

# КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «БИОХИМИЯ»

## Содержательный модуль 1. Общая биохимия человека

### Тема 1. Введение. Химический состав организма человека

*План лекции:*

1. Введение в биохимию.
2. Химический состав организма человека.
3. Общие закономерности обмена веществ.
4. Свойства внутренней среды организма.

#### ***1.1. Введение в биохимию***

**Биохимия** – наука, о молекулярных основах жизни. Она изучает химический состав организма и биохимические процессы, лежащие в основе его жизнедеятельности.

Рассматривая процессы, протекающие в живых организмах, следует обратить внимание на отличия этих организмов от неживых тел.

Раздел, изучающий состав живых организмов и свойства химических соединений, выделенных из живых тканей, называется *статической биохимией*. Все многообразие химических реакций в организме, их взаимосвязь и регуляция, а также сопряженные с ними превращения энергии в процессах жизнедеятельности изучаются динамической биохимией. Биохимические процессы, лежащие в основе жизнедеятельности отдельных тканей и органов и проявления их специфической функции, рассматриваются различными разделами *функциональной биохимии*. Специальным разделом функциональной биохимии является *биохимия спорта*, которая подробно изучает химический состав и процессы обмена веществ в мышечной ткани, а также ряд специальных вопросов: биохимические основы построения спортивной тренировки, обеспечение энергией мышечной работы различной мощности и продолжительности, биохимические основы утомления и восстановления организма после мышечной деятельности. Биохимический контроль в спорте позволяет выявить влияние на организм человека как отдельных тренировочных упражнений, так и всей системы тренировки в целом.

#### ***1.2. Химический состав организма человека***

Химический состав организма человека отличается большим разнообразием. Изучая его, нужно учитывать несколько важных особенностей живых организмов. В состав организма человека входят органические и неорганические вещества. Вода составляет около 60–65 %

массы тела человека, минеральные вещества 3–5 % массы тела. Органические вещества представлены белками (18–20 %), липидами (12–15 %), углеводами (1,5–2 %).

Следует обратить внимание на то, что под действием физических нагрузок происходят изменения в организме, связанные с адаптацией к нагрузке. Так у спортсменов силовых, скоростно-силовых видов спорта увеличено содержание белков, креатинфосфата, выше активность ферментов анаэробных процессов. Длительные нагрузки приводят к увеличению запасов углеводов (гликогена печени), повышению активности аэробных ферментов.

В организме человека обнаруживается более 60 различных химических элементов. В зависимости от количества в организме химические элементы делятся на две группы: *макроэлементы* и *микроэлементы*. Макроэлементов больше, чем одна тысячная процента (0,001 %) от массы тела человека. Среди них выделяют основные (органогенные) – С, О, N, H, содержание которых до 98,5 % от массы тела человека, а так же P, S, Cl, Na, Ca, Mg, K, содержание которых больше чем 0,001 % от массы тела человека.

Микроэлементов меньше, чем одна тысячная (0,001 %) процента от массы тела человека. К ним относятся Cu, I, Fe, Co, Zn и др..

### ***1.3. Понятие об обмене веществ***

**Обмен веществ** – строго упорядоченная система биохимических процессов *катаболизма* и *анаболизма*, необходимых для поддержания жизнедеятельности организма. Включает усвоение различных веществ из внешней среды, химические превращения их в организме (метаболизм) и выделение конечных продуктов обмена, недоокисленных и токсичных веществ во внешнюю среду.

**Катаболизм** – совокупность биохимических процессов в организме, направленных на распад веществ, освобождение из них энергии и выделение конечных продуктов распада во внешнюю среду.

**Анаболизм** – совокупность биохимических процессов, направленных на синтез веществ, обновление клеточных структур и накопление энергии в клетках.

Катаболизм и анаболизм – разнонаправленные процессы и протекают независимо друг от друга. Однако они тесно связаны между собой. Метаболиты, образующиеся в процессе распада (катаболизма), используются для процессов синтеза веществ (анаболизма). В результате анаболических реакций синтезируются сложные вещества, которые накапливаются в организме и используются в случае необходимости как субстраты для процессов катаболизма.

Скорость и сбалансированность анаболических и катаболических процессов зависят от многих факторов и, прежде всего, от возраста и двигательной активности человека. Так, в детском возрасте преобладают процессы синтеза веществ. Это создает условия для роста организма, накопления мышечной массы. Анаболические процессы протекают с

большими затратами энергии, поэтому детям не рекомендуются тяжелые и длительные физические нагрузки, которые могут затормозить процессы роста. Для взрослого человека характерна сбалансированность процессов синтеза и распада. В стареющем организме снижается активность анаболических процессов и начинают преобладать катаболические процессы, приводящие к уменьшению содержания структурных белков, ферментов, гормонов. Снижаются скоростно-силовые способности организма, возможности его приспособления и восстановления после физических нагрузок. Однако умеренные физические нагрузки повышают интенсивность обменных процессов и продлевают период высокой функциональной активности организма.

Нарушение сбалансированности анаболических и катаболических процессов наблюдается при ряде заболеваний, неправильном питании, воздействии неблагоприятных факторов среды, чрезмерных физических нагрузках, неправильной организации тренировочного процесса.

В процессе выполнения физических нагрузок преобладают процессы распада веществ, работа организма направлена на обеспечение энергией работающих мышц. В период отдыха преобладают процессы синтеза, организм восстанавливает утраченные вещества во время работы.

#### ***1.4. Свойства внутренней среды организма***

Внутренняя среда организма представлена биологическими жидкостями (цитоплазмой, межклеточной жидкостью, кровью, лимфой). Все биологические жидкости – водные растворы с различным составом органических и неорганических веществ. Основным свойством водных растворов является *активная реакция среды*.

**Активная реакция среды** – это способность водных растворов влиять на химические и биологические свойства веществ в зависимости от концентрации ионов водорода  $[H^+]$  и гидроксил анионов  $[OH^-]$  в растворе.

Изменение концентраций  $[H^+]$  и  $[OH^-]$  в клетках влияет на:

- проницаемость биологических мембран;
- активность ферментов;
- скорость химических реакций;
- чувствительность различных рецепторов к раздражителям.

Различают три вида активной реакции среды:

1. Нейтральная  $[H^+] = [OH^-]$ ,  $pH = 7$ ,  $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$

2. Кислая  $[H^+] > [OH^-]$ ,  $pH = 0-7$ ,  $HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$ ,  $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$

3. Щелочная  $[H^+] < [OH^-]$ ,  $pH = 7-14$ ,  $NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$ ,  $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$

Произведение концентраций ионов  $[H^+]$  и  $[OH^-]$  величина постоянная и называется ионным произведением воды:

$$K_{H_2O} = [H^+] \times [OH^-] = 10^{-14}, \text{ const.}$$

Об активной реакции среды судят по водородному показателю, или рН. Он отражает концентрацию ионов водорода в растворе. Количественно рН определяется как отрицательный десятичный логарифм от концентрации ионов водорода:  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$ .

Значения рН могут меняться от 0 до 14.

Величина рН отдельных биологических жидкостей:

слюна –  $\text{pH} = 6,8-7,2$ ;

кровь –  $\text{pH} = 7,36-7,42$ ;

желудочный сок –  $\text{pH} = 1,5-2$ ;

кишечный сок –  $\text{pH} = 7,5-9$ ;

моча –  $\text{pH} = 5,5-6,5$ ;

клетки тканей –  $\text{pH} = 6,7-7,4$ .

*Буферные системы организма* – это двухкомпонентные системы, способные противодействовать изменению рН в растворе. При добавлении к буферному раствору кислот или щелочей рН раствора не меняется. Буферные системы могут состоять из слабой кислоты и соли этой слабой кислоты от сильного основания.

К основным буферным системам крови относятся бикарбонатная, фосфатная, белковая, гемоглобиновая.

Механизм действия буферной системы основан на связывании ионов  $[\text{H}^+]$  и  $[\text{OH}^-]$  в слабодиссоциирующие молекулы. Избыток  $[\text{H}^+]$  связывается солью, а избыток  $[\text{OH}^-]$  – кислотой.

## Тема 2. Ферменты

*План лекции:*

1. Ферменты, как биологические катализаторы.
2. Строение и механизм действия ферментов.
3. Свойства ферментов.
4. Классификация ферментов.

### 2.1. Ферменты, как биологические катализаторы

**Ферменты** – это высокоспециализированные белки, которые ускоряют биохимические реакции в организме человека, т. е. являются биологическими катализаторами.

Благодаря участию ферментов практически все биохимические реакции в организме человека протекают с огромными скоростями. Ускоряя биохимические процессы, ферменты сами не изменяются. Они остаются активными и могут участвовать в реакциях многократно. Ферменты синтезируются в клетках организма человека. Это, как правило, большие молекулы с молекулярной массой от 16–18 до 100 тысяч углеродных единиц (в 1000 раз больше, чем молекула глюкозы).

Как все белки ферменты имеют сложное трехмерное строение, обусловленное третичной и четвертичной структурой.

В ферментативной реакции принимает участие не весь фермент, а его часть – активный центр, который находится на поверхности фермента. Именно с активным центром фермента связывается субстрат и в нем же осуществляется *ферментативная реакция (катализ)*.

**Субстрат** – это молекула, которая связывается с активным центром фермента и катализируется им с образованием продукта реакции.

В состав активного центра входят аминокислотные остатки, расположенные в разных участках полипептидной цепи, но пространственно сближенные при образовании третичной структуры. Поэтому для проявления каталитической активности фермента важна его нативная структурная организация. При нарушении этой структуры изменяется активный центр, а значит, и активность фермента.

### 2.2. Строение и механизм действия ферментов

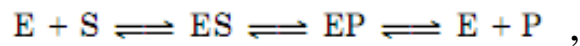
По строению ферменты могут быть *простыми (протеинами)* или *сложными (протеидами) белками*.

Простые ферменты состоят только из аминокислотных остатков (белка). Активный центр простого фермента формируется только из аминокислотных остатков, которые обычно находятся на разных участках полипептидной цепи, но пространственно сближены.

Сложные ферменты (холоферменты) состоят из двух компонентов: белкового – *апофермента*, и небелкового – *кофермента*. Коферменты многих ферментов способны отделяться от апофермента и существовать

самостоятельно. Один и тот же кофермент может соединяться с разными апоферментами. В состав коферментов могут входить *витамины, органические вещества, ионы металлов*. В состав активного центра сложных ферментов входит *кофермент*. Каталитической активностью обладает только целый фермент. По отдельности апофермент и кофермент каталитической активностью не обладают.

Простая ферментативная реакция может быть записана следующим образом:



где E – фермент, S – субстрат, P – продукт реакции, ES и EP – временные неустойчивые комплексы с субстратом, а затем с продуктом реакции.

Для превращения молекулы субстрата в продукт реакции необходимо затратить энергию, то есть преодолеть *энергетический барьер реакции*. Энергетический барьер обусловлен либо электростатическими силами отталкивания между молекулами, либо силами сцепления между атомами в молекуле (прочностью химических связей). В химическую реакцию вступают молекулы, которые имеют достаточное количество энергии и способны преодолеть энергетический барьер. В неживой природе количество энергии молекул можно увеличить путем нагревания, увеличения давления, либо введением катализатора. В живом организме реакции осуществляются не за счет увеличения количества энергии субстрата, а путем снижения энергетического барьера реакции. Фермент связывается с субстратом, образуя *фермент-субстратный комплекс*. В процессе образования фермент-субстратного комплекса в субстрате происходит перераспределение энергии, что приводит к разрыву или образованию химических связей (рис. 1).

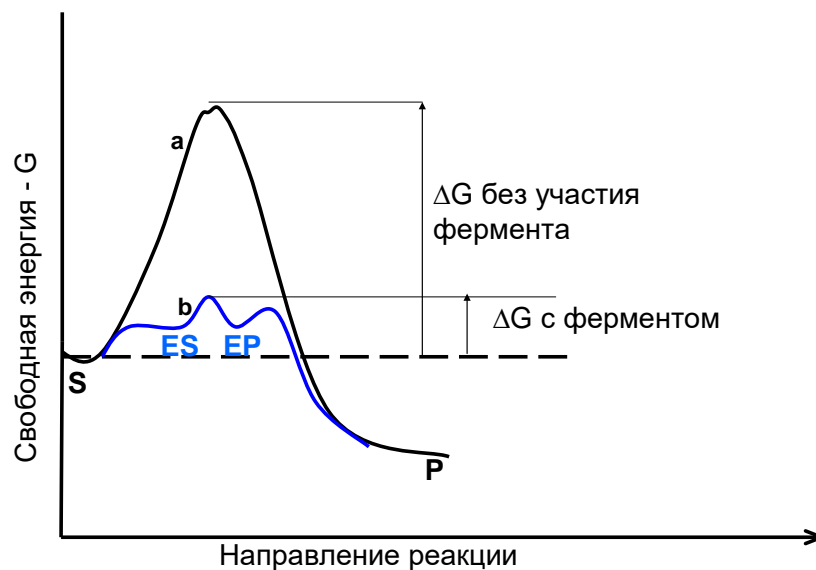


Рисунок 1 – Изменение энергии в реакциях (a – без участия фермента; b – с участием фермента)

Процесс взаимодействия фермента и субстрата протекает в несколько стадий:

1. Взаимодействие субстрата с активным центром фермента и образованием фермент-субстратного комплекса.

