

# *Закон биологического окисления.*

*Реакции биологического окисления обеспечивают постепенное дискретное извлечение энергии из органических веществ.*

Процесс извлечения энергии из органических молекул можно условно разбить на три этапа. На *подготовительном* этапе макромолекулы пищи (белки, полисахариды, нуклеиновые кислоты, липиды) с помощью ферментов пищеварительного тракта расщепляются до *мономеров* (аминокислот, глюкозы, нуклеотидов, жирных кислот). В клетках этот процесс происходит с участием внутриклеточных гидролаз. На втором, *анаэробном* этапе, в клетках, происходит частичный распад мономеров до нескольких ключевых промежуточных низкомолекулярных продуктов. Это, главным образом, *ацетил-КоА* и несколько карбоновых кислот. На третьем, *аэробном* этапе, в митохондриях происходит окончательное окисление и распад ацетильных остатков органических веществ до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . В метаболическом цикле Кребса, от вышеотмеченных органических веществ специальными ферментами *отнимается водород* (вещества окисляются) и окончательно разрушается углеводный скелет до  $\text{CO}_2$ . Затем, водород (универсальное энергетическое топливо) *соединяется с кислородом* (окисляется) в конце дыхательной цепи митохондрий с образованием конечного продукта окисления - воды.

**Процессы окисления могут быть связаны: а) с *дегидрированием* - отщеплением водорода от окисляемого субстрата; б) с потерей электрона; в) с присоединением кислорода. Процессы окисления всегда сопряжены с реакциями восстановления. При этом одно вещество окисляется (например, отдает электрон или молекулу водорода), а другое восстанавливается (принимает этот электрон или молекулу водорода).**

Наиболее распространенный тип биологического окисления – ферментативное дегидрирование – отнятие водорода. Если акцептором водорода при этом служит кислород, то такие реакции окисления называют *аэробным окислением* или *тканевым дыханием*. Если же акцептором является другой субстрат, то такие реакции называют *анаэробным окислением*. Анаэробное окисление ацетильных остатков в цикле Кребса – это, фактически, *процессы генерации протонов и электронов*, где их акцепторами являются коферменты НАД- и ФАД-зависимых дегидрогеназ. Далее, электроны с высоким энергетическим потенциалом передаются от восстановленных коферментов НАДН и ФАДН<sub>2</sub> к кислороду через *цепь переносчиков* внутренней мембраны митохондрий. Восстановление кислорода происходит в результате присоединения 4 электронов, поступивших к нему по дыхательной цепи. При каждом присоединении к кислороду 2 электронов из матрикса митохондрий поглощается 2 протона, в результате чего образуется одна молекула воды. Процесс окисления органических веществ в клетках, сопровождающийся потреблением кислорода и образованием воды называется *тканевым дыханием*, а система переноса электронов внутренней мембраны митохондрий называется *дыхательной цепью*.

Освобождение энергии из углеводов в цепях окисления осуществляется частями и постепенно - водород за водородом, электрон за электроном. Такими же небольшими порциями энергия запасается в удобной для клетки форме, в виде определенного количества АТФ в нескольких «участках» различных катаболических процессов.

Энергия движения электронов по дыхательной цепи (электрический ток) от одного переносчика к другому используется на активный транспорт протонов из матрикса в межмембранное пространство, где создается очень высокая концентрация этих ионов. За счет этого на внутренней мембране митохондрий создается высокий электрохимический градиент (электрический конденсатор). Энергия этого градиента используется для синтеза АТФ специальным ферментативным комплексом – *АТФ-синтетазой* в процессе движения через ее «потока» протонов. Кроме этого, высокоэнергетические электроны, образующиеся при окислении органических веществ, могут быть использованы также в реакциях биосинтеза, для которых помимо АТФ требуются *восстановительные эквиваленты*, например НАДФН.

Таким образом, *феномен биологического окисления* является определяющим в процессах генерации энергии в биологических системах, что является основой синтетической активности, поддержания целостности и разнообразных функций организмов.

