

Катаболизм водных организмов

Лекция № 6

Катаболизм

или энергетический обмен

- метаболический распад на более простые вещества
- окисление

протекает с высвобождением энергии

Примеры катаболизма

превращение этанола через стадии ацетальдегида (этанала) и уксусной кислоты (этановой кислоты) в углекислый газ и воду

процесс гликолиза — превращение глюкозы в молочную кислоту либо пировиноградную кислоту и далее уже в дыхательном цикле — опять-таки в углекислый газ и воду.

Интенсивность катаболических процессов

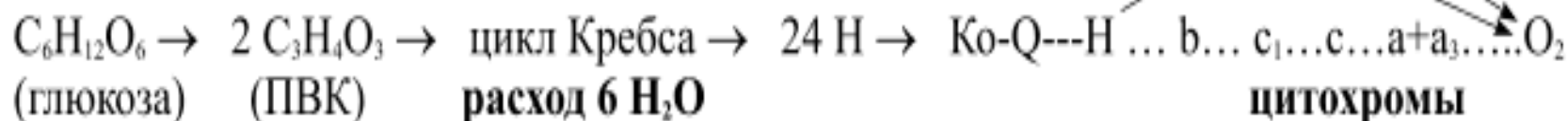
- и преобладание тех или иных катаболических процессов в качестве источников энергии в клетках регулируется гормонами.
- *глюкокортикоиды повышают интенсивность катаболизма белков и аминокислот, одновременно тормозя катаболизм глюкозы (гипогликемия), а инсулин, напротив, ускоряет катаболизм глюкозы и тормозит катаболизм белков.*
- *Катаболизм является противоположностью анаболизма — процессу синтеза или ресинтеза новых, более сложных, соединений из более простых, протекающему с расходом, затратой энергии АТФ.*
- *Соотношение катаболических и анаболических процессов в клетке регулируется гормонами. Например, адреналин или глюкокортикоиды сдвигают баланс обмена веществ в клетке в сторону преобладания катаболизма, а инсулин, соматотропин, тестостерон — в сторону преобладания анаболизма.*

1-я фаза

2-я фаза

3-я фаза

среда H^+ H^+ H^+ H^+ среда



Mg

Mg

Mg 12 H₂CO₃

2 АТФ

2 АТФ

34 АТФ

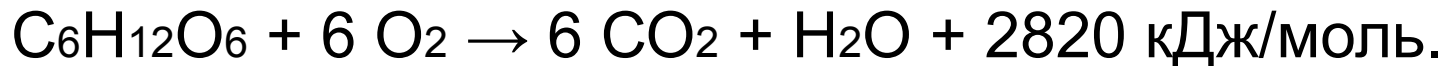
ВНЕ МИТОХОНДРИЙ

В МИТОХОНДРИЯХ

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА КЛЕТЧНОГО ДЫХАНИЯ

Катаболизм глюкозы - основной источник энергии

Окисление глюкозы до CO₂ и H₂O (аэробный распад).



Стадии окисления

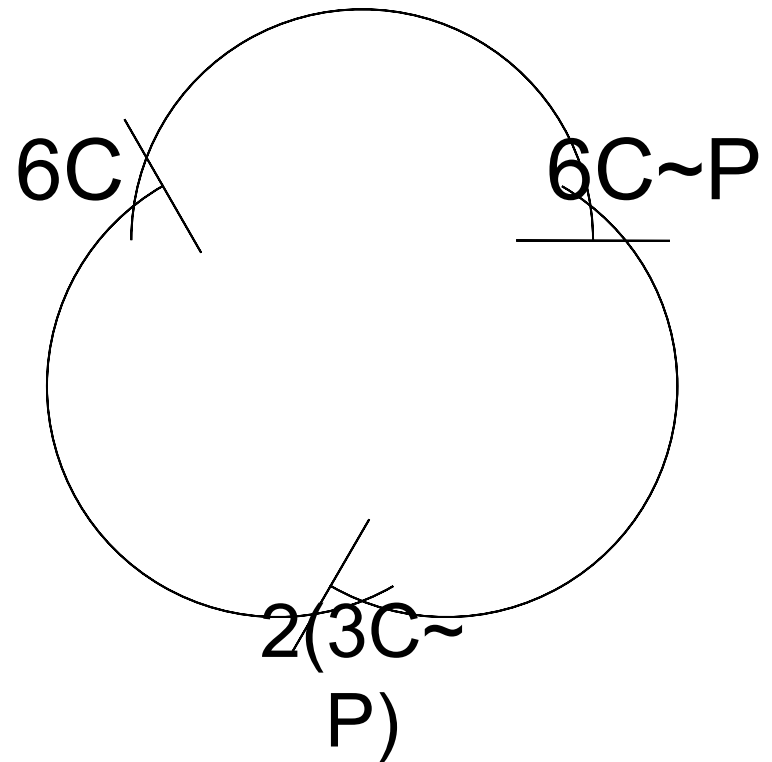
- Аэробный гликолиз - процесс окисления глюкозы с образованием двух молекул пирувата;
- Превращение пирувата в ацетил-КоА
- его дальнейшее окисление в цикле Кребса;
- ЦПЭ (цепь переноса электронов) на кислород, сопряжённая с реакциями окисления, - в процессе распада глюкозы.

Аэробный гликолиз

- процесс окисления глюкозы до пировиноградной кислоты
- протекает в присутствии O_2
- Ферменты, катализирующие реакции этого процесса - в цитозоле клетки.

Этапы аэробного гликолиза

1. глюкоза фосфорилируется и расщепляется на две молекулы фосфотриоз. Эта серия реакций протекает с использованием 2 молекул АТФ.



Этапы аэробного гликолиза

2. Этап синтеза АТФ. В результате этой серии реакций фосфотриозы превращаются в пируват.

Схема аэробного гликолиза

1. Глюкоза
2. Глюкозо-6-фосфат
3. фруктозо-6-фосфат
(глюкозофосфатизомераза)
4. фруктозо-1,6-бисфосфат
(фосфофруктокиназа) реакция
необратима наиболее медленная
5. 2 триозофосфата
фруктозобисфосфатальдолаза -
альдолаза

Субстратное фосфорилирование

- Окисление триозофосфата
 - восстановлению NAD^+H
 - образование с участием H_3PO_4 высокоэнергетической связи
- фосфат передаётся на АДФ \blacktriangleright АТФ

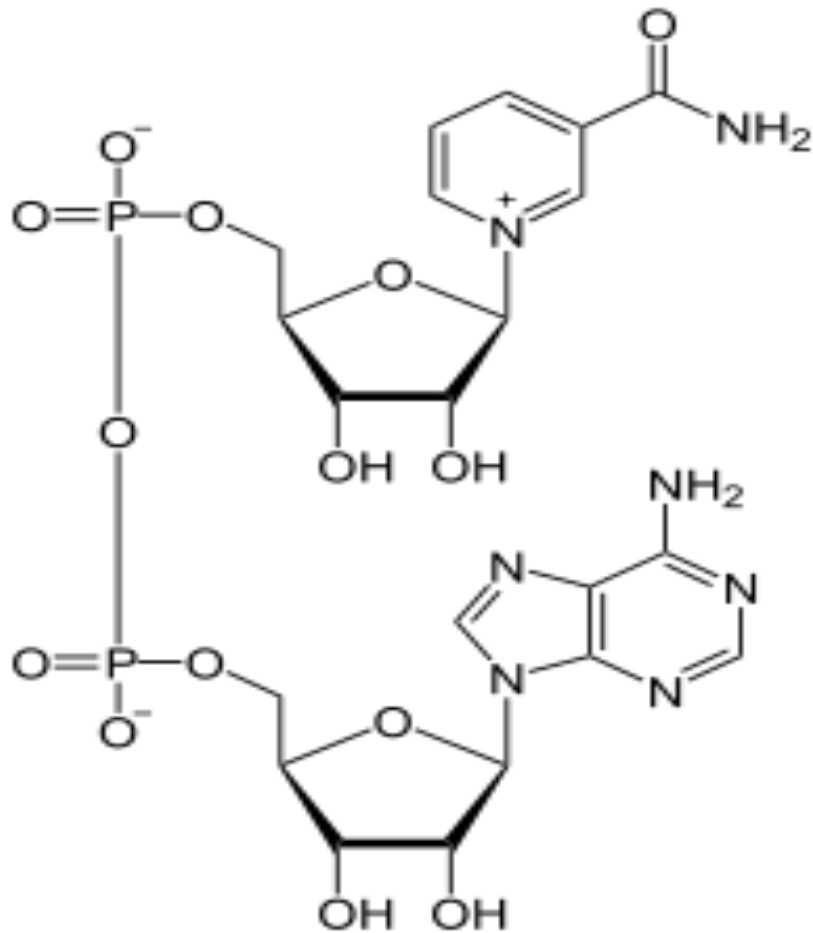
Итог : Триозофосфат (3С~Р) –
пируваткиназа - пируват + АТФ