2. Преобразование фермент-субстратного комплекса в комплекс фермент-продукт.

3. Отделение продуктов реакции от активного центра фермента.

Сам фермент в ходе реакции не изменяется и может взаимодействовать с новыми молекулами субстрата многократно.

### *Специфичность ферментов*

Специфичность ферментов проявляется в способности фермента катализировать определенный вид химических реакций и взаимодействовать с субстратом, структура которого соответствует активному центру фермента.

Различают два вида специфичности ферментов: *специфичность действия* и *субстратную специфичность*.

**Специфичность действия** – это способность фермента катализировать только строго определенный тип химической реакции.

Одно и то же вещество может участвовать в различных реакциях. Но для каждой реакции необходим свой фермент.

**Субстратная специфичность** – это способность фермента действовать только на определенные субстраты.

Различают следующие виды субстратной специфичности:

1. *Абсолютная (строгая) специфичность* – фермент действует на одно вещество и катализирует один вид реакций.

2. *Относительная специфичность* – фермент действует на ряд веществ, но катализирует один тип реакций.

3. *Стереоспецифичность* – фермент действует на определенные стереоизомеры молекул. Например, ферменты человека катализируют превращения только D-изомера глюкозы и не действуют на ее L-изомер.

### **2.3. Свойства ферментов**

Скорость ферментативных реакций зависит от активности ферментов и условий протекания реакций. При этом каждый фермент имеет свои оптимальные условия проявления активности. Оптимальными считаются условия, при которых ферментативная реакция протекает с максимальной скоростью. На скорость ферментативных реакций влияют: количество фермента, концентрация субстрата, активная реакция среды (pH), температура, присутствие активаторов и ингибиторов.

#### *Зависимость скорости ферментативной реакции от концентрации фермента и субстрата*

Для большинства ферментов зависимость скорости реакции от концентрации фермента носит прямолинейный характер (при постоянной концентрации субстрата).

Скорость реакции от концентрации субстрата зависит прямолинейно только при низких концентрациях субстрата, затем прирост скорости начинает отставать от прироста концентрации субстрата и, наконец, скорость реакции приближается к пределу (максимально возможной скорости,  $V_{\max}$ ). После достижения максимальной скорости, скорость уже не меняется с увеличением концентрации субстрата  $[S]$  (рис. 2).

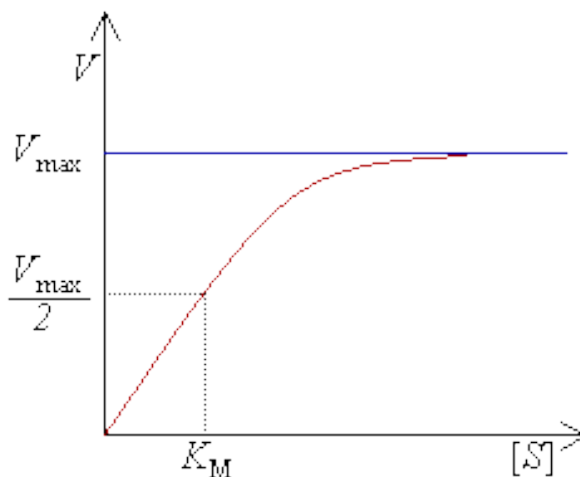


Рисунок 2 – Влияние концентрации субстрата  $[S]$  на активность фермента

Каждая ферментативная реакция характеризуется константой Михаэлиса ( $K_M$ ), определяемой как концентрация субстрата, при которой скорость ферментативной реакции составляет половину максимальной. Величины  $K_M$  и  $V_{\max}$  используют для характеристики каталитической способности ферментов.

#### *Зависимость скорости ферментативной реакции от присутствия активаторов и ингибиторов*

На активность ферментов могут оказывать влияние низкомолекулярные органические и неорганические вещества, ионы металлов.

Вещества, которые повышают активность ферментов, называются *активаторами*, снижающие активность ферментов – *ингибиторами*.

Активаторами являются витамины, гормоны, метаболиты, кислоты, ионы легких металлов, например,  $Na^+$ ,  $Mg^+$ ,  $Ca^{2+}$ . Соляная кислота является активатором фермента пепсина, ионы  $Ca^{2+}$  активируют фермент АТФ-азу мышц.

Ингибиторы – это ионы и соли тяжелых металлов, такие как  $Hg^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ , сильные кислоты, метаболиты, некоторые гормоны.

#### *Зависимость скорости ферментативной реакции от температуры*

При повышении температуры от 0 до 40 °С активность ферментов повышается. Интервал температур от 37 до 40 °С называется *температурным оптимумом*, так как при этих температурах наблюдается наибольшая активность ферментов организма человека. Дальнейшее



повышение температуры от 40 до 50–55 °С приводит к резкому снижению активности большинства ферментов вследствие тепловой денатурации (рис. 3). Однако в организме человека имеются ферменты термостабильные и при более высоких температурах. Например, фермент миокиназа сохраняет свою активность при нагревании до 100 °С.



Рисунок 3 – Влияние температуры на активность ферментов

При понижении температуры ниже 0 °С активность ферментов снижается. Однако при возвращении исходной температуры активность ферментов может восстанавливаться. Это свойство ферментов и белков используют для хранения биологических тканей, клеток и органелл в замороженном виде.

#### *Зависимость скорости ферментативной реакции от активной реакции среды*

Каждый фермент имеет свою оптимальную активную реакцию среды и свой оптимум рН. В желудке активная реакция среды кислая, в кишечнике – щелочная, клетках тканей – близкая к нейтральной. Большинство ферментов в организме человека наиболее активны в среде близкой к нейтральной. Ферменты желудочного сока проявляют максимальную активность в кислой среде, а ферменты кишечного сока – в щелочной среде. При изменении оптимальной активной реакции среды активность ферментов снижается. Небольшие колебания рН снижают активность ферментов обратимо, то есть активность ферментов восстанавливается при возвращении к оптимальным условиям. Резкие изменения активной реакции среды приводят к нарушению первичной структуры фермента и к необратимой денатурации.

## ***2.4. Классификация ферментов***

Согласно Международной классификации ферментов, в основу которой положены типы катализируемой реакции, все ферменты делятся на шесть классов. Каждый класс делится на подклассы, а подкласс – на подподклассы. Внутри подподкласса фермент имеет свой порядковый номер. В системе классификации ферментов каждый фермент имеет свой четырехзначный цифровой шифр, который записывается после названия фермента, например, лактатдегидрогеназа ЛДГ (1.1.1.27).

Выделяют следующие классы ферментов

1. Оксидоредуктазы – катализируют окислительно-восстановительные реакции.

Подклассы:

1.1) дегидрогеназы катализируют отнятие и перенос атомов водорода от одного субстрата на другой;

1.2) оксидазы катализируют отнятие и перенос атомов водорода на молекулярный кислород.

2. Трансферазы – катализируют перенос различных функциональных групп, например аминотрансфераза.

3. Гидролазы – катализируют гидролиз веществ, т. е. расщепление внутримолекулярных связей с участием воды (примером являются пищеварительные ферменты).

4. Лиазы – катализируют реакции негидролитического отнятия от субстрата групп атомов или разрыв углеродной цепи, например, декарбоксилаза.

5. Изомеразы – катализируют образование изомеров (цис-транс-изомеразы);

6. Лигаза (синтетаза) – катализируют реакции синтеза веществ с использованием энергии АТФ, например, ДНК-синтетаза.

## Тема 3. Витамины

### *План лекции:*

1. Биологическая роль витаминов и их классификация. Механизм действия витаминов.
2. Понятие о гиповитаминозе, авитаминозе и гипервитаминозе.
3. Влияние мышечной деятельности на потребность организма в витаминах.

### ***3.1. Биологическая роль витаминов и их классификация. Механизм действия витаминов***

**Витамины** – биологически активные низкомолекулярные соединения различного химического строения, которые не синтезируются в организме человека, но являются жизненно необходимыми и должны обязательно поступать в организм с пищей.

Биологическая роль их в том, что они входят в состав коферментов и простетических (небелковых) групп ферментов и тем самым регулируют активность ферментов.

#### *Классификация витаминов*

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

Водорастворимые витамины хорошо растворимы в воде. Они входят в состав наиболее важных коферментов (РР (или В<sub>5</sub>)– НАД, В<sub>2</sub> – ФАД, В<sub>1</sub> – ТПФ, В<sub>3</sub> – КоА, В<sub>6</sub> – ПФ).

Жирорастворимые витамины нерастворимы в воде, но хорошо растворимы в жирах. Они хуже выводятся из организма и могут накапливаться в различных липидных компонентах клетки.

В медицинской практике витамины делятся по биологическому действию на пять групп:

1. Витамины С, А, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, РР (В<sub>5</sub>), В<sub>6</sub> повышают общую реактивность организма, регулируют физические процессы в центральной нервной системе и все виды обмена веществ в организме.

2. Антигеморрагические (С, Р, К) повышают устойчивость стенок кровеносных сосудов и свертываемость крови.

3. Антианемические (С, В<sub>12</sub>) участвуют в процессах кроветворения (образование эритроцитов и синтез гемоглобина).

4. Витамины, регулирующие зрение (А, С, В<sub>2</sub>), усиливают остроту зрения, восприимчивость различных цветов и адаптацию к темноте.

5. Антиинфекционные (А, С, все витамины группы В) стимулируют образование антител, усиливают фагоцитоз и защитные свойства организма.

### *Пищевые источники и суточные нормы витаминов*

Основными источниками являются преимущественно растения. Водорастворимые витамины чаще встречаются в продуктах растительного происхождения, дрожжах (табл.1). Жирорастворимые встречаются в продуктах, богатых жирами (рыбий жир, растительные масла, печень, мясо).

Таблица 1 – Суточная потребность и пищевые источники витаминов

Витамин	Суточная потребность, мг	Пищевой источник
С	60–100	Сухой шиповник, черная смородина, сладкий перец, цитрусовые, зеленые листья овощей
В <sub>1</sub>	1,5–3	Хлеб грубого помола, зерновые продукты (отруби), орехи, яйца, дрожжи
В <sub>2</sub>	1,5–2,5	Хлеб грубого помола, зеленые листья овощей, орехи
В <sub>6</sub>	2–5	Черный хлеб, бобовые, орехи. Синтезируется микрофлорой кишечника.
РР (В <sub>5</sub> )	15–20	Хлеб, бобовые, арахис, рыба, мясо, дрожжи, кофе
А	1–2	Рыбий жир, морковь, облепиха
Е	12–15	Растительное масло
Д	0,001–0,002	Рыбий жир. Синтезируется под действием ультрафиолетовых лучей в тканях.
К	0,07–0,14	Шпинат, морковь, капуста, зеленые листья овощей, крапива. Синтезируется микрофлорой кишечника

### ***3.2. Понятие о гиповитаминозе, авитаминозе и гипервитаминозе***

Витамины необходимы организму в строго определенных концентрациях. Изменения содержания витаминов в организме приводят к возникновению различных патологических состояний.

**Гиповитаминоз** – болезненное состояние организма, связанное с нарушением обмена веществ, при недостаточном содержании в нем витаминов.

**Гипервитаминоз** – болезненное состояние организма, которое наблюдается при избыточном содержании витаминов в нем.

**Авитаминоз** – тяжелое болезненное состояние организма, связанное со значительными нарушениями обмена веществ и функций органов, при полном отсутствии витаминов в организме. Например, при авитаминозе витамина С развивается болезнь цинга, при авитаминозе А – куриная слепота, при авитаминозе Д – рахит, при авитаминозе В<sub>1</sub> – полиневрит.

Можно выделить следующие причины возникновения гиповитаминозов:

1. Недостаток витаминов в пище. Например, маловитаминизированная пища, однообразная, переваренная, многократно разогреваемая.
2. Заболевания, связанные с нарушением всасывания витаминов в желудочно-кишечном тракте, или угнетение микрофлоры кишечника (например, при приеме антибиотиков).
3. Нарушение баланса углеводов, жиров, белков. Например, при неполноценном белковом питании потребность в витамине В<sub>2</sub> увеличивается.
4. Некомпенсированный расход витаминов при физической нагрузке, при беременности.

### ***3.3. Влияние мышечной деятельности на потребность организма в витаминах***

У регулярно тренирующихся спортсменов суточная потребность в витаминах возрастает в 1,5–2 раза. При физической нагрузке обменные процессы ускоряются, увеличивается активность ферментов, следовательно, необходимо большее количество регуляторов обмена веществ, витаминов. Витамины сами по себе не вызывают повышение работоспособности, но они способствуют более быстрому восстановлению организма после нагрузки, при недостатке витаминов процессы восстановления замедляются.

