МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Оренбургский государственный университет»

Автор: О.П. Кушнарева

Аэробное дыхание
Цикл Кребса

План:

1. Общая характеристика процесса дыхания.
2. Виды брожения.
3. Окислительное декарбоксилирование ПВК.
4. Цикл Кребса – сущность, регуляция, значение.

Дыхание

Окислительно-восстановительный процесс расщепления (ассимиляции) сложных органических соединений (углеводов, липидов) с выделением энергии. При окислении высвобождается та энергия, которая была аккумулирована растениями в процессе фотосинтеза.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 2780 \text{ кДж}$$

- ***Дыхательный коэффициент*** – это отношение объема выделенного углекислого газа к объему поглощенного кислорода. Его величина позволяет судить о природе субстрата дыхания.

1) Субстрат дыхания углеводы - ДК = 1

$$ДК = \frac{V(CO_2)}{V(O_2)} = \frac{6}{6} = 1$$

2) Субстрат дыхания жиры – ДК < 1

$$C_{18}H_{36}O_2 + 26O_2 \rightarrow 18CO_2 + 18\ H_2O$$

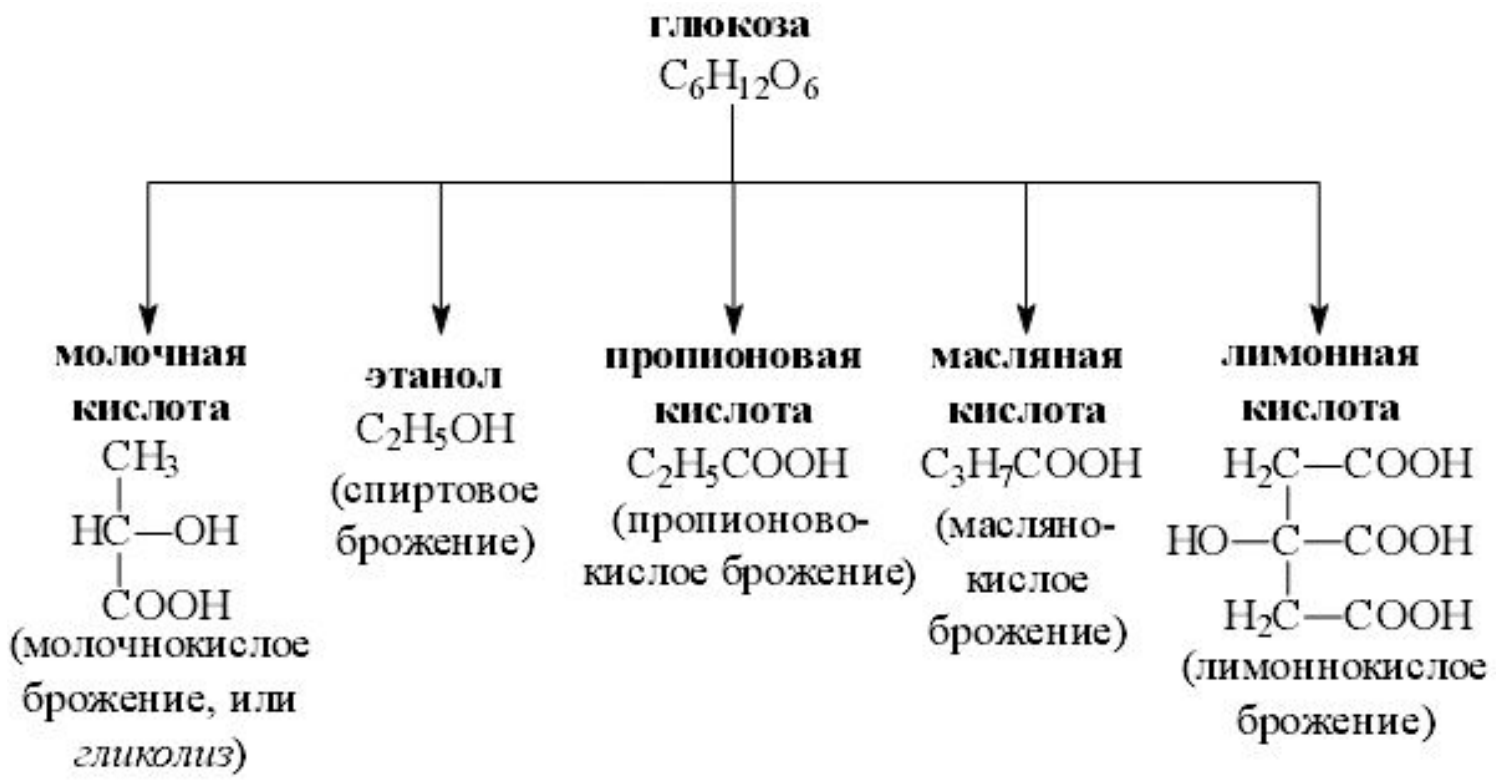
$$ДК = \frac{V(CO_2)}{V(O_2)} = \frac{18}{26} = 0{,}69$$

3) Субстрат дыхания – органические кислоты – ДК >1

$$2C_2H_2O_4 + O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2H_2O$$

$$ДК = \frac{V(CO_2)}{V(O_2)} = \frac{4}{1} = 4$$

Брожение - ферментативный энергообразующий окислительно-восстановительный процесс, протекающий без участия молекулярного кислорода. Возбудителями брожения являются микроорганизмы.



