Таким образом, в мышцах идет два параллельных процесса – гидролиз АТФ и ресинтез АТФ.

Ресинтез АТФ в отличие от гидролиза может протекать разными путями, а всего, в зависимости от источника энергии их выделяют три: аэробный (основной), креатинфосфатный и лактатный.

Для количественной характеристики различных путей ресинтеза АТФ обычно используют несколько критериев.

**1. Максимальная мощность или максимальная скорость** – это наибольшее количество АТФ, которое может образоваться в единицу времени за счет данного пути ресинтеза. Измеряется максимальная мощность в калориях или джоулях, исходя из того что один ммоль АТФ соответствует физиологическим условиям примерно 12 кал или 50 Дж. Поэтому данный критерий имеет размерность кал/мин-кг мышечной ткани или Дж/мин-кг мышечной ткани.

**2. Время развертывания** – это минимальное время, необходимое для выхода ресинтеза АТФ на свою наибольшую скорость, то есть для достижения максимальной мощности. Этот критерий измеряется в единицах времени.

**3. Время сохранения или поддержания максимальной мощности** – это наибольшее время функционирования данного пути ресинтеза АТФ с максимальной мощностью.

**4. Метаболическая ёмкость** – это общее количество АТФ, которое может образоваться во время мышечной работы за счет данного пути ресинтеза АТФ.

В зависимости от потребления кислорода пути ресинтеза делятся на **аэробные и анаэробные**.

### § 6. Аэробный путь ресинтеза АТФ.

Аэробный путь ресинтеза АТФ иначе называется **тканевым дыханием** – это основной способ образования АТФ, протекающий в митохондриях мышечных клеток. В ходе тканевого дыхания от окисляемого вещества отнимаются два атома водорода и по дыхательной цепи передаются на молекулярный кислород, доставляемый в мышцы кровью, в результате чего возникает вода. За счет энергии, выделяющейся при образовании воды, происходит синтез молекул АТФ из АДФ и фосфорной кислоты. Обычно на каждую образовавшуюся молекулу воды приходится синтез трех молекул АТФ.

Чаще всего водород отнимается от промежуточных продуктов цикла трикарбоновых кислот (ЦТК). ЦТК – это завершающий этап катаболизма в ходе которого происходит окисление ацетилкофермента А до углекислого газа и воды. В ходе этого процесса от перечисленных выше кислот отнимается четыре пары атомов водорода и поэтому образуется 12 молекул АТФ при окислении одной молекулы ацетилкофермента А.

В свою очередь ацетилкофермент А может образовываться из углеводов, жиров аминокислот, то есть через это соединение в ЦТК вовлекаются углеводы, жиры и аминокислоты.

Скорость аэробного обмена АТФ контролируется содержанием в мышечных клетках АДФ, который является активатором ферментов тканевого дыхания. При мышечной работе происходит накопление АДФ. Избыток АДФ ускоряет тканевое дыхание, и оно может достигнуть максимальной интенсивности.

Другим активатором ресинтеза АТФ является углекислый газ. Избыток этого газа в крови активирует дыхательный центр головного мозга, что в итоге приводит к повышению скорости кровообращения и улучшению снабжения мышцы кислородом.

**Максимальная мощность** аэробного пути составляет 350 -450 кал/мин-кг. По сравнению с анаэробными путями ресинтеза АТФ тканевое дыхание обладает более низкими показателями, что ограничено скоростью доставки кислорода в мышцы. Поэтому за счет аэробной пути ресинтеза АТФ могут осуществляться только физические нагрузки умеренной мощности.

**Время развертывания** составляет 3 – 4 минуты, но у хорошо тренированных спортсменов может составлять 1 мин. Это связано с тем, что на доставку кислорода в митохондрии требуется перестройка практически всех систем организма.

**Время работы с максимальной мощностью** составляет десятки минут. Это дает возможность использовать данный путь при длительной работе мышц.

По сравнению с другими идущими в мышечных клетках процессами ресинтеза АТФ аэробный путь имеет ряд преимуществ.

1. Экономичность: из одной молекулы гликогена образуется 39 молекул АТФ, при анаэробном гликолизе только 3 молекулы.

2. Универсальность в качестве начальных субстратов здесь выступают разнообразные вещества: углеводы, жирные кислоты, кетоновые тела, аминокислоты.

3. Очень большая продолжительность работы. В покое скорость аэробного ресинтеза АТФ может быть небольшой, но при физических нагрузках она может стать максимальной.

Однако есть и недостатки.

1. Обязательное потребление кислорода, что ограничено скоростью доставки кислорода в мышцы и скоростью проникновения кислорода через мембрану митохондрий.

2. Большое время развертывания.

3. Небольшую по максимальной величине мощность.

Поэтому мышечная деятельность, свойственная большинству видов спорта, не может быть полностью получена этим путем ресинтеза АТФ.

В спортивной практике для оценки аэробного ресинтеза используются следующие показатели: **максимальное потребление кислорода (МПК), порог аэробного обмена (ПАО), порог анаэробного обмена (ПАНО) и кислородный приход.**

**МПК** – это максимально возможная скорость потребления кислорода организмом при выполнении физической работы. Чем выше МПК, тем выше скорость тканевого дыхания. Чем тренированнее человек, тем выше МПК. МПК рассчитывают обычно на 1кг массы тела. У людей, не занимающихся спортом МПК 50 мл/мин-кг, а у тренированных людей он достигает 90 мл/мин-кг.

В спортивной практике МПК также используется для характеристики относительной мощности аэробной работы, которая выражается в процентах от МПК. Например, относительная мощность работы, выполняемая с потреблением кислорода 3 л/мин спортсменом, имеющим МПК 6 л/мин, будет составлять 50% от уровня МПК.

**ПАО** – это наибольшая относительная мощность работы, измеряемая по потреблению кислорода в процентах по отношению к МПК. Большие величины ПАО говорят о лучшем развитии аэробного ресинтеза.

**ПАНО** – это минимальная относительная мощность работы, также измеренная по потреблению кислорода в процентах по отношению к МПК. Высокое ПАНО говорит о том, что аэробный ресинтез выше в единицу времени, поэтому гликолиз включается при гораздо больших нагрузках.

**Кислородный приход** – это количество кислорода (сверх дорабочего уровня), использованное во время выполнения данной нагрузки для обеспечения аэробного ресинтеза АТФ. Кислородный приход характеризует вклад тканевого дыхания в

энергообеспечение всей проделанной работы. Кислородный приход часто используют для оценки всей проделанной аэробной работы.

Под влиянием систематических тренировок в мышечных клетках возрастает количество митохондрий, совершенствуется кислородно-транспортная функция организма, возрастет количество миоглобина в мышцах и гемоглобина в крови.

## 7. Анаэробные пути ресинтеза АТФ.

Анаэробные пути ресинтеза АТФ – это дополнительные пути. Таких путей два креатинфосфатный путь и лактатный.

**Креатинфосфатный путь** связан с веществом **креатинфосфатом**. Креатинфосфат состоит из вещества креатина, которое связывается с фосфатной группой макроэргической связью. Креатинфосфата в мышечных клетках содержится в покое 15 – 20 ммоль/кг.

Креатинфосфат обладает большим запасом энергии и высоким сродством с АДФ. Поэтому он легко вступает во взаимодействие с молекулами АДФ, появляющимися в мышечных клетках при физической работе в результате реакции гидролиза АТФ. В ходе этой реакции остаток фосфорной кислоты с запасом энергии переносится с креатинфосфата на молекулу АДФ с образованием креатина и АТФ.



Эта реакция катализируется ферментом **креатинкиназой**. Данный путь ресинтеза АТФ иногда называют креатинкиназным.

Креатинкиназная реакция обратима, но смещена в сторону образования АТФ. Поэтому она начинает осуществляться, как только в мышцах появляются первые молекулы АДФ.

Креатинфосфат – вещество непрочное. Образование из него креатина происходит без участия ферментов. Не используемый организмом креатин, выводится из организма с мочой. Синтез креатинфосфата происходит во время отдыха из избытка АТФ. При мышечной работе умеренной мощности запасы креатинфосфата могут частично восстанавливаться. Запасы АТФ и креатинфосфата в мышцах называют также **фосфагены**.

**Максимальная мощность** этого пути составляет 900 -1100 кал/ мин-кг, что в три раза выше соответствующего показателя аэробного пути.

**Время развертывания** всего 1 – 2 сек.

**Время работы с максимальной скоростью** всего лишь 8 – 10 сек.

Главным преимуществом креатинфосфатного пути образования АТФ являются

- малой время развертывания,
- высокая мощность.

Эта реакция является главным источником энергии для упражнений максимальной мощности: бег на короткие дистанции, прыжки метания, подъем штанги. Эта реакция может неоднократно включаться во время выполнения физических упражнений, что делает возможным быстрое повышение мощности выполняемой работы.

Биохимическая оценка состояния этого пути ресинтеза АТФ обычно проводится двумя показателями: креатиновому коэффициенту и алактатному долгу.

**Креатиновый коэффициент** – это выделение креатина в сутки. Этот показатель характеризует запасы креатинфосфата в организме.

**Алактатный кислородный долг** – это повышение потребления кислорода в ближайшие 4 – 5 мин, после выполнения кратковременного упражнения максимальной мощности. Этот избыток кислорода требуется для обеспечения высокой скорости

тканевого дыхания сразу после окончания нагрузки для создания в мышечных клетках повышенной концентрации АТФ. У высококвалифицированных спортсменов значение алактатного долга после выполнения нагрузок максимальной мощности составляет 8 – 10 л.

**Гликолитический путь** ресинтеза АТФ, так же как креатинфосфатный является анаэробным путем. Источником энергии, необходимой для ресинтеза АТФ в данном случае является мышечный гликоген. При анаэробном распаде гликогена от его молекулы под действием фермента фосфорилазы поочередно отщепляются концевые остатки глюкозы в форме глюкозо-1-фосфата. Далее молекулы глюкозо-1-фосфата после ряда последовательных реакций превращаются в **молочную кислоту**. Этот процесс называется **гликолиз**. В результате гликолиза образуются промежуточные продукты, содержащие фосфатные группы, соединенные макроэргическими связями. Эта связь легко переносится на АДФ с образованием АТФ. В покое реакции гликолиза протекают медленно, но при мышечной работе его скорость может возрасти в 2000 раз, причем уже в предстартовом состоянии.

**Максимальная мощность** – 750 – 850 кал/мин-кг, что в два раза выше, чем при тканевом дыхании. Такая высокая мощность объясняется содержанием в клетках большого запаса гликогена и наличием механизма активизации ключевых ферментов.

**Время развертывания** 20-30 секунд.

**Время работы с максимальной мощностью** – 2 -3 минуты.

Гликолитический способ образования АТФ имеет **ряд преимуществ** перед аэробным путем:

- он быстрее выходит на максимальную мощность,
- имеет более высокую величину максимальной мощности,
- не требует участия митохондрий и кислорода.

Однако у этого пути есть и свои **недостатки**:

- процесс малоэкономичен,
- накопление молочной кислоты в мышцах существенно нарушает их нормальное функционирование и способствует утомлению мышцы.

Для оценки гликолиза используют две биохимические методики – *измерение концентрации лактата в крови, измерение водородного показателя крови и определение щелочного резерва крови.*

Определяют также и содержание лактата в моче. Это дает информацию о суммарном вкладе гликолиза в обеспечение энергией упражнений, выполненных за время тренировки.

Еще одним важным показателем является **лактатный кислородный долг**. Лактатный кислородный долг – это повышенное потребление кислорода в ближайшие 1 – 1,5 часа после окончания мышечной работы. Этот избыток кислорода необходим для устранения молочной кислоты, образовавшейся при выполнении мышечной работы. У хорошо тренированных спортсменов кислородный долг составляет 20 – 22 л. По величине лактаного долга судят о возможностях данного спортсмена при нагрузках субмаксимальной мощности.

## 8. Соотношение между различными путями ресинтеза АТФ при мышечной работе. Зоны относительной мощности мышечной работы.