Белковый обмен контролируется такими витаминами, как В<sub>12</sub>, В<sub>6</sub>, РР (В<sub>5</sub>), А, Е, К. На углеводный обмен действуют витамины В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, С, РР (В<sub>5</sub>), В<sub>3</sub>, липоевая кислота. Липидный обмен поддерживают такие витамины, как В<sub>6</sub>, РР, В<sub>12</sub>, липоевая кислота (витамин N), холин (витамин В<sub>4</sub>), L-карнитин (витамин В<sub>11</sub>).

Суточная потребность В<sub>1</sub> при мышечной деятельности увеличивается до 6–8 мг в связи с участием его в регуляции аэробных процессов энергообразования, особенно в видах спорта на выносливость.

## Тема 4. Гормоны

### *План лекции:*

1. Понятие о гормонах и эндокринной системе организма. Классификация гормонов.
2. Механизм действия гормонов.
3. Влияние мышечной деятельности на секрецию гормонов.

### **4.1. Понятие о гормонах и эндокринной системе организма. Классификация гормонов**

**Гормоны** – это биологически активные вещества, которые синтезируются в специальных органах, железах внутренней секреции, и оказывают воздействие на другие органы и ткани (органы мишени), тем самым регулируя процессы обмена веществ и физиологические функции организма.

Органы и ткани, на которые действуют гормоны, называются – *органами мишенями*.

#### *Гормоны*

Обладают высокой биологической активностью, при малых концентрациях.

Гормоны оказывают дистанционное воздействие, они выделяются в кровь и с током крови разносятся к органам мишеням.

Гормоны строго избирательно воздействуют на органы-мишени, т. е. обладают специфичностью воздействия.

Синтезируются гормоны в ничтожно малых концентрациях:  $10^{-6} - 10^{-12}$  ммоль/л.

#### *Классификация гормонов*

По химическому строению гормоны делятся на три группы:

1. **Производные аминокислот** (тироксин и адреналин – производные аминокислоты тирозина).
2. **Белки и пептиды** (гормоны гипофиза, паращитовидная, поджелудочная).
3. **Производные холестерина или стероидные гормоны** (гормоны коры надпочечников, половые гормоны).

#### *Понятие об эндокринной системе организма*

**Эндокринная система** – согласованная система, состоящая из эндокринных желез (желез внутренней секреции). Они не связаны между собой анатомически (находятся на большом расстоянии друг от друга), но связаны функционально.

**Железы внутренней секреции (ЖВС)** – высокоспециализированные органы или группы клеток, которые осуществляют синтез гормонов и выброс

их в кровь, межклеточную жидкость или лимфу. Они не имеют выводящих протоков и поэтому называются *эндокринными* (эндо – внутрь).

Различают *центральные* и *периферические железы внутренней секреции*. Центральные (гипоталамус, гипофиз, эпифиз) находятся у основания головного мозга и напрямую связаны с деятельностью ЦНС. Они выделяют гормоны, которые регулируют работу периферических ЖВС. К периферическим относятся щитовидная и поджелудочная, надпочечники, половые железы.

#### ***4.2. Механизм действия гормонов***

Существуют три основных механизма гормональной регуляции внутриклеточного метаболизма и функций клеток:

- а) изменение скорости синтеза белка,
- б) изменение активности ферментов внутриклеточного метаболизма,
- в) изменение проницаемости клеточных мембран для различных ионов, метаболитов, коферментов.

##### *Регуляция скорости синтеза белков*

Такое действие оказывают стероидные и тиреоидные гормоны: они проникают в клетку, взаимодействуют со специальными рецепторами, образуют гормонрецепторный комплекс. Гормонрецепторный комплекс проникает в ядро, связывается с хроматином и увеличивает скорость синтеза белков на уровне генов.

##### *Регуляция активности ферментов*

Отдельные белково-пептидные гормоны, а также адреналин, норадреналин взаимодействуют со специальными рецепторами на поверхности клетки и активируют расположенный с внутренней стороны мембраны G-белок. Этот белок активирует или подавляет активность фермента *аденилатциклазы*. Аденилатциклаза катализирует синтез циклического АМФ из АТФ. Циклический АМФ является «вторичным передатчиком», который действует на активность ряда ферментов, приводит к функциональным изменениям в клетке.

##### *Регуляция проницаемости мембран*

Отдельные гормоны и нейромедиаторы изменяют проницаемость мембран клетки для целого ряда веществ-метаболитов. Примером может служить инсулин, который, связываясь с рецептором на плазматической мембране, резко увеличивает проницаемость глюкозы, аминокислот, отдельных ионов через мембраны и усиливает поступление их внутрь клетки.

#### ***4.3. Влияние мышечной деятельности на секрецию гормонов***

При физических нагрузках изменяется активность многих гормонов. Изменения зависят от интенсивности и длительности физических нагрузок. При кратковременных однократных физических нагрузках секреторная функция многих желез усиливается. В кровь поступает большее количество гормонов, что стимулирует процессы энергообразования и повышает физическую

работоспособность организма. При длительной физической работе секреция гормонов снижается. Возможно истощение функций эндокринных желез, что сопровождается снижением физической работоспособности и развитием утомления.

Систематическая мышечная деятельность усиливает потенциальные возможности эндокринных желез, вызывает увеличение запасов гормонов, хотя уровень отдельных гормонов (тироксина, инсулина) в крови в состоянии покоя понижен. Под воздействием физических нагрузок в тренированном организме происходит усиление секреции гормонов и регулируемых ими процессов. При этом совершенствуются механизмы передачи действия гормонов, а также наблюдается увеличение количества вторичного передатчика – циклического АМФ в мышцах, повышение чувствительности ферментов к передатчику либо рецепторов к гормонам, что способствует проявлению высокой физической работоспособности организма.

Высокая физическая работоспособность и спортивный результат определяются согласованной работой всех эндокринных желез. Нарушение функций какой-либо железы приводит к нарушению эффективности обменных процессов, что не позволяет спортсмену достичь высокого спортивного результата. Только правильно организованный тренировочный процесс позволяет улучшить функциональные возможности эндокринной системы при интенсивных физических нагрузках.



## Тема 5. Биоэнергетика

### План лекции:

1. Понятие об энергетических процессах. Макроэргические вещества клеток организма.
2. Биологическое окисление веществ.
3. Окисление в митохондриях.

### **5.1. Понятие об энергетических процессах. Макроэргические вещества клеток организма**

Реакции обмена веществ представляют собой не только изменения определенных химических соединений, но и изменения энергии: ее перераспределение между веществами, переход из одной формы в другую, накопление в особого типа связях – макроэргических.

Таким образом, **биоэнергетические процессы** – это процессы образования, накопления, распределения и использования энергии в живом организме.

Все живые существа нуждаются в притоке свободной энергии для осуществления процессов жизнедеятельности. Свободная энергия поступает из окружающей среды. Растения получают ее, улавливая световую энергию, человек – путем окисления пищевых веществ. Основными источниками энергии в организме человека являются *углеводы липиды, белки*. При их распаде выделяется свободная энергия. Свободная энергия аккумулируется в **макроэргических веществах** (от греч. *takros* – много, *ergon* – работа, энергия).

*Макроэргические вещества* – органические вещества, содержащие в молекулах макроэргические связи. Макроэргические связи обладают запасом энергии более 21 кДж/моль или 5 кКал/моль. Эту связь обозначают волнистой линией («~») макроэргическая связь).

В организме человека основными макроэргическими веществами являются фосфоросодержащие соединения, такие как:

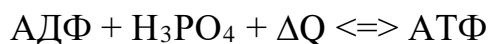
- АТФ – аденозинтрифосфорная кислота;
- АДФ – аденозиндифосфорная кислота;
- КФ – креатинфосфат;
- ДФГК – дифосфоглицериновая кислота;
- ФПВК – фосфопировиноградная кислота.

Одни макроэргические вещества могут накапливаться в небольших количествах в организме (АТФ, КФ), другие образуются только на определенных этапах окисления веществ и не накапливаются в организме (ДФГК, ФПВК).

*АТФ – универсальный источник энергии в организме*

Центральное место среди макроэргических веществ занимает АТФ. Ей принадлежит роль универсального источника энергии в организме человека.

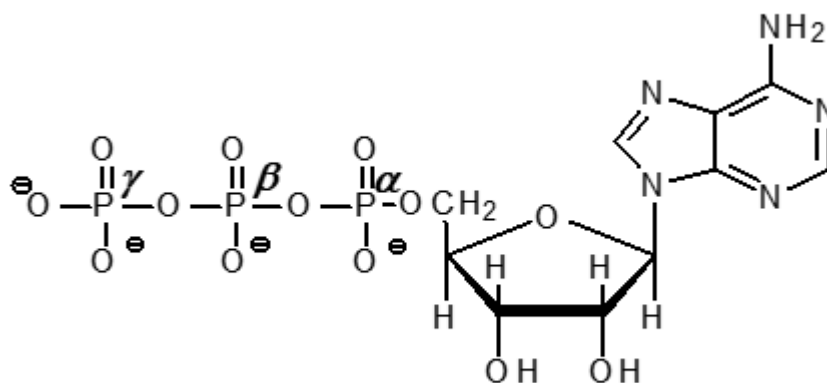
Свободная энергия, выделяемая при окислении веществ, связывается в молекулах АТФ, согласно следующей схеме:



Химическая энергия АТФ постоянно используется клетками организма для поддержания всех энергопотребляемых биологических процессов. Энергия АТФ расходуется на мышечное сокращение или на другие формы движения, активный транспорт ионов, синтез биомолекул.

#### *Химическое строение АТФ*

Аденозиндифосфорная кислота является нуклеотидом. Состоит из азотистого основания – аденина, углевода – рибозы, которые вместе образуют аденозин, и трех остатков фосфорной кислоты. Первый остаток ( $\alpha$ ) присоединен к рибозе обычной эфирной связью, а два последующих связаны посредством макроэргических фосфоангидридных связей (рисунок 4).



Аденозин-5'-трифосфат

Рисунок 4 – Строение молекулы АТФ

#### *Гидролиз АТФ*

Свою энергетическую функцию АТФ реализует в процессе гидролиза, распада молекулы с участием воды.



При этом в стандартных условиях освобождается от 33,5 до 41,9 кДж/моль энергии.

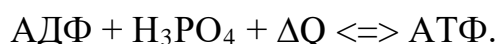
В реакции участвуют ферменты АТФ-азы.

### *Восстановление АТФ*

Количество АТФ в тканях человека невелико. В скелетных мышцах человека содержится 5 ммоль/кг сырой ткани. Всего в организме человека содержится около 50 г АТФ.

При физических нагрузках требуется значительно большее количество АТФ, чем содержится исходно. Следовательно, происходит процесс образования (ресинтеза) АТФ.

**Восстановление АТФ (ресинтез АТФ)** происходит из АДФ путем фосфорилирования молекул АДФ, т.е. присоединения остатка фосфорной кислоты:



Выделяют два вида фосфорилирования:

1. *Субстратное фосфорилирование* – восстановление АТФ при взаимодействии АДФ с другими макроэргическими веществами (субстратами), образующимися в клетке.

2. *Окислительное фосфорилирование* – восстановление АТФ за счет энергии переноса электронов и протонов водорода в дыхательной цепи митохондрий на кислород (в аэробных условиях).

### **5.2. Биологическое окисление веществ**

В основе биологического окисления лежат окислительно-восстановительные реакции, в которых одно вещество окисляется, а другое восстанавливается. Окисляемое вещество отдает электроны, является *донором*, а восстанавливаемое вещество принимает электроны, является *акцептором*.

В большинстве случаев биологическое окисление протекает как дегидрирование. От окисляемого вещества отнимаются атомы водорода (в виде электронов и протонов). Это отнятие осуществляется при участии группы ферментов, которые последовательно передают атомы водорода на его конечный акцептор. Если конечным акцептором является кислород, окисление называется *аэробным*. Если в качестве такого акцептора выступают органические молекулы, например пировиноградная кислота (ПВК), то говорят об *анаэробном окислении*.

Таким образом, **биологическое окисление** – это многоступенчатый ферментативный процесс распада сложных органических веществ (углеводов, липидов, белков) с отнятием атомов водорода (протона и электрона) от донора и последующим переносом их на кислород или другие акцепторы. Процесс сопровождается постепенным освобождением энергии окисляемых веществ.

В результате аэробного окисления, где акцептором протонов и электронов является кислород, происходит полный распад окисляемого вещества до конечных продуктов – углекислого газа и воды. Протекает в митохондриях клеток.

