Энергетический обмен

Кодификатор ЕГЭ: 2.4 · Линии ЕГЭ: 3, 5-8, 22-24, 26, 27 · kursteam.ru/teoriya/tsitologiya/energeticheskiy-obmen

КОРОТКО

- Энергетический обмен (диссимиляция) - расщепление органических веществ с запасанием энергии в АТФ.
- Три этапа: подготовительный (полимеры до мономеров, энергия рассеивается как тепло), гликолиз в цитоплазме (глюкоза → 2 ПВК + 2 АТФ), кислородный в митохондриях (2 ПВК → CO_2 + H_2O + 36 АТФ).
- Итог полного окисления одной молекулы глюкозы - 38 АТФ (2 + 36).
- Цикл Кребса идёт в матриксе митохондрий, окислительное фосфорилирование - на кристах.
- Без кислорода ПВК уходит в брожение: молочнокислое (мышцы, молочнокислые бактерии) или спиртовое (дрожжи).

Обмен веществ: две стороны

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Метаболизм (обмен веществ)

Совокупность всех химических реакций в организме: поступление веществ, их превращения и выведение продуктов. Складывается из ассимиляции и диссимиляции.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Ассимиляция (анаболизм, пластический обмен)

Реакции синтеза сложных веществ из простых с затратой энергии АТФ: фотосинтез, хемосинтез, репликация, транскрипция, биосинтез белка, синтез жиров и углеводов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Диссимиляция (катаболизм, энергетический обмен)

Реакции расщепления органических веществ, при которых выделяется энергия. Часть её запасается в АТФ: гидролиз полимеров, гликолиз, брожение, клеточное дыхание.

Ассимиляция и диссимиляция идут одновременно и связаны через АТФ: энергетический обмен её запасает, пластический - тратит.

По **типу обмена** организмы делят на автотрофов (сами синтезируют органические вещества из неорганических: растения, цианобактерии, хемотрофные бактерии) и гетеротрофов (получают готовые органические вещества с пищей: животные, грибы, большинство бактерий). Но энергетический обмен есть у всех: и растение, и бактерия расщепляют органические вещества ради АТФ.

Роль АТФ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

АТФ (аденозинтрифосфат)

Нуклеотид из аденина, рибозы и трёх остатков фосфорной кислоты, соединённых макроэргическими связями. Универсальный аккумулятор энергии клетки.

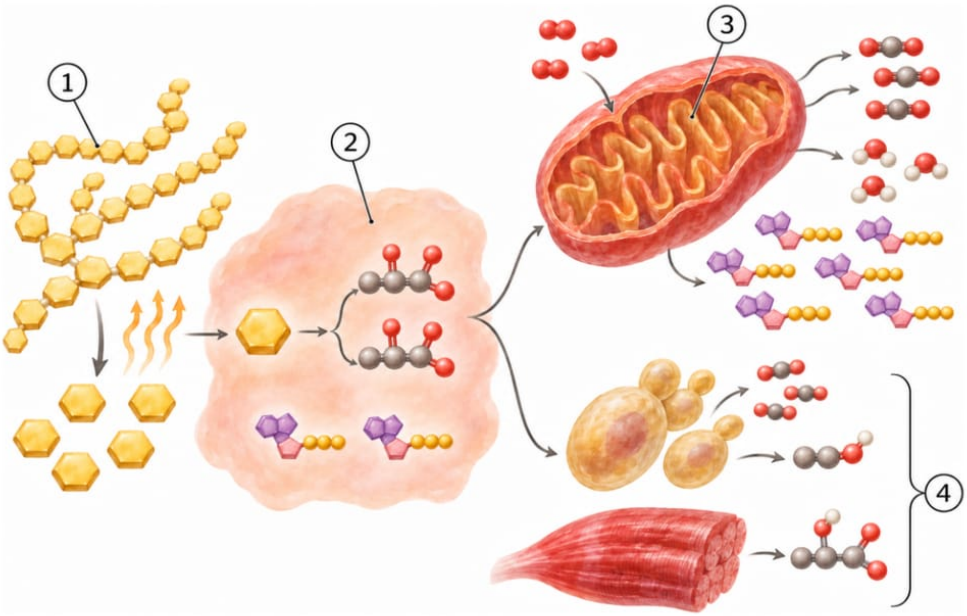
При отщеплении одного остатка фосфорной кислоты АТФ превращается в АДФ и выделяется около 40 кДж/моль - вдвое-втрое больше, чем в обычных связях, поэтому связи и называют макроэргическими. Обратная реакция АДФ + Ф → АТФ запасает энергию, которую выделила диссимиляция. АТФ тратится на синтез веществ, активный транспорт, движение, деление, проведение нервного импульса.