Итог аэробного гликолиза

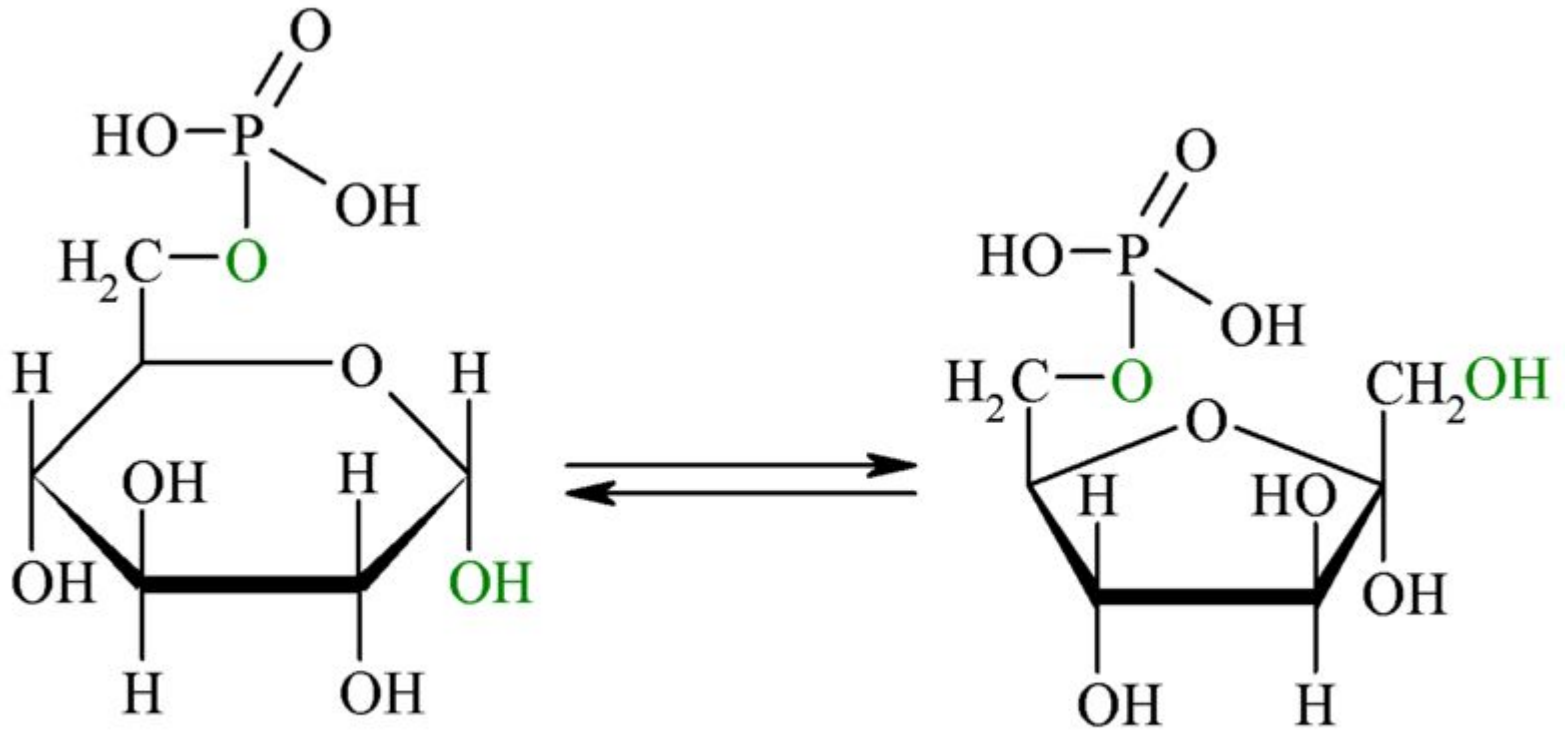
- Распад 1 6С молекулы (глюкоза) до 2 3С молекул (пируват)
- Синтезируется 2 АТФ
- Процесс идет в цитоплазме клетки