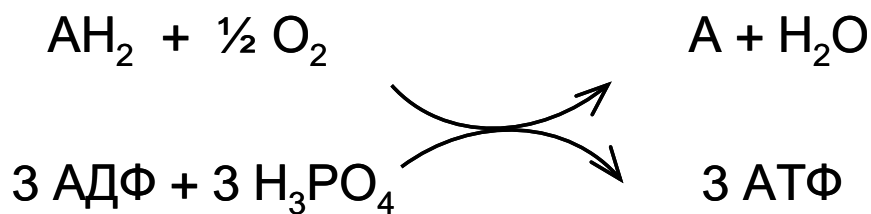
Конечными продуктами анаэробного окисления являются недоокисленные вещества, такие как молочная кислота. Данный процесс протекает в цитоплазме клеток. Наиболее ярким примером анаэробного окисления является ключевая реакция гликолиза. Эта реакция образования молочной кислоты (лактата) из пировиноградной кислоты (ПВК). Ферментом данной реакции является НАД·Н<sub>2</sub> зависимая лактатдегидрогеназа (ЛДГ). Кофермент ЛДГ НАД·Н<sub>2</sub> восстанавливает ПВК до молочной кислоты (лактата).

Катализируют процессы биологического окисления ферменты класса *оксидоредуктаз*. К ним относятся *дегидрогеназы*, которые катализируют отнятие и перенос атомов водорода от одного субстрата на другой, и *оксидазы*, катализирующие перенос атомов водорода на кислород.

### 5.3. Окисление в митохондриях

Основным типом биологического окисления является окисление в митохондриях. Данный тип окисления еще называют *тканевым дыханием* или *аэробным окислением*, так как это основной способ получения АТФ в аэробных условиях. В процессе митохондриального окисления от окисляемого вещества отнимается два атома водорода (два протона и два электрона) и по дыхательной цепи передаются на кислород, с образованием воды. При движении электронов по дыхательной цепи выделяется энергия, с помощью которой осуществляется синтез АТФ из АДФ и фосфорной кислоты. Образование одной молекулы воды сопровождается синтезом трех молекул АТФ при окислении НАД·Н<sub>2</sub> и двух молекул АТФ при окислении ФАД·Н<sub>2</sub>.

В упрощенном виде тканевое дыхание может быть представлено в следующем виде:



Окисление в митохондриях ферментативный процесс, с участием ферментов класса оксидоредуктаз. Условно все ферменты можно поделить на три группы: 1) никотинамидные дегидрогеназы, 2) флавиновые дегидрогеназы и 3) цитохромы.

Никотинамидные дегидрогеназы отнимают два атома водорода от субстрата и временно присоединяют их к своему коферменту НАД (никотинамидадениндинуклеотиду). В состав НАД входит амид никотиновой кислоты (витамин РР) (рис. 5).

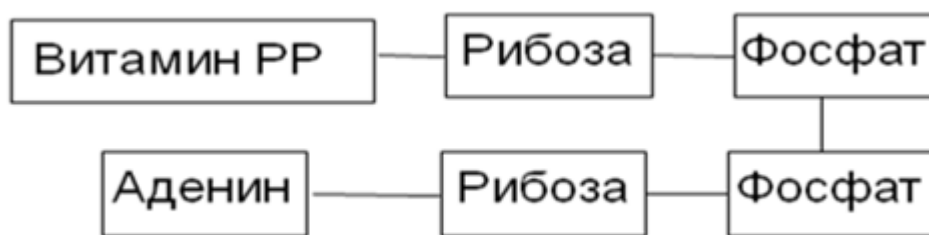


Рисунок 5 – Схема строения НАД

Флавиновые дегидрогеназы отнимают два атома водорода от образовавшегося  $\text{НАД}\cdot\text{H}_2$  и присоединяют их к своему коферменту ФМН (флавинмононуклеотиду). Или же подобно никотинамидным дегидрогеназам отнимают два атома водорода от субстрата и присоединяют их к своему коферменту ФАД (флавинадениндинуклеотиду). ФМН и ФАД содержат в своем составе рибофлавин, витамин  $\text{B}_2$ . Динуклеотид ФАД состоит из ФМН и аденозинмонофосфата (АМФ) (рис. 6).

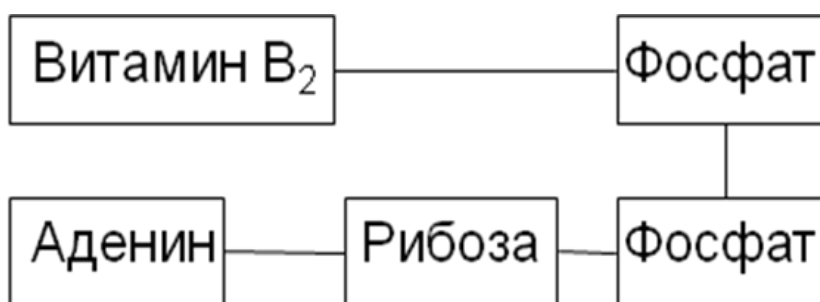


Рисунок 6 – Схема строения ФАД

Цитохромы – это железосодержащие ферменты класса оксидоредуктаз, которые участвуют в переносе только электронов по дыхательной цепи от кофермента Q на кислород. В состав цитохрома входит полипептид и гемовая группа. Железо, входящее в состав гема цитохромов, имеет переменную валентность, и перенос электронов осуществляется за счет изменения валентности железа ( $\text{Fe}^{3+} + e \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$ ).

Дыхательная цепь расположена на кристах внутренней мембраны митохондрий. Представляет собой расположенные в определенной последовательности переносчики электронов – ферменты класса оксидоредуктаз. Перенос электронов осуществляется от  $\text{НАД}\cdot\text{H}_2$  или  $\text{ФАД}\cdot\text{H}_2$  на кислород.

Электроны поступают в дыхательную цепь различными путями. Через никотинамидные дегидрогеназы, которые отнимают два атома водорода от субстрата и присоединяют их к своему коферменту НАД, образуя  $\text{НАД}\cdot\text{H}_2$ , или через флавиновые дегидрогеназы, которые отнимают два атома водорода от субстрата и присоединяют их к своему коферменту ФАД, образуя

ФАД·Н<sub>2</sub>. Окисляясь НАД·Н<sub>2</sub> отдает два атома водорода через ФМН на кофермент Q (КоQ). При окислении ФАД·Н<sub>2</sub> два атома водорода (два протона и два электрона) передаются сразу на КоQ. При этом окисленная форма КоQ восстанавливается в КоQ·Н<sub>2</sub>. Кофермент Q или убихинон представляет собой небольшую жирорастворимую молекулу, подобную витамину К. Восстановленная форма убихинона переносит свои два электрона на цитохром b, следующего члена цепи переноса электронов. В переносе электронов участвуют пять последовательно расположенных цитохромов: b→c<sub>1</sub>→c→a→a<sub>3</sub>. От цитохрома a<sub>3</sub> электроны поступают на кислород с образованием аниона O<sup>2-</sup>, который связывает два протона с образованием воды (рис. 7).

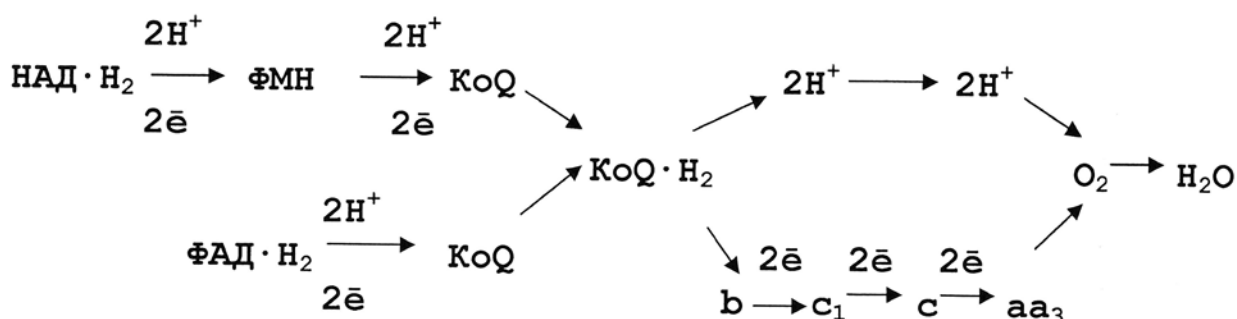


Рисунок 7 – Схема дыхательной цепи митохондрий

Движение электронов по дыхательной цепи сопровождается выделением энергии. Около половины энергии аккумулируется в макроэргических связях АТФ. Другая часть энергии выделяется в виде тепла. Такое окисление называется свободным окислением – процесс биологического окисления, при котором освобождаемая энергия не накапливается в молекулах АТФ, а превращается в тепловую энергию.

Синтез АТФ сопряжен с тремя точками дыхательной цепи: при переносе электронов с НАД·Н<sub>2</sub> на ФМН, с цитохрома b на цитохром c, с цитохрома a на цитохром a<sub>3</sub>. Таким образом при переносе двух атомов водорода от НАД·Н<sub>2</sub> на кислород синтезируются три молекулы АТФ, а от ФАД·Н<sub>2</sub> – две молекулы АТФ.

Процесс образования АТФ из АДФ и фосфорной кислоты за счет энергии переноса электронов по дыхательной цепи митохондрий называется *окислительным фосфорилированием*. А также может обозначаться терминами аэробное фосфорилирование или аэробный ресинтез АТФ.

Таким образом, окисление в митохондриях состоит из двух взаимосвязанных процессов: переносом электронов от субстратов на кислород с образованием воды и синтезом АТФ на мембране митохондрий, где связующим звеном является энергия.

Субстратами аэробного окисления являются углеводы, липиды, белки и их промежуточные метаболиты, образующиеся в процессе окисления. Все они окисляются с образованием ацетилкофермента А (Ацетил-КоА). Затем Ацетил-КоА окисляется в цикле трикарбоновых кислот Кребса. Цикл Кребса – завершающий этап метаболизма, в ходе которого происходит окисление остатка уксусной кислоты, входящего в состав ацетилкофермента А, до двух молекул  $\text{CO}_2$  и восьми атомов  $\text{H}^+$ . Восемь атомов  $\text{H}^+$  связаны с тремя молекулами НАД $\cdot\text{H}_2$  и одной молекулой ФАД $\cdot\text{H}_2$ . Таким образом, цикл Кребса является основным поставщиком восстановленных коферментов для дыхательной цепи митохондрий.

## Тема 6. Обмен углеводов

### *План лекции:*

1. Биологическая роль углеводов. Классификация углеводов.
2. Переваривание углеводов.
3. Превращение углеводов.

### **6.1. Биологическая роль углеводов. Классификация углеводов**

Углеводы – сложные органические вещества, молекулы которых состоят из атомов углерода, водорода и кислорода, причем соотношение атомов водорода и кислорода как в молекуле воды. Общая формула углеводов  $C_n(H_2O)_m$ .

В природе углеводы в основном содержатся в растениях. В организме человека содержание углеводов составляет 1,5–2,0 % от массы тела. В сутки человеку необходимо 400–500 г углеводов, а для регулярно тренирующихся спортсменов суточные нормы увеличиваются до 700–900 г.

Основные функции углеводов в организме следующие:

1. *Энергетическая.* Углеводы являются основным источником энергии в организме человека. При распаде 1 г углеводов выделяется 17,2 кДж энергии или 4,1 ккал. Углеводы обеспечивают 60–65 % суточных энергозатрат.

2. *Пластическая.* Углеводы входят в состав биологически важных веществ в организме человека, таких как АТФ, АДФ, нуклеиновые кислоты (РНК, ДНК). Отдельные углеводы являются структурными компонентами клеточных мембран. Продукты превращения глюкозы (глюкуроновая кислота, глюкозамин) входят в состав полисахаридов и сложных белков хрящевой и других тканей.

3. *Резервная.* Углеводы накапливаются в виде гликогена в печени, скелетных мышцах и в других тканях. Запасы гликогена зависят от функционального состояния организма. При мышечной деятельности запасы гликогена значительно снижаются, а в период отдыха после нагрузки восстанавливаются. При систематической мышечной деятельности запасы гликогена в печени и мышцах увеличиваются, что повышает энергетические возможности организма.

4. *Регуляторную.* Углеводы являются компонентами гликопротеидов, которые участвуют в регуляции проницаемости мембран. Клетчатка активизирует перистальтику кишечника, ферменты пищеварительного тракта, улучшает пищеварение.

5. *Защитная.* Углеводы входят в состав компонентов иммунной системы. Мукополисахариды находятся в слизистых оболочках, которые покрывают поверхность сосудов носа, бронхов, пищеварительного тракта, мочеполовых путей и защищают от проникновения бактерий и вирусов, а также от механических повреждений.



## Классификация углеводов

Углеводы классифицируются на простые и сложные. В основу этой классификации положена способность углеводов к гидролизу. Простые углеводы или моносахариды не подвергаются гидролизу. Сложные углеводы подвергаются гидролизу до простых, так как они построены из моносахаридных остатков. К сложным углеводам относят олигосахариды и полисахариды.

### Моносахариды

К моносахаридам относятся простые углеводы, которые не подвергаются гидролизу. В зависимости от числа атомов углерода в молекулах моносахариды делятся на триозы ( $C_3H_6O_3$ ), тетрозы ( $C_4H_8O_4$ ), пентозы ( $C_5H_{10}O_5$ ), гексозы ( $C_6H_{12}O_6$ ), гептозы ( $C_7H_{14}O_7$ ).