# *Закон биологического синтеза.*

*Клетки постоянно в массовом количестве синтезируют необходимые ей молекулы.*

Клетки всех живых организмов обладают способностью к синтезу различных органических молекул. То есть, *из одних веществ создавать другие*, часто совершенно другой природы и совершенно с другими свойствами. Это удивительное свойство присуще только живым системам или может проходить в искусственно созданных человеком условиях. В микроскопическом объеме клетки содержатся десятки метаболических путей (конвейеров) по производству аминокислот, триглицеридов, фосфолипидов, нуклеотидов, полисахаридов, белков, нуклеиновых кислот и многих других сложных молекул. Из триллионов возможных вариантов органических молекул синтезируется *строго избирательно* только несколько тысяч. Причем метаболические пути организованы таким образом, что практически *не образуется побочных или лишних продуктов*. Большинство промежуточных веществ тут же используется на следующих этапах данного метаболического конвейера, или являются субстратами для других метаболических путей. «Тупиковые» органические молекулы, в конечном счете, так же используются - окисляются до углекислого газа и воды. При этом из них извлекается энергия химических связей и трансформируется в энергию фосфатных связей АТФ. Образование универсального энергетического посредника – АТФ, это тоже синтетический процесс, в котором сложный ферментативный комплекс «АТФ-синтетаза» из АДФ и неорганического фосфата образует АТФ ( ). В этом процессе используется энергия протонного градиента на внутренней мембране митохондрий, образованного за счет окисления ( ).

Удивительная *специфичность синтезов* обеспечивается наличием определенных *ферментов* ( ), которые избирательно катализируют только строго определенные биохимические реакции. Таким образом, «поток веществ» направляется строго по «определенной дороге, упорядоченно вымощенной глобулами «белков-ферментов». Продукты первой ферментативной реакции являются субстратами второй, продукты второй – субстратами третьей и т.д. При этом практически не образуется ненужных продуктов, так как вероятность их образования без катализа и затраты энергии ничтожно мала.

Синтетические процессы контролируются ДНК через избирательную экспрессию только необходимых ферментов, для того или иного процесса.

Все *процессы биосинтезов энергозависимы* и сопряжены с гидролизом АТФ. При этом образуются фосфорилированные *промежуточные продукты*, обладающие повышенной реакционной способностью. В процессах синтеза непосредственно участвует также ряд других химически активных молекул. Это обычно коферменты различных ферментов синтеза. Они могут переносить в ходе химических реакций различные функциональные группы. Например, НАДФН переносит водород в виде протона и двух электронов, Ацетил-КоА переносит ацетильные группы и т. д.

# *Закон матричных процессов.*

Для быстрого и точного синтеза большого количества копий белков и нуклеиновых кислот клетка использует матричные процессы.

Жизнедеятельность клеток основана на постоянном синтезе специфических для себя структурных и функциональных молекул. Например удвоение количества молекул ДНК, синтез тысяч разнообразных белков, тысяч молекул РНК, простых углеводов, полисахаридов, жирных кислот, фосфолипидов, стероидов, аминокислот и множество других органических веществ. Белки являются главными структурными, функциональными и регуляторными молекулами. В процессах жизнедеятельности они довольно быстро изнашиваются и утилизируются клетками. Поэтому, белки должны быстро и в массовом количестве ресинтезироваться клетками. Для этой цели природой был «создан» механизм матричного синтеза белковых молекул. Он состоит из двух этапов: синтеза РНК на матрицах ДНК (транскрипция) и синтеза белков на матрицах мРНК (трансляция).

Несколько другой матричный процесс используется клеткой при подготовке к делению. В этом случае, за короткий промежуток времени клетке необходимо быстро удвоить огромный объем генетической информации для последующего ее распределения дочерним клеткам. Для этого молекулы ДНК раскручиваются, раскрываются и на обеих матричных цепях происходит ферментативный синтез точно таких же цепей (*репликация*). Еще один матричный процесс лежит в основе устранения мутаций ДНК. С этой целью, сначала «вырезается» поврежденный участок на одной из цепей, а затем по матрице второй цепочки восстанавливается нормальный участок (*репарация*).

Матричный процесс синтеза белков является *основным механизмом реализации генетических программ*. Жизнь многоклеточного индивидуума начинается с зиготы, имеющей сложный белковый состав. В процессе дробления увеличивается количество клеток, которые вскоре начинают дифференцировку. Процесс дифференцировки основан на дифференциальной экспрессии генов и синтезе клеткой специальных белков, определяющих структуру, форму, размеры, особенности метаболизма и функции клеток. Таким образом, белковый синтез лежит в основе деления, дифференцировки, роста и развития, обеспечивает особенности метаболизма и функций. Белки способствуют объединению клеток в группы, что ведет к образованию тканей и органов.

Матричные процессы позволяют с абсолютной точностью, очень быстро и очень экономично *извлекать генетическую информацию* и реализовать ее во *множество копий* необходимым клеткам и организмам молекул.