По участию кислорода организмы и пути обмена делят на **аэробные** (кислород нужен для полного окисления) и **анаэробные** (обходятся без него - за счёт гликолиза и брожения).

Этапы энергетического обмена

Полное окисление глюкозы складывается из трёх этапов. Суммарно:

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$ + 38 АТФ (2 АТФ в гликолизе + 36 АТФ на кислородном этапе)



1 - Подготовительный этап: полимеры расщепляются до мономеров, энергия рассеивается как тепло
2 - Гликолиз в цитоплазме: глюкоза → 2 ПВК + 2 АТФ
3 - Кислородный этап в митохондриях: 2 ПВК → CO_2 + H_2O + 36 АТФ
4 - Если кислорода нет, ПВК уходит в брожение

Три этапа энергетического обмена. Без кислорода ПВК уходит в брожение.

Подготовительный этап

Идёт у животных в пищеварительной системе и в лизосомах клеток. Полимеры расщепляются ферментами (гидролиз) до мономеров:

- белки → аминокислоты (ферменты - пепсин, трипсин);
- жиры → глицерин и жирные кислоты (липаза);
- крахмал → мальтоза (амилаза) → глюкоза (мальтаза); так же до глюкозы расщепляется гликоген - запасной углевод животных, который откладывается в печени и мышцах.

Затем мономеры всасываются в кровь и поступают в клетки. Вся выделившаяся энергия **рассеивается в виде тепла** - АТФ на этом этапе не образуется.

Гликолиз - бескислородный этап

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Гликолиз

Бескислородное расщепление глюкозы в цитоплазме (гиалоплазме) клетки: молекула глюкозы (C_6) распадается на две молекулы пировиноградной кислоты - ПВК (C_3). Запасается 2 АТФ.

глюкоза (C_6) → 2 ПВК (C_3) + 2 АТФ

Кислород гликолизу не нужен, ферменты гликолиза растворены в цитоплазме. Дальше судьба ПВК зависит от кислорода: есть кислород - ПВК идёт в митохондрии на полное окисление, нет - в брожение.

Кислородный этап - клеточное дыхание

Идёт **в митохондриях** и требует кислорода. Две молекулы ПВК полностью окисляются до CO_2 и H_2O, запасается 36 АТФ. Этап состоит из двух частей:

1. **Цикл Кребса (цикл трикарбоновых кислот)** - в **матриксе** митохондрий. Циклические ферментативные реакции: от ПВК отщепляется CO_2 (он выводится из клетки и выдыхается), а атомы водорода передаются переносчикам.
2. **Окислительное фосфорилирование** - на **кристах** (складках внутренней мембраны). Электроны передаются по цепи переносчиков, встроенных в мембрану; за счёт их энергии через мембрану перекачиваются ионы H^+. Возвращаясь через канал АТФ-синтазы, они дают энергию для синтеза основной массы АТФ. В конце цепи электроны и H^+ принимает кислород - образуется вода.

2 ПВК + O_2 → CO_2 + H_2O + 36 АТФ (схема кислородного этапа)

ЗАПОМНИ

Итог полного окисления глюкозы - **38 АТФ: 2 в гликолизе + 36 на кислородном этапе**. CO_2 образуется в цикле Кребса (матрикс), вода - в конце цепи переносчиков электронов (кристы).

Таблица этапов

	Подготовительный	Гликолиз	Кислородный
Где идёт	пищеварительная система, лизосомы	цитоплазма (гиалоплазма)	митохондрии: цикл Кребса - матрикс, фосфорилирование - кристы
Что расщепляется	полимеры до мономеров	глюкоза до 2 ПВК	2 ПВК до CO_2 и H_2O
Нужен ли кислород	нет	нет	да
Выход АТФ	0 (энергия - в тепло)	2 АТФ	36 АТФ

Обменные процессы в клетке согласованы и регулируются: скорость каждого этапа зависит от работы ферментов, а постоянство внутренней среды клетки называют клеточным гомеостазом.