NAD



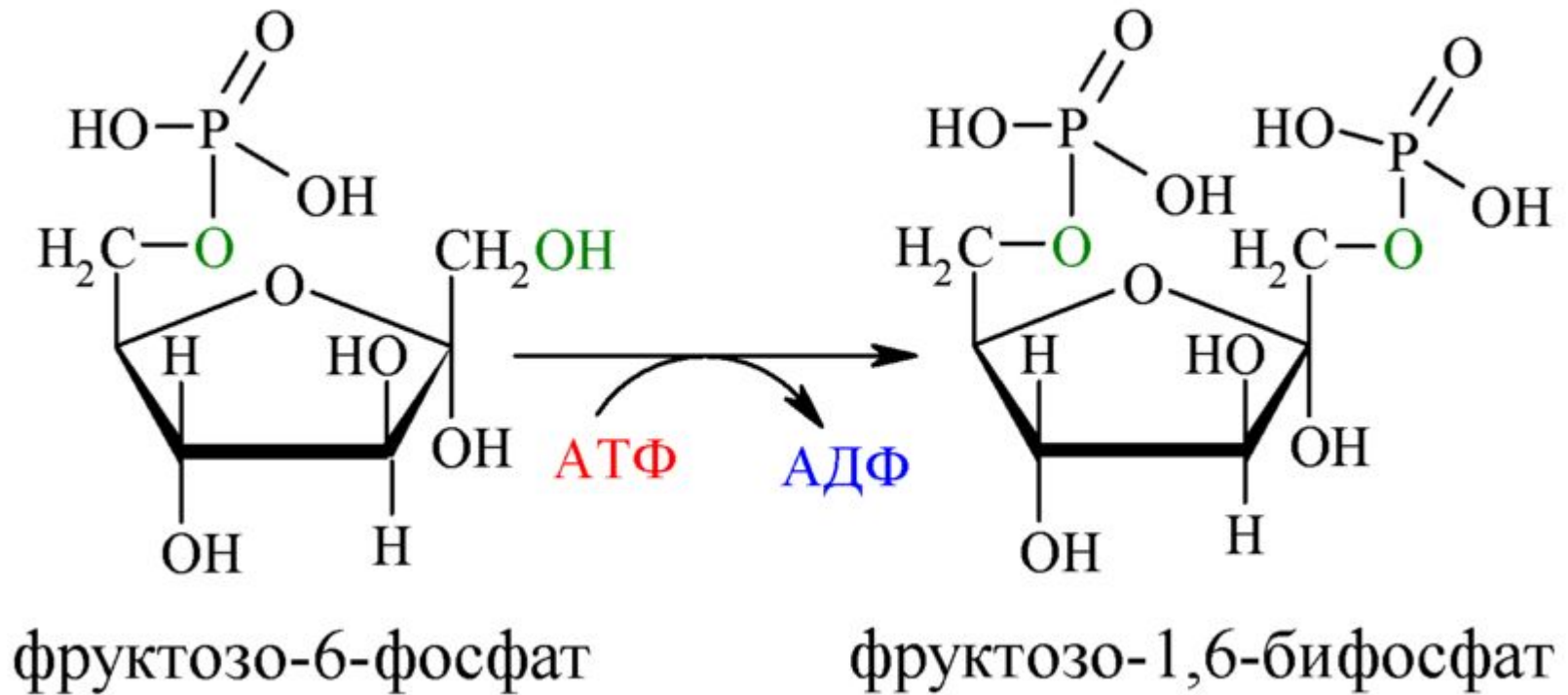
Стадии гликолиза



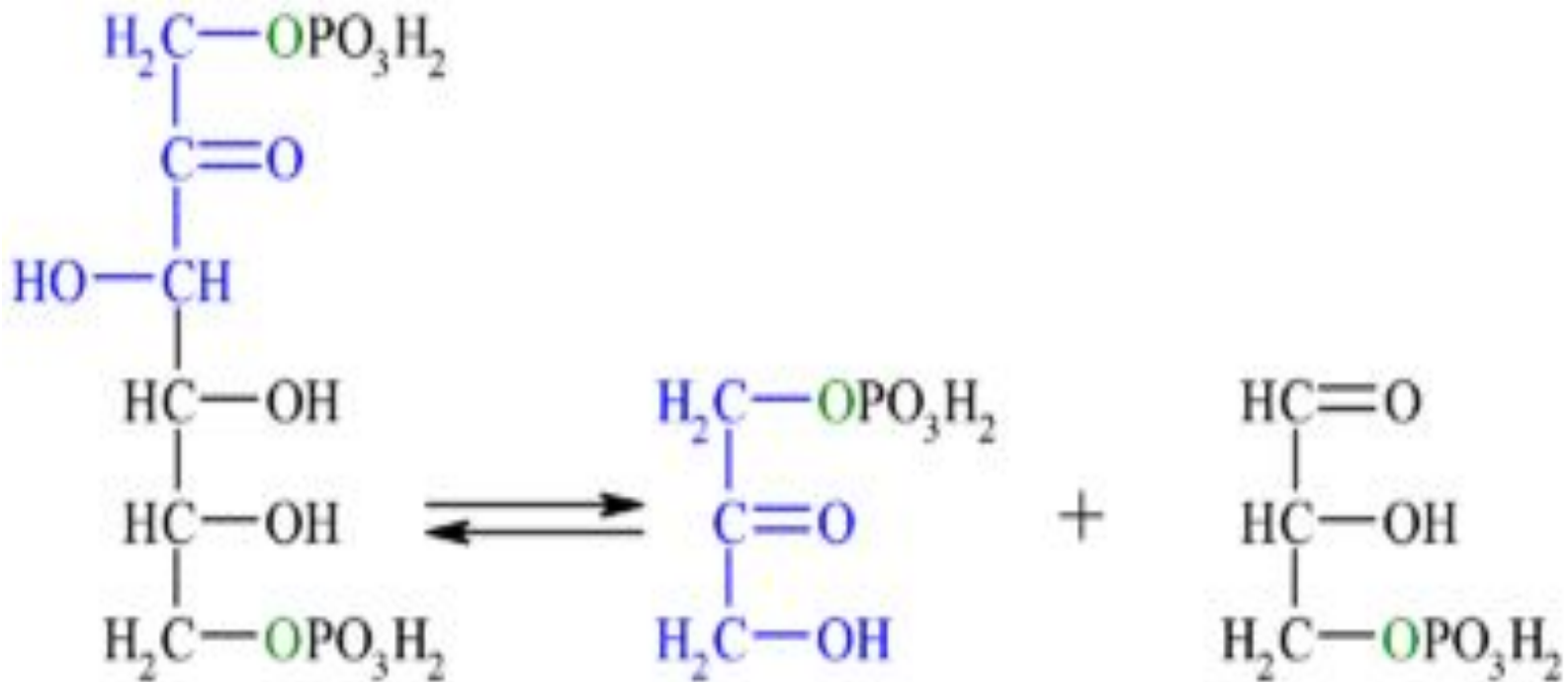
глюкозо-6-фосфат

фруктозо-6-фосфат

Стадии гликолиза



Стадии гликолиза

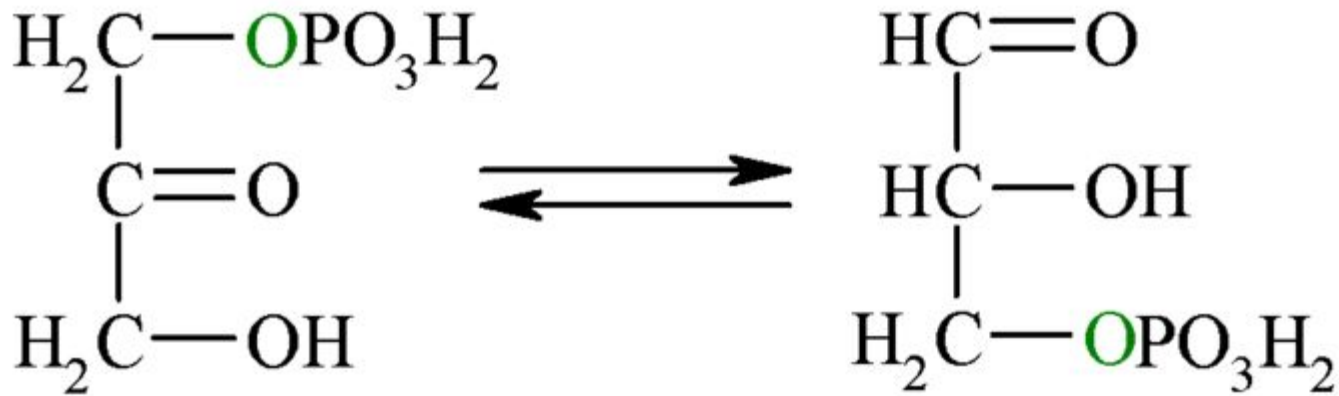


фруктозо-1,6-
бифосфат

диоксиацетон-
фосфат

глицеральдегид-3-
фосфат

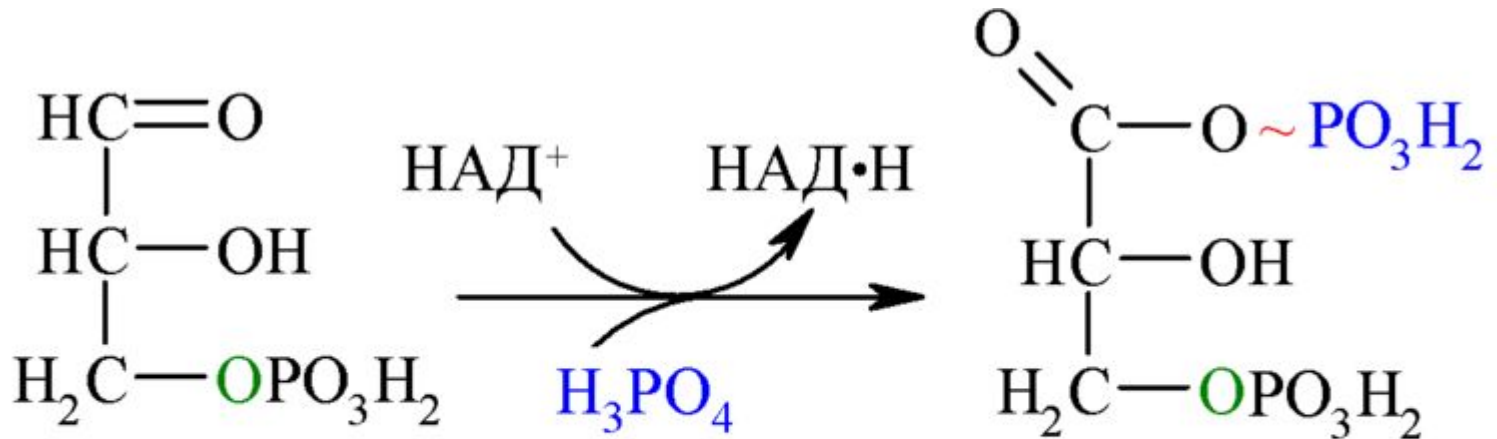
Стадии гликолиза



диоксиацетон-
фосфат

глицеральдегид-3-
фосфат

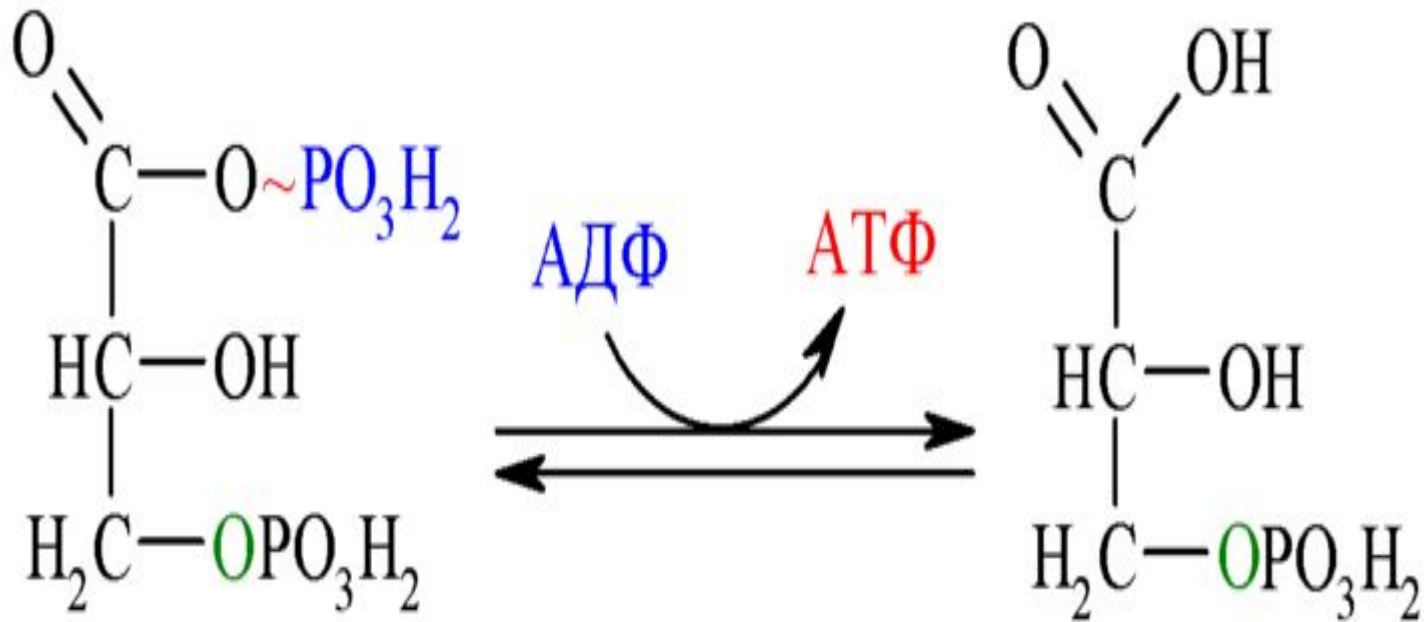
Стадии гликолиза



глицеральдегид-3-
фосфат

1,3-дифосфо-
глицерат

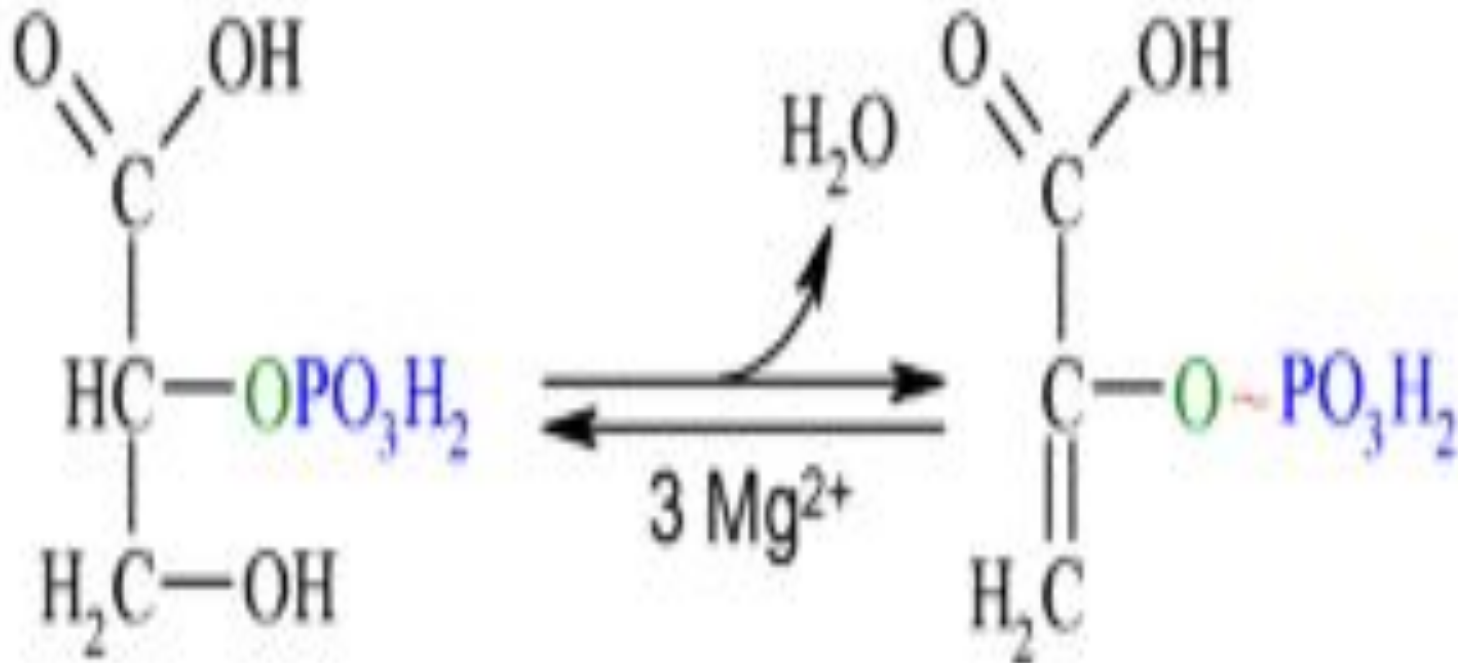