Таким образом, матричные процессы лежат в основе жизни. *Они являются механизмами реализации генетических программ*. Это «молекулярный мостик» между генотипом организма и его фенотипом:

**ГЕНОТИП** → ТРАНСКРИПЦИЯ + ТРАНСЛЯЦИЯ + ЭНЕРГИЯ + +  
САМОСБОРКА → **ФЕНОТИП**. Или «молекулярный мостик» между настоящим  
и будущим генотипом: **ГЕНОТИП МАТЕРИНСКИЙ** → →  
**РЕПЛИКАЦИЯ** → **ГЕНОТИП ДОЧЕРНИЙ**.



# *Закон обмена веществ и энергии.*

*Живые организмы создают и поддерживают свою упорядоченность и гомеостаз через обмен материей и энергией с окружающей средой.*

Одним из основных отличий живых организмов от неживых тел является высокая многоуровневая *организация материи*, длительно сохраняющаяся вопреки второму закону термодинамики. Это свойство живых систем обеспечивается выполнением трех условий. *Первое* – постоянный приток необходимых *молекул* из окружающего пространства для восполнения изношенных, поврежденных, окисленных и использованных молекул. *Второе* - постоянный приток *свободной энергии* из окружающего пространства для синтезов и поддержания искусственной упорядоченности молекул, их комплексов, органелл и клеток. *Третье* – отработанные, неиспользуемые или токсичные вещества должны *выбрасываться* из системы в окружающее пространство. Вышеотмеченные процессы являются главными для живых тел. Их обозначают термином *обмен веществ и энергии*. Обмен веществ и обмен энергии, взаимосвязанные процессы, т.к. именно с потоком органических соединений переносится химическая энергия. Обмен веществ – это форма взаимодействия организма с окружающей средой. Совокупность процессов поступления веществ в организм, их внеклеточных превращений и выделение отработанных веществ называют «внешним обменом», а совокупность биохимических процессов внутри клеток обозначают термином «промежуточный обмен» или «метаболизм».

Процессы обмена веществ и метаболизм обусловлены, в первую очередь, функциями разнообразных белков. Наличие специальных белков и их активность зависит от дифференциальной экспрессии генов. Т.е., обмен веществ, как элемент фенотипа, находится под контролем генотипа клеток. Кроме этого процессы обмена белков могут регулироваться различными гормонами и нейромедиаторами.

Таким образом, *обмен веществ и энергии* обеспечивает постоянство молекулярного состава, упорядоченности и энергетического потенциала клеток, что обеспечивает *метаболизм* и разнообразные *функции* клеток абсолютно всех организмов. Это, в свою очередь, обуславливает гомеостаз и длительное поддержание целостности живых тел, что необходимо для воспроизведения и существования видов.

# *Закон метаболизма.*

*Поддержание структуры и функций клеток, тканей, органов, а также всего организма обеспечивается взаимосвязанными биохимическими процессами.*

Основным условием жизни всех организмов являются постоянные избирательные химические превращения молекул веществ из одних в другие. Сотни тысяч различных биохимических реакций осуществляются в клетках одновременно и тесно скоординированы между собой. *Метаболизм* – это совокупность всех взаимосвязанных, высокоорганизованных и высокоупорядоченных биохимических процессов превращения материи и энергии в клетках. Метаболизм (промежуточный обмен) является составной частью общего обмена веществ ( ).

Совокупность процессов синтеза нужных для клетки молекул и построение из них клеточных структур называется *анаболизмом*. Например, синтез белков, нуклеиновых кислот, АТФ, фосфолипидов; образование мембран, формирование рибосом и др. Совокупность процессов разрушения органических молекул называется *катаболизмом*. В частности, это процессы окисления глюкозы в процессе гликолиза, окисление жирных кислот, дезаминирование аминокислот, ферментативное разрушение изношенных органелл и т.д.

Взаимосвязанные цепи химических реакций образуют *метаболические пути*. Например, *цикл Кребса* – совокупность восьми взаимосвязанных биохимических реакций разрушения углеводородных скелетов (через Ацетил-КоА) практически любых органических веществ до углекислого газа и ионов водорода (протонов). Ферменты этого цикла компактно расположены в матриксе митохондрий. *Метаболический путь гликолиза* – совокупность десяти последовательных реакций разрушения глюкозы. Ферменты этого метаболического пути компактно расположены в цитозоле клеток.

Вся совокупность тысяч разнообразных химических реакций точно регулируется и координируется в пространстве и времени. Скорость, направленность, «включение» и «выключение» химических реакций контролируется ферментами. Наиболее общая форма регуляции метаболизма – это контроль количественного и качественного состава, а также активности ферментов. Количественный и качественный состав ферментов регулируется благодаря избирательному синтезу необходимых молекул. Избирательность синтеза, в свою очередь, контролируется генетическим аппаратом клеток. Изменение активности ферментов достигается, также, в результате их обратимого ингибирования или активирования субстратами, продуктами или гормонами.