Брожение

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

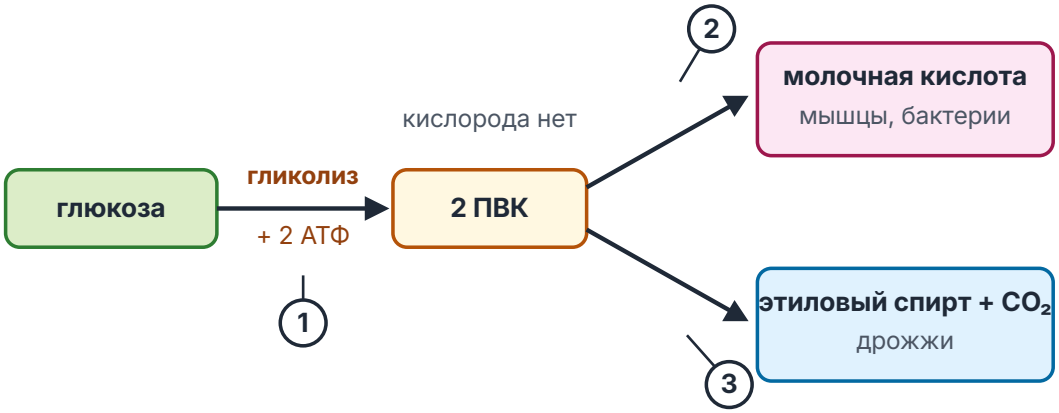
Брожение

Анаэробный путь энергетического обмена: без кислорода ПВК не окисляется до конца, а превращается в молочную кислоту или спирт. Выход энергии - только 2 АТФ гликолиза.



Тесто поднимают пузырьки CO_2 - продукт спиртового брожения дрожжей.

- **Молочнокислое брожение**: ПВК восстанавливается до молочной кислоты. Так получают энергию молочнокислые бактерии (с их помощью человек делает йогурт, кефир, сыр, квашеную капусту, силос). Тот же процесс идёт в **мышцах человека при нехватке кислорода** - при интенсивной работе.
- **Спиртовое брожение**: ПВК превращается в этиловый спирт и CO_2. Его ведут дрожжи - на этом основаны хлебопечение (пузырьки CO_2 поднимают тесто) и виноделие.



весь выход анаэробного пути - 2 АТФ гликолиза

1 - Гликолиз: глюкоза → 2 ПВК + 2 АТФ

2 - Молочнокислое брожение: мышцы при нехватке кислорода, молочнокислые бактерии

3 - Спиртовое брожение: дрожжи (хлебопечение, виноделие)

Судьба ПВК без кислорода: молочнокислое или спиртовое брожение.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Анаэробные организмы

Организмы, живущие без кислорода и получающие энергию за счёт гликолиза и брожения: многие бактерии, дрожжи, паразитические черви. Анаэробные микроорганизмы используют в биотехнологии; среди них есть и возбудители болезней (столбняк, ботулизм).

Преимущества аэробного пути

- С одной молекулы глюкозы аэробный путь даёт **38 АТФ**, брожение - только **2 АТФ**: полное окисление в 19 раз эффективнее.
- Органические вещества окисляются до конца - до CO_2 и H_2O; при брожении большая часть энергии остаётся в молочной кислоте или спирте.

Как это спрашивают на ЕГЭ

- **Линия 3 - подсчёт.** Сколько АТФ, ПВК или глюкозы на каждом этапе: помни пары «1 глюкоза = 2 ПВК = 2 АТФ в гликолизе» и «1 глюкоза = 38 АТФ при полном окислении».
- **Линии 5-6 - схема энергетического обмена.** На схеме нужно узнать вещества: глюкоза - то, что распадается на две молекулы ПВК; макроэргическое соединение - АТФ; этап с выходом 2 АТФ - гликолиз, с 36 АТФ - кислородный. В соответствиях - распределить характеристики: цитоплазма и 2 ПВК - гликолиз; матрикс, цикл трикарбоновых кислот, CO_2 - цикл Кребса; транспорт электронов по мембране и наибольший выход АТФ - окислительное фосфорилирование; молочная кислота и мышцы без кислорода - брожение.
- **Линия 7 - выбор трёх из шести.** Энергетический обмен описывают: окисление, гликолиз, брожение. Не описывают: ассимиляция, репликация, транскрипция, трансляция, фотосинтез.
- **Линия 8 - последовательность.** Гидролиз крахмала → глюкоза в клетке → гликолиз (образование ПВК) → ПВК в митохондрии → цикл Кребса → окислительное фосфорилирование (АТФ на кристах).

- **Линии 22-24, 26 - объяснения.** Почему болят мышцы после нагрузки, почему аэробный путь выгоднее, почему на подготовительном этапе АТФ не запасается, роль митохондрий.
- **Линия 27 - задача** на подсчёт АТФ, ПВК и глюкозы по этапам (разбор ниже).

Ключевые слова: диссимиляция, гидролиз, гликолиз, ПВК (пируват), цикл Кребса (трикарбоновых кислот), матрикс, кристы, окислительное фосфорилирование, АТФ-синтаза, брожение, аэробы и анаэробы.