Спиртовое брожение

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 23{,}5 \cdot 10^4\ дж$$

глюкоза — этиловый спирт — углекислота — энергия

Возбудители – дрожжи. Процесс спиртового брожения лежит в основе виноделия, пивоварения, хлебопечения, производства этилового спирта и глицерина. Совместно с молочно-кислым брожением оно используется при получении некоторых кисло-молочных продуктов (кумыса, кефира).

Молочнокислое брожение

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CH_3-CHOH-COOH$$

молочная кислота

Типы молочнокислого брожения:

1. Гомоферментативное - в процессе молочнокислого брожения образуется только молочная кислота.

2. Гетероферментативное – в процессе молочнокислого брожения наряду с молочной кислотой образуются еще и другие продукты (уксусная кислота, этиловый спирт, углекислый газ и др.).

Возбудители – молочнокислые бактерии.

Используют в производстве кисломолочных продуктов, квашении капусты, силосовании кормов.

Пропионовокислое брожение – используют при производстве сыров. Возбудители пропионовокислые бактерии .

$$3C_6H_{12}O_6 \rightarrow 4CH_3{-}CH_2{-}COOH + 2CH_3{-}COOH + 2CO_2 + 2H_2O$$

глюкоза — пропионовая кислота — уксусная кислота

Маслянокислое брожение – не имеет практического применения. Возбудители – маслянокислые бактерии.

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3 \cdot CH_2 \cdot COOH + 2CO_2 + 2H_2$$

глюкоза — масляная кислота

Рассчитайте теоретический выход этанола при спиртовом брожении; выход лактата при гомоферментативном молочнокислом брожении, если в среде находилось 100 г глюкозы.

Ответ:

$m(C_2H_5OH) = 51,2$ г.

$m(C_3H_6O_3) = 100,8$ г.

АЭРОБНОЕ ОКИСЛЕНИЕ УГЛЕВОДОВ

Аэробное окисление глюкозы – это многостадийный процесс распада ее молекулы до конечных продуктов обмена до CO_2 и H_2O с образованием 38 молекул АТФ и выделением тепловой энергии.

Протекает оно при участии O_2, который доставляется в ткани с участием белка гемоглобина.

Этот процесс окисления углеводов – один из главных механизмов образования АТФ в тканях организма. Он включает такие основные стадии:

1. Гликолитический распад молекулы глюкозы до двух молекул пировиноградной кислоты (ПВК).

2. Превращение ПВК в ацетил-КоА.