Назначением метаболизма является: а) *избирательное* накопление «питательных» веществ и их *преобразование* в нужные организму молекулы; б) накопление и *преобразование энергии*; в) *целенаправленное* использование энергии для «работы» клеток и организма; г) *избирательное* разрушение и восстановление компонентов клеток; д) *непрерывное* поддержание целостности и гомеостаза клеток и организма; е) *управляемый* синтез и распад биологически-активных молекул.

Таким образом, *метаболизм* обеспечивает все свойства живых организмов, лежащих в основе жизни и выживания: дыхание, питание, рост, развитие, раздражимость, возбудимость, движение, размножение и многое другое.

# *Закон преобразования и использования энергии.*

*Поступление, преобразование и использование энергии является основой жизни.*

Все живые организмы являются *открытыми высокоупорядоченными неравновесными* системами ( ). Для поддержания упорядоченности и функционирования таких систем нужна энергия. *Энергия* – это мера движения материи, возможность совершать работу или производить изменения в материи и пространстве. Она отражает количественные изменения состояния тел, их движения или изменений их структуры при различного рода взаимодействиях. Известно три вида энергии – *кинетическая, потенциальная и собственная* (связанная с массой покоя:  $E=mc^2$ ). Никакое физическое явление или химическая реакция не могут быть осуществлены без «затраты» энергии в той или иной форме. Наиболее известные формы энергии - тепловая, световая, электрическая, механическая и химическая и др. Различные формы энергии при физико-химических процессах могут «превращаться» друг в друга, т.е. при любом процессе энергия сохраняется.



Наиболее удобной формой энергии для живых организмов является *химическая энергия (энергия химических связей)*, т.к. её легко «запасать», «транспортировать» и превращать из одной формы в другую, когда это потребуется. В частности, химическая энергия представляет собой *взаимодействующие протоны и электроны*. Они являются небольшими *дискретными единицами* (квантами) материи и энергии. Квантованную энергию очень удобно извлекать небольшими порциями из органических веществ при их окислении. Ферментативное окисление – это процессы «принудительного отрыва» электронов или протонов от разнообразных органических молекул. Вместе с *элементарными частицами* энергия переходит в состав других образующихся веществ, в частности в фосфодиэфирные связи небольших дискретных молекул АТФ (*аденозинтрифосфорная кислота*). Эти молекулы являются универсальными для всех живых организмов аккумуляторами энергии. Таким образом, энергия извлекается, запасается и хранится в *дискретной* форме. Это очень удобно, так как позволяет постепенно (электрон за электроном) накапливать большие запасы энергии, а затем очень точно, и дозированно использовать ее для различных видов деятельности клеток, причем в самых «недоступных» ее участках.

Энергия «поступает» в клетки животных извне в виде питательных веществ, в основном углеводов и жиров. Она «запасена» в виде химических связей между атомами в указанных молекулах. При разрыве этих связей «выделяется энергия» (теряются электроны и протоны), которая трансформируется и может «запасаться» в трех формах. 1) *Протонный потенциал* ( $\Delta\mu\text{H}^+$ ) на внутренних мембранах митохондрий, хлоропластов или мезосом бактерий. Такая форма потенциальной энергии протонов может быть непосредственно использована для выполнения определенной работы, например вращение жгутиков или колебание ресничек у одноклеточных организмов. 2) *Натриевый потенциал* ( $\Delta\mu\text{Na}^+$ ) на плазматических мембранах клеток, как одноклеточных, так и многоклеточных организмов. Потенциальная энергия  $\text{Na}^+$  может быть непосредственно использована для совершения работы. Например, энергия этого потенциала используется для переноса различных нужных клетке молекул, в частности аминокислот, моносахаридов, ионов и др. 3) *Макроэргические связи АТФ*. Это основная форма запасания, хранения и использования энергии. В этом виде энергия может использоваться клетками и организмом для совершения всех видов работ по синтезу, транспорту, движению и др.

*Основные энергетические процессы в живых системах.*

Основной источник энергии для подавляющего большинства живых организмов — Солнце. Лучистая энергия Солнца (поток фотонов) поглощается пигментом (хлорофиллом) растений и через ряд сложных молекулярных ферментативных процессов преобразуется в протонный градиент *хлоропластов*, а затем через  $H^+$ -АТФсинтетазы, в энергию химических связей АТФ. Которая используется для синтеза из неорганических молекул углекислого газа и воды *первичных органических веществ*, в химических связях которых, в конце концов, аккумулируется энергия фотонов Солнца. Этот процесс называется *фотосинтезом*. Образующиеся первичные органические вещества поедаются растительноядными животными и преобразуются в органические вещества животных.