При любой мышечной работе функционируют все три пути ресинтеза АТФ, но включаются они последовательно. В первые секунды работы ресинтез АТФ идет за счет креатинфосфатной реакции, затем включается гликолиз и, наконец, по мере продолжения работы на смену гликолизу приходит тканевое дыхание.

Конкретный вклад каждого из механизмов образования АТФ в энергетическое обеспечение мышечных движений зависит от интенсивности и продолжительности физических нагрузок.

При кратковременной, но очень интенсивной работе (например беге на 100 м) главным источником АТФ является креатинкиназная реакция. При более продолжительной интенсивной работе (например на средние дистанции) большая часть АТФ образуется за счет гликолиза. При выполнении упражнений большой продолжительности, но умеренной мощности энергообеспечение мышц осуществляется в основном за счет аэробного окисления.

В настоящее время приняты различные классификации мощности мышечной работы. В спортивной биохимии чаще всего используется классификация базирующаяся на том, что мощность обусловлена соотношением между тремя основными путями ресинтеза АТФ. Согласно этой классификации выделяют четыре зоны относительной мощности мышечной работы: максимальной, субмаксимальной, большой и умеренной.

**Максимальная мощность** может развиваться при работе продолжительностью 15 – 20 сек. Основным источником АТФ при этой работе – креатинфосфат. Только в самом конце креатинкиназная реакция заменяется гликолизом. Примером физических упражнений, выполняемых в зоне максимальной мощности является бег на короткие дистанции, прыжки в длину и высоту, некоторые гимнастические упражнения, подъем штанги и некоторые другие. Максимальную мощность при этих упражнениях обозначают как **максимальную анаэробную мощность**.

Работа в зоне **субмаксимальной аэробной мощности** имеет продолжительность до 5 минут. Ведущий механизм ресинтеза АТФ – гликолиз. Вначале, пока реакции гликолиза не достигли максимальной скорости, образование АТФ идет за счет креатинфосфата, а в конце в процесс включается тканевое дыхание. Работа в этой зоне характеризуется высоким кислородным долгом – 20 – 22 л. Примером физических нагрузок в этой зоне мощности является бег на средние дистанции, плавание на средние дистанции, велосипедные гонки на треке, спринтерские конькобежные дистанции и др. Такие нагрузки называют **лактатными**.

Работа в зоне **большой мощности** имеет предельную продолжительность до 30 мин. Для работы в этой зоне характерен одинаковый вклад гликолиза и тканевого дыхания. Креатинфосфатный путь участвует только в самом начале работы. Примером упражнений в этой зоне являются бег на 5000 м, бег на коньках на длинные дистанции, лыжные гонки, плавание на средние дистанции и др. Здесь различают нагрузки либо **аэробно-анаэробные, либо анаэробно-аэробные**.

Работа в **умеренной зоне** продолжительностью свыше 30 минут происходит преимущественно аэробным путем. Сюда относят марафонский бег, легкоатлетический кросс, шоссейные велогонки, спортивная ходьба, лыжные гонки на длинные дистанции, турпоходы и др.

В ациклических и ситуационных видах спорта (единоборства, гимнастические упражнения, спортивные игры) мощность выполняемой работы многократно меняется. Например, у футболистов бег с умеренной скоростью (зона большой мощности) чередуется с бегом на короткие дистанции со спринтерской скоростью (зона максимальной или субмаксимальной мощности). В то же время у футболистов бывают такие отрезки игры, когда мощность работы снижается до умеренной.

При подготовке спортсменов необходимо применять тренировочные нагрузки, развивающие путь ресинтеза АТФ, являющийся ведущим в энергообеспечении работы в зоне относительной мощности характерной для данного вида спорта.

## **Тема 25. БИОХИМИЧЕСКИЕ СДВИГИ ПРИ МЫШЕЧНОЙ РАБОТЕ.**

### **Вопросы лекции и семинарского занятия.**

1. Основные механизмы нервно-гуморальной регуляции мышечной деятельности.
2. Биохимические изменения в скелетных мышцах.
3. Биохимические сдвиги в головном мозге и миокарде.
4. Биохимические изменения в печени.
5. Биохимические сдвиги в крови.
6. Биохимические сдвиги в моче.

### **1. Основные механизмы нервно-гуморальной регуляции мышечной деятельности.**

Любая физическая работа сопровождается изменениями скорости метаболических процессов. Необходимая перестройка метаболизма во время мышечной деятельности происходит под воздействием нервно-гуморальной регуляции.

Можно выделить следующие механизмы нервно-гуморальной регуляции мышечной деятельности.

При мышечной работе повышается тонус симпатического отдела вегетативной нервной системы, который отвечает за работу внутренних органов и мышц.

В легких под влиянием симпатических импульсов повышается частота дыхания и происходит расширение бронхов. В результате увеличивается легочная вентиляция, что приводит к улучшению обеспечения организма кислородом.

Под влиянием симпатической нервной системы также повышается частота сердечных сокращений, следствием чего является увеличение скорости кровотока и улучшение снабжения органов, в первую очередь мышц, кислородом и питательными веществами.

Симпатическая система усиливает потоотделение, улучшая тем самым терморегуляцию.

Она оказывает замедляющее влияние на работу почек, кишечника. Под влиянием симпатической нервной системы происходит мобилизация жира.

Не менее важную роль в перестройке организма во время мышечной работы выполняют гормоны. Наибольшее значение в биохимическую перестройку при этом вносят гормоны надпочечников.

Мозговой слой надпочечников вырабатывает **катехоламины – адреналин и норадреналин**. Выделение гормонов мозгового слоя в кровь происходит при различных эмоциях и стрессах. Биологическая роль этих гормонов – создание оптимальных условий для выполнения мышечной работы большой мощности и продолжительности путем воздействия на физиологические функции и метаболизм.

Попадая в кровь, катехоламины дублируют действия симпатических импульсов. Они вызывают повышение частоты дыхания, расширение бронхов. Под действием адреналина повышается частота сердечных сокращений и их сила. Под действием адреналина в организме происходит перераспределение крови в сосудистом русле.

В печени эти гормоны вызывают ускоренный распад гликогена. В жировой ткани катехоламины активизируют липазы, ускоряя тем самым распад жира. В мышцах они активизируют распад гликогена.

Гормоны коркового слоя также активно участвуют в активизации мышечной работы. Их действие заключается в том, что они подавляют действие фермента гексокиназы, чем способствуют накоплению глюкозы в крови. Поскольку эти гормоны не действуют на нервные клетки – это дает возможность питать нервные клетки, поскольку глюкоза для них практический единственный источник энергии. Гормоны – глюкокортикоиды –



тормозят анаболические процессы и в первую очередь биосинтез белков. Это дает возможность использовать высвободившиеся молекулы АТФ для работы мышц. Кроме того они стимулируют синтез глюкозы из неуглеводных субстратов.

## **2. Биохимические изменения в скелетных мышцах.**

При выполнении физической работы в мышцах происходит глубокие изменения, обусловленные прежде всего интенсивностью процессов ресинтеза АТФ.

Использование креатинфосфата в качестве источника энергии приводит к снижению его концентрации в мышечных клетках и накоплению в них креатина.

Практически при любой работе для получения АТФ используется мышечный гликоген. Поэтому его концентрация в мышцах снижается независимо от характера работы. При выполнении интенсивных нагрузок в мышцах наблюдается быстрое уменьшение запасов гликогена и одновременное образование и накопление молочной кислоты. За счет накопления молочной кислоты повышается кислотность внутри мышечных клеток. Увеличение содержания лактата в мышечных клетках вызывает также повышением в них осмотического давления. Повышение осмотического давления приводит к тому, что в мышечную клетку из капилляров и межклеточного пространства поступает вода, и мышцы набухают или, как говорят спортсмены, «забиваются».

Продолжительная мышечная работа небольшой мощности вызывает плавное снижение концентрации гликогена в мышцах. В данном случае распад происходит аэробно, с потреблением кислорода. Конечные продукты такого распада – углекислый газ и вода – удаляются из мышечных клеток в кровь. Поэтому после выполнения работы умеренной мощности в мышцах обнаруживается уменьшение содержания гликогена без накопления лактата.

Еще одно важное изменение, возникающее в работающих мышцах – повышение скорости распада белков. Особенно ускоряется распад белков при выполнении силовых упражнений, причем, это затрагивает в первую очередь сократительные белки миофибрилл. Вследствие распада белков в мышечных клетках повышается содержание свободных аминокислот и продуктов их распада – кетокислот и аммиака.

Другими характерным изменением, вызываемым мышечной деятельностью, является снижение активности ферментов мышечных клеток. Одной из причин уменьшения ферментативной активности может быть повышенная кислотность, вызванная появлением в мышцах молочной кислоты.

И наконец, мышечная деятельность может привести к повреждениям внутриклеточных структур – миофибрилл, митохондрий и других биомембран. Так нарушение мембран саркоплазматической цепи ведет к нарушению проведения нервного импульса к цистернам, содержащим ионы кальция. . Нарушения целостности сарколеммы сопровождается потерей мышцами многих важных веществ, которые уходят из поврежденной клетки в лимфу и кровь. Нарушается и работа ферментов, встроенных в мембраны. Нарушается работа кальциевого насоса и ферментов тканевого дыхания, расположенных на внутренней поверхности мембран митохондрий.

## **3. Биохимические сдвиги в головном мозге и миокарде.**

**Головной мозг.** Во время мышечной деятельности в двигательных нейронах коры головного мозга происходит формирование и последующая передача двигательного нервного импульса. Оба эти процесса (формирование и передача нервного импульса) осуществляются с потреблением энергии в виде молекул АТФ. Образование АТФ в нервных клетках происходит аэробно. Поэтому при мышечной работе увеличивается потребление мозгом кислорода из протекающей крови. Другой особенностью

энергетического обмена в нейронах является то, что основным субстратом окисления является глюкоза, поступающая с током крови.

В связи с такой спецификой энергоснабжения нервных клеток любое нарушение снабжения мозга кислородом или глюкозой неминуемо ведет к снижению его функциональной активности, что у спортсменов может проявиться в форме головокружения или обморочного состояния.

**Миокард.** Во время мышечной деятельности происходит усиление и учащение сердечных сокращений, что требует большого количества энергии по сравнению с состоянием покоя. Однако энергоснабжение сердечной мышцы осуществляется главным образом за счет аэробного ресинтеза АТФ. Лишь при ЧСС более 200 уд/мин, включается анаэробный синтез АТФ.

Большие возможности аэробного энергообеспечения в миокарде обусловлены особенностью строения этой мышцы. В отличие от скелетных мышц в миокарде имеется более развитая и густая сеть капилляров, что позволяет извлекать из крови больше кислорода и субстратов окисления. Кроме того в клетках сердечной мышцы имеется больше митохондрий, содержащих ферменты тканевого дыхания. В качестве источников энергии клетки сердечной мышцы используют и глюкозу, и жирные кислоты, и кетоновые тела, и глицерин. Гликоген миокард сохраняет на «черный день», когда истощаются другие источники энергии.

Во время интенсивной работы сопровождающейся увеличением концентрации лактата в крови, миокард извлекает из крови лактат и окисляет его до углекислого газа и воды.

При окислении одной молекулы молочной кислоты синтезируется до 18 молекул АТФ. Способность миокарда окислять лактат имеет большое биологическое значение. Это дает возможность организму дольше поддерживать в крови необходимую концентрацию глюкозы, что очень существенно для биоэнергетики нервных клеток, для которых глюкоза является почти единственным субстратом окисления. Окисление лактата в миокарде также способствует нормализации кислотно-щелочного баланса, так как при этом в крови снижается концентрация этой кислоты.

#### **4. Биохимические сдвиги в печени.**

При мышечной деятельности активируются функции печени, направленные преимущественно на улучшение обеспечения работающих мышц, внемышечными источниками энергии, переносимыми кровью. Ниже описаны наиболее важные биохимические процессы, протекающие в печени во время работы.

1. Под воздействием адреналина повышается скорость распада гликогена с образованием свободной глюкозы. Образовавшаяся глюкоза выходит из клеток печени в кровь, что приводит к возрастанию её концентрации в крови. При этом снижается содержание гликогена. Наиболее высокая скорость распада гликогена наблюдается в печени в начале работы, когда запасы гликогена ещё велики.

