**Задание:**

1. **Прочитать материалы**
2. **Приготовить конспект**
3. **Фото конспекта в формате PDF отправить на почту А.П. Лескову до 04.12.20**

**Лекция «Обмен веществ и энергии»**

Обмен веществ и энергии, или метаболизм — это совокупность всех химических реакций, происходящих в организме.

Обмен веществ и энергией представляет собой основу жизнедеятельности и принадлежит к критериям живого.

Нет ни одного процесса в живом организме, который бы шел без участия метаболизма, так как в основе любого физиологического процесса лежат физические и химические преобразования.

В процессе метаболизма, поступившие в организм вещества, путём химических изменений превращаются в собственные вещества тканей или в конечные продукты которые выводятся из организма. При этих химических превращениях освобождается и поглощается энергия.

Все химические реакции, проходящие в организме, являются ферментативными.

В организме осуществляется нервно-гуморальная регуляция метаболизма.

В организме динамически уравновешены пластический и энергетический обмен, входящие в состав метаболизма:

пластический обмен = анаболизм = ассимиляция — биосинтез органических веществ, компонентов клеток и тканей;

энергетический обмен = катаболизм = диссимиляция — расщепление сложных молекул и компонентов клеток.

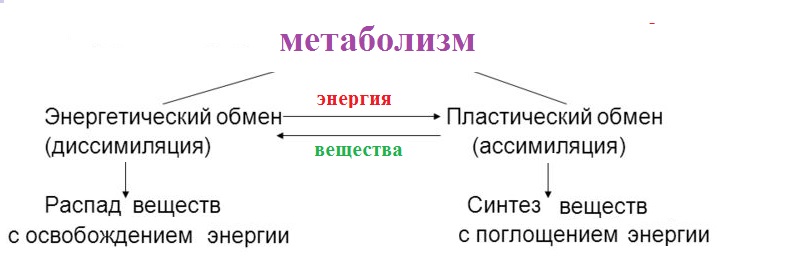


Рис. Метаболизм

Катаболизм и анаболизм тесно связаны: анаболизм использует энергию и восстановители, образующиеся в реакциях катаболизма, а катаболизм осуществляется под действием ферментов, образующихся в результате реакций анаболизма.

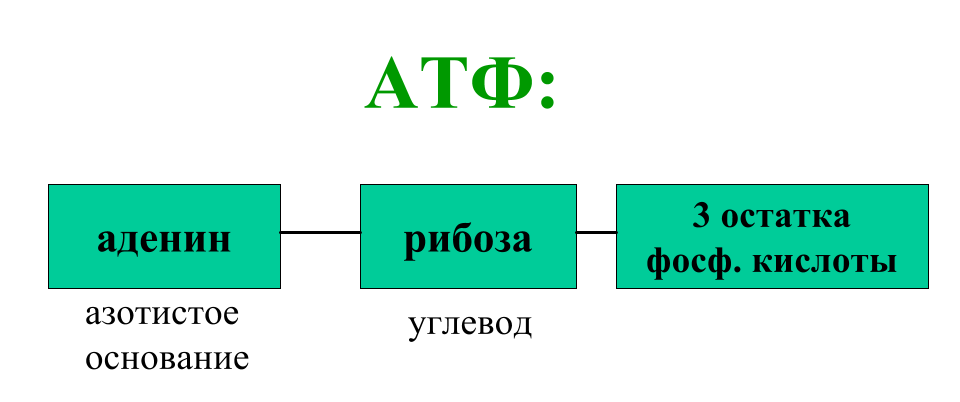


Как правило, катаболизм сопровождается окислением используемых веществ, а анаболизм — восстановлением.

|  |  |
| --- | --- |
| пластический обмен (анаболизм) | энергетический обмен (катаболизм) |
| синтез и накопление (ассимиляция) сложных веществ | распад сложных веществ на простые (диссимиляция) |
| идет с затратой энергии (расходуется АТФ) | выделяется энергия (синтезируется АТФ) |
| может быть источником органических веществ для энергетического обмена | является источником энергии для пластического обмена |
| Пример:  биосинтез белков, жиров, углеводов;  фотосинтез (синтез углеводов растениями и сине-зелеными водорослями);  хемосинтез | Пример:  анаэробное дыхание ( = гликолиз = брожение);  аэробное дыхание (окислительное фосфорилирование) |