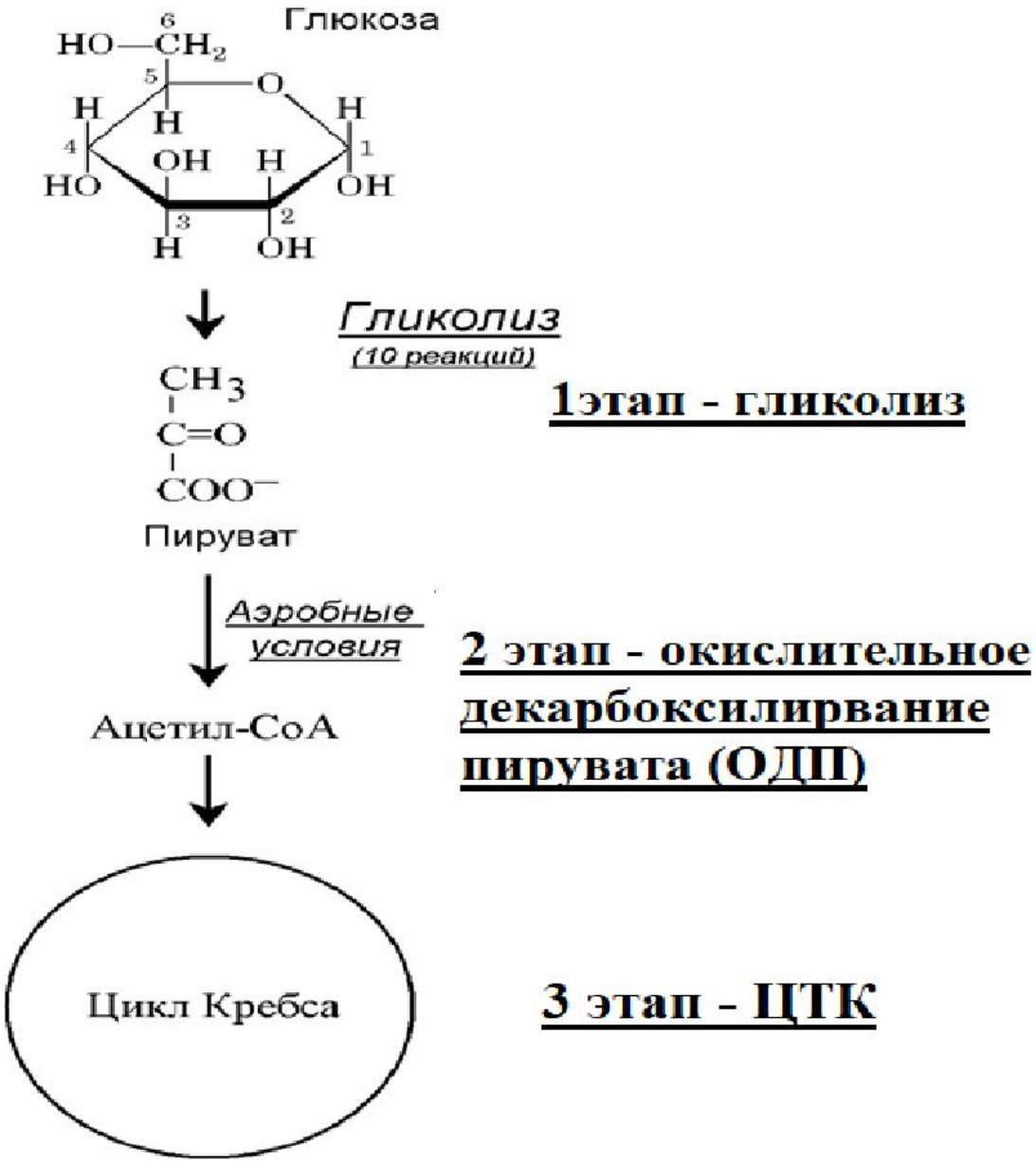
3. Окисление ацетил-КоА в цикле лимонной кислоты и на дыхательной цепи.

Процесс распада молекулы глюкозы до ПВК протекает одинаково в анаэробных и аэробных условиях.

Образовавшаяся в гликолитической стадии ПВК подвергается далее окислительному декарбокслированию, в результате чего образуются макроэргическое вещество ацетил-КоА, восстановленная форма $НАДН_2$ и одна молекула CO_2 .

Если в процессе гликолиза образовалась молочная кислота, то в аэробных условиях она превращается в ПВК. Превращения ПВК – окислительное декарбоксилирование.

Ацетил-КоА далее включается в цикл лимонной кислоты, где расщепляется до CO_2 и H_2O. Вода образуется на системе дыхательных ферментов при взаимодействии водорода, образовавшегося в реакциях биологического окисления, с атомарным кислородом вдыхаемого воздуха.


Глюкоза
Гликолиз
(10 реакций)
Пируват
Аэробные условия
Ацетил-СоА
Цикл Кребса
1этап - гликолиз
2 этап - окислительное декарбоксилирование пирувата (ОДП)
3 этап - ЦТК

Окислительное декарбоксилирование пирувата

Внутриклеточная локализация – МАТРИКС МИТОХОНДРИЙ

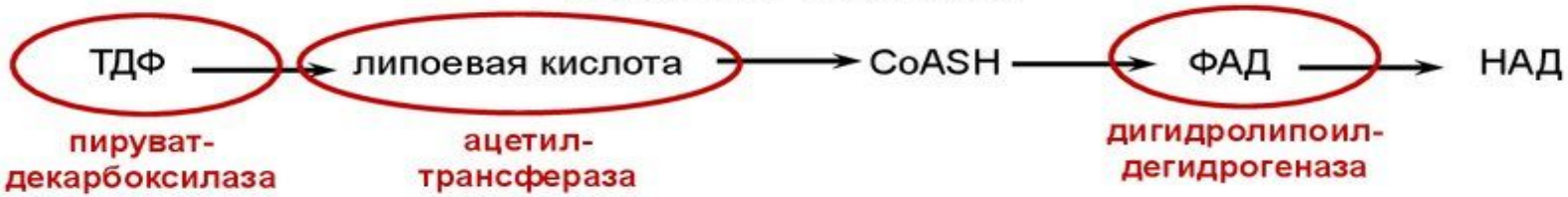
Работает сложноорганизованный комплекс ферментов и кофакторов – **ПИРУВАТДЕГИДРОГЕНАЗНЫЙ КОМПЛЕКС**