2. Во время выполнения физического упражнения клетки печени активно извлекают из крови жир, жирные кислоты, содержание которых в крови возрастает вследствие мобилизации жира из жировых депо. Поступающий в печеночные клетки жир сразу подвергается гидролизу и превращается в глицерин и жирные кислоты. Далее жирные кислоты путем  $\beta$ -окисления расщепляются до ацетилкофермента А, из которого затем образуются кетоновые тела. Кетоновые тела являются важным источником энергии. С током крови они переносятся из печени в работающие органы – миокард и скелетные мышцы. В этих органах кетоновые тела вновь превращаются в ацетилкофермент А, который сразу же аэробно окисляется в цикле трикарбоновых кислот до углекислого газа и воды с выделением большого количества энергии.

3. Еще один биохимический процесс, протекающий в печени во время мышечной работы – это образование глюкозы из глицерина, аминокислот, лактата. Этот процесс идет с затратами энергии молекул АТФ. Обычно такой синтез глюкозы протекает при

длительной работе, ведущей к снижению концентрации глюкозы в кровяном русле. Благодаря этому процессу организму удастся поддерживать в крови необходимый уровень глюкозы.

4. При физической работе усиливается распад мышечных белков, приводящий к образованию свободных аминокислот, которые далее дезаминируются, выделяя аммиак. Аммиак является клеточным ядом, его обезвреживание происходит в печени, где он превращается в мочевины. Синтез мочевины требует значительного количества энергии. При истощающих нагрузках, не соответствующему функциональному состоянию организма, печень может не справиться с обезвреживанием аммиака, в этом случае возникает интоксикация организма этим ядом, ведущая к снижению работоспособности.

## 5. Биохимические сдвиги в крови.

Изменения химического состава крови является отражением тех биохимических сдвигов, которые возникают при мышечной деятельности в различных внутренних органах, скелетных мышцах и миокарде.

Биохимические сдвиги, возникающие в крови, в значительной мере зависят от характера работы, поэтому их анализ следует проводить с учетом мощности и продолжительности физических нагрузок.

При выполнении мышечной работы в крови чаще всего обнаруживаются следующие изменения.

1. Изменения концентрации белков в плазме крови. Причин этого две. Во-первых, усиленное потоотделение приводит к уменьшению содержания воды в плазме крови и, следовательно, к ее сгущению. Это вызывает возрастание концентрации веществ, содержащихся в плазме. Во-вторых, вследствие повреждения клеточных мембран наблюдается выход внутриклеточных белков в плазму крови. В этом случае часть белков кровяного русла переходит в мочу, а другая часть используется в качестве источников энергии.

2. Изменение концентрации глюкозы в крови во время работы проходит ряд фаз. В самом начале работы уровень глюкозы возрастает. Глюкоза выходит из печени, где происходит ее образование из гликогена. Кроме того мышцы, имеющие запасы гликогена, на этой стадии в глюкозе из крови остро не нуждаются. Но затем наступает стадия когда гликоген в печени и мышцах заканчивается. Тогда наступает следующая фаза, когда для извлечения энергии используется глюкоза крови. Ну а в конце работы наступает фаза истощения и, как следствие, гипогликемия – снижение концентрации глюкозы в крови.

3. Повышение концентрации в крови лактата наблюдается практически при любой спортивной деятельности, но степень накопления лактата в значительной степени зависит от характера выполняемой работы и тренированности спортсмена. Наибольший подъем уровня молочной кислоты в крови отмечается при выполнении физических нагрузок в зоне субмаксимальной мощности. Так как в этом случае главным источником энергии для работающих мышц является анаэробный гликолиз, приводящий к образованию и накоплению лактата.

Следует помнить, что накопление лактата происходит не сразу, а через несколько минут после окончания работы. Поэтому и измерение уровня лактата нужно проводить через 5 – 7 минут после окончания работы. Если уровень лактата в покое не превышает 1 – 2 ммоль/л, то у высоко-тренированных спортсменов после тренировки он может достигать 20 – 30 ммоль/л.

4. Водородный показатель (рН). При выполнении упражнений субмаксимальной мощности уровень рН может довольно значительно снижаться (на 0,5 ед.)

5. Физические упражнения сопровождаются повышением концентрации свободных жирных кислот и кетоновых тел в крови. Это связано с мобилизацией жира в печени и выходом продуктов этого процесса в кровь.

6. Мочевина. При кратковременной работе концентрация мочевины в крови меняется незначительно, при длительной работе уровень мочевины возрастает в несколько раз. Это связано с усилением метаболизма белков при физических нагрузках.

### 6. Биохимические сдвиги в моче.

Физические упражнения влияют на физико-химические свойства мочи, сдвиги в которых объясняются существенными сдвигами в химическом составе мочи.

В моче появляются вещества, которые обычно в ней отсутствуют. Эти вещества называют **патологическими компонентами**. У спортсменов наблюдаются после напряженной работы, следующие патологические компоненты.

1. Белок. Обычно в моче не более 100мг белка. После тренировки наблюдается значительное выделение мочой белка. Это явление получило название **протеинурия**. Чем тяжелее нагрузки, тем выше содержание белка. *Причиной этого явления, возможно, является повреждение почечных мембран.* Однако снижение нагрузок полностью восстанавливает нормальный состав мочи.

2. Глюкоза. В покое глюкоза в моче отсутствует. После завершения тренировки в моче нередко обнаруживается глюкоза. Это обусловлено двумя основными причинами. Первая, избыточное содержание глюкозы в крови при физической работе. Во-вторых нарушение почечных мембран вызывает нарушение процесса обратного всасывания.

3. Кетоновые тела. До работы кетоновые тела в моче не обнаруживаются. После нагрузок с мочой могут выделяться в больших количествах кетоновые тела. Это явление называется **кетонурия**. Она связана с повышением концентрации кетоновых тел в крови и наращиванием реабсорбции их почками.

4. Лактат. Появление молочной кислоты в моче обычно наблюдается после тренировок, включающих упражнения субмаксимальной мощности. По выделению лактата с мочой можно судить об общем вкладе гликолиза в энергетическое обеспечение всей работы, выполненной спортсменом за тренировку.

Наряду с влиянием на химический состав мочи физические нагрузки меняют и физико-химические свойства мочи.

Плотность. Объем мочи после тренировок, как правило, меньше, так как большая часть воды уходит с потом. Это сказывается на плотности мочи, которая возрастает. Увеличение плотности мочи связано также с появлением в ней веществ, которые обычно в моче отсутствуют.

По плотности можно рассчитать содержание растворенных химических соединений в отдельных порциях мочи.

Кислотность. Кетоновые тела и молочная кислота, выделяемые с мочой, меняют её кислотность. Обычно рН мочи 5 – 6 ед. После работы он может снизиться до 4 – 4,5 ед.

***Чем интенсивнее физические нагрузки – тем значительнее изменения, наблюдаемые в составе мочи и крови.***

## Тема 26. БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ УТОМЛЕНИЯ.

### Вопросы лекции и семинарского занятия.

1. Охранительное или запредельное торможение.
2. Нарушение функций вегетативных и регуляторных систем.
3. Исчерпание энергетических резервов.
4. Роль лактата в утомлении.
5. Повреждение биологических мембран свободнорадикальным окислением.

### 1. Охранительное или запредельное торможение.

**Утомление** – это временное снижение работоспособности, вызванное биохимическими, функциональными и структурными сдвигами, возникающими в ходе выполнения физической работы.

С биологической точки зрения **утомление** – это защитная реакция предупреждающая нарастание биохимических и физиологических изменений в организме, которые достигнув определенной глубины, могут стать опасными для здоровья и для жизни.

У спортсменов в основе развития утомления лежат разные механизмы. Прежде всего – это возникновение, так называемого, охранительного или запредельного торможения, возникающего в нервной системе.

Субъективно, охранительное торможение воспринимается как чувство усталости. В зависимости от распространенности усталость может быть местной (локальной) или общей (глобальной). При местной усталости биохимические сдвиги обнаруживаются в определенных группах мышц, а общая усталость отражает биохимические и физиологические сдвиги, возникающие не только в работающих мышцах, но и в других органах сопровождаются снижением работоспособности сердечной, дыхательной, нервной систем, изменением состава крови и функционирования печени. Биологическая роль **усталости** состоит, по-видимому, в том, что это чувство является субъективным сигналом возникновения в организме неблагоприятных сдвигов.

Охранительное торможение, а значит и усталость, могут быть снижены за счет эмоций. Высокий эмоциональный подъем помогают организму преодолеть порог охранительного торможения. Это наверно и случилось со знаменитым марафонским бегуном, когда все ограничения охранительного торможения были сняты, а изменения в организме, несовместимые с жизнью уже произошли. Наоборот выполнение монотонной, однообразной работы повышает вероятность развития охранительного торможения.

Химические вещества, вводимые в организм, могут усиливать или наоборот уменьшать развитие запредельного торможения.

Для повышения работоспособности издавна пользуются кофеином. Это природное соединение действует очень мягко и повышение работоспособности происходит в пределах физиологических возможностей организма. Подобным образом действуют женьшень, элеутерококк, китайский лимонник, пантокрин, названные природными **адаптогенами**. Есть и фармакологические препараты, позволяющие сохранить высокую работоспособность.

Противоположное действие оказывают седативные препараты, в частности, производные брома. При их использовании запредельное торможение и чувство усталости возникает раньше, что приводит к ограничению работоспособности.

Развитие тормозных процессов в ЦНС зависит от возраста. У пожилых людей чувство усталости развивается быстрее.

## **2.Нарушение функций регуляторных и вегетативных систем.**

В обеспечении мышечной деятельности, наряду с нервной системой активнейшее участие принимают участие системы вегетативного обеспечения: дыхательная, сердечнососудистая, печень.

Дыхательная и сердечнососудистая системы отвечают в организме, прежде всего, за доставку и удаление газов к различным органам, в том числе и мышцам. При активной физической работе эти системы могут стать весьма серьезным ограничителем работоспособности, и, стало быть, внести немалый вклад в развитие утомления.

Еще один орган, способствующий развитию утомления – это печень. В печени во время мышечной работы протекают такие важные процессы, как образование глюкозы,  $\beta$ -окисление жирных кислот, кетогенез, глюконеогенез, которые направлены на обеспечение мышц важнейшими источниками энергии: глюкозой и кетоновыми телами. Кроме того в печени во время мышечной работы осуществляется обезвреживание аммиака путем синтеза мочевины. Поэтому уменьшение функциональной активности печени ведет к снижению работоспособности, то есть развитию утомления. В связи с такой важной ролью печени в обеспечении мышечной деятельности в спортивной практике широкое применение находят вещества, улучшающие обменные процессы печени – **гепатопротекторы**.

При продолжительной физической работе возможно снижение функции надпочечников. В результате уменьшается выделение в кровь гормонов адреналина и коры надпочечников. Это вызывает снижение работоспособности мышц.

## **3. Исчерпание энергетических резервов.**

Выполнение физической работы сопровождается большими энергетическими затратами.

В спортивной литературе часто используются термины **энергетические резервы** и **доступные источники энергии**. Под этим понимается та часть углеводов, жиров и аминокислот, которая может служить источником энергии при выполнении мышечной работы. Таким источниками можно считать мышечный креатинфосфат, который может быть почти полностью использован при интенсивной работе, значительную часть мышечного и печеночного гликогена. Часть запасов жира, находящегося в жировых депо, а также аминокислоты, которые начинают окисляться при очень продолжительных нагрузках. Энергетическим резервом можно также считать способность организма поддерживать в крови во время выполнения физической работы необходимый уровень глюкозы.

Исчерпание энергетических субстратов, несомненно, ведет к снижению выработки в организме АТФ и уменьшению баланса АТФ/ АДФ.

Снижения этого показателя в нервной системе приводит к нарушениям формирования передачи нервных импульсов, в том числе, управляющих скелетной мускулатурой. Такое нарушение в функционировании нервной системы и является основной причиной развития охранительного торможения. Уменьшение скорости синтеза АТФ в клетках скелетных мышц и миокарда нарушает сократительную функцию миофибрилл, следствием чего является снижение мощности выполняемой работы.