**АТФ — аденозинтрифосфат**

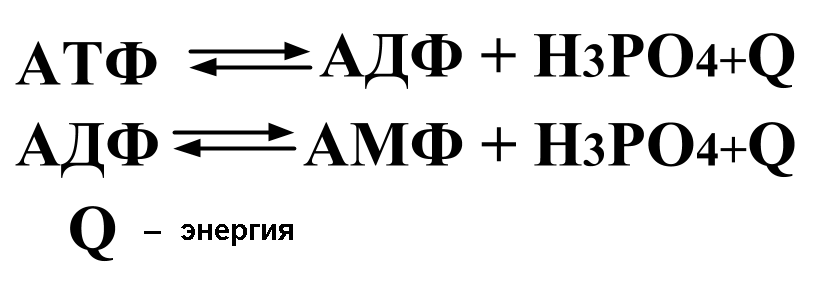
В процессе катаболизма выделяется энергия в виде тепла и в виде АТФ.



АТФ — единый и универсальный источник энергообеспечения клетки.

АТФ нестабильна.

АТФ является "энергетической валютой", которую можно потратить на синтезы сложных веществ в реакциях анаболизма.



Гидролиз (распад) АТФ:

АТФ +Н2О = АДФ + Н3РО4 + 40 кДж/моль

**Механизмы синтеза АТФ**

Быстрый расход АТФ требует постоянного ресинтеза этого макроэрга в клетках, обеспечивающего возможность её интенсивной утилизации в организме. Различают 2 механизма ресинтеза АТФ:

а) окислительное фосфорилирование – образование АТФ за счет освобождения и аккумуляции энергии, выделяемой в процессе окисления питательных веществ. Этот механизм протекает в митохондриях и является основным путем образования АТФ.

б) субстратное фосфорилирование – образование АТФ за счет энергии, заключенной в высокоэнергетических соединениях. (макроэргических субстратах). Этот механизм имеет второстепенное значение, не сопряжен с окислительным распадом веществ, протекает в основном в цитоплазме. К субстратам, богатым энергией, относятся фосфоглицериновая кислота, фосфоэнолпируват (ФЭП), сукцинил-СоА, креатинфосфат, и ряд других.

**Биологическое окисление**

Биологическое окисление в организме может протекать двумя путями:

а) путем дегидрирования – отщепления протонов и электронов от окисляемого субстрата. В зависимости от условий (аэробных или анаэробных) акцептором протонов и электронов может быть либо кислород, либо пируват, который восстанавливается в лактат. Аэробный путь окисления протекает в митохондриях и связан с процессами образования АТФ. Распад органических соединений в живых тканях, сопровождающийся поглощением кислорода и выделением воды и углекислого газа называется тканевым дыханием

б) путем непосредственного присоединения кислорода к молекуле окисляемого субстрата. Этот путь протекает в микросомальной фракции, не связан с образованием АТФ и участвует в пластических и детоксикационных процессах, протекающих в организме.

Биологическое окисление – это совокупность окислительно-восстановительных превращений различных веществ в живых организмах. Окислительно-восстановительными называют реакции, протекающие с изменением степени окисления атомов вследствие перераспределения электронов между ними. Типы процессов биологического окисления : 1) аэробное (митохондриальное) окисление предназначено для извлечения энергии питательных веществ с участием кислорода и накоплении её в виде АТФ. Аэробное окисление называется также тканевым дыханием , поскольку при его протекании ткани активно потребляют кислород. 2) анаэробное окисление – это вспомогательный способ извлечения энергии веществ без участия кислорода. Анаэробное окисление имеет большое значение при недостатке кислорода, а также при выполнении интенсивной мышечной работы.