Животные не обладают способностью к фотосинтезу, поэтому не могут непосредственно использовать солнечную энергию для синтеза нужных им органических веществ. Получение ими органической пищи, а значит нужных веществ и энергии, зависит от растений. Травоядные животные зависят от растений напрямую, а плотоядные (поедают растительноядных животных) зависят от растений косвенно. Животные поглощают также кислород, выделяемый растениями. Таким образом, энергия света «перемещается» от химических связей органических веществ растений в химические связи органических веществ животных. Поглощенные животными органические вещества в клетках *окисляются* ( ) и энергия химических связей этих веществ через ряд ферментативных молекулярных процессов «превращается» в энергию фосфатных связей АТФ. Совокупность этих процессов в клетках животных называется *клеточным дыханием* ( ). Этот процесс протекает в *митохондриях*, во всех клетках любых организмов. Такие структуры, как хлоропласты и митохондрии, способные ферментативно конвертировать одну форму энергии в другую, называют *преобразователями энергии*.

Химическая энергия фосфатных связей АТФ может «высвободиться» с помощью *ферментов* и использоваться для *совершения работы*. Например: 1) Выполнение механической работы, при сокращении мышц; 2) Выполнение электрической работы, при проведении нервных импульсов; 3) Для транспортировки молекул через клеточные мембраны; 4) Обеспечение энергией химических превращений при синтезе различных веществ, таких как углеводы, белки, липиды и др.; 5) Для обеспечения роста и деления клеток и многого другого.

*Термодинамика живого организма.* Термодинамика — это раздел физики, который изучает природу энергии и механизмы ее преобразования. Основные принципы термодинамики применимы как к живой, так и неживой природе.

*Закон сохранения энергии или первый закон термодинамики* постулирует, что энергия ниоткуда не берётся и никуда не исчезает, она только переходит из одной формы в другую. Примером является *фотосинтез*, в процессе которого энергия фотонов трансформируется в энергию химических связей органических веществ.

*Закон энтропии или второй закон термодинамики* постулирует, что 1) все процессы и системы стремятся к беспорядку; 2) *энтропия* (беспорядок) постепенно и необратимо возрастает. Это происходит потому, что при переходе энергии из одной формы в другую, количество полезной энергии уменьшается, так как её некоторая часть превращается в тепловую и рассеивается. Потерянная энергия не может быть использована для совершения полезной работы.

# ***Закон биологических циклов.***

*Цикличность многих биологических процессов – один из основных механизмов жизнедеятельности.*

*Цикл – совокупность взаимосвязанных процессов, когда окончание одного процесса обуславливает начало последующего, а окончание последнего – начало первого и т. д.*

Для многих биологических явлений характерна цикличность. Циклические процессы в живых системах энергетически и материально очень выгодны. Они позволяют использовать стандартный набор механизмов и структур для обеспечения разнообразных функций. Это обуславливает существенную экономию материи и энергии из-за практически «безотходного производства», так как в циклических процессах не образуется побочных, неиспользуемых продуктов. Циклические процессы обеспечивают очень высокую скорость превращения веществ или выполнения функций. Циклические процессы легко контролируются и регулируются организмом. Так как в них используются стандартные структуры и механизмы, по этому для регуляции достаточно иметь также ограниченный стандартный набор эффекторов, действующих на конкретный участок цикла. Циклические процессы очень важны в механизмах поддержания гомеостаза. Изменения в каком-либо биологическом показателе, тут же включают или активизируют определенный цикл, что приводит к немедленному восстановлению нормального значения показателя.

Циклические процессы в живых системах очень разнообразны. Например, это жизненный цикл клетки, цикл экспрессии генетической информации, цикл Крепса, секреторный цикл, сердечный цикл, жизненный цикл организма, различные нейро-гормональные циклы, физиологические циклы, циклы размножения в популяциях, циклические сезонные миграции и др. Многие циклы живых организмов характерны для определенных биологических структур, *детерминированы генетически*, регулируются организмом и не зависят от факторов внешней среды (клеточные циклы различных видов клеток, экспрессия генов, сердечный цикл и др.). Другие циклы сформировались под влиянием геофизических факторов и зависят, в первую очередь, от действия факторов внешней среды, таких как фотопериодизм, сезонность, цикличность изменений температуры, цикличность режимов питания, цикличность фаз Луны и др. Например, фотопериодизм двигательной активности, фотопериодизм фотосинтеза, сезонность миграций и размножения и др.