Стадии гликолиза



1,3-дифосфоглицерат

3-фосфоглицерат

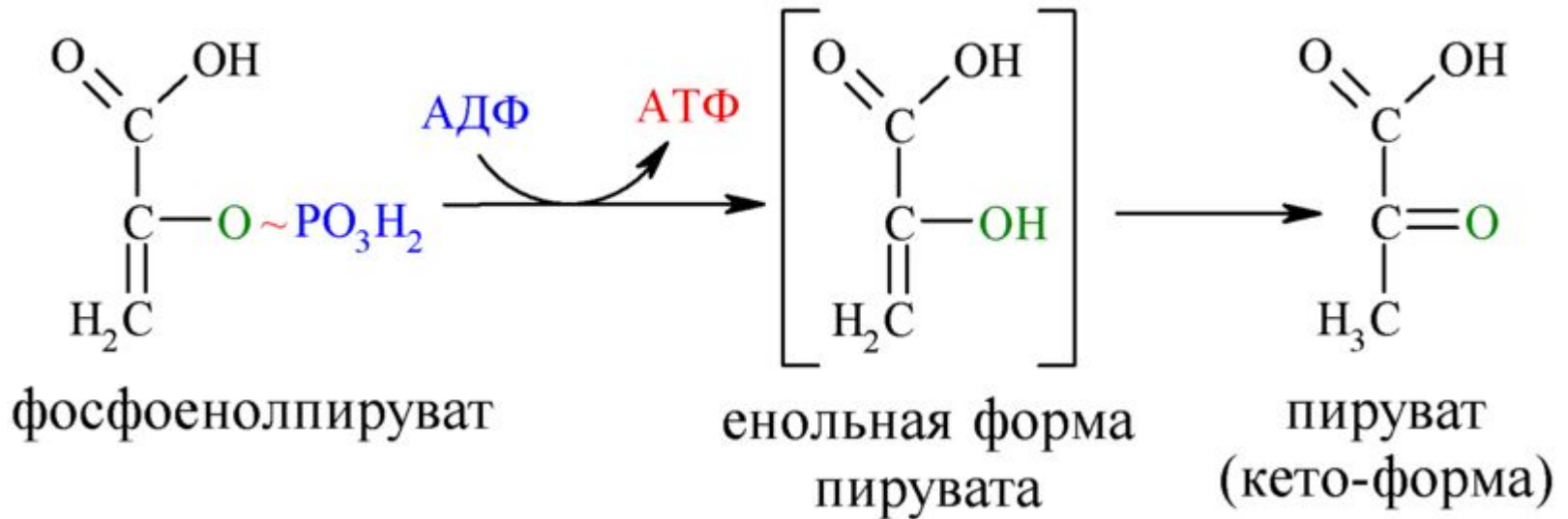
Стадии гликолиза



2-фосфоглицерат

фосфоенолпируват

Стадии гликолиза



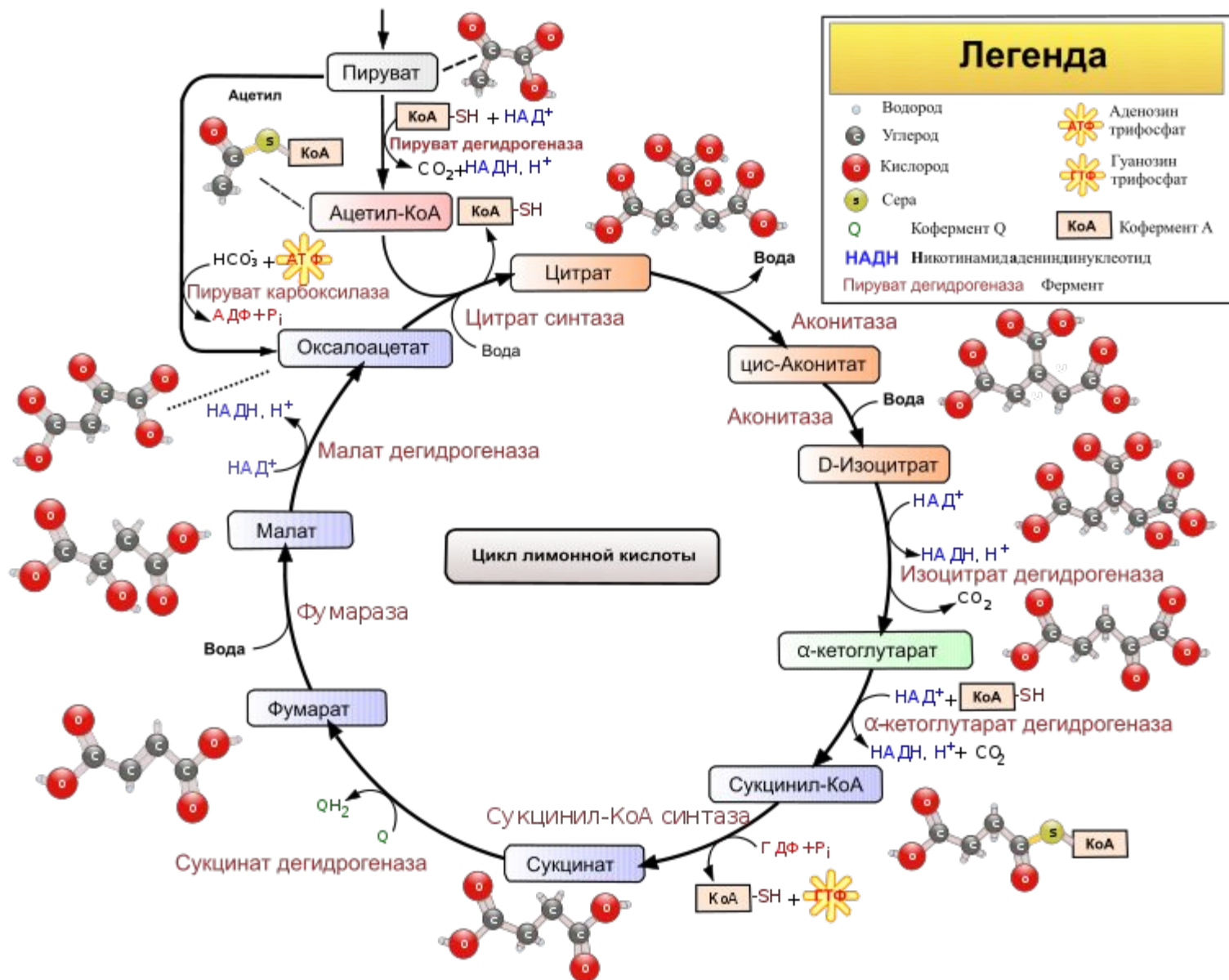
II. Образование Ацетил-КоА

- Углеводы, жирные кислоты и аминокислоты окисляются через цикл Кребса до CO_2 и H_2O .
- превращаются в 2С фрагмент в форме ацетил-КоА
- Ацетил-КоА образуется в специфических реакциях катаболизма жирных кислот и некоторых аминокислот, в основном из пировиноградной кислоты

Образование Ацетил-КоА

Окислительное декарбоксилирование пирувата