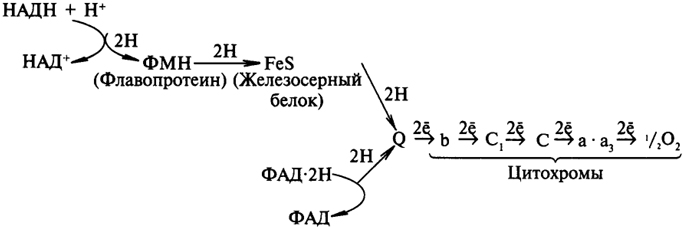
Источниками энергии для человека являются разнообразные органические соединения: углеводы, жиры, белки. В результате окисления питательные вещества распадаются до конечных продуктов, в основном - до СО2 и Н2О (при распаде белков также образуется NH3). Выделяемая при этом энергия накапливается в виде энергии химических связей макроэргических соединений, преимущественно – АТФ. Макроэргическими называются органические соединения живых клеток, содержащие богатые энергией связи. При гидролизе макроэргических связей (обозначаются извилистой линией ~) высвобождается более 4 ккал/моль (20 кДж/моль). Макроэргические связи образуются в результате перераспределения энергии химических связей в процессе обмена веществ. Большинство макроэргических соединений являются ангидридами фосфорной кислоты, например, АТФ, ГТФ, УТФ и т.д. Аденозинтрифосфат (АТФ) занимает центральное место среди веществ с макроэргическими связями. аденин – рибоза – Р ~ Р ~ Р, где Р – остаток фосфорной кислоты АТФ находится в каждой клетке в цитоплазме, митохондриях и ядрах. Реакции биологического окисления сопровождаются переносом фосфатной группы на АДФ с образованием АТФ (этот процесс называется фосфорилированием ). Таким образом, энергия запасается в форме молекул АТФ и при необходимости используется для выполнения различных видов работы (механической, электрической, осмотической) и для осуществления процессов синтеза. Система унификации субстратов окисления в организме человека Непосредственное использование химической энергии, содержащейся в молекулах пищевых веществ невозможно, потому что при разрыве внутримолекулярных связей выделяется огромное количество энергии, которое может привести к повреждению клетки. Чтобы пищевые вещества, поступившие в организм, должны пройти ряд специфических превращений, в ходе которых происходит многостадийный распад сложных органических молекул на более простые. Это даёт возможность постепенного высвобождения энергии и запасания её в виде АТФ. Процесс превращения разнообразных сложных веществ в один энергетический субстрат называется унификацией. Выделяют три этапа унификации:

**1. Подготовительный этап** протекает в пищеварительном тракте, а также в цитоплазме клеток организма. Крупные молекулы распадаются на составляющие их структурные блоки: полисахариды (крахмал, гликоген) – до моносахаридов; белки – до аминокислот; жиры – до глицерина и жирных кислот. При этом выделяется небольшое количество энергии (около 1%), которая рассеивается в виде тепла.

**2. Тканевые превращения** начинаются в цитоплазме клеток, заканчиваются в митохондриях. Образуются ещё более простые молекулы, причём число их типов существенно уменьшается. Образующиеся продукты являются общими для путей обмена разных веществ: пируват, ацетил-коэнзимА (ацетил-КоА), α-кетоглутарат, оксалоацетат и др. Важнейшим из таких соединений является ацетил-КоА – остаток уксусной кислота, к которому макроэргической связью через серу S присоединён коэнзим А - активная форма витамина В 3 (пантотеновой кислоты). Процессы распада белков, жиров и углеводов сходятся на этапе образования ацетил-КоА, образуя в дальнейшем единый метаболический цикл. Для этого этапа характерно частичное (до 20%) освобождение энергии, часть которой аккумулируется в виде АТФ, а часть рассеивается в виде тепла.

**3. Митохондриальный этап.** Продукты, образовавшиеся на второй стадии, поступают в циклическую окислительную систему - цикл трикарбоновых кислот (цикл Кребса) и связанную с ним дыхательной цепи митохондрий. В цикле Кребса ацетил-КоА окисляется до СО2 и водорода, связанного с переносчиками – НАД + Н2 и ФАД·Н2 . Водород поступает в дыхательную цепь митохондрий, где происходит его окисление кислородом до Н2О. Этот процесс сопровождается высвобождением примерно 80% энергии химических связей веществ, часть которой используется на образование АТФ, а часть - выделяется в виде тепла.