Для поддержания энергетических ресурсов в организме при выполнении продолжительной работы (например, лыжные гонки, марафонский бег, шоссейные велогонки) на дистанции организуется питание, что позволяет спортсменам длительно сохранять работоспособность.

## **4. Роль лактата в утомлении.**

Обычно лактат образуется в мышцах в больших количествах при выполнении нагрузок субмаксимальной мощности. Накопление молочной кислоты в мышечных клетках

существенно влияет на их функционирование. В условиях повышенной кислотности, вызванной нарастанием концентрации молочной кислоты, снижается сократительная способность белков, участвующих в мышечной деятельности, уменьшается каталитическая активность белков-ферментов, в том числе АТФазная активность миозина и активность кальциевой АТФазы (кальциевый насос), изменяются свойства мембранных белков, что приводит к повышению проницаемости биологических мембран. Кроме того, накопление лактата в мышечных клетках ведет к набуханию этих клеток вследствие поступления в них воды, что в итоге уменьшает сократительную возможность мышц (как говорят спортсмены, «мышцы забились»). Можно также предположить, что избыток лактата внутри мышечных клеток связывает часть ионов кальция и тем самым ухудшает управление процессами сокращения и расслабления мышц.

На практике для предупреждения возможного негативного воздействия лактата на работоспособность используются различные приемы, способствующие удалению его из работающих мышц.

### § 5. Повреждение биологических мембран свободнорадикальным окислением.

Известно, что незначительная часть кислорода, поступающего из воздуха в организм, превращается в активные формы, называемые **свободными радикалами**. Свободные радикалы кислорода, обладая высокой химической активностью, вызывают окисление белков, жиров и нуклеиновых кислот. Чаще всего окислению подвергается липидный слой биологических мембран. Такое окисление называют **перекисным окислением мембран (ПОЛ)**.

В физиологических условиях свободнорадикальное окисление протекает с низкой скоростью, так как ему противостоит защитная **антиоксидантная система** организма, предупреждающая накопление свободных радикалов кислорода и ограничивающая тем самым скорость вызываемых ими реакций окисления.

Однако исследования показывают, что физические нагрузки, свойственные современному спорту приводят к значительному росту ПОЛ. Этим грешит практически любая физическая работа, протекающая в условиях повышенного потребления кислорода.

В ациклических видах спорта (спортивные игры, единоборства) характер мышечной деятельности многократно меняется. Такие изменения сопровождаются несоответствием между продолжающимся повышенным поступлением кислорода и снижением его потребления митохондриями миоцитов. Подобное несоответствие вызывает относительную **гипероксию** в мышечной ткани, что, несомненно, приводит к еще большему образованию свободных радикалов и дальнейшему нарастанию их повреждающего действия на биомембраны. К повышению скорости свободнорадикального окисления приводит также повышение кислотности – **ацидоз** – возникающее у спортсменов вследствие накопления в мышечных клетках лактата. Не менее большой вклад в эти процессы делает **стресс** – постоянный спутник современного спорта. А ведь стресс, а именно, стрессовые гормоны, оказывают огромное влияние на развитие в организме свободнорадикального окисления.

Чрезмерная активизация ПОЛ оказывает негативное влияние на мышечную деятельность. Затрудняется передача длительных нервных импульсов, так как повышается проницаемость мембран нервных и мышечных клеток. Нарушается кальциевый насос, что неизбежно приводит к снижению способности мышечных клеток к сокращению. Нарушение митохондриальных мембран, неизбежно ведет к снижению уровня окислительного фосфорилирования, а значит ухудшает снабжение мышечных клеток энергией.

Таким образом, *активизация ПОЛ сокращает работоспособность спортсмена.*

Свободнорадикальное окисление – это один из важнейших механизмов развития утомления при спортивной деятельности.

К экзогенным средствам препятствующим развитию утомления при спортивной деятельности следует отнести витамин Е (токоферол), тимол и ряд других.

## Тема 27. БИОХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСЛЕ МЫШЕЧНОЙ РАБОТЫ.

### Вопросы лекции и семинарского занятия.

1. Срочное восстановление.
2. Отставленное восстановление
3. Методы ускорения восстановления.

#### § 1. Срочное восстановление.

Восстановление является важнейшим периодом подготовки спортсмена, так как именно в это время в организме закладываются основы роста спортивной работоспособности и развития скоростно-силовых качеств и выносливости.

С точки зрения биохимии различают восстановление **срочное и отставленное**.

На этапе срочного восстановления устраняются продукты анаэробного обмена, главным образом креатин и молочная кислота.

Креатин накапливается в мышечных клетках во время физических нагрузок за счет креатинфосфатной реакции.



Эта реакция обратима. Во время восстановления она протекает в обратном порядке.



Обязательным условием превращения креатина в креатинфосфат является избыток АТФ, который создается в мышцах после работы, когда уже нет больших энергозатрат на мышечную деятельность. Источником АТФ при восстановлении является тканевое дыхание, протекающее с достаточно высокой скоростью и потребляющее значительное количество кислорода. В качестве окисляемых субстратов при этом чаще всего используются жирные кислоты.

На устранение креатина требуется не более 5 минут. (Это максимально!) В течение этого времени наблюдается повышенное потребление кислорода, называемое **алактатный кислородный долг**.

Алактатный кислородный долг характеризует вклад креатинфосфатного пути ресинтеза АТФ в энергообеспечение выполняемой физической нагрузки. Наибольших значений алактатный долг достигает в зоне выполнения физических нагрузок максимальной мощности и достигает величины 8 – 10 л.

Другой продукт анаэробного обмена – **молочная кислота** – образуется и накапливается в результате функционирования гликолиза. Устранение лактата происходит преимущественно во внутренних органах, так как она легко выходит из клеток в кровяное русло.

Лактат, поступающий из крови в миокард, подвергается аэробному окислению и превращается в конечные продукты – углекислый газ и воду. Такое окисление требует кислорода и сопровождается выделением энергии, которая используется для обеспечения работы сердечной мышцы.

Значительная часть лактата из крови попадает в печень и превращается в глюкозу. Этот процесс называется **глюконеогенезом**. Процесс этот идет с затратами энергии молекул АТФ, источниками которых являются процессы тканевого дыхания, протекающие с повышенной скоростью и потреблением избыточного количества кислорода по сравнению с покоем.



Повышенное потребление кислорода в ближайшие 1,5 – 2 часа после завершения мышечной работы, необходимое для устранения лактата называется **лактатным кислородным долгом**.

Лактатный кислородный долг характеризует вклад гликолиза в энергообеспечение мышечной работы и достигает большой величины 20 – 22 л.

Частично алактатный и лактатный долг может устраняться во время тренировки, при снижении тренировочных нагрузок, а также в промежутках отдыха. Такое восстановление называется **текущим**.

## 2. Отставленное восстановление.

Отставленное восстановление связано с восполнением запасов гликогена, жиров и белков. Собственно синтезы этих веществ и составляют биохимическую сущность этих процессов.

Синтез гликогена протекает в мышцах и в печени, причем в первую очередь накапливается мышечный гликоген. Синтез гликогена происходит, главным образом, из глюкозы, поступающей с пищей. Предельное восстановление в организме запасов гликогена составляет 24 – 36 часов.

Синтез жиров осуществляется в жировой ткани. Вначале образуются глицерин и жирные кислоты, затем они соединяются в молекулу жира. Жир также образуется в стенке тонкой кишки путем ресинтеза из продуктов переваривания жира пищи. С током лимфы, а затем крови ресинтезированный жир поступает в жировую ткань. Для восполнения запасов жира необходимо не более 36 – 48 часов.

Отставленное восстановление также включает и восстановление поврежденных внутриклеточных структур. Это касается миофибрилл, митохондрий, различных клеточных мембран. По времени это самый длительный процесс, требующий от 72 до 96 часов.

Все биохимические процессы, составляющие отставленное восстановление протекают с потреблением энергии, источником которой являются молекулы АТФ, возникающие за счет окислительного фосфорилирования. Поэтому для фазы отставленного восстановления характерно несколько повышенное потребление кислорода, но не такое выраженное, как при срочном восстановлении.

Важной особенностью отставленного восстановления является наличие **сверхвосстановления или суперкомпенсации**. Суть этого явления заключается в том, что вещества, разрушенные при работе, во время восстановления синтезируются в больших концентрациях по сравнению с их предробочим уровнем. К сожалению, суперкомпенсация носит временный характер. Затем уровень работоспособности возвращается к исходному. Однако, если суперкомпенсация возникает часто, то это ведет к постепенному повышению исходного уровня. Так вот, показано, что уровень работоспособности напрямую связан с концентрацией гликогена в мышцах.

Основной причиной суперкомпенсации является повышенное содержание в крови гормонов, влияющих на синтетические процессы. Время наступления суперкомпенсации зависит от скорости распада веществ при работе: чем выше скорость расщепления какого-либо вещества во время работы, тем быстрее происходит его синтез при восстановлении и раньше наступает суперкомпенсация.

Высота суперкомпенсации определяется глубиной распада веществ при работе. Чем глубже распад вещества при работе, тем более выражена и выше суперкомпенсация. Эта особенность суперкомпенсации заставляет тренеров применять на тренировках упражнения высокой мощности и продолжительности, чтобы вызвать в организме спортсмена достаточно глубокий распад тех веществ, от содержания которых значительно зависит работоспособность.

Для спортсмена суперкомпенсация имеет исключительное значение. На высоте суперкомпенсации существенно возрастают все качества двигательной деятельности, что несомненно способствует росту спортивных результатов.

### 3. Методы ускорения восстановления.

В настоящее время в практике спорта применяются три группы восстановительных средств: **педагогические, психологические и медико-биологические.**

К **педагогическим** способам ускорения восстановления относятся:

- использование в тренировочном процессе физических нагрузок, соответствующих функциональному состоянию спортсмена;
- рациональная регулярность тренировочных занятий, наличие необходимой продолжительности отдыха между тренировками;
- чередование анаэробных и аэробных нагрузок, предупреждающее чрезмерное образование и накопление в организме лактата с последующим повышением кислотности.

**Психологические** средства ускоряющие восстановление, разнообразны. На практике используются следующие способы психологического воздействия:

- психологическая саморегуляция;
- аутогенная психомышечная тренировка;
- внушение и гипноз;
- музыка и цветомузыка;
- специальные дыхательные упражнения;
- психогигиена (благоприятные условия быта, разнообразие досуга, исключение отрицательных эмоций и т. д.)

**Медико-биологические** средства ускорения восстановления работоспособности играют важную роль в подготовке спортсменов любой квалификации и широко применяются в спортивной практике. Сюда относятся:

- гидротерапия;
- массаж;
- полноценное питание;
- лекарственные средства.

В конечном итоге все способы *гидротерапии и массажа* приводят к усилению лимфо- и кровообращения. Благодаря этому внутренние органы и особенно мышцы освобождаются от конечных продуктов метаболизма (прежде всего, лактата) и получают в больших количествах кислород, источники энергии, строительный материал.

За счет *питания* в организм извне поступают источники энергии, строительный материал, витамины и минеральные вещества, то есть все то, что необходимо для быстрого протекания восстановительных процессов. Однако несбалансированное питание может не только не ускорить восстановление, а просто свести его к нулю.

Применение разрешенных лекарственных средств способствует росту работоспособности, ускорению восстановления, повышению уровня адаптации к мышечным нагрузкам. Фармакологические средства также могут стимулировать иммунные свойства организма, улучшать биоэнергетику организма.

## Тема 28. БИОХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ АДАПТАЦИИ К МЫШЕЧНОЙ РАБОТЕ.

### Вопросы лекции и семинарского занятия.

1. Что такое адаптация?
2. Срочная (экстренная) адаптация.
3. Договременная (хроническая) адаптация.
4. Тренировочный эффект.
5. Биологические принципы спортивной тренировки.

#### 1. Что такое адаптация?

В широком понимании слово адаптация означает «приспособление». К большим физическим нагрузкам, характерным для современного спорта необходимо адаптироваться. Это предусматривает соблюдение спортивного режима, умение переносить стрессовые нагрузки, наконец, регулярно с большой отдачей тренироваться.