- Пируват (3С) - пируватдегидрогеназный комплекс (3 фермента) - CO_2 и ацетальдегид (2С)
- Ацетальдегид и кофермент А образует Ацетил-КоА.
- При этом НАД восстановлен до НАД·Н.
- Протекает в матриксе митохондрии



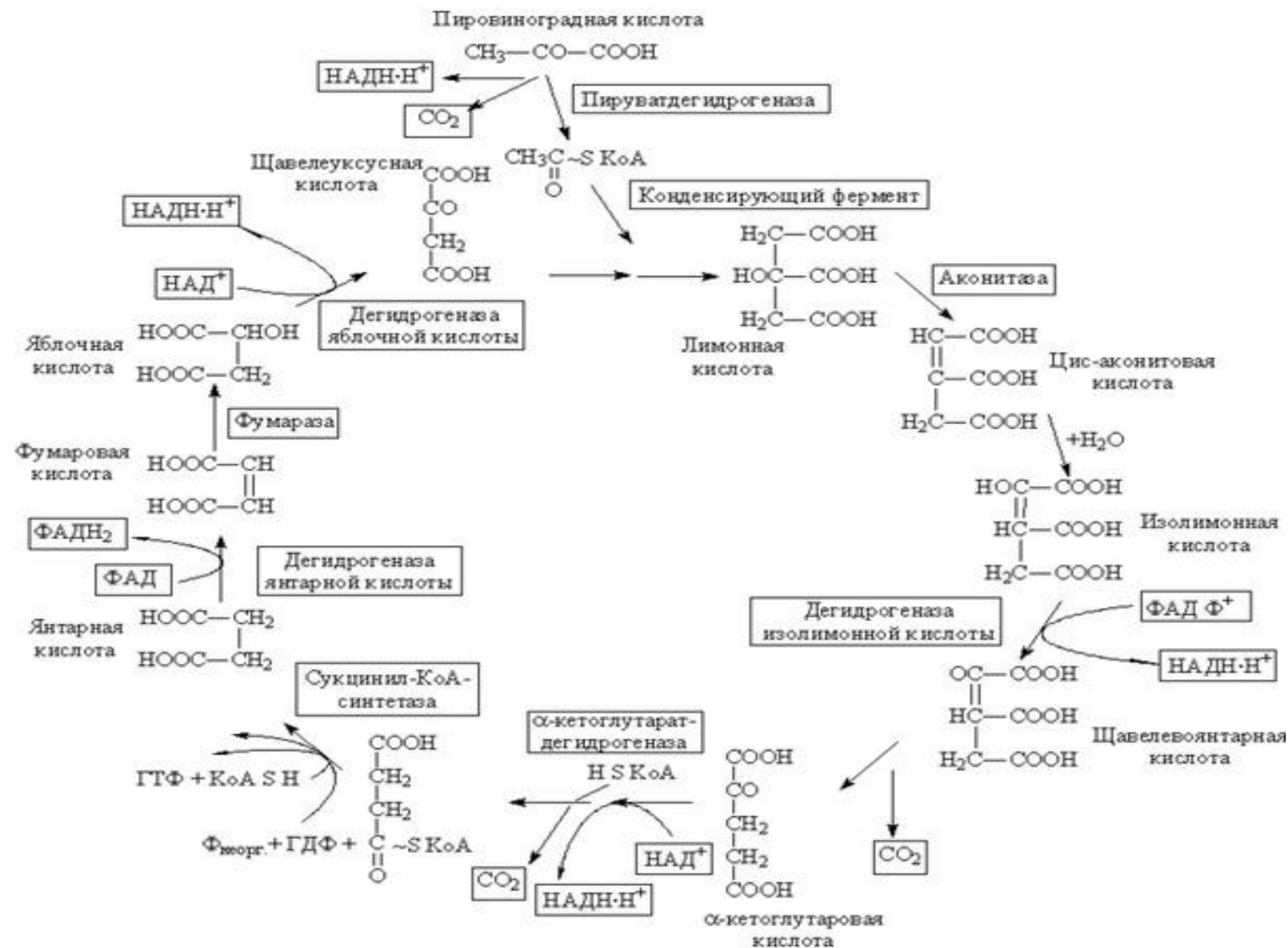
III. Цикл Кребса

- — это ключевой этап дыхания всех клеток, использующих кислород
- пересечение множества метаболических путей в организме
- важный источник молекул-предшественников, из которых в ходе других биохимических превращений синтезируются аминокислоты, углеводы, жирные кислоты и др.