Все моносахариды имеют одну карбонильную группу ( $>C=O$ ) и несколько спиртовых гидроксильных групп ( $-OH$ ). Если карбонил расположен в конце углеводной цепи, он образует альдегидную группу, и моносахарид называется *альдозой*. Если карбонил расположен между углеводными атомами, он образует кетонную группу, и моносахарид называется *кетозой*.

Примерами могут служить:

	Альдозы	Кетозы
Триозы ( $C_3H_6O_3$ )	Глицериновый альдегид	Дигидроксиацетон
Пентозы ( $C_5H_{10}O_5$ )	Рибоза	Рибулоза
Гексозы ( $C_6H_{12}O_6$ )	Глюкоза	Фруктоза

Среди моносахаридов в природе распространены пентозы и гексозы. Важную роль для жизнедеятельности организма играют такие пентозы, как рибоза и дезоксирибоза. Среди гексоз выделяют *глюкозу*, *фруктозу* и *галактозу*.

### Глюкоза

**Глюкоза** является основным природным моносахаридом. Это 5-атомный альдегидоспирт (содержит пять спиртовых групп и одну альдегидную). Проявляет свойства альдегидов и спиртов. Может находиться в циклической и ациклической форме (рис. 8).

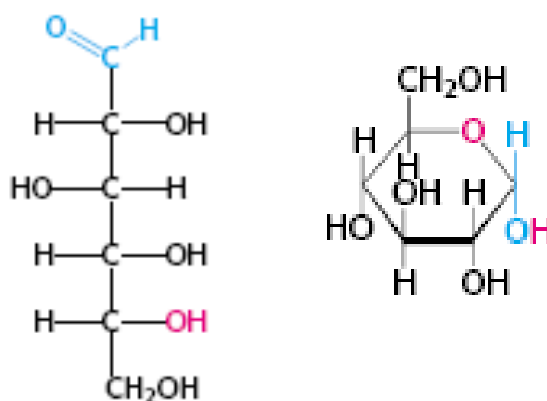


Рисунок 8 – Схема строения глюкозы  
(слева – ациклическая структура, справа – циклическая)

В организме человека вся глюкоза находится как в свободном виде, так и в составе сложных углеводов (гликогена).

Свободная глюкоза в основном находится в крови, где ее содержание довольно постоянно и колеблется в узком диапазоне от 3,3 до 6,0 ммоль/л.

Если содержание глюкозы в крови опускается ниже границы нормы – 3,3 ммоль/л, то такое состояние называют *гипогликемия*. Гипогликемия может возникать при истощении запасов гликогена в печени во время напряженной длительной работы (например, при марафонском беге, велогонках на шоссе) или при длительном голодании.

Если содержание глюкозы в крови переходит верхнюю границу нормы – 6,0 ммоль/л, то такое состояние называют *гипергликемия*. Если концентрации глюкозы в крови превышает 7,5–8,0 ммоль/л, то глюкоза выделяется с мочой. Такое состояние называется *глюкозурия*.

### *Дисахариды*

**Олигосахариды** – углеводы, построенные из небольшого числа моносахаридных остатков. Наиболее распространены из них *дисахариды*. Основными дисахаридами являются *мальтоза, сахароза, лактоза*. Их общая формула  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . При гидролизе дисахариды распадаются на два моносахарида.

*Сахароза* является основным компонентом пищевого сахара. При гидролизе в процессе пищеварения распадается на *глюкозу* и *фруктозу* под действием фермента *сахаразы*.

*Мальтоза* образуется в организме человека как промежуточный продукт распада полисахаридов. В результате пищеварения мальтоза распадается на две молекулы *глюкозы* под действием фермента *мальтазы*.

*Лактоза* (молочный сахар) синтезируется в молочных железах человека и животных в период лактации. Под действием фермента *лактазы* подвергается гидролизу на *глюкозу* и *галактозу*.

## Полисахариды

Полисахариды – высокомолекулярные вещества, построенные из сотен и тысяч остатков моносахаридов или их производных.

Различают *гомополисахариды* и *гетерополисахариды*. Гомополисахариды построены из множества одинаковых моносахаридов в основном из глюкозы. В состав гетерополисахаридов входят моносахаридные остатки нескольких видов.

Среди гомополисахаридов выделяют *гликоген, крахмал, клетчатку* и др. Их общая формула  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , где  $n$  достигает у гликогена 30 000, клетчатки – 10 000, крахмала – от 60 до 600. При гидролизе они распадаются до моносахаров.

**Крахмал** – полисахарид, образующийся в растениях, является основным полисахаридом, поступающим в организм человека с пищей. Крахмал хорошо переваривается и усваивается организмом. Реакция гидролиза в организме человека идет постепенно при участии ферментов амилазы и мальтазы. При частичном переваривании (разрушении крахмала) образуются хорошо растворимые в воде декстрины (рис. 9).

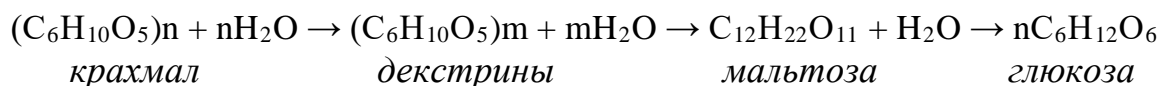


Рисунок 9 – Схема гидролиза крахмала

**Клетчатка (целлюлоза)** – полисахарид, образующийся в растениях. В организме человека не переваривается, но выполняет важную роль в пищеварении (стимулирует перистальтику кишечника, нормализует его микрофлору, адсорбирует и выводит из организма токсические вещества).

**Гликоген** – полисахарид, образующийся в организме человека и животных, является резервным углеводом в организме человека. Депонируется в мышцах и печени, является основным источником энергии для мышечного сокращения. Синтезируется из глюкозы.

## 6.2. Переваривание углеводов

Перевариванию подвергаются сложные углеводы, простые углеводы усваиваются в тонком кишечнике.

Переваривание углеводов начинается в ротовой полости. Под действием ферментов слюны *амилазы* и *мальтазы* сложные углеводы подвергаются гидролизу. Дальнейший распад полисахаридов и декстринов, образовавшихся в ротовой полости, протекает в тонкой кишке с участием *амилазы поджелудочного сока*. Гидролиз дисахаридов до моносахаридов осуществляют ферменты кишечного сока *мальтаза, сахараза* и *лактаза*.

### **6.3. Превращение углеводов**

Углеводы в организме человека могут как синтезироваться, так и окисляться. Окисляются они аэробно и анаэробно.

#### *Анаэробное окисление углеводов (гликолиз)*

**Гликолиз** – анаэробное окисление глюкозы или гликогена до молочной кислоты (лактата). Гликолиз включает десять последовательно идущих химических реакций (рис. 10). Все реакции протекают без участия митохондрий и потребления кислорода. Образующийся в процессе реакции гликолиза НАД·Н<sub>2</sub>, передает атомы водорода пировиноградной кислоте, а не на кислород, как в аэробном окислении. В результате образуется молочная кислота (лактат) – конечный продукт анаэробного окисления углеводов (рис. 11). Концевую реакцию катализирует фермент лактатдегидрогеназа (ЛДГ).

Лактат накапливается в мышцах и выходит в кровь. Концентрация лактата в крови в покое составляет 0,5–1,5 ммоль/л. В анаэробных условиях у высокоотренированных спортсменов концентрация молочной кислоты в крови может достигать до 20–25 ммоль/л. После работы молочная кислота устраняется из организма, окисляясь до СО<sub>2</sub> и воды, либо в печени из нее синтезируется гликоген.

Наиболее важными промежуточными продуктами гликолиза являются два макроэргических соединения: *дифосфоглицериновая кислота (ДФГК)* и *фосфопировиноградная кислота (ФПВК)*. Эти соединения свою макроэргическую фосфатную группу передают на АДФ с образованием АТФ (рис. 10). Процесс образования АТФ протекает в цитоплазме клеток. Энергетический эффект гликолиза равен двум молекулам АТФ.

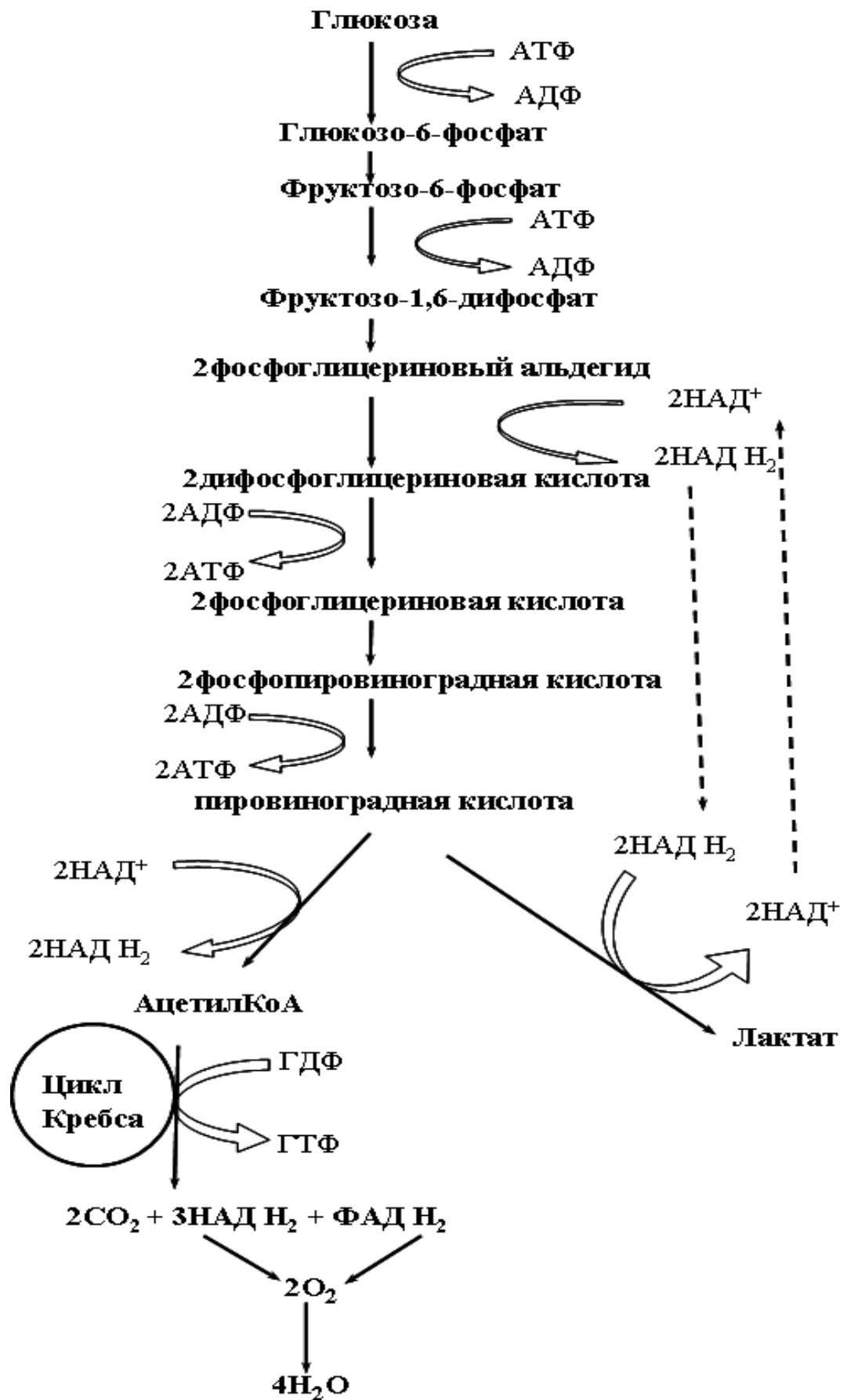


Рисунок 10 – Схема аэробного и анаэробного окисления глюкозы

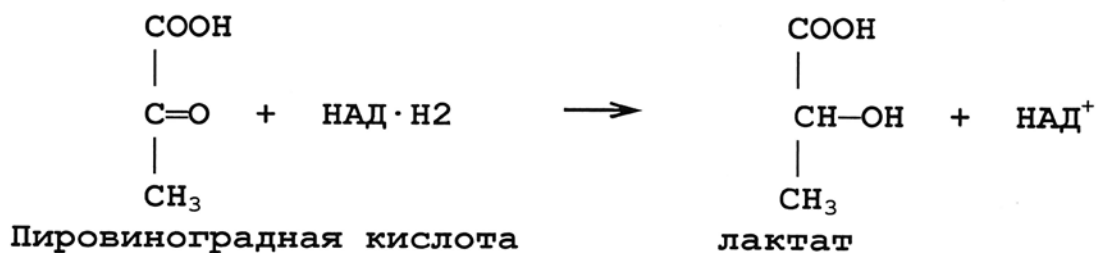


Рисунок 11 – Схема образования лактата из ПВК

### Аэробное окисление углеводов

Это сложный, многостадийный процесс, включающий десятки промежуточных реакций, приводящих к образованию углекислого газа и воды с выделением большого количества энергии. Этот процесс можно разделить на три этапа, последовательно идущих друг за другом.