*Адаптация к мышечной работе – это структурно-функциональная перестройка организма, позволяющая спортсмену выполнять физические нагрузки большей мощности и продолжительности, развивать более высокие мышечные усилия по сравнению с нетренированным человеком.*

Биохимические и физиологические механизмы адаптации к физическим нагрузкам сформировались в ходе длительной эволюции животного мира и зафиксированы в структуре ДНК. Поэтому у каждого человека имеется врожденная способность к адаптации или **генетическая адаптация**. В принципе молекулярные механизмы, лежащие в основе адаптации одинаковы для любого организма. В то же время уровень реализации отдельных адаптационных механизмов индивидуален и существенно зависит от конституции тела, типа высшей нервной деятельности и много другого. Поэтому нет ничего удивительного, что одни люди способны легко приспосабливаться к выполнению кратковременных силовых нагрузок, другие – к выполнению скоростных упражнений, а третьи – легко выполняют упражнения на выносливость. Индивидуальны особенности генотипа необходимо учитывать при отборе для занятий отдельными видами спорта.

Адаптационные способности человека меняются и с возрастом. Под влиянием систематических тренировок адаптационные механизмы совершенствуются, уровень адаптации к мышечной работе возрастает. Такой прирост адаптационных возможностей организма, наблюдаемый в течение жизни, носит название **фенотипической адаптации**.

Адаптация к физическим нагрузкам проходит две фазы – **срочной или экстренной адаптации и долговременной или хронической адаптации**.

#### 2. Срочная или экстренная адаптация.

Основой срочной адаптации является структурно-функциональная перестройка, происходящая в организме непосредственно при выполнении физической работы. Целью этого этапа является создание мышцам оптимальных условий для функционирования, прежде всего за счет увеличения энергоснабжения.

Необходимые для этого биохимические и физиологические сдвиги возникают под воздействием нервно-гуморальной регуляции. Главными регуляторными факторами срочной адаптации является симпатическая нервная система и гормоны – катехоламины и глюкокортикоиды.

На клеточном уровне под действием нервно-гуморальных механизмов регуляции увеличивается выработка энергии.

К основным изменениям **катаболических процессов**, приводящим к усилению обеспечения энергией можно отнести следующие процессы.

1. **Ускорение распада гликогена в печени.** В этом процессе образуется глюкоза, которая попадает в кровь. Это ведет к увеличению снабжения различных органов важнейшим энергетическим субстратом.

2. **Усиление синтеза аэробного и анаэробного мышечного гликогена.** Этот процесс обеспечивает выработку большого количества молекул АТФ. В этом процесс большое значение имеет гормон *адреналин*.

3. **Повышение скорости тканевого дыхания в митохондриях.** Причин тому две: увеличение снабжения митохондрий кислородом и повышение активности ферментов тканевого дыхания вследствие активирующего действия избытка АТФ, возникающего при мышечной работе.

4. **Увеличение мобилизации жира в жировых депо.** Вследствие этого в крови повышается уровень нерасщепленного жира и свободных жирных кислот. Мобилизация жира вызывается импульсами вегетативной нервной системы и адреналином.

5. **Повышение скорости  $\beta$ -окисления жирных кислот и образование кетоновых тел,** являющихся важным источником энергии при выполнении длительной физической работы.

Второй стороной срочной адаптации является *замедление анаболических процессов*. Этот процесс затрагивает, прежде всего, **биосинтез белков**. Дело в том, что на этот процесс необходимо много молекул АТФ, которые при мышечной работе нужнее всего именно там. Это заставляет организм затормозить синтез белков. Осуществление этого торможения происходит под контролем глюкокортикоидов.

Хотя срочная адаптация развивается по сходным механизмам у разных людей, однако тренировки влияют на этот процесс, делая адаптивные изменения более глубокими.

### 3. Долговременная или хроническая адаптация.

Этап долговременной адаптации происходит в промежутках отдыха между тренировками и требует много времени. Биологическое значение долговременной адаптации – создание в организме структурно-функциональной базы для лучшей реализации механизмов срочной адаптации, то есть долговременная адаптация предназначена для подготовки организма к выполнению последующих физических нагрузок в оптимальном режиме.

Можно выделить следующие основные направления долговременной адаптации.

1. **Повышение скорости восстановительных процессов.** Особенно большое значение для развития долговременной адаптации имеет усиление синтеза белков и нуклеиновых кислот. Это приводит к увеличению содержания сократительных белков, белков-ферментов, кислородно-транспортных белков. Благодаря повышению содержания в клетках белков-ферментов ускоряется синтез других биологически важных соединений, в частности креатинфосфата, гликогена, липидов. В результате такого воздействия существенно возрастает энергетический потенциал организма.

2. **Увеличение содержания внутриклеточных органоидов.** В процессе развития адаптации в миоцитах становится больше сократительных элементов – миофибрилл, увеличивается размер и количество митохондрий, наблюдается развитие саркоплазматической сети. В конечном счете эти изменения вызывают мышечную гипертрофию.

3. **Совершенствование механизмов нервно-гуморальной регуляции.** При этом возрастают синтетические возможности эндокринных желез, что позволяет при выполнении физических нагрузок дольше поддерживать в крови высокий уровень гормонов, обеспечивающих мышечную деятельность.

4. **Развитие устойчивости (резистентности) к биохимическим сдвигам,** возникающим в организме во время мышечной работы. Прежде всего это касается устойчивости организма к повышению кислотности, вызванному накоплением лактата. Предполагается, что нечувствительность к росту кислотности у адаптированных спортсменов обусловлена образованием у них молекулярных форм белков, сохраняющих свои биологические функции при пониженных значениях рН.

В ходе тренировочного процесса оба этапа адаптации – срочная и долговременная – поочередно повторяются и оказывают друг на друга взаимное влияние. Так, срочная адаптация, проявляющаяся во время физической работы, приводит к возникновению в организме глубоких биохимических и физиологических сдвигов, которые являются предпосылками для запуска механизмов долговременной адаптации. В свою очередь, долговременная адаптация, повышая энергетический потенциал организма, увеличивает возможности срочной адаптации. Такое взаимодействие срочной и долговременной адаптации ведет к росту работоспособности спортсмена.

#### **4. Тренировочный эффект.**

В спортивной практике для количественной оценки адаптации к мышечной работе часто используют биохимические показатели: *срочный, отставленный, кумулятивный тренировочные эффекты.*

**Срочный тренировочный эффект** характеризует срочную адаптацию. По своей сути срочный тренировочный эффект представляет собой биохимические сдвиги в организме спортсмена, вызываемые процессами, которые составляют срочную адаптацию. Эти сдвиги фиксируются во время выполнения физической нагрузки и в течение срочного восстановления. По глубине обнаруженных биохимических изменений можно судить о вкладе отдельных способов выработки АТФ в обеспечение энергией проделанной работы.

Так по значениям МПК и ПАНО можно оценить состояние аэробного обеспечения энергией. *Повышение концентрации молочной кислоты, снижение величины рН,* отмечаемые в крови после выполнения работы «до отказа» в зоне субмаксимальной мощности, характеризуют возможности гликолиза. Другим показателем состояния гликолиза является *лактатный кислородный долг.* Величина *алактатного долга* свидетельствует о вкладе креатинфосфатной реакции в энергоснабжение выполненной работы.

**Отставленный тренировочный эффект** представляет собой биохимические изменения, возникающие в организме спортсмена в ближайшие после тренировки дни, то есть в период отставленного восстановления. Главным проявлением отставленного тренировочного эффекта является *суперкомпенсация* веществ, используемых во время физической работы. К ним следует отнести мышечные белки, креатинфосфат, гликоген мышц и печени.

**Кумулятивный тренировочный эффект** отражает биохимические сдвиги, постепенно накапливающиеся в организме спортсмена в процессе длительных тренировок. В частности кумулятивным эффектом можно считать прирост в ходе длительных тренировок показателей срочного и отставленного эффектов.

Кумулятивный эффект обладает специфичностью, его проявления в значительной степени зависят от характера тренировочных нагрузок.

#### **§ 5. Биологические принципы спортивной тренировки.**

Без знаний закономерностей адаптации организма к мышечной работе невозможно грамотное построение тренировочного процесса. Найдены основные биологические принципы спортивной тренировки.

**Принцип сверхотягощения.** Адаптационные изменения вызываются только значительными нагрузками, превышающими по объему и интенсивности определенный пороговый уровень. Нагрузки, исходя из этого принципа, могут быть *эффективными и неэффективными.*

Неэффективные нагрузки приводят к появлению в организме лишь незначительных биохимических и физиологических сдвигов. Они не вызывают развития адаптации, но способствуют сохранению достигнутого уровня. Неэффективные нагрузки широко используются в оздоровительной физкультуре.

Эффективные нагрузки должны быть выше пороговой величины. Однако любые нагрузки имеют предел. Такие нагрузки называются *предельными*. Дальнейшее увеличение нагрузок может привести к снижению тренировочного эффекта, и называются *запредельными*. Это обусловлено тем, что в зоне предельных нагрузок происходит полное использование всех имеющихся в организме спортсмена биохимических и физиологических резервов, приводящих к максимальной суперкомпенсации. Запредельные нагрузки очень большой интенсивности или продолжительности, не соответствующие функциональному состоянию организма вызывают столь глубокие биохимические и физиологические сдвиги, что полноценное восстановление становится невозможным. Систематическое использование таких нагрузок приводит к *срыву адаптации или дезадаптации*, что выражается в ухудшении двигательных качеств, снижении работоспособности и результативности. Это явление в спорте называется *перетренированностью*.

В спортивной практике чаще всего используют *эффективные* нагрузки, а предельных стараются избежать, так как они легко могут перейти в запредельные.

Из принципа сверхотягощения вытекают два положения, определяющие тренировочный процесс.

1. *Для развития адаптации и роста спортивного мастерства необходимо использовать достаточно большие по объему и интенсивности физические нагрузки, превышающие пороговое значение.*

2. *По мере нарастания адаптационных изменений следует постепенно увеличивать тренировочные нагрузки.*

**Принцип обратимости (повторности).** Адаптационные изменения в организме, возникающие под влиянием физической работы, не постоянны. После прекращения занятий спортом или длительном перерыве в тренировках, а также при снижении объема тренировочных нагрузок адаптационные сдвиги постепенно уменьшаются. Это явление называется в спортивной практике *растренированностью*. В основе этого явления лежит обратимость суперкомпенсации. Суперкомпенсация обратима и носит временный характер. Однако частое возникновение суперкомпенсации (при регулярных тренировках) постепенно ведет к росту исходного уровня важнейших химических соединений и внутриклеточных структур, сохраняющемуся в течение длительного времени.

Таким образом, *однократная физическая нагрузка не может вызвать прироста адаптационных изменений. Для развития адаптации тренировки должны систематически повторяться в течение длительного времени, и тренировочный процесс не должен прерываться.*

**Принцип специфичности.** Адаптационные изменения, возникающие в организме спортсмена под влиянием тренировок, в значительной мере зависят от характера выполняемой мышечной работы. *При скоростных нагрузках* – растет анаэробное производство энергии. Тренировки *силового* характера приводят к наибольшему увеличению мышечной массы за счет усиленного синтеза сократительных белков. При занятиях на *выносливость* возрастают аэробные возможности организма.

*Тренировочные занятия необходимо проводить с применением специфических для каждого вида спорта нагрузок. Однако для гармоничного развития спортсмена еще нужны неспецифические общеукрепляющие нагрузки, влияющие на всю мускулатуру, в том числе на мышцы, прямо не участвующие в выполнении упражнений, характерных для данного вида спорта.*

**Принцип последовательности.** Биохимические изменения, лежащие в основе адаптации к мышечной работе, возникают и развиваются не одновременно, а в определенной последовательности. Быстрее всего увеличиваются и дольше всего сохраняются показатели аэробного обеспечения. Больше времени требуется для увеличения лактатной работоспособности. Наконец, в последнюю очередь повышаются возможности организма в зоне максимальной мощности.