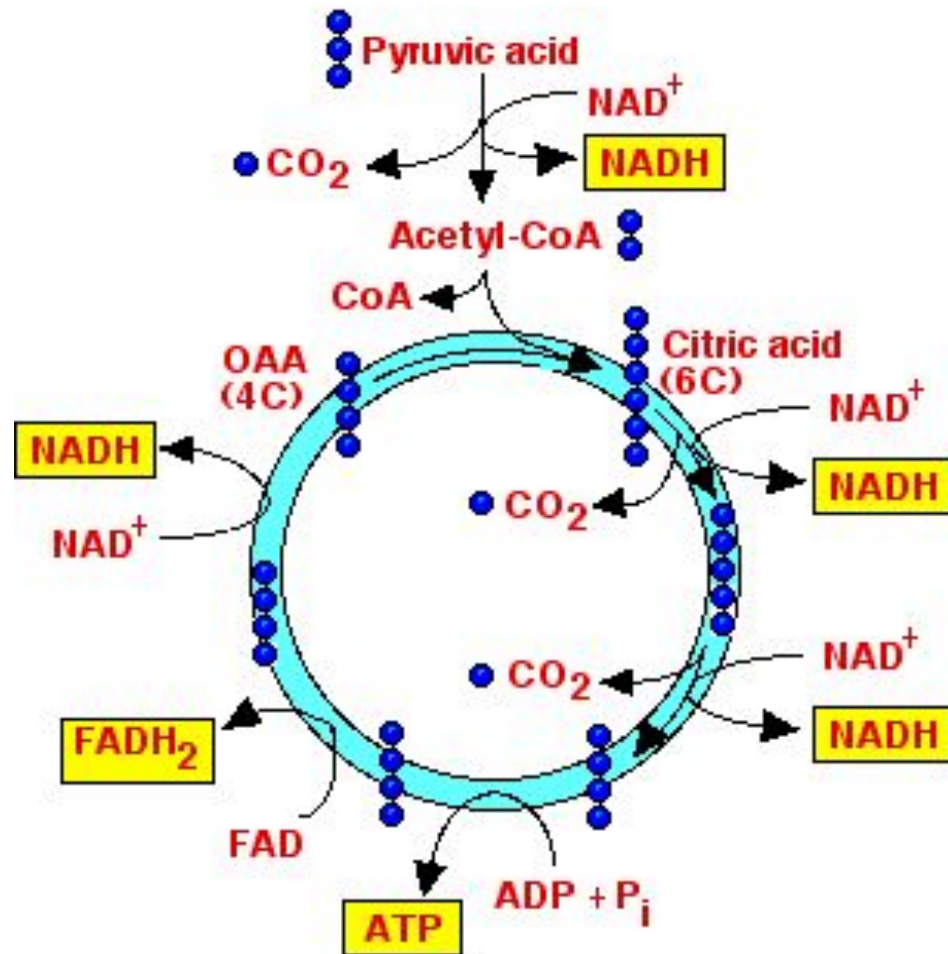
У эукариот

- все реакции цикла Кребса протекают внутри митохондрий
- ферменты - в свободном состоянии в митохондриальном матриксе,
- *сукцинатдегидрогеназа - на внутренней митохондриальной мембране*
- *В цикле Кребса окисляются также токсичные недоокисленные продукты распада алкоголя, поэтому стимуляцию цикла Кребса можно рассматривать как меру биохимической детоксикации.*

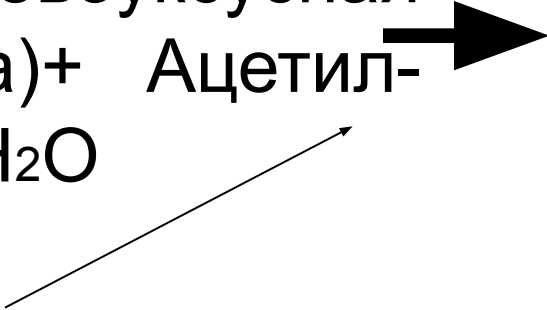




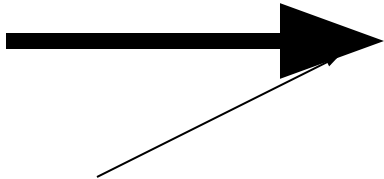
Krebs Cycle (Citric Acid Cycle)



1

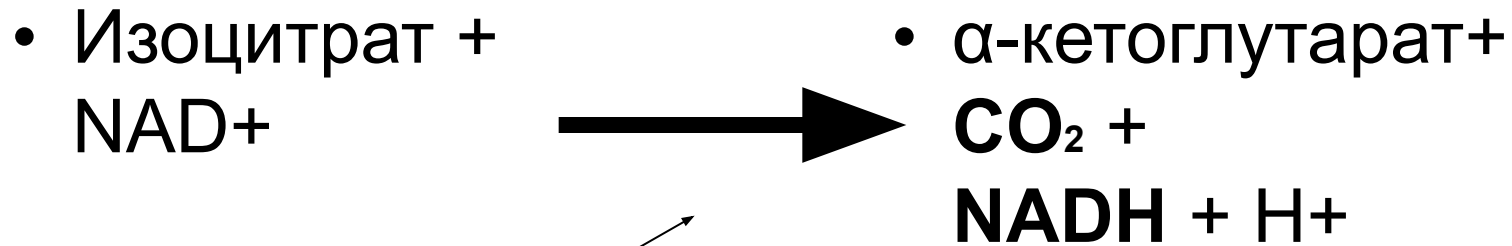
- Оксалоацетат (щавелевоуксусная кислота) + Ацетил-КоА + H₂O
 - Лимонная кислота + КоА
- Цитратсинтетаза
- 4C + 2C - 6C
- 