Первый этап происходит в цитоплазме клеток, где глюкоза или гликоген окисляются до пировиноградной кислоты (ПВК). Процесс образования ПВК происходит одинаково, как при аэробном окислении, так и при анаэробном (рис. 10).

Второй и третий этапы протекают в митохондриях с участием ферментов дыхательной цепи и кислорода.

Второй этап – окислительное декарбосилирование ПВК. На этом этапе от ПВК отщепляется карбоксильная группа с образованием углекислого газа. Оставшийся остаток уксусной кислоты связывается с коферментом А (переносчиком остатка кислот). В результате образуется *ацетилкофермент А* (ацетил-КоА). При этом происходит восстановление НАД<sup>+</sup> двумя атомами водорода с образованием НАД·Н<sub>2</sub> (рис. 12).

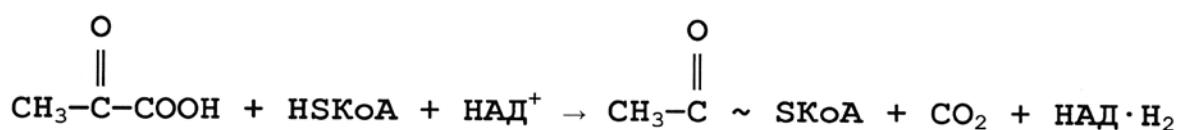


Рисунок 12 – Схема образования ацетил КоА

Уксусная кислота, связанная с коферментом А, обладает высокой химической активностью, поэтому ацетилкофермент А называют *активной уксусной кислотой*.

Процесс катализируется сложным мультиферментным комплексом. В качестве коферментов этого этапа участвуют *тиаминпирофосфат* (ТПФ, производное витамина В<sub>1</sub>), КоА (содержит витамин В<sub>3</sub>), НАД (РР), ФАД (В<sub>2</sub>), липоевая кислота.

Ацетил-КоА поступает в цикл Кребса, где окисляется.

**Цикл Кребса** – это цикл последовательно протекающих реакций, в которых окисляется остаток уксусной кислоты, входящий в состав ацетил-КоА. При окислении одной молекулы остатка уксусной кислоты образуются две молекулы  $\text{CO}_2$  и  $8 \text{H}^+$ . (ЗНАД  $\text{H}_2$  и ФАД  $\text{H}_2$ ).

Энергетический эффект окисления одной молекулы Ацетил-КоА равен 12 молекулам АТФ.

Энергетический эффект при окислении одной молекулы глюкозы равен 38 молекулам АТФ.

## Тема 7. Обмен липидов

### План лекции:

1. Биологическая роль липидов. Классификация липидов.
2. Переваривание и усвоение липидов.
3. Превращение липидов.

### 7.1. Биологическая роль липидов

**Липиды (жиры)** – сложные органические соединения различного химического строения, построенные по типу сложных эфиров. Они не растворяются в воде, но растворимы в органических растворителях (спиртах, ацетоне, эфирах, бензоле).

Молекулы липидов состоят из С, Н, О, но соотношение атомов такое, что атомов кислорода в молекуле жиров меньше (например,  $C_{57}H_{110}O_6$ ), чем в молекуле углеводов, поэтому для окисления жиров необходимо больше  $O_2$ .

Суточная потребность в липидах составляет около 100 г. Для спортсменов суточная потребность может быть больше на 25–30 %.

Основные функции липидов в организме следующие:

1. *Энергетическая.* Липиды являются источником энергии в организме человека. При окислении 1 г липидов выделяется 39кДж, или 9,3 кКал энергии. Липиды обеспечивают 25–30 % суточной потребности человека в энергии.

2. *Резервная.* Жировые депо организма, содержащие резервный жир:

- подкожная жировая клетчатка;
- большой и малый сальники;
- кишечная брыжейка.

3. *Структурная.* Липиды в комплексе с белками входят в состав клеточных мембран цитоплазмы. Состав и количество структурных липидов постоянен. Они не используются в качестве источников энергии.

4. *Регуляторная, или гормональная.* Производные холестерина – стероидные гормоны и производные полиненасыщенных жирных кислот, которые являются тканевыми гормонами, регулируют обмен веществ.

5. *Защитная.* Липиды жировых прослоек защищают внутренние органы от механических повреждений, а нервные окончания и кровеносные сосуды – от сдавливания и ушибов.

6. *Терморегуляторная.* Липиды подкожной жировой клетчатки предохраняют организм от переохлаждения в условиях низких температур.

7. Липиды являются *растворителями*. Витамины А, Д, Е, К растворяются только в жирах.

### Классификация липидов

В зависимости от особенностей молекулярного строения жиры делятся на *нейтральные жиры* (истинные жиры), *простые* и *жироподобные вещества* (липоиды), *сложные жиры*.



**Нейтральные жиры** – сложные эфиры, образованные многоатомным спиртом глицерином и остатками жирных кислот (рис. 13). При гидролизе распадаются на глицерин и три жирных кислоты. Нейтральные жиры составляют основу резервных жиров и являются структурными жирами, входят в состав мембран клеток.

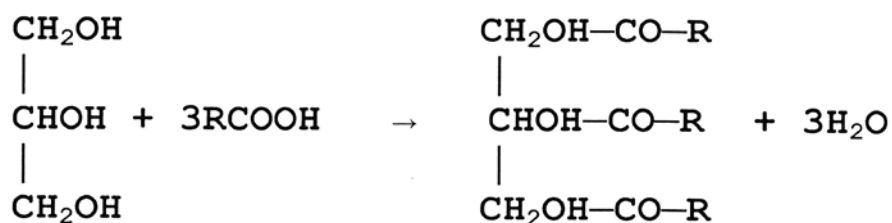


Рисунок 13 – Схема образования триглицеридов

**Фосфолипиды** – сложные эфиры спирта, чаще глицерина, двух остатков жирных кислот, фосфорной кислоты и азотсодержащего вещества. Являются структурными компонентами клеточных мембран, регулируют проницаемость мембран, влияют на рецепторные свойства мембран. Особенно много фосфолипидов содержится в органах с повышенной функциональной деятельностью (печени, сердце, нервной системе).

**Стериды** – сложные эфиры, образованные стеринами и высшими жирными кислотами. *Стерины* – высокомолекулярные полициклические спирты, например, холестерин. Он входит в состав не только стеридов, необходим для синтеза стероидных гормонов, для синтеза витамина Д, для синтеза желчных кислот. Холестерин синтезируется в организме, и необходим в сутки в количестве 100–500 мг.

**Жирные кислоты** – органические кислоты с длинной углеводородной цепью (радикалом) и карбоксильной группы. Общая формула предельных жирных кислот  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1} - \text{COOH}$ .

Выделяют жирные кислоты с четным и нечетным числом углеродных атомов.

Выделяют *предельные* и *непредельные* жирные кислоты.

**Предельные жирные кислоты** – высокомолекулярные органические кислоты, в строении молекул которых между атомами углерода присутствуют только одинарные насыщенные связи. К ним относятся, например, *пальмитиновая* ( $\text{C}_{15}\text{H}_{29}\text{COOH}$ ) и *стеариновая* ( $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$ ) кислоты. Предельные жирные кислоты синтезируются в организме человека и животных и составляют основу животных жиров.

**Непредельные жирные кислоты** – высокомолекулярные органические кислоты, в строении молекул которых между атомами углерода встречаются двойные ненасыщенные связи. К ним относятся, например, *олеиновая* ( $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ , одна двойная связь), *линолевая* ( $\text{C}_{17}\text{H}_{31}\text{COOH}$ , две двойных связи), *линоленовая* ( $\text{C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}$ , три двойных связи),

*арахидоновая* ( $C_{19}H_{31}COOH$ , четыре двойных связи) кислоты. Полиненасыщенные жирные кислоты не синтезируются в организме человека и животных, являются незаменимыми соединениями и должны поступать в организм человека с пищей. Суточная потребность в непредельных жирных кислотах составляет 15 г. Они синтезируются в растениях и составляют основу растительных жиров.

## 7.2. *Переваривание и усвоение липидов*

Переваривание липидов осуществляется в желудке и тонкой кишке под действием ферментов липаз. В желудочном соке гидролиз липидов осуществляет кислая липаза, а в тонкой кишке – щелочная липаза поджелудочной железы. Липазы могут переваривать только эмульгированные липиды. В желудке эмульгаторов нет, поэтому там могут перевариваться липиды, поступившие в организм человека в эмульгированном состоянии (например, жир молока). В тонком кишечнике эмульгаторами являются желчные кислоты. Они синтезируются из холестерина в печени и скапливаются в желчном пузыре, затем поступают в тонкий кишечник.

Роль желчных кислот заключается в следующем:

1. Активируют неактивную липазу поджелудочной железы.
2. Эмульгируют пищевые жиры.
3. Способствуют всасыванию ворсинками кишечника нерастворимых в воде жирных кислот.

Жирные кислоты с длинной углеводной цепью взаимодействуют с желчными кислотами и образуют *холеиновые комплексы*. Холеиновые комплексы хорошо растворимы в воде и всасываются ворсинками кишечника. Внутри ворсинок кишечника холеиновые комплексы распадаются на жирные кислоты и желчные. Желчные возвращаются в печень, а жирные кислоты вместе с глицерином идут на синтез жиров в ворсинках кишечника либо транспортируются к органам и тканям.

### *Транспорт жиров и жирных кислот*

Липиды не растворимы в воде, следовательно, они должны транспортироваться с веществами, которые растворимы в воде, белками. Липиды и белки образуют липопротеиновые комплексы.

Свободные жирные кислоты, попадая в плазму крови, связываются с сывороточным альбумином и так транспортируются. Свободные жирные кислоты плазмы называются *неэстерифицированными жирными кислотами*, или НЭЖК. Концентрация НЕЖК в плазме крови не высокая и возрастает при сахарном диабете.

Большинство нерастворимых жиров, триглицеридов, транспортируются в виде комплекса с белками и фосфолипидами. Эти большие комплексы называются *хиломикронами*. Около 80 % хиломикронов транспортируется лимфотической системой и только 20 % – кровью.

### 7.3. Превращение липидов

Процесс распада жиров называется *липолизом*. Жиры распадаются до глицерина и жирных кислот. Ферменты липолиза – *липазы*.

При длительных нагрузках (марафонском беге) в качестве источника энергии используются резервные жиры, которые поступают из жировых депо в кровяное русло. Этот процесс называется *мобилизацией жиров*.

#### Окисление глицерина

Глицерин окисляется в глицерофосфат, используя энергию АТФ. Глицерофосфат превращается в фосфоглицериновый альдегид (ФГА). Фосфоглицериновый альдегид является промежуточным продуктом окисления глюкозы. Таким образом дальнейшее окисление ФГА до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  протекает так же, как аэробное окисление глюкозы (рис. 10). Энергетический эффект окисления одной молекулы глицерина равен 22 молекулам АТФ.

#### Окисление жирных кислот ( $\beta$ -окисление)

Начинается процесс с активации жирной кислоты. Она связывается с коферментом А, при этом используется энергия АТФ и образуется активная жирная кислота или *ацилкофермент А*. Ацилкофермент А транспортируется в митохондрии и там подвергается  $\beta$ -окислению.

Название  $\beta$ -окисление связано с тем, что окислению и превращению подвергается углеродный атом жирной кислоты, находящийся в  $\beta$ -положении (второй от карбоксильной группы). В результате этапов  $\beta$ -окисления от жирной кислоты отщепляется ацетилкофермент А (активная уксусная кислота) (рис. 14). Этот процесс продолжается пока вся углеводородная цепочка жирной кислоты не превратится в активную уксусную кислоту, которая окисляется в цикле Кребса в аэробных условиях до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Энергетический эффект окисления высших жирных кислот равен 130–150 молекул АТФ. Например, при окислении пальмитиновой кислоты образуется 129 АТФ, стеариновой – 146 АТФ.

