

Энергетический обмен

Для жизнедеятельности организма необходима энергия. Растения аккумулируют солнечную энергию в органических веществах при фотосинтезе. В процессе энергетического обмена органические вещества расщепляются и энергия химических связей освобождается. Частично она рассеивается в виде тепла, а частично запасается в молекулах АТФ. У животных энергетический обмен протекает в три этапа.

Первый этап — подготовительный. Пища поступает в организм животных и человека в виде сложных высокомолекулярных соединений. Прежде чем поступить в клетки и ткани, эти вещества должны разрушиться до низкомолекулярных, более доступных для клеточного усвоения веществ.

На первом этапе происходит гидролитическое расщепление органических веществ, идущее при участии воды. Оно протекает под действием ферментов в пищеварительном тракте многоклеточных животных, в пищеварительных вакуолях одноклеточных, а на клеточном уровне — в лизосомах.

Реакции подготовительного этапа:

белки + H_2O \rightarrow аминокислоты + Q ;

жиры + H_2O \rightarrow глицерин + высшие жирные кислоты + Q ;

полисахариды \rightarrow глюкоза + Q .

У млекопитающих и человека белки расщепляются до аминокислот в желудке и в двенадцатиперстной кишке под действием ферментов — пептидгидролаз (пепсина, трипсина, хемотрипсина). Расщепление полисахаридов начинается в ротовой полости под действием фермента пталина, а далее продолжается в двенадцатиперстной кишке под действием амилазы. Там же расщепляются и жиры под действием липазы. Вся энергия, выделяющаяся при этом, рассеивается в виде тепла.

Образующиеся низкомолекулярные вещества поступают в кровь и доставляются ко всем органам и клеткам. В клетках они поступают в лизосому или непосредственно в цитоплазму. Если расщепление происходит на клеточном уровне в лизосомах, то вещество сразу же поступает в цитоплазму. На этом этапе происходит подготовка веществ к внутриклеточному расщеплению.

Второй этап — бескислородное окисление. Второй этап осуществляется на клеточном уровне при отсутствии кислорода. Он протекает в цитоплазме клетки. Рассмотрим расщепление глюкозы, как одного из ключевых веществ обмена в клетке. Все остальные органические вещества (жирные кислоты, глицерин, аминокислоты) на разных этапах втягиваются в процессы ее превращения.

Бескислородное расщепление глюкозы называется *гликолизом*. Глюкоза претерпевает ряд последовательных превращений (рис. 16). Вначале она преобразуется во фруктозу, фосфорилируется — активируется двумя молекулами АТФ и превращается во фруктозо-дифосфат. Далее молекула шестиатомного углевода распадается на два трехуглеродных соединения — две молекулы глицерофосфата (триозы). После ряда реакций они окисляются, теряя по два атома водорода, и превращаются в две молекулы пировиноградной кислоты (ПВК). В результате этих реакций синтезируются четыре молекулы АТФ. Так как первоначально на активацию глюкозы было затрачено две молекулы АТФ, то общий итог составляет 2АТФ. Таким образом, выделяющаяся при расщеплении глюкозы энергия частично запасается в двух молекулах АТФ, а частично расходуется в виде тепла. Четыре атома водорода, которые были сняты при окислении глицерофосфата, соединяются с переносчиком водорода НАД⁺ (никотинамиддинуклеотидфосфат). Это такой же переносчик водорода, как и НАДФ⁺, но участвует в реакциях энергетического обмена.

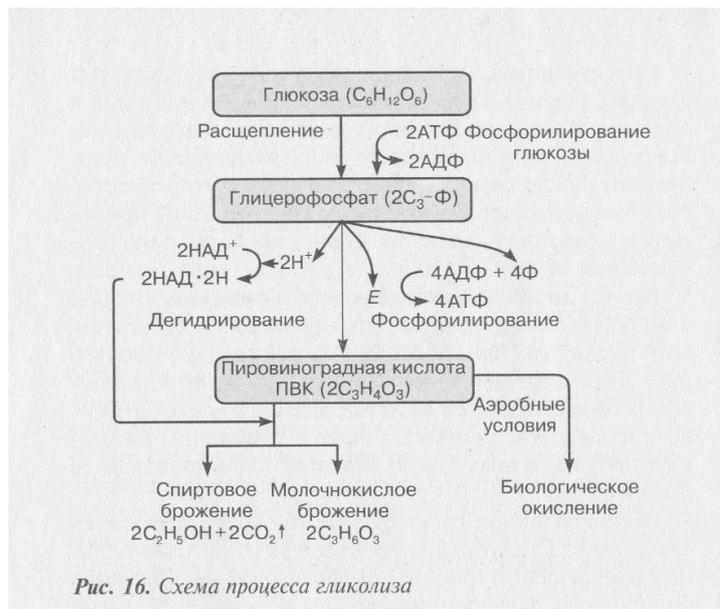
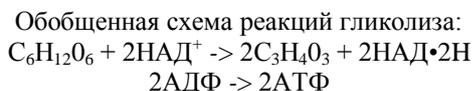
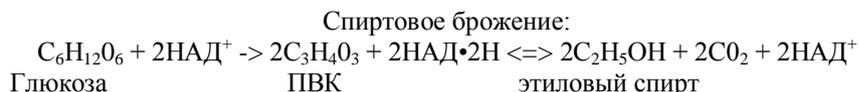
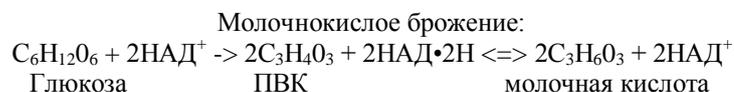


Рис. 16. Схема процесса гликолиза



Восстановленные молекулы НАД•2Н поступают в митохондрии, где окисляются, отдавая водород.