**Структура и функции дыхательной цепи**. Дыхательная (электронтранспортная) цепь находится в митохондриях, которые представляют собой органеллы овальной формы, входящие в состав почти всех клеток организма. Каждая митохондрия окружена двумя мембранами: наружной и внутренней. Наружная мембрана гладкая, внутренняя образует многочисленные гребневидные складки – кристы. Кристы существенно увеличивают поверхность внутренней мембраны, обеспечивая место для размещения ферментных систем дыхательной цепи. Пространство между наружной и внутренней мембранами – межмембранное пространство. Пространство между кристами заполнено водной средой, называемой матриксом. В матриксе находятся ферменты цикла трикарбоновых кислот и другие окислительные ферменты. Перенос электронов и протонов водорода к кислороду осуществляется на внутренней мембране митохондрий при помощи нескольких типов окислительно-восстановительных ферментных систем, совокупность которых образует так называемую дыхательную цепь. Компоненты дыхательной цепи встроены во внутреннюю мембрану митохондрий и действуют как единый дыхательный ансамбль. Дыхательная цепь – это своеобразный конвейер по переносу электронов от окисляющегося субстрата к кислороду. Она составлена из нескольких типов переносчиков ē и Н+ , и её можно представить в виде следующей обобщённой схемы:



Восстановленный НАДН2 взаимодействует с дегидрогеназой, содержащей ФМН в качестве кофермента. ФМН акцептирует (забирает) водород, отщепляемый от НАДН2. Следующий компонент дыхательной цепи коэнзимQ (убихинон) принимает 2Н от ФМН. Убихинон представляет собой узловой пункт, куда стекается водород, поступающий в дыхательную цепь от самых различных субстратов. Если 3 первых компонента дыхательной цепи – НАД, ФМН и убихинон – переносили водород, то есть: и протоны, и электроны, то, начиная с цитохрома b и до кислорода потоки протонов и электронов разделяются, так как дальнейший участок дыхательной цепи содержит только переносчики электронов. От коэнзима Q два электрона переходят на две молекулы цитохрома b, затем последовательно на цитохромы c1, c, a, a3. Кислород, присоединив два электрона от двух молекул цитохрома a3 , взаимодействует с двумя протонами и превращается в воду. Направление переноса электронов в дыхательной цепи определяют окислительно-восстановительные потенциалы переносчиков. Окислительно-восстановительный потенциал (Е) характеризует способность молекулы принимать электроны. Чем выше Е компонента цепи, тем выше его сила как окислителя. Переносчики в дыхательной цепи расположены в порядке увеличения Е, так как возможна отдача электронов только соединению с более высоким окислительно-восстановительным потенциалом. У кислорода наивысшая способность принимать электроны (Е = +0,82В), у водорода – наименьшая (Е = -0,42В). Таким образом, кислород, являясь наиболее сильным окислителем, создаёт движущую силу для переноса электронов по дыхательной цепи. Механизм сопряжения окисления и фосфорилирования Перепад потенциалов от Н2 до О2 составляет 1,24 В, что теоретически достаточно для синтеза 6 молекул АТФ, однако реально синтезируется не более трёх. АТФ образуется путём присоединения к АДФ остатка фосфорной кислоты. Этот процесс называется фосфорилированием . Таким образом, два процесса: процесс биологического окисления (передача протонов и электронов по дыхательной цепи) и процесс фосфорилирования (образование АТФ) являются сопряжёнными, так как энергия, образующаяся при окислении, используется для фосфорилирования. Поэтому образование АТФ за счёт энергии, выделяющейся при прохождении электронов по дыхательной цепи, называется **окислительным фосфорилированием**. Расчёты показывают, что для образования одной макроэргической связи АТФ, затраты на которую составляют не менее 40 кДж/моль, требуется перепад окислительно-восстановительных потенциалов между участниками дыхательной цепи примерно в 0,22 В на пару перенесённых электронов. В дыхательной цепи имеются только три участка с разницей о/в потенциалов, достаточной для синтеза АТФ (три участка сопряжения окисления и фосфорилирования ): I – между НАД∙Н2 и ФМН; II – между цитохромами b и c; III – между цитохромами a и a3 . На данных этапах выделение энергии достаточно для синтеза АТФ. На остальных этапах перепад о/в потенциалов недостаточен для синтеза АТФ и выделяющаяся энергия (около 40-50%) рассеивается в виде тепла. Таким образом, при прохождении двух электронов по дыхательной цепи, которая начинается НАД-зависимыми дегидрогеназами образуется три молекулы АТФ. Некоторые субстраты окисления (сукцинат, жирные кислоты) имеют более высокий окислительно-восстановительный потенциал, чем НАД. Поэтому они окисляются не НАД-, а ФАД-зависимыми дегидрогеназами. При окислении таких веществ образуется только две молекулы АТФ, так как пропускается один пункт сопряжения окисления и фосфорилирования.