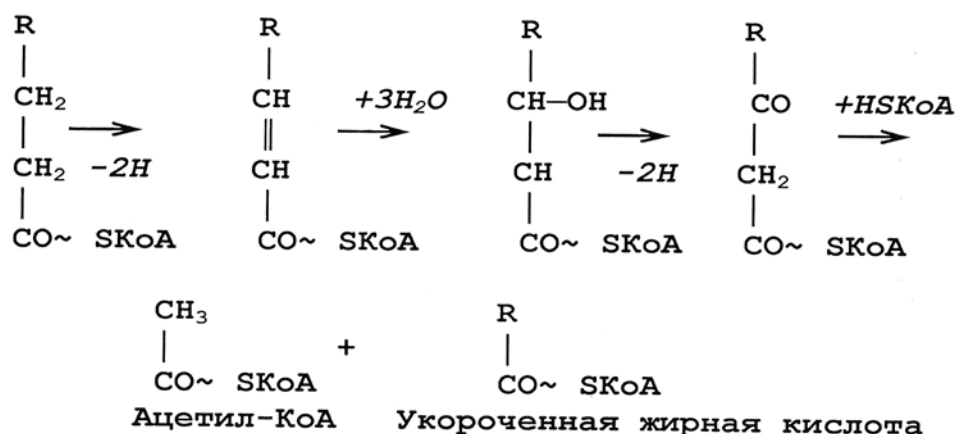


Рисунок 14 – Схема  $\beta$ -окисления

### Кетоновые тела

При избыточном образовании ацетил-КоА в печени происходит реакция конденсации ацетил-КоА. В результате конденсации остатки уксусной кислоты соединяются попарно и образуются кетоновые тела ( $\beta$ -оксимасляная кислота, ацетоуксусная кислота, ацетон), а кофермент А выделяется в свободном виде (рис. 15).

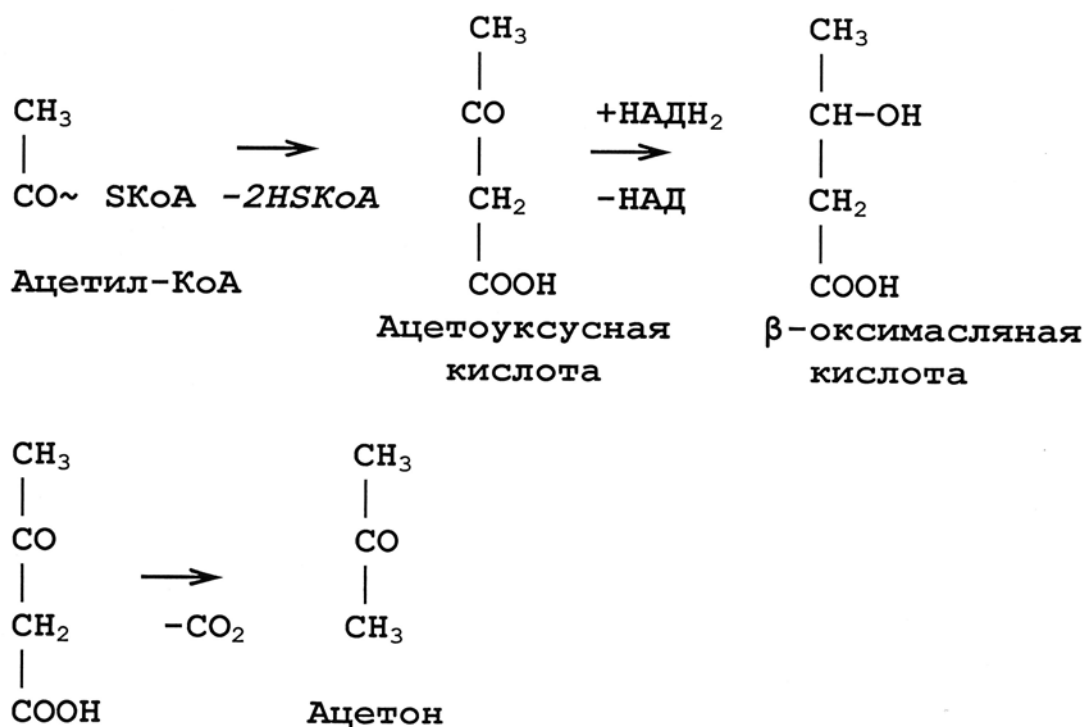


Рисунок 15 – Схема образования кетоновых тел

С током крови  $\beta$ -оксимасляная кислота, ацетоуксусная кислота поступают во все ткани и могут использоваться как источник энергии органами, имеющими высокие энергозатраты: миокардом, скелетными мышцами, почками. При высокой концентрации кетоновых тел образуется ацетон. Это вещество не используется в качестве источника энергии и выделяется легкими и почками, а также через потовые железы.

Повышение содержания кетоновых тел в крови (*кетоз*) наблюдается при длительной мышечной работе вследствие мобилизации жира из жировых депо и последующим кетогенезом в печени. Увеличение концентрации кетоновых тел ( $\beta$ -оксимасляная кислота, ацетоуксусная кислота) также вызывает повышение кислотности в крови.

## Тема 1.8. Обмен белков

### План лекции:

1. Биологическая роль, строение белков. Классификация белков и аминокислот.
2. Переваривание и усвоение белков.
3. Превращение белков и аминокислот.

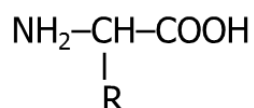
### **8.1. Биологическая роль, строение белков. Классификация белков и аминокислот**

**Белки** – высокомолекулярные азотсодержащие органические соединения, построенные из аминокислотных остатков, соединенных между собой пептидной связью.

Среднее содержание азота в белках равно 16 %. В организме человека обнаружено более 5 миллионов различных видов белков, молекулярная масса которых от 5 тысяч до миллиона и более углеродных единиц. Белки, как правило, хорошо растворимы в воде, способны образовывать буферные системы и коллоидные растворы. Суточная потребность в белках для взрослого человека составляет 1,3–1,5 г/кг массы тела, для спортсменов потребность может достигать до 2,5–2,7 г/кг.

В состав белков входят 20 аминокислот, 10 из них могут синтезироваться в организме человека – это *заменимые аминокислоты*. Оставшиеся 10 – *незаменимые аминокислоты*, они не синтезируются в организме человека и должны поступать с пищей. К ним относятся восемь абсолютно незаменимых (треонин, лейцин, изолейцин, валин, лизин, метионин, триптофан, фенилаланин) и две частично незаменимые (гистидин и аргинин). Недостаток в организме любой из этих аминокислот приводит к нарушению обмена веществ и различным заболеваниям. Так, отсутствие гистидина способствует развитию анемии, триптофана – выпадению волос и помутнению хрусталика глаза, валина – перерождению тканей головного мозга. Полный набор незаменимых аминокислот в достаточном количестве имеется в *полноценных белках* (содержатся в мясе, рыбе, молоке, твороге, яйцах).

**Аминокислоты** – органические кислоты, содержащие аминогруппу (NH<sub>2</sub>) и карбоксильную группу (COOH). Общую формулу аминокислот можно записать следующим образом:



Аминокислоты являются *амфотерными соединениями* и способны проявлять как кислые, так и основные свойства. Кислые свойства определяет карбоксильная группа, а основные свойства – аминогруппа.

Основные функции белков в организме следующие:

1. *Пластическая* – белки входят в состав клеточных мембран, коллоидных растворов цитоплазмы клеток, соединительной ткани эластина, коллагена.

2. *Регуляторная* – принадлежит ферментам, гормонам, рецепторам, которые по химической природе являются белками.

3. *Опорная* – принадлежит белкам скелета.

4. *Сократительная* – принадлежит сократительным белкам мышц, актину, миозину, тропомиозину, тропонину.

5. *Защитная* – осуществляется белками-антителами, которые связывают и обезвреживают вредные вещества, поступающие в организм или образующиеся в нем в результате жизнедеятельности болезнетворных организмов. Белки крови фибриноген и тромбин участвуют в процессе свертывания крови, защищая от потери крови при нарушении целостности стенки кровеносного сосуда.

6. *Транспортная* – проявляется в том, что белки могут связывать и переносить в составе крови или через клеточные мембраны различные вещества или ионы. Так альбумины крови осуществляют транспорт жирных кислот. Гемоглобин эритроцитов переносит кислород.

7. *Энергетическая* – при окислении 1 г белков выделяется 17,2 кДж или 4,1 ккал энергии.

### Структурная организация белков

Аминокислоты, соединяясь друг с другом *пептидной* связью, образуют полипептиды. Пептидная связь возникает при взаимодействии карбоксильной группы одной аминокислоты и аминогруппы другой аминокислоты (рис. 16).

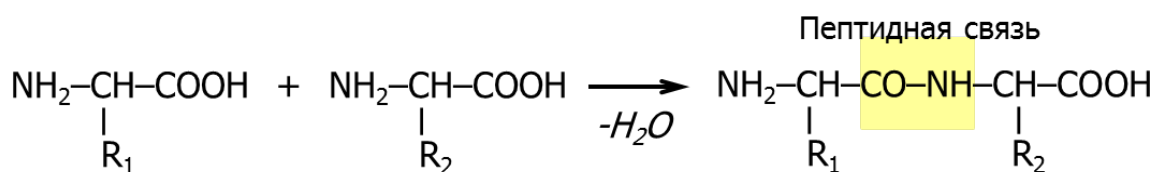


Рисунок 16 – Схема образования пептидной связи

Кроме пептидных связей в белках есть дисульфидные, водородные, ионные и другие связи. Эти химические связи образуются между аминокислотными остатками, находящимися на разных участках полипептидной цепочки, но пространственно сближенными. Благодаря этим связям белковая молекула имеет объемное трехмерное строение, определенную пространственную форму.

Для удобства рассмотрения пространственного строения молекулы белка условно выделяют четыре уровня ее структурной организации.

*Первичная структура* – последовательность аминокислот в полипептидной цепи, а также их качественный и количественный состав.

*Вторичная структура* – спиралевидная или складчатая форма полипептидной цепи, в которой на каждый виток спирали приходится обычно 3–6 аминокислотных остатков. Прочность спирали обеспечивают дополнительные водородные связи между атомами водорода и кислорода в соседних витках спирали. Образуется на основе первичной структуры белка.

*Третичная структура* – пространственное расположение спирали полипептидной цепи. Образуется за счет водородных и дисульфидных связей на основе вторичной структуры. Имеет форму глобулы (шара) или фибриллы (нити).

*Четвертичная структура* – сложное надмолекулярное образование, состоящее из нескольких белков, имеющих свою собственную первичную, вторичную и третичную структуры. Каждый белок, входящий в состав четвертичной структуры, называется *субъединицей*. Например, белок эритроцитов крови гемоглобин состоит из четырех субъединиц двух типов ( $\alpha_2\beta_2$ ). Образование четвертичной структуры приводит к возникновению новых биологических свойств у образовавшегося белка, которых не было у свободных субъединиц. Так, ряд ферментов обладает каталитической активностью, которой нет у отдельных субъединиц этих ферментов.

#### *Классификация белков и аминокислот*

Белки делятся на *простые (протеины)* и *сложные (протеиды)*. Простые белки состоят только из аминокислот. К простым белкам относятся альбумины, глобулины, гистоны, белки опорных тканей. В молекуле сложного белка имеется небелковая часть, называемая *простетической группой*. В зависимости от строения простетической группы выделяют такие сложные белки, как фосфопротеиды (содержат в качестве простетической группы фосфорную кислоту), нуклеопротеиды (содержат нуклеиновую кислоту), гликопротеиды (содержат углевод), липопротеиды (содержат липоид), хромопротеиды (содержат окрашенную простетическую группу, к ним относятся гемоглобин и миоглобин).

Исходя из пространственной конфигурации, белки делят на *глобулярные* и *фибрилярные*. Молекулы глобулярных белков имеют шарообразную или эллипсоидную форму. Примером таких белков являются альбумины и глобулины плазмы крови. Фибриллярные белки представляют собой вытянутые нитевидные молекулы. К таким белкам относится *коллаген*.

Существует несколько классификаций аминокислот. В зависимости от строения радикала делятся на *циклические* (тиразин, фенилаланин, триптофан) и *ациклические*. В зависимости от количества функциональных групп ( $-\text{NH}_2$  и  $-\text{COOH}$ ) ациклические аминокислоты делятся на *моноаминомонокарбоновые*, *моноаминодикарбоновые* (аспарагиновая, глутаминовая кислоты), *диаминомонокарбоновые* (лизин, аргинин). По полярности выделяют *полярные*, *неполярные*, *положительно заряженные* и *отрицательно заряженные* аминокислоты.

## 8.2. Переваривание и усвоение белков

Переваривание белков начинается в желудке под действием протеолитических ферментов (*пептидгидролаз*), которые подвергают гидролизу пептидные связи. Эти ферменты образуются клетками слизистой оболочки желудка, тонкого кишечника и поджелудочной железы в неактивной форме. Такая форма фермента необходима для предотвращения самопереваривания белков в тех клетках, где они образуются.

В желудке гидролиз белков происходит под действием фермента желудочного сока *пепсина*. Пепсин разрывает пептидные связи, образуя высокомолекулярные пептиды. Неактивная форма пепсина – *пепсиноген*, синтезируется клетками слизистой оболочки желудка, выделяется в желудочный сок, где пепсиноген активируется соляной кислотой или самим пепсином.

### *Роль соляной кислоты*

Соляная кислота в желудке является не только активатором пепсиногена. Она создает кислую среду в желудке, которая обладает противобактериальным действием и вызывает денатурацию пищевых белков. В результате денатурации белки теряют свою естественную (нативную) структуру, раскручиваются, набухают, тем самым облегчают действие пептидгидролаз на них.