2

- Цитрат (лимонная кислота)
- 
- Изоцитрат (Изолимонная кислота)
- аконитаза

- 6C – 6C

3



• Изоцитратдегидрогеназа декарбоксилирующая

• 6C – 5C

4

- α -кетоглутарат +
NAD⁺ +
CoA



- сукцинил-КоА +
(янтарная к-та) +
NADH + H⁺ +
CO₂

- α -кетоглутарат-
дегидрогеназа

- 5C – 4C

5

- сукцинил-КоА



- сукцинат +
КоА +

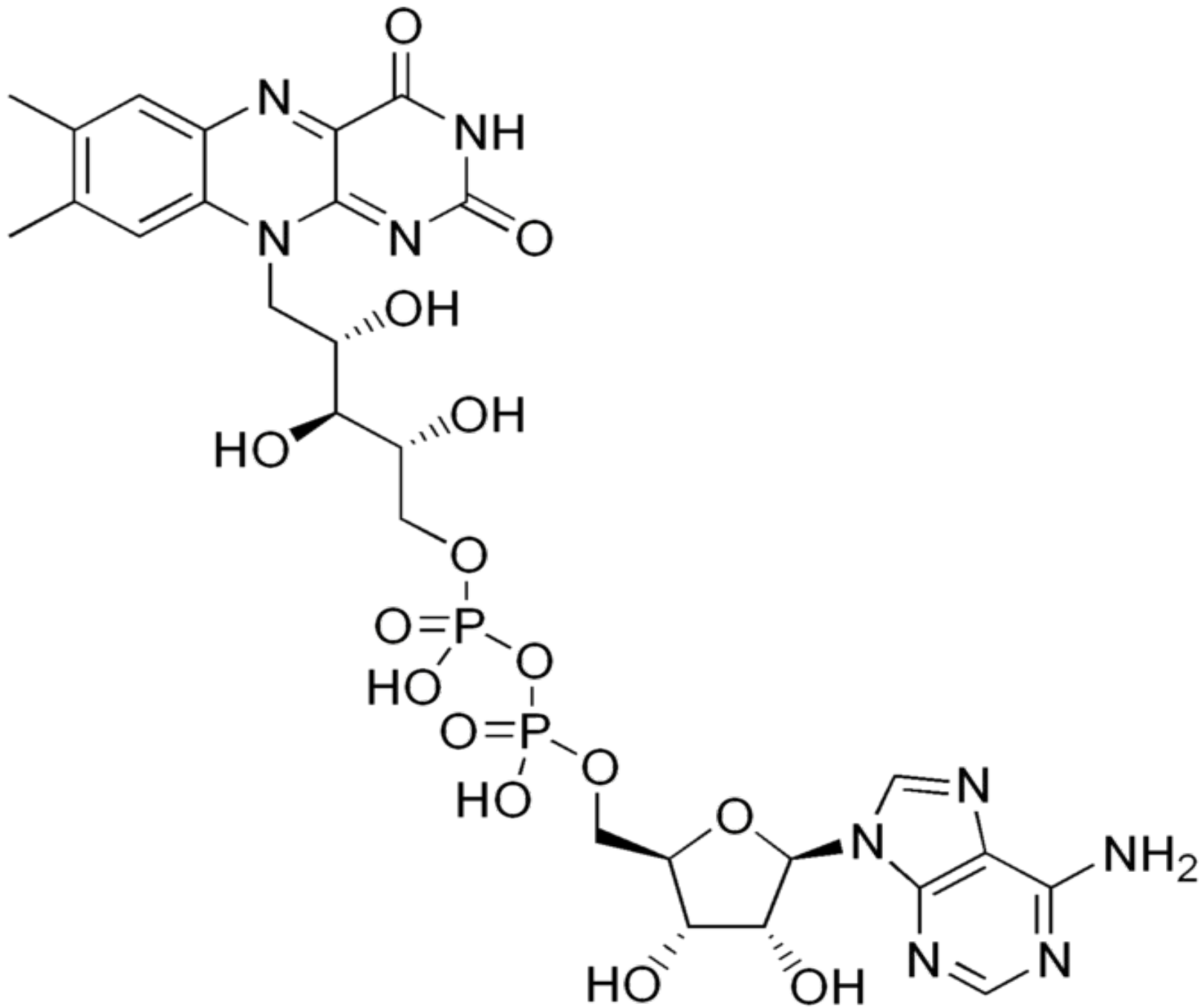
АТФ – субстратное
фосфорилирование

- сукцинилкофермент
А синтетаза

- 4С – 4С

6

- Сукцинат + FAD
- Фумарат + FAD*H₂
- Сукцинатдегидрогеназа



7

- фумарат +
H₂O



- Яблочная к-та



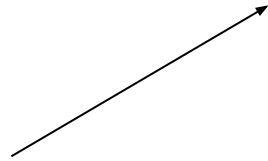
- фумараза

8

- Яблочная к-та + NAD^+



- Оксалоацетат
(щавелевоуксусная
к-та) +
 $\text{NADH} + \text{H}^+$



- Дегидрогеназа
яблочной кислоты

Запомнить

- ***Целый Ананас И Кусочек Суфле
Сегодня Фактически Мой Обед, что
соответствует ряду — цитрат,
(цис-)аконитат, изоцитрат, (альфа-)
кетоглутарат, сукцинил-СоА,
сукцинат, фумарат, малат,
оксалоацетат.***

Регуляция

- Цикл Кребса регулируется «по механизму отрицательной обратной связи»
- при наличии большого количества субстратов (ацетил-КоА, оксалоацетат), цикл активно работает, а при избытке продуктов реакции (НАДН, АТФ) тормозится.
- при помощи гормонов, основным источником ацетил-КоА является глюкоза
- способствуют работе цикла Кребса гормоны инсулин и адреналин
- глюкагон стимулирует синтез гликогена и ингибирует реакции цикла Кребса.

Функции

- **Интегративная функция** — связующее звено между реакциями анаболизма и катаболизма.
- **Катаболическая функция** — превращение различных веществ в субстраты цикла:
 - *Жирные кислоты, пируват, Лей, Фен — Ацетил-КоА.*
 - *Арг, Гис, Глу — α -кетоглутарат.*
 - *Фен, Тир — фумарат.*

Функции

- **Анаболическая функция** — использование субстратов цикла на синтез органических веществ:
 - *Оксалацетат* — глюкоза, Асп, Асн.
 - *Сукцинил-КоА* — синтез гема.
 - CO_2 — реакции карбоксилирования.
- **Водорододonorная функция** — цикл Кребса поставляет на дыхательную цепь митохондрий протоны в виде трех НАДН*Н⁺ и одного ФАД*Н₂.
- **Энергетическая функция** — 34 АТФ

Итог

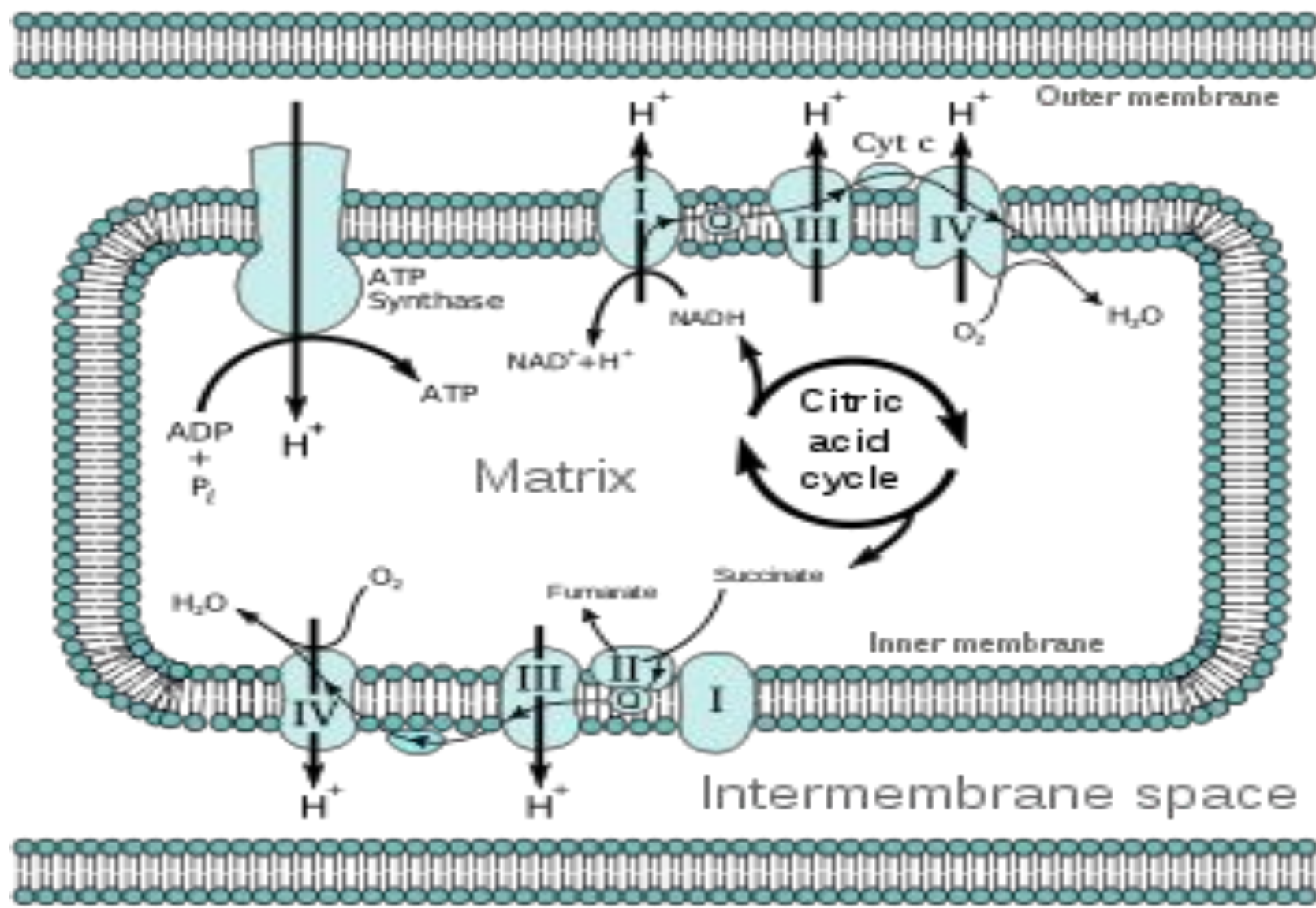
- В процессе ферментативного окисления орг. в-в освобождается энергия (аэробный гликолиз, обр. Ац-СоА)
- электроны и протоны переходят от органических субстратов на коферменты NAD- и FAD-зависимых дегидрогеназ (аэробный гликолиз, цикл Кребса)

IV. Дыхательная цепь

- Электроны - обладают высоким энергетическим потенциалом - NAD^*H и FAD^*H_2
- Электроны от восстановленных коферментов
- Передаются на кислород
- через цепь ферментов - переносчиков
- переносчики локализованы во внутренней мембране митохондрий

Дыхательная цепь

- цепь переноса электронов (ЦПЭ) - дыхательная цепь.
- Восстановление молекулы O_2 происходит в результате переноса 4 электронов. При каждом присоединении к кислороду 2 электронов, поступающих к нему по цепи переносчиков, из матрикса поглощаются 2 протона, в результате чего образуется молекула H_2O .
- Окисление органических веществ в клетках - потребление кислорода и синтез воды



Дыхательная цепь

- Электроны, поступающие в ЦПЭ, по мере их продвижения от одного переносчика к другому теряют свободную энергию.
- Часть энергии запасается в форме АТФ
- Часть энергии рассеивается в виде тепла.