Эта закономерность адаптации должна, прежде всего, учитываться при построении тренировочного процесса в сезонных видах спорта. Годичный цикл должен начинаться с этапа развития аэробных возможностей. Затем идет этап развития скоростно-силовых качеств. А при подведении к пику формы необходимо работать над развитием максимальной мощности. Впрочем, это только схема. На практике эта схема может претерпевать изменения в зависимости от вида спорта и индивидуальных особенностей спортсмена.

**Принцип регулярности.** Этот принцип описывает закономерности развития адаптации в зависимости от регулярности тренировочных занятий, то есть от продолжительности отдыха между тренировками.

При частых тренировках (каждодневных или через день) Синтез большинства веществ, разрушенных при работе, еще, еще не завершается, и новое занятие происходит в фазе недовосстановления. Если тренировки продолжаются в том же режиме, то недовосстановление будет углубляться. Это приводит к ухудшению физического состояния спортсмена и снижению спортивных результатов. В теории спорта это явление получило название *отрицательного взаимодействия нагрузок*.

При большой продолжительности отдыха новая тренировка проводится уже после полного завершения восстановления, когда все показатели вернулись к предрабочему уровню. В этом случае прироста функциональных изменений не наблюдается. Такой режим тренировок получил название *нейтральное взаимодействие нагрузок*.

Наилучший эффект дает проведение занятий в фазе суперкомпенсации. Это дает возможность улучшать результат и увеличивать величину нагрузки. Такое сочетание тренировки и отдыха получило название *положительное взаимодействие нагрузок*.

В спортивной практике принцип положительного и отрицательного взаимодействия нагрузок используется при подготовке спортсменов высокой квалификации, а нейтрального взаимодействия находит применение в оздоровительной медицине.

**Принцип цикличности.** Суть этого принципа проста: периоды интенсивных тренировок следует чередовать с периодами отдыха или тренировок с использованием нагрузок уменьшенного объема. На основе этого принципа планируется *годовой тренировочный цикл*. Годовой цикл делится на *периоды*, продолжительностью несколько месяцев, отличающиеся по объему тренировочных нагрузок. Эти периоды называются *макроциклами*. Периоды состоят из этапов – микроциклов. Каждый микроцикл решает конкретную педагогическую задачу и способствует развитию специфической адаптации к физическим нагрузкам определенного вида: скоростных, скоростно-силовых качеств, выносливости. Обычно микроцикл длится 7 дней. Причем, в первые 3 – 5 дней – проводятся занятия согласно принципу отрицательного взаимодействия нагрузок. Заключительная часть микроцикла содержит восстановительные мероприятия, которые приводят к суперкомпенсации. Новый микроцикл начинается с фазы суперкомпенсации и на фоне *положительного взаимодействия нагрузок*.

Таким образом, *тренировки в каждом микроцикле проводятся по типу отрицательного взаимодействия нагрузок, а между микроциклами существует положительное взаимодействие нагрузок*.

## *Раздел 10. Спортивная работоспособность и биохимия.*

### **Тема 29. Биохимические основы работоспособности.**

### **Тема 30. Биохимические способы повышения спортивной работоспособности.**

#### **Тема 29. БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТОСПОСОБНОСТИ.**

##### **Вопросы лекции и семинарского занятия.**

1. Компоненты спортивной работоспособности.
2. Алактатная работоспособность.
3. Лактатная работоспособность.
4. Аэробная работоспособность.
5. Специфичность спортивной работоспособности.
6. Возрастные особенности работоспособности.
7. Биохимия и педагогические методы развития компонентов работоспособности.

##### **1. Компоненты спортивной работоспособности.**

С биологической точки зрения спортивную работоспособность можно определить как структурно-функциональный потенциал или состояние организма спортсмена, позволяющее ему выполнять специфические физические нагрузки определенной мощности и продолжительности.

Спортивная работоспособность – качество интегральное, проявление которого зависит от многих факторов. Можно выделить следующие факторы, ограничивающие работоспособность спортсмена:

- возможности энергетического обеспечения мышечной деятельности;
- функциональное состояние и развитие основных систем организма (мышечной, кардиореспираторной, нервной, эндокринной, пищеварительной, выделительной, иммунной и т. д.);
- техника выполнения физических нагрузок, характерных для данного вида спорта;
- тактика ведения спортивной борьбы;
- психологическая подготовка спортсмена.

Первые два фактора определяют преимущественно физическую подготовку спортсмена или физическую работоспособность. Их обычно называют факторами внутренних возможностей. Остальные факторы – техника, тактика, психологическая подготовка – являются факторами производительности, от которых зависит проявление факторов внутренних возможностей. Только при высоких показателях факторов производительности могут проявиться факторы внутренних возможностей.

Из всех перечисленных факторов наибольшее значение имеет состояние биоэнергетики, так как невозможно выполнить какую-либо работу без затрат энергии.

В энергообеспечении организма решающую роль играет ресинтез АТФ. В зависимости от доминирования алактатного, лактатного или аэробного пути ресинтеза АТФ в энергообеспечении выполняемой работы выделяют три компонента работоспособности: **алактатную, лактатную и аэробную.**

Часто первые два вида работоспособности объединяют и называют **анаэробной работоспособностью.**

Аэробная работоспособность проявляется при выполнении длительных физических нагрузок, а анаэробная работоспособность обеспечивает возможность выполнения кратковременных нагрузок высокой и максимальной интенсивности.

Выделенные компоненты работоспособности в равной мере относятся, как к общей, так и к специальной работоспособности.



Мы рассмотрим, главным образом, общую работоспособность, так как биохимические механизмы лежат, прежде всего, в ее основе.

## 2. Алактатная работоспособность.

Алактатная работоспособность проявляется при выполнении нагрузок в зоне максимальной мощности, то есть нагрузок, которые можно сохранить в пределах 15 – 20 сек. Такие нагрузки, преимущественно обеспечиваются креатинфосфатным способом образования АТФ, то есть алактатными способами. Поэтому мощность этих нагрузок в значительной степени зависит от содержания в мышцах креатинфосфата и активности фермента креатинкиназы, который отвечает за синтез креатинфосфата.

К основным структурным факторам, которые ограничивают алактатную работоспособность, является количество миофибрилл и развитие саркоплазматической сети. Чем меньше миофибрилл, тем медленнее и слабее мышечное сокращение. Чем хуже развита саркоплазматическая сеть, тем хуже проведение мышцей нервного импульса.

К структурным факторам можно отнести количество нервно-мышечных синапсов, обеспечивающих передачу нервных импульсов от нервов к мышцам. Еще одним структурным фактором можно считать содержание в мышцах белка *коллагена*, участвующего в мышечном расслаблении.

Наиболее важным функциональным фактором, лежащим в основе алактатной работоспособности, является активность ферментов, участвующих в мышечной деятельности. От АТФазной активности миозина зависит количество энергии АТФ, преобразованной в механическую работу, то есть мощность выполняемых физических нагрузок. Активность кальциевого насоса определяет быстроту мышечной релаксации, от которой зависят скоростные качества мышцы.

Перечисленные структурные и функциональные факторы действуют неодинаково в мышечных волокнах разных типов.

Выделяют три типа волокон в мышцах.

**1. Тонические (красные, медленные, S-волокна)** содержат относительно большое количество митохондрий, много миоглобина, но мало миофибрилл. Они сокращаются медленно, развивают небольшую мощность, но длительное время.

**2. Фазические (белые, быстрые, F-волокна)** имеют много миофибрилл, хорошо развитую саркоплазматическую сеть, к ним подходит много нервных окончаний. Митохондрий в них значительно меньше. Это волокна, рассчитанные на высокую скорость и силу сокращения, но при этом они не могут сокращаться долго, так как работают на запасах креатинфосфата и гликогена.

**3. Переходные мышечные волокна** занимают по своему строению и функционированию промежуточное положение.

Соотношение между различными типами мышечных волокон генетически предрасположено. Хотя все же при усиленных тренировках можно увеличить количество миофибрилл в быстрых волокнах, увеличив тем самым их работоспособность и вызвав гипертрофию мышцы, но все же этот сдвиг не может из стайера сделать спринтера.

## § 3. Лактатная работоспособность.

Лактатная работоспособность реализуется, как правило, при выполнении физических нагрузок в зоне субмаксимальной мощности продолжительностью до 5 минут. Такие нагрузки в основном обеспечиваются лактатным ресинтезом АТФ. Эти нагрузки так и называют **лактатные**. Их абсолютная мощность зависит от дорабочей концентрации мышечного гликогена и активности ферментов, участвующих **в гликолизе**.

Возможности лактатного компонента работоспособности обусловлены практически теми же структурными и функциональными факторами, описанными выше в отношении

алактатной работоспособности. Однако их влияние менее выражено, так как за счет лактатного компонента выполняется работа с меньшей силой и скоростью по сравнению с лактатными нагрузками.

В отличие от алактатного компонента, очень важным фактором, влияющим на лактатную работоспособность, являются компенсаторные возможности организма, обеспечивающие устойчивость к возрастанию кислотности.

При бурном течении гликолиза происходит образование и накопление в мышечных волокнах больших количеств лактата. Происходит сдвиг рН в кислую сторону. При этом происходят конформационные изменения мышечных белков-ферментов, что приводит к снижению их активности. Отрицательно меняется и сократительная способность мышечных клеток.

Нейтрализация молочной кислоты осуществляется буферными системами за счет щелочных компонентов. Однако буферная емкость организма и особенно крови под влиянием тренировок практически не меняется. В настоящее время считается, что развитие резистентности к повышению кислотности у высокотренированных спортсменов связано не с увеличением щелочного резерва организма, а с выработкой новых, более устойчивых к изменению рН изоферментов и с формированием комплекса приспособительных механизмов, дающих организму возможность работать в условиях значительного закисления.

Еще один функциональный фактор, влияющий на лактатную работоспособность - это наличие в мышцах фермента лактатдегидрогеназы. Этот фермент предпочтительно катализирует превращение пировиноградной кислоты в молочную и наоборот. Лактатдегидрогеназа является причиной высокой работоспособности скелетных мышц с большим содержанием быстрых волокон.

#### **4. Аэробная работоспособность.**

Внутримышечными структурными факторами, лежащими в основе аэробной работоспособности, являются количество митохондрий в мышечных клетках и содержание в них миоглобина. Аэробные нагрузки, прежде всего, связаны с аэробным способом ресинтеза АТФ, которое протекает в митохондриях. Миоглобин же хранитель и переносчик кислорода в мышечных клетках, то есть от его концентрации зависит снабжение этим газом митохондрий. Связь между концентрацией миоглобина и аэробной способностью мышечной ткани уже стала аксиомой.

Но аэробная способность мышцы к работе в большей мере обусловлено внескелетными факторами: функциональным состоянием вегетативных и регуляторных систем организма, запасами внескелетных источников энергии.

В обеспечении аэробных нагрузок активное участие принимает нервная система, формирующая и направляющая мышцы, система кровоснабжения, доставляющая в мышцы, пожалуй, главный лимитирующий фактор – кислород. Последнее означает, что количество эритроцитов в крови во многом определяет способность организма к аэробной работе.

Большой вклад в обеспечение аэробных возможностей организма вносит и печень. Печень обеспечивает мышцы внескелетными источниками энергии.

Важную роль в процессах аэробного обмена играют гормоны. Наибольший вклад в эти процессы вносят гормоны надпочечников. Процессы аэробного и анаэробного ресинтеза АТФ взаимосвязаны, так как анаэробные процессы многократно повторяются во время мышечной работы, а для пополнения запасов креатинфосфата и удаления лактата из мышц необходимы процессы аэробного дыхания. И в значительной мере эти процессы связаны с работой печени.

Еще раз необходимо подчеркнуть, что все виды работоспособности зависят также от технической, тактической и психологической подготовки. Хорошая технико-тактическая подготовка позволяет спортсмену экономно и рационально использовать энергетические резервы и тем самым дольше сохранять работоспособность. За счет высокой мотивации, большой силы воли спортсмен может продолжить выполнение работы даже в условиях наступления в организме значительных биохимических и функциональных изменений.

### **5. Специфичной спортивной работоспособности.**

Спортивная работоспособность характеризуется специфичностью, проявляющейся в значительной мере при выполнении нагрузок характерных для данного вида спорта, которым занимается конкретный спортсмен.