Ловушки

ЛОВУШКА ЕГЭ

На подготовительном этапе АТФ не образуется. Вся энергия рассеивается в виде тепла. Итог полного окисления - 38 АТФ: 2 + 36, и никакая часть из них не приходится на подготовительный этап.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Гликолиз - в цитоплазме, а не в митохондриях. И он не требует кислорода. В митохондриях идёт только третий, кислородный этап.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Не путай части кислородного этапа. Цикл Кребса - в матриксе, там образуется CO_2. Окислительное фосфорилирование - на кристах: транспорт электронов, синтез основной массы АТФ, в конце образуется вода.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Расщепление крахмала до глюкозы - это гидролиз, а не гликолиз. Гидролиз - подготовительный этап (пищеварение, лизосомы). Гликолиз - расщепление самой глюкозы до ПВК.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Брожение не даёт собственных АТФ сверх гликолиза. Молочнокислое и спиртовое брожение лишь превращают ПВК; весь выход анаэробного пути - 2 АТФ гликолиза.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Транскрипция, трансляция и репликация - не энергетический обмен. Это реакции матричного синтеза, они относятся к ассимиляции и АТФ тратят, а не запасают.

Как писать ответ

Задача 27 на энергетический обмен - это пересчёт между глюкозой, ПВК и АТФ.

1. Запиши опорные равенства: гликолиз: 1 глюкоза → 2 ПВК + 2 АТФ; кислородный этап: 2 ПВК → 36 АТФ; полное окисление: 1 глюкоза → 38 АТФ.
2. Найди, что дано: число АТФ, ПВК или глюкозы - и через равенства выйди на вопрос задачи.
3. Каждую цифру сопровождай словами, на каком этапе и почему она такая: эксперт оценивает элементы ответа, а не голый ответ.

КАК ПИСАТЬ ОТВЕТ

В ходе гликолиза образовалось 112 молекул ПВК. Сколько молекул глюкозы расщепилось и сколько всего АТФ образуется при полном окислении этого количества глюкозы? Ответ поясни.

1. При гликолизе одна молекула глюкозы расщепляется на 2 молекулы ПВК, поэтому глюкозы расщепилось 112 : 2 = 56 молекул.
2. При полном окислении одной молекулы глюкозы образуется 38 АТФ (2 АТФ в гликолизе и 36 АТФ на кислородном этапе).
3. Всего образуется 56 × 38 = 2128 молекул АТФ.

КАК ПИСАТЬ ОТВЕТ

Почему после интенсивной физической нагрузки в мышцах возникают боль и чувство жжения?

1. При интенсивной работе мышцам не хватает кислорода.
2. Поэтому ПВК не окисляется в митохондриях, а восстанавливается до молочной кислоты (молочнокислое брожение).
3. Молочная кислота накапливается в мышцах и раздражает рецепторы - возникают жжение и боль.

КАК ПИСАТЬ ОТВЕТ

В чём преимущество аэробного пути энергетического обмена перед анаэробным?

1. При аэробном пути глюкоза окисляется полностью - до CO_2 и H_2O.
2. Поэтому энергии выделяется намного больше: 38 АТФ против 2 АТФ при анаэробном пути (в 19 раз больше).
3. При анаэробном пути большая часть энергии остаётся в связях конечных продуктов - молочной кислоты или спирта.

Проверь себя

1. Где идёт гликолиз и что в нём образуется из одной молекулы глюкозы?

Ответ: В цитоплазме (гиалоплазме), без участия кислорода. Из одной глюкозы - 2 молекулы ПВК и 2 АТФ.

2. Из чего складывается итог 38 АТФ?

Ответ: 2 АТФ даёт гликолиз и 36 АТФ - кислородный этап в митохондриях. На подготовительном этапе АТФ не образуется.

3. Что происходит с ПВК в мышцах при нехватке кислорода?

Ответ: Идёт молочнокислое брожение: ПВК восстанавливается до молочной кислоты. Её накопление вызывает чувство жжения и боль в мышцах.

4. На каком этапе и где образуется углекислый газ?

Ответ: На кислородном этапе, в цикле Кребса - в матриксе митохондрий.

5. Сколько АТФ запасается на подготовительном этапе?

Ответ: Нисколько: вся энергия, которая выделяется при расщеплении полимеров до мономеров, рассеивается в виде тепла.

ЗАДАНИЯ ПО ТЕМЕ

Тестовая часть, развёрнутые задания и все задания по теме - на сайте, с проверкой и разбором: kursteam.ru/teoriya/tsitologiya/energeticheskiy-obmen

© 2026 Мустафаев Р. И. (Kursteam). Материал принадлежит автору и охраняется авторским правом. Копирование, перепечатка и распространение без письменного разрешения автора запрещены; при цитировании обязательна ссылка на kursteam.ru.