В двенадцатиперстной кишке гидролиз белков происходит под действием ферментов *трипсина* и *химотрипсина*. Они расщепляют белки и полипептиды до более простых соединений олигопептидов и небольшого количества аминокислот. Неактивная форма трипсина (*трипсиноген*) и химотрипсина (*химотрипсиноген*) синтезируются клетками поджелудочной железы и выделяется в кишечный сок. Трипсиноген активируется энтерокиназой или самим трипсином. Химотрипсиноген активируется трипсином или самим химотрипсином.

Способность активной формы фермента активировать свою неактивную форму называется *аутокатализом*.

Окончательное расщепление олигопептидов до аминокислот происходит в тонком кишечнике под действием ферментов аминопептидаз, карбоксипептидаз, дипептидаз.

Белки, не расщепившиеся в тонком кишечнике, подвергаются расщеплению в толстом кишечнике под действием пептидаз, которые синтезируются находящейся здесь микрофлорой. Ферменты микрофлоры толстого кишечника способны расщеплять многие аминокислоты пищи с образованием различных токсичных веществ: фенола, крезола, индола, сероводорода, меркаптанов. Такое превращение аминокислот в толстом кишечнике называется *гниением белков*. Токсические вещества всасываются в кровь и доставляются в печень, где подвергаются обезвреживанию. Весь процесс переваривания белков в желудочно-кишечном тракте занимает в среднем 8–12 ч после принятия пищи.



Аминокислоты хорошо растворимы в воде, они всасываются ворсинками слизистой оболочки кишечника и с током крови разносятся к органам и тканям.

### 8.3. Превращение белков и аминокислот

Внутриклеточное превращение аминокислот начинается с общих для большинства аминокислот реакций. К ним относятся реакции *переаминирования, дезаминирования и декарбоксилирования*.

**Переаминирование** – реакция, происходящая между аминокислотами и  $\alpha$ -кетокислотами. В ходе этой реакции ее участники обмениваются функциональными группами, в результате чего аминокислота превращается в  $\alpha$ -кетокислоту, а кетокислота становится аминокислотой (рис. 17). Реакция катализируется аминотрансферазой, коферментом которой является пиридоксальфосфат ПФ (содержит витамин В<sub>6</sub>). В результате переаминирования в клетках образуются заменимые аминокислоты.

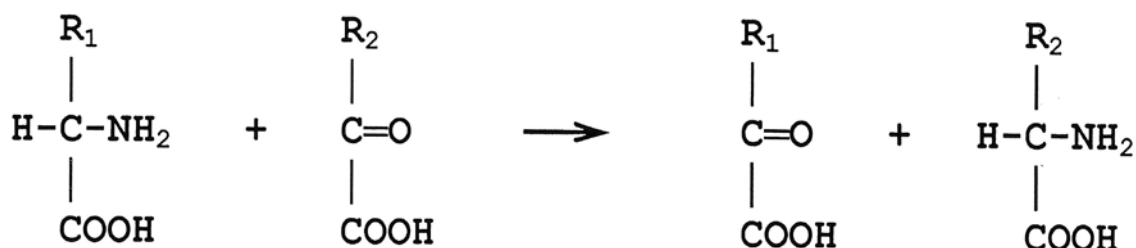


Рисунок 17 – Схема переаминирования

**Дезаминирование** – это реакция отнятия от аминокислоты аминогруппы в виде аммиака (рис. 18). В организме человека этот процесс идет окислительным путем с образованием кетокислот.

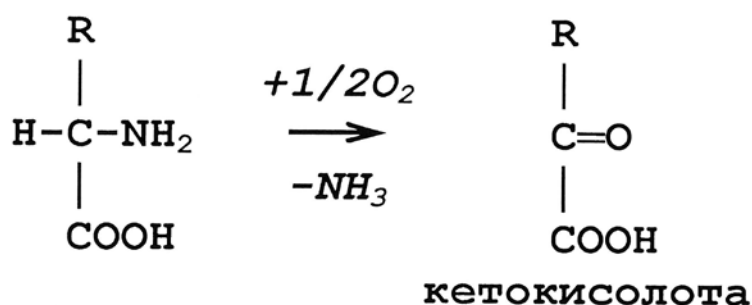


Рисунок 18 – Схема дезаминирования

**Декарбоксилирование** – это реакция отнятия от аминокислоты карбоксильной группы с образованием амина и выделением CO<sub>2</sub> (рис. 19). В реакции участвует фермент декарбоксилаза, содержащий витамин В<sub>6</sub>. Амины отличаются высокой биологической активностью и оказывают влияние на

состояние кровеносных сосудов, центральной нервной системы и других органов.

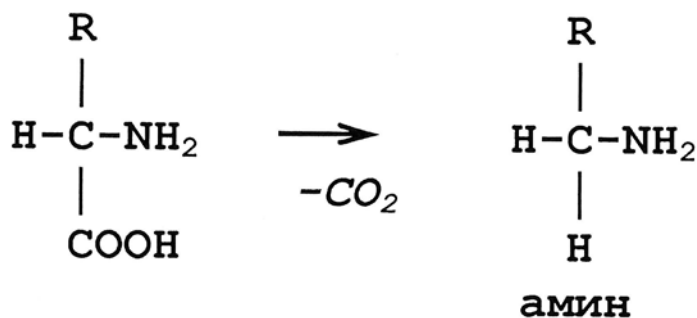


Рисунок 19 – Схема декарбоксилирования

### *Синтез мочевины*

Свободный аммиак, образующийся в результате дезаминирования в тканях, является токсичным веществом, оказывающим угнетающее действие на окисление в митохондриях и другие процессы, и поэтому должен обезвреживаться в организме. Аммиак связывается с двумя аминокислотами (глутаминовой и аспарагиновой) и кровью переносится в печень. В печени аммиак вступает в сложный ферментативный цикл мочевины (орнитинный цикл) с участием АТФ и  $\text{CO}_2$ . В итоге образуется нетоксичная мочевина ( $\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$ ), хорошо растворимая в воде, которая легко выводится из организма. Мочевина из печени выходит в кровь, транспортируется в почки и выводится из организма в составе мочи.

Концентрация мочевины в крови в норме составляет 2,5–8,2 ммоль/л. Изменение уровня мочевины в крови после физических нагрузок характеризует их переносимость, а в период отдыха после работы является показателем восстановления организма.

### *Синтез белков*

Синтез белков происходит из аминокислот с затратой энергии АТФ.

Выделяют два основных этапа в синтезе белков: 1) *транскрипция*; 2) *трансляция*.

**Транскрипция** – это процесс синтеза молекулы информационной РНК (иРНК) на участке молекулы ДНК или гене.

**Ген** – участок ДНК, хранящий информацию о первичной структуре белка. Синтез иРНК происходит по принципу комплементарности, т. е. строгого соответствия азотистых оснований нуклеотидов друг другу. Аденин (А) соответствует урацилу (U), гуанин (G) – цитозину (C). Синтез иРНК протекает в ядре клетки. В ядре происходит синтез и рибосомальной РНК и транспортной РНК (рис.20).

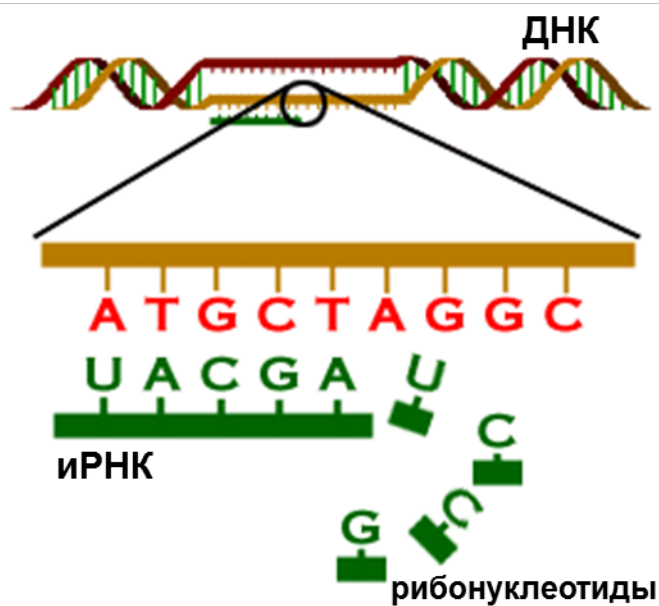


Рисунок 20 – Схема синтеза иРНК с ДНК по принципу комплементарности

иРНК является матрицей для синтеза белка и несет информацию об аминокислотной последовательности в белке. Одна аминокислота зашифрована в трех последовательно расположенных нуклеотидах, называемых *кодонами* или *триплетами*.

Транспортная РНК (тРНК) участвует в активации аминокислот. Активация аминокислот происходит в цитоплазме, где аминокислоты взаимодействуют с тРНК, которые переносят аминокислоту к рибосомам. Молекула тРНК имеет два специфических триплета, один кодон для связывания с определенной аминокислотой, другой – антикодон для связывания по принципу комплементарности с кодоном (триплетом) иРНК.

Рибосомальная РНК (рРНК) входит в состав рибосом вместе с белками, на которых происходит синтез первичной структуры белка из аминокислот. И осуществляется второй этап в синтезе белков (трансляция).

**Трансляция** – это процесс синтеза полипептидной цепи белка на рибосомах. Рибосома состоит из двух субъединиц и имеет два участка связывания с иРНК: А(аминоацильный) и Р(пептидилный). иРНК проходит между двумя субъединицами рибосомы. В участке А происходит присоединение к иРНК тРНК с аминокислотой. Присоединение происходит по принципу комплементарности, где кодон иРНК связывается с антикодоном тРНК. Р-участок содержит образующуюся полипептидную цепочку (рис. 21).

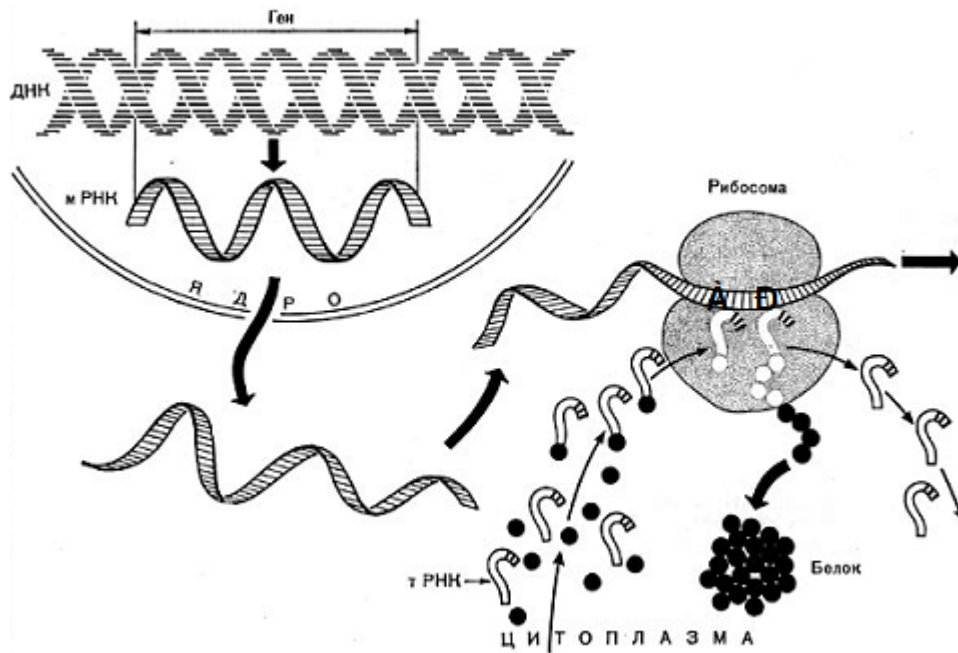


Рисунок 21 – Схема синтеза белка

Процесс трансляции начинается с диссоциации рибосомы на субъединицы, которые сразу же присоединяются к начальной части молекулы иРНК. Затем к иРНК присоединяются тРНК в двух участках (А и Р). Аминокислоты связываются между собой, образуя дипептид, который связан с тРНК в А-участке, тРНК, связанная с иРНК в Р-участке, отщепляется от рибосомы. А рибосома передвигается на один триплет и дипептид оказывается в Р-участке, а к А-участку присоединяется новая тРНК, связанная с новой аминокислотой. Новая аминокислота присоединяется к образовавшемуся ранее дипептиду, освобождая тРНК в Р-участке. Процесс повторяется до тех пор, пока А-участок рибосомы не перейдет на терминирующий триплет иРНК. Терминирующий триплет не кодирует ни одну из аминокислот. При этом запускаются механизмы освобождения полипептидной цепи от тРНК.

Синтез белка идет с затратой большого количества энергии АТФ, поэтому процессы синтеза белка напрямую связаны со скоростью ресинтеза АТФ.

Вторичная, третичная, четвертичная структуры формируются самопроизвольно в цитоплазме и определяются характером первичной структуры белка и условиями окружения.