Специфичность работоспособности в значительной мере обусловлена тем, что ряд факторов, лимитирующих качества двигательной деятельности являются сугубо специфическими для каждой спортивной дисциплины. Специфичность работоспособности ещё связана с тем, что при выполнении упражнений, используемых в данном виде спорта, совершенствуется техника движений, повышается их эффективность.

Более высокая специфичность характерна для анаэробных компонентов работоспособности, связанных преимущественно с внутримышечными факторами возможностей (количеством миофибрилл, концентрацией мышечного креатинфосфата и гликогена, активность внутримышечных ферментов). Развитие этих факторов в отдельных мышцах у спортсменов разных специализаций неодинаково, так как при выполнении упражнений, свойственных конкретному виду спорта, в основном функционируют только определенные группы мышц. Поэтому за счет тренировок именно у этих мышечных групп повышается работоспособность.

Аэробная работоспособность менее специфична. Эта работоспособность аэробного компонента обусловлена тем, что наряду с внутримышечными факторами (количество митохондрий, внутримышечные запасы источников энергии, активность внутримышечных ферментов энергетического обмена) важнейшее значение для проявления аэробной работоспособности имеют внескелетные факторы. Эти факторы требуют хорошего функционирования сердечнососудистой и дыхательной систем, печени, высокой емкости крови, а также запасы легкодоступных для использования энергетических субстратов. Поэтому спортсмен, имеющий высокий уровень работоспособности, может проявить аэробную работоспособность не только в том виде деятельности, где он прошел специализированную подготовку, но и в других видах мышечной работы. Например, квалифицированный лыжник может показать неплохие результаты при беге на длинные дистанции.

### **6. Возрастные особенности работоспособности.**

Хорошо известно, что физическая работоспособность зависит от возраста. По мере роста и увеличения массы тела работоспособность возрастает, но развитие отдельных компонентов работоспособности происходит неодинаково.

Анаэробные способы образования АТФ у детей развиты недостаточно, содержание креатинфосфата в их мышцах значительно ниже, чем у взрослого, что существенно ограничивает алактатную работоспособность ребенка. С возрастом, с увеличением мышечной массы возможности этого пути ресинтеза АТФ увеличиваются. Особенно быстро развиваются возможности креатинфосфатного пути ресинтеза АТФ в 15 – 17 лет и достигают наибольшего развития к 19 – 20 годам. Сохраняется высокая алактатная работоспособность до 30-летнего возраста, после чего наблюдается снижение.

Лактатная работоспособность у детей и подростков тоже находится на более низком, чем у взрослого человека уровне. Это обусловлено меньшими запасами гликогена в

мышцах и высокой чувствительностью детского организма к повышению кислотности вследствие накопления лактата.

Величина кислородного долга и концентрации молочной кислоты в крови у детей и подростков после выполнения максимальных нагрузок на уровне индивидуального рекорда намного меньше, чем у людей в зрелом возрасте. Так, у 9-летнего ребенка мощность работы, при которой наблюдается наибольшее развитие гликолиза, на 60% меньше, чем у зрелого человека, а максимальное накопление молочной кислоты в крови в 2 раза меньше.

Начиная с 15 – 16 лет возможности лактатного пути ресинтеза АТФ увеличиваются пропорционально нарастанию веса тела, и наибольшая лактатная работоспособность отмечается в 20 – 22 года.

Аэробная работоспособность у детей невысокая, хотя в детском организме тканевое дыхание протекает в покое с более высокой скоростью, чем у взрослых. Это обусловлено тем, что рост и развитие детского организма требуют значительных энергозатрат. Поэтому в растущем организме процесс аэробного окисления протекает более интенсивно, чем у взрослого человека. Причем, чем возраст меньше, тем выше скорость тканевого дыхания в состоянии покоя. Об этом свидетельствует поглощение кислорода, рассчитанное на 1 кв. м поверхности тела. У трехлетнего ребенка поглощение кислорода на 1 кв. м поверхности тела больше, чем у взрослого человека – на 95%, у шестилетнего – на 66%, а у девятилетнего – на 36%.

Однако резервы аэробного энергообразования у детей и подростков не велики. Это связано с тем, что системы организма, отвечающие за энергообеспечение (дыхательная, сердечнососудистая, эндокринная и др.), функционируют почти на уровне своих физиологических возможностей.

С 9 – 10-летнего возраста наблюдается интенсивное развитие аэробного пути ресинтеза АТФ, его возможности увеличиваются пропорционально массе тела. Наибольшее развитие аэробной работоспособности отмечается только к 20 – 25 годам – в период физиологической зрелости организма. За счет регулярных тренировок высокий уровень аэробной работоспособности можно сохранить до 40 – 45 лет.

## 7. Биохимия и педагогические методы развития работоспособности.

Все виды биохимической работоспособности связаны с определенными двигательными качествами.

Например, **алактатная работоспособность** связана с **быстротой и силой**, а **аэробная работоспособность** – с **выносливостью**.

**Быстрота** – это комплекс функциональных свойств организма, непосредственно и преимущественно определяющих время двигательного действия.

**Сила** – это способность преодолевать внешнее сопротивление либо противодействовать ему посредством мышечных напряжений.

Сила и быстрота – непосредственно связаны с количеством креатинфосфата в мышце. Чтобы увеличить количество креатинфосфата необходимо выполнять кратковременные (не более 10 сек) упражнения, выполняемые с предельной мощностью (бег на 50 – 60 м, прыжки, заплыв на 10 – 15 м, упражнения на тренажерах, подъем штанги и т.д.).

Хороший эффект дают интервальные тренировки, состоящие из серии упражнений максимальной мощности. Упражнения делаются 8 – 10 сек, а отдых между ними составляет 20 – 30 сек. Именно при таком режиме часть гликолитического ресинтеза АТФ идет на восстановления креатинфосфата. Многократное применение таких тренировок ведет к повышению в мышцах креатинфосфата и положительно сказывается на развитии скоростно-силовых качеств.

Для развития силы часто используется метод повторных упражнений с напряжением 80 – 90% максимальной силы. Наиболее эффективным считается отягощение 85% . в этом случае число повторений «до отказа» обычно 7 – 8. Каждое упражнение на определенные мышцы выполняется сериями по 5 – 10 повторений. Скорость выполнения упражнений зависит от цели тренировки. Для одновременного развития силы и быстроты упражнения проводятся в взрывчато-плавном режиме начальная фаза движения выполняется с большой скоростью, а завершается оно как можно более плавно.

Время восстановления после скоростно-силовой тренировки составляет 2-3 дня.

Спортивно-педагогическими критериями **лактатного** компонента работоспособности являются величины скоростных и силовых нагрузок, выполняемых с субмаксимальной мощностью. (их продолжительность не более 5 минут).

Главными биохимическими критериями такой тренировки является:

1. тренировка должна приводить к резкому снижению содержания гликогена в мышцах.
2. во время тренировки в мышцах и крови должна накапливаться молочная кислота.

Для достижения этой цели могут быть использованы методы повторной и интервальной работы. Это предельные нагрузки продолжительностью несколько минут. Хороший эффект дает постепенное снижение времени отдыха между рабочими интервалами.

Промежутки отдыха между упражнениями короткие, их недостаточно для восстановления запасов гликогена, его запасы сильно снижаются, а это является обязательным условием суперкомпенсации.

Главной целью тренировок направленных на повышение **аэробной выносливости** является улучшение работы кардиореспираторной системы.

С этой целью применяются различные варианты повторной и интервальной тренировки, а также непрерывная длительная работа равномерной и переменной мощности. Например, для повышения в мышцах миоглобина может быть использована **миоглобиновая** интервальная тренировка. Спортсменам предлагается очень короткие (не более 5 – 10 сек.) нагрузки средней интенсивности, чередуемые с такими же короткими промежутками отдыха. Выполняемые в таких условиях нагрузки в основном обеспечиваются кислородом, который депонирован в мышечных клетках в форме миоглобина. Короткий отдых между упражнениями достаточен для восполнения запасов кислорода в мышцах.

Использование тренировок на среднегорье и использование неспецифических нагрузок, типа подвижных игр способствует развитию аэробных возможностей организма.

## **Тема 30. БИОХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ СПОРТИВНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ.**

### **Вопросы лекции и семинарского занятия.**

1. Общая характеристика фармакологических средств повышения работоспособности.
2. Биохимическая характеристика отдельных классов фармакологических средств.
3. Допинги.
4. Основы биохимии питания. Рациональное питание.
5. Биохимический контроль в спорте.

### **1. Общая характеристика фармакологических средств повышения работоспособности.**

В последние десятилетия в спортивной практике все большее применение находят различные фармакологические средства, используемые для повышения общей и специальной работоспособности, для ускорения и оптимизации восстановительных процессов.

Использование в спорте высших достижений фармакологических препаратов связано с тем, что нагрузки выполняются, порой, на пределе возможностей организма. Это ведет к

возникновению очень глубоких биохимических и функциональных сдвигов и, как следствие к снижению работоспособности.

Негативное влияние на организм спортсмена также оказывают эмоциональные нагрузки и нервно-психическое напряжение, свойственные соревновательной деятельности и нередко приводящие к нервным срывам и потере спортивной формы. В таких условиях не могут полноценно протекать восстановительные процессы, что также проявляется значительным снижением спортивной работоспособности.

Очень высокие физические и эмоциональные перегрузки свойственные спорту высших достижений, также оказывают неблагоприятное влияние на иммунную систему организма, так как иммунная система детей и подростков к ним более чувствительна.

Применяемые в настоящее время лекарственные средства призваны улучшить биоэнергетику мышечной деятельности, предупредить или ограничить негативные сдвиги, возникающие в организме спортсмена во время тренировки или соревнования, облегчить их переносимость, ускорить анаболические процессы, лежащие в основе восстановления, укрепить иммунитет и повысить уровень адаптации организма к физическим и психическим нагрузкам. Однако необходимо четко представлять, что лекарственные средства никогда не могут заменить саму спортивную тренировку. Более того позитивное влияние фармакологических средств на организм спортсмена в значительной степени обусловлено использованием адекватных педагогических методов.

Для фармакологической коррекции работоспособности нельзя использовать лекарственные средства, отнесенные к допингам и которые не внесены в реестр лекарственных средств РФ. Применение лекарств должно быть безвредным и не вызывать никаких побочных эффектов. К фармакологическим средствам коррекции работоспособности обычно относят и биологически активные добавки (БАДы).

Выбор конкретного лекарственного препарата его дозировку, продолжительность курса приема определяет спортивный врач. Тренер же должен иметь полное представление о механизме действия применяемого препарата, о его влиянии на биохимические и физиологические процессы, протекающие в организме. Тренер должен уметь подбирать тип лекарства в зависимости от стадии тренировочного процесса и характера физических нагрузок. Только совместная и согласованная деятельность тренера и спортивного врача может обеспечить эффективное использование фармакологических методов повышения работоспособности.

## 2. Биохимическая характеристика отдельных классов фармакологических средств.

К фармакологическим веществам, применяемым в спорте можно отнести: **аминокислоты, витамины, адаптогены, анаболизаторы, энергизаторы, гепатопротекторы, иммуностимуляторы.**

Среди **аминокислот** важнейшее место занимают *глицин, метионин, аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота, глутамин, лизин.*

*Глицин* входит в состав белков, участвует в синтезе нуклеотидов, из него образуется креатин.

*Метионин* участвует в строительстве белков, а также в синтезах адреналина, креатина, холина.

*Аспарагиновая кислота* принимает активное участие в синтезе мочевины, влияет на *скорость синтеза белков.*

*Глутаминовая кислота* и глутамин играют важную роль в обезвреживании аммиака.

*Лизин* участвует в синтезе карнитина, который играет важную роль в сжигании жиров, что повышает аэробную выносливость. Лизин необходим для синтеза коллагена.

О роли **витаминов** речь шла выше (тема 8). Из витаминных комплексов одним из лучших для спортсменов является *компливит*, а из зарубежных *vitrum, centrum, оолиговит* и др.