В зависимости от типа клеток, ткани или организмов пировиноградная кислота в бескислородной среде может превращаться далее в молочную кислоту, этиловый спирт, масляную кислоту или другие органические вещества. У анаэробных организмов эти процессы называются *брожением*.



Третий этап — биологическое окисление, или дыхание. Этот этап протекает только в присутствии кислорода и иначе называется *кислородным*. Он протекает в митохондриях.

Пировиноградная кислота из цитоплазмы поступает в митохондрии, где теряет молекулу углекислого газа и превращается в уксусную кислоту, соединяясь с активатором и переносчиком коэнзимом-А (рис. 17). Образующийся ацетил-КоА далее вступает в серию циклических реакций. Продукты бескислородного расщепления — молочная кислота, этиловый спирт — также далее претерпевают изменения и подвергаются окислению кислородом. В пировиноградную кислоту превращается молочная кислота, если она образовалась при недостатке кислорода в тканях животных. Этиловый спирт окисляется до уксусной кислоты и связывается с КоА.

Циклические реакции, в которых происходит преобразование уксусной кислоты, носят название *цикла ди- и трикарбоновых кислот*, или *цикла Кребса*, по имени ученого, впервые описавшего эти реакции. В результате ряда последовательных реакций происходит декарбоксилирование — отщепление углекислого газа и окисление — снятие водорода с образующихся веществ. Углекислый газ, образующийся при декарбоксилировании ПВК и в цикле Кребса, выделяется из митохондрий, а далее из клетки и организма в процессе дыхания. Таким образом, углекислый газ образуется непосредственно в процессе декарбоксилирования органических веществ. Весь водород,

который снимается с промежуточных веществ, соединяется с переносчиком НАД⁺, и образуется НАД•2Н. При фотосинтезе углекислый газ соединяется с промежуточными веществами и восстанавливается водородом. Здесь идет обратный процесс.

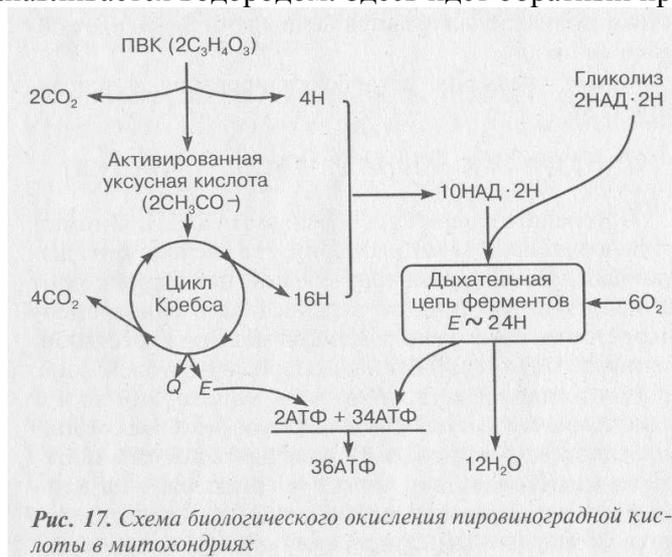


Рис. 17. Схема биологического окисления пировиноградной кислоты в митохондриях

Общее уравнение декарбоксилирования и окисления ПВК:



Проследим теперь путь молекул НАД•2Н. Они поступают на крысы митохондрий, где расположена дыхательная цепь ферментов. На этой цепи происходит отщепление водорода от переносчика с одновременным снятием электронов. Каждая молекула восстановленного НАД•2Н отдает два водорода и два электрона. Энергия снятых электронов очень велика. Они поступают на дыхательную цепь ферментов, которая состоит из белков — цитохромов. Перемещаясь по этой системе каскадно, электрон теряет энергию. За счет этой энергии в присутствии фермента АТФ-азы синтезируются молекулы АТФ. Одновременно с этими процессами происходит перекачивание ионов водорода через мембрану на наружную ее сторону. В процессе окисления 12 молекул НАД•2Н, которые образовались при гликолизе (2 молекулы) и в результате реакций в цикле Кребса (10 молекул), синтезируются 36 молекул АТФ. Синтез молекул АТФ, сопряженный с процессом окисления водорода, называется *окислительным фосфорилированием*. Этот процесс был впервые описан русским ученым В. А. Энгельгардтом в 1931 г.

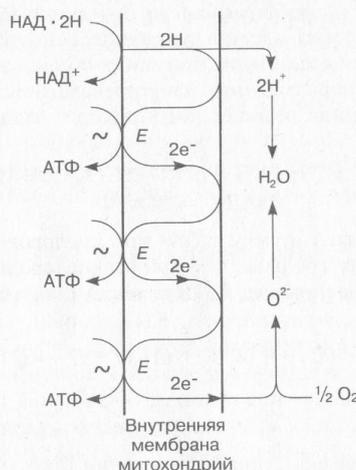


Рис. 18. Окислительное фосфорилирование. Схема работы дыхательной цепи ферментов