Процессы перераспределения свободной энергии

- перенос электронов от восстановленных коферментов НАД*Н и ФАД*Н₂ через ЦПЭ на кислород -
- $\text{НАД}^*\text{Н} + \text{Н}^+ + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{НАД}^+ + \text{H}_2\text{O} + 52 \text{ ккал/моль} (\approx 220 \text{ кДж/моль})$.

- фосфорилирование АДФ, или синтез АТФ
- $\text{АДФ} + \text{H}_3\text{PO}_4 + 7,3 \text{ ккал/моль (30,5 кДж/моль)} = \text{АТФ} + \text{H}_2\text{O}.$

ЦПЭ

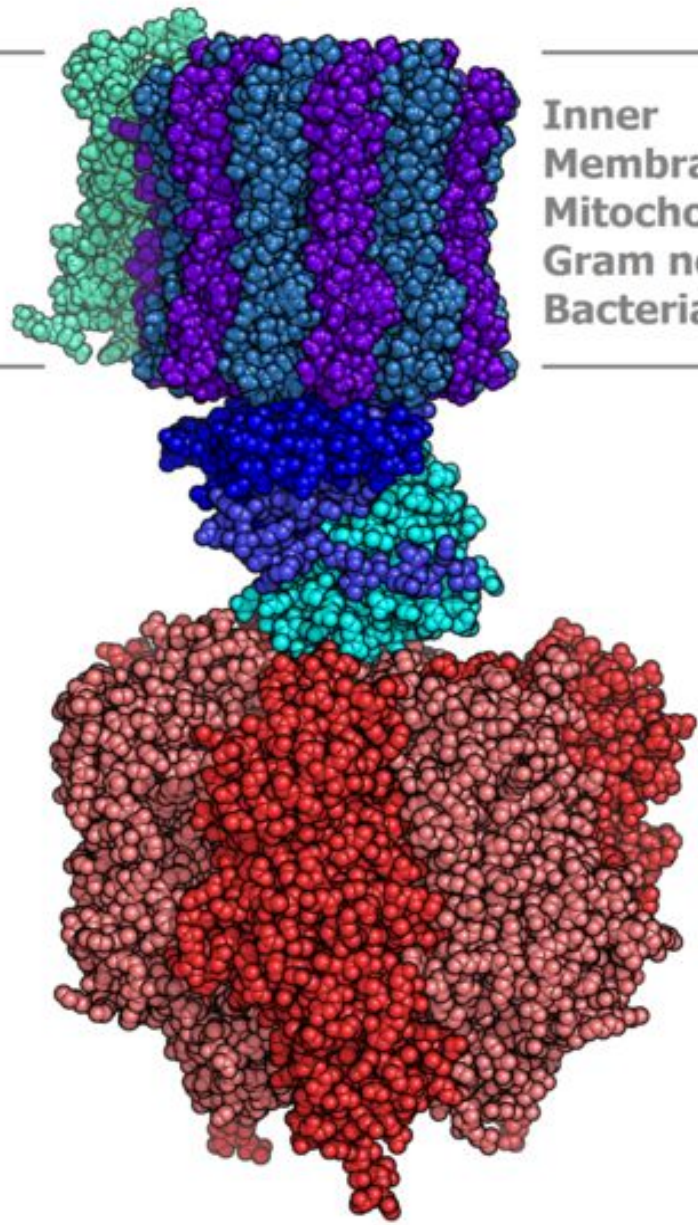
- ЦПЭ – ферментный комплекс, окисляющий НАД*Н и ФАД*Н₂ и использует энергию окисления (передачи электронов) для выкачивания протонов в межмембранный матрикс.
- *Комплекс I (НАД*Н дегидрогеназа) окисляет НАД*Н, отбирая у него два электрона и перенося их на растворимый в липидах убихинон, который внутри мембраны диффундирует к комплексу III. Вместе с этим, комплекс I перекачивает 4 протона из матрикса в межмембранное пространство митохондрии.*
- *Комплекс II (Сукцинат дегидрогеназа) не перекачивает протоны, но обеспечивает вход в цепь дополнительных электронов за счёт окисления сукцината.*

ЦПЭ

- *Комплекс III (Цитохром bc₁ комплекс) переносит электроны с убихинола на два водорастворимых цитохрома c, расположенных на внутренней мембране митохондрии. Убихинол передаёт 2 электрона, а цитохромы за один цикл переносят по одному электрону. При этом туда также переходят 2 протона убихинола и перекачиваются комплексом.*
- *Комплекс IV (Цитохром C оксидаза) катализирует перенос 4 электронов с 4 молекул цитохрома на O₂ и перекачивает при этом 4 протона в межмембранное пространство. Комплекс состоит из цитохромов a и a₃, которые, помимо гема, содержат ионы меди.*

Окислительное фосфорилирование

- Процесс окислительного фосфорилирования осуществляется пятым комплексом дыхательной цепи митохондрий — протонной АТФ-синтазой
- Поток протонов проходит через каналы АТФ-синтазы, энергия его тратится на синтез АТФ



**Inner
Membrane of
Mitochondria/
Gram negative
Bacteria**

Полифенолазы и пероксидазы в энергетическом обмене

- Полифенолазы и пероксидазы катализируют окисление фенольных соединений. В присутствии этих ферментов различные фенолы окисляются в дифенолы, полифенолы и хиноны. Биохимическое значение этих ферментов в том, что они могут включаться в биологические системы в качестве переносчиков водорода и, таким образом, принимать участие в процессах окисления различных субстратов. Фермент подобного типа, например аскорбат—оксидаза, катализирует окисление аскорбиновой кислоты в присутствии кислорода, где участие фенольных соединений как раз оказывает влияние на ход окисления

- Пероксидаза — фермент, катализирующий окисление полифенолов и некоторых ароматических аминов при помощи кислорода, перекиси водорода или органических перекисей. Пероксидаза образует с перекисью водорода комплексное соединение, в результате чего перекись активируется и приобретает способность действовать как акцептор водорода

- Полифенолоксидаза и пероксидаза являются конечными оксидазами и характеризуют интенсивность заключительной фазы дыхания. Согласно имеющимся представлениям, оксидазная фаза дыхания включает в себя акт соединения водорода с молекулярным кислородом. Под влиянием различных факторов воздействия, в том числе различных элементов минерального питания, наблюдаются изменения данной фазы дыхания. Активирование оксидазной фазы дыхания влечет за собой быстрое и необратимое окисление дыхательных хромогенов-полифенолов и резкие нарушения нормальной жизнедеятельности тканей.

- пероксидаза — чувствительный индикатор, регистрирующий изменения в газообмене, и может быть использована для экспресс-диагностики отравления рыб

Слынько Ю. В. Распределение генотипов локуса пероксидазы сердечной мышцы у леща двух нерестовых групп

- Изучение леща в пределах его ареала позволило нам ранее выявить полиморфный локус пероксидазы сердечной мышцы и установить клинальный характер распределения частот аллелей по широте и их независимость от пола и возраста [5]. В дальнейшем в ходе направленных индивидуальных скрещиваний была подтверждена справедливость гипотезы ген-аллельной детерминации и в ряде экспериментов — селективная значимость аллелей и генотипов данного локуса