**Адаптогены** – это лекарственные средства, имеющие растительное или животное происхождение. Они способствуют развитию неспецифической адаптации организма к нагрузкам. К адаптогенам относятся *женьшень* и препараты, сделанные на его основе, *элеутерококк, китайский лимонник, левзея(маралий корень), аралия, родиола розовая(золотой корень)*, а также препараты, сделанные на их основе – *леветон, элтон, адаптон, фитотон*.

**Анаболизаторы** – это ускорители анаболизма и, прежде всего, синтеза белка.

*Экдистен* – природный растительный стероид, способствующий росту мышечной массы, но не вызывающий негативного влияния на организм.

*Оротат калия* обеспечивает синтез нуклеиновых кислот, а значит синтез белков.

Таковую же роль играет *рибоксин* аминокислоты *глицин, метионин, лизин*.

**Энергизаторы** - это *АТФ, адениловая кислота, креатин, лимонная и янтарная кислоты, карнитин, липоевая кислота*. Все эти вещества улучшают энергетический обмен, так как являются непосредственными участниками катаболизма.

**Гепатопротекторы** – это различные вещества улучшающие работу печени и способствующие её восстановлению после мышечных нагрузок. В спортивной практике часто применяют следующие вещества этой группы: *эссенциале, карсил, легалон, аллохол, кукурузные рыльца, цветки бессмертника песчаного*.

**Иммуностимуляторы** - это вещества улучшающие работу иммунной системы. Сюда относят: *иммуноглобулин, интерферон, препараты прополиса, препараты цветочной пыльцы* и др. Правда, при пользовании этой группой веществ нельзя забывать об аллергии.

### 3. Допинги.

*Допингом принято считать фармакологические препараты, которые оказывают влияние на спортивный результат, нанося при этом вред здоровью спортсмена. Даже если вред не очевиден на данный момент, он может стать очевидным через какое-то время.*

В настоящее время в список запрещенных препаратов внесено несколько сотен наименований. При этом не имеет значения, как влияет данный препарат на конкретный результат в конкретном виде спорта.

Все препараты можно разбить на несколько групп.

1. Препараты, влияющие на нервную систему. В эту группу внесены препараты, как возбуждающие нервную систему, так и тормозящие. Как правило, их применяют перед соревнованиями. Вред от этих препаратов очевиден, так как они могут расшатать нервную систему, вызвать привыкание. К этой группе вполне можно отнести транквилизаторы, наркотики, алкоголь.
2. Препараты, влияющие на обмен веществ. Сюда относят многие гормональные препараты, которые способствуют росту мышечной массы, прежде всего, печально знаменитые анаболические стероиды. Эти препараты могут вызвать нарушение обмена веществ с непредсказуемыми последствиями. Кроме того, один из побочных эффектов хорошо известен – импотенция, так как большинство этих препаратов либо экзогенные мужские половые гормоны, либо их аналоги, которые подавляют работу половых желез. У женщин эти препараты вызывают маскулинизацию, то есть такое изменение гормонального фона, когда женщина становится больше похожей на мужчину. Маскулинизация часто ведет к бесплодию.
3. Препараты, влияющие на разные формы выносливости. К этой группе, например, относят препараты, меняющие формулу крови, увеличивающие количество эритроцитов в крови и содержание гемоглобина в ней. Эти препараты довольно трудно обнаружить, так как их применение может быть проведено задолго до

соревнований. Поэтому у допинг-контроля вызывает подозрение само увеличение в крови эритроцитов или гемоглобина. Эта позиция вызывает больше всего нареканий у тренеров и спортсменов, так как указанное повышение может быть, во-первых, результатом тренировки в горах, а, во-вторых, у ряда людей от природы эти показатели высокие. Поэтому контроль по этой группе проводится в динамике, то есть пробы берутся в разное время года и суток. Многие спортсмены жаловались, что их будили даже ночью.

К этой группе примыкает и *кровавый допинг*, когда спортсмену делается дополнительное переливание крови перед стартом. Как правило, кровь берут и замораживают у самого спортсмена, чтобы не вызвать отторжения переливаемой крови.

4. В этой группе – препараты, которые допингом сами не являются, но могут маскировать его присутствие в организме. Сюда относятся, например, диуретики, то есть препараты, способствующие эвакуации допинга из организма.

**Допинг-контроль** – это специальная процедура, направленная на выявление допинга. Для этого у спортсмена берется кровь и моча. Проба, взятая у спортсмена делится на две группы – пробу А и пробу В. Если после анализа пробы А допинга не обнаруживается, то процедура на этом завершается. Если в пробе А обнаружено запрещенное вещество, то анализу подвергается проба В, чтобы исключить случайность. Если же и после этого обнаружен запрещенный препарат, то выносится решение о наказании спортсмена.

#### 4. Основы биохимии питания. Рациональное питание.

Питание в организме человека выполняет ряд важнейших функций: *снабжает организм энергией, строительным материалом, витаминами, минеральными веществами и водой.*

**Под питанием обычно понимается поступление пищи в организм, расщепление пищевых веществ и последующее их всасывание.**

Процесс переваривания в основном сводится к реакциям гидролиза веществ под действием ферментов пищеварительных соков – слюны, желудочного сока, панкреатического сока, кишечного сока. Всасывание осуществляется клетками кишечного эпителия.

На основании многовековых традиций и многочисленных научных исследований сформировались **принципы рационального питания**. Они выражаются в следующем.

- Энергетическая ценность пищевого рациона должна соответствовать энергетическим затратам организма.
- Пищевой рацион должен быть сбалансирован по важнейшим пищевым компонентам, то есть должен содержать белки, жиры и углеводы в строго определенной пропорции.
- Пищевой рацион должен содержать адекватное количество витаминов и минеральных веществ.
- Пищевой рацион должен содержать балластные вещества.
- Должен соблюдаться режим питания.

Энергетическую ценность рациона называют **калорийностью**. Калорийность оценивается с помощью прибора – калориметра, который регистрирует тепловую энергию, выделяющуюся при сжигании порций пищи.

Минимальное количество энергии необходимое в покое для поддержания физиологических функций и процессов анаболизма называется **основным обменом**. У нетренированных людей ведущих малоактивный образ жизни основной обмен составляет от 2500 до 2000 ккал. У спортсменов он может достигать 7000 ккал и выше.

**Сбалансированность питания** – это правильное соотношение в пищевом рационе углеводов жиров и белков. Считается, что в суточном рационе животных белков должно



быть не менее 50% от содержания белков. Около 60% суточной потребности в энергии должны давать углеводы. Суточный рацион взрослого человека должен содержать до 100 г жиров, что составляет около 35% от его калорийности. Рацион должен содержать небольшие количества витаминов и солей.

**Балластные вещества** – это пищевые волокна, то есть клетчатка, пектин, лигнин. Эти вещества нужны для улучшения пищеварения.

**Правильный режим питания** необходим для ритмичного и эффективного усвоения пищи и нормального протекания метаболических процессов.

**Общепринятым является трех- четырехразовое с интервалом между приемами пища 3 – 4 часов.**

Для питания спортсменов характерно:

- большой расход энергии;
- быстрое расщепление белков;
- увеличенная потребность в коферментах, а значит в витаминах.;
- повышенная потребность в минеральных веществах;
- повышенная кратность приема пищи;
- применение биологически активных добавок, которые содержат аминокислоты, углеводные добавки, поливитаминные комплексы.

## 5. Биохимический контроль в спорте.

Без биохимического контроля в спорте трудно ждать хороших результатов. Основными задачами биохимического контроля являются:

- Оценка уровня общей и специальной тренированности спортсмена.
- Оценка соответствия применяемых тренировочных нагрузок функциональному состоянию спортсмена, выявление перетренированности.
- Контроль протекания восстановления после тренировки.
- Оценка эффективности новых методов и средств развития скоростно-силовых качеств, повышения выносливости, ускорения восстановления и т.д.
- Оценка состояния здоровья спортсмена, обнаружение начальных симптомов заболеваний.

Особенностью проведения биохимических исследований в спорте является их сочетание с физической нагрузкой.

Физические нагрузки, которые используются при тестировании можно разделить на два типа: **стандартные и максимальные.**

**Стандартные нагрузки** являются строго дозированными. Их параметры определены заранее. Поэтому группы спортсменов для тестирования подбираются примерно одной квалификации. Упражнения используют, как правило, циклические, например, работу на велотренажере.

**Максимальные или предельные нагрузки** не имеют заранее заданного объема. Например, можно использовать в работе «до отказа» плавание, велогонка, бег на лыжах, на коньках и т. д. Как уже подчеркивалось выше, эта работа может дать информацию об аэробных и анаэробных возможностях организма, в зависимости от мощности.

Объектами биохимического контроля являются *кровь, моча, выдыхаемый воздух, слюна, пот, биоптат мышечной ткани.*

При анализе **крови** исследуют следующие параметры:

- количество форменных элементов;
- концентрацию гемоглобина;
- водородный показатель – рН ;
- щелочной резерв крови;
- концентрацию белков плазмы;
- концентрацию глюкозы;

- концентрацию лактата;
- концентрацию жира и жирных кислот;
- концентрацию кетоновых тел;
- концентрацию мочевины.

При анализе **мочи** исследуют следующие биохимические показатели:

- объем;
- плотность;
- кислотность (рН);
- сухой остаток;
- лактат;
- мочевины;
- показатели свободнорадикального окисления;
- патологические компоненты: белок, глюкоза, кетоновые тела.

Анализ **воздуха** делается с помощью прибора газоанализатора. При сравнении вдыхаемого и выдыхаемого воздуха можно определить:

- МПК;
- кислородный приход;
- алактатный долг;
- лактатный долг.

Анализ пота, и слюны проводятся редко, но не потому, что они дают мало информации, а потому, что эти методы находятся в стадии разработки.

Биоптат мышечной ткани – это микробиопсия, когда делается маленький разрез мышцы и на анализ берется кусочек мышцы до 3 куб мм. Это нужно для того, чтобы определить состав мышцы и соотношение в ней быстрых и медленных волокон.

## СОДЕРЖАНИЕ.

Тема 1. Физиологические принципы регуляции и возникновение нервного импульса	...стр. 2
Тема2. Физиология мышечного сокращения	... стр. 3.
Тема3. Физиологические особенности элементарных нервных структур	... стр. 9.
Тема4. Физиология спинного и головного мозга	... стр. 12.
Тема 5. Физиология эмоций и больших полушарий	.. .стр. 16.
Тема 6. Регуляция движений и ВНД	... стр. 19.
Тема 7. Сенсорные системы	... стр. 24.
Тема 8. Эндокринная система	... стр. 28.
Тема 9. Строение и функции крови	... стр. 33.
Тема 10. Иммунная система	... стр. 37.
Тема 11. Кровообращение	.... стр.41.
Тема 12. Физиология пищеварения	... стр. 44.
Тема 13. Физиология органов дыхания	... стр. 48.
Тема 14. Терморегуляция и выделение	... стр. 51.
Тема 15. Возрастные изменения показателей физического развития	... стр. 54.
Тема 16. Возрастные изменения ВНД и психики	... стр. 57.
Тема 17. Возрастные особенности развития опорно-двигательного аппарата	... стр. 60.
Тема 18. Физиологическая классификация физических упражнений. Физиологическое состояние спортсмена	... стр. 63.
Тема. 19. Общие физиологические принципы занятий ФК и С	стр.69.
Тема 20. Физиологическая характеристика отдельных видов спорта	...стр. 74.
Тема 21. Строение белков и ферментативный катализ	... стр.84.
Тема 22. Метаболизм отдельных групп веществ	... стр. 94.
Тема 23. Обмен воды и солей. Витамины. Гормоны.	... стр.114.
Тема 24. Биохимия мышечной деятельности	... стр. 126.
Тема 25. Биохимические сдвиги при мышечной работе	... стр. 135.
Тема 26. Биохимические механизмы утомления	...стр. 140.
Тема 27. Биохимические закономерности восстановления...	стр.143.
Тема 28. Биохимические закономерности адаптации к мышечной работе	...стр.146.
Тема 29. Биохимические основы работоспособности	... стр. 151.
Тема 30. Биохимические способы повышения спортивной работоспособности.	...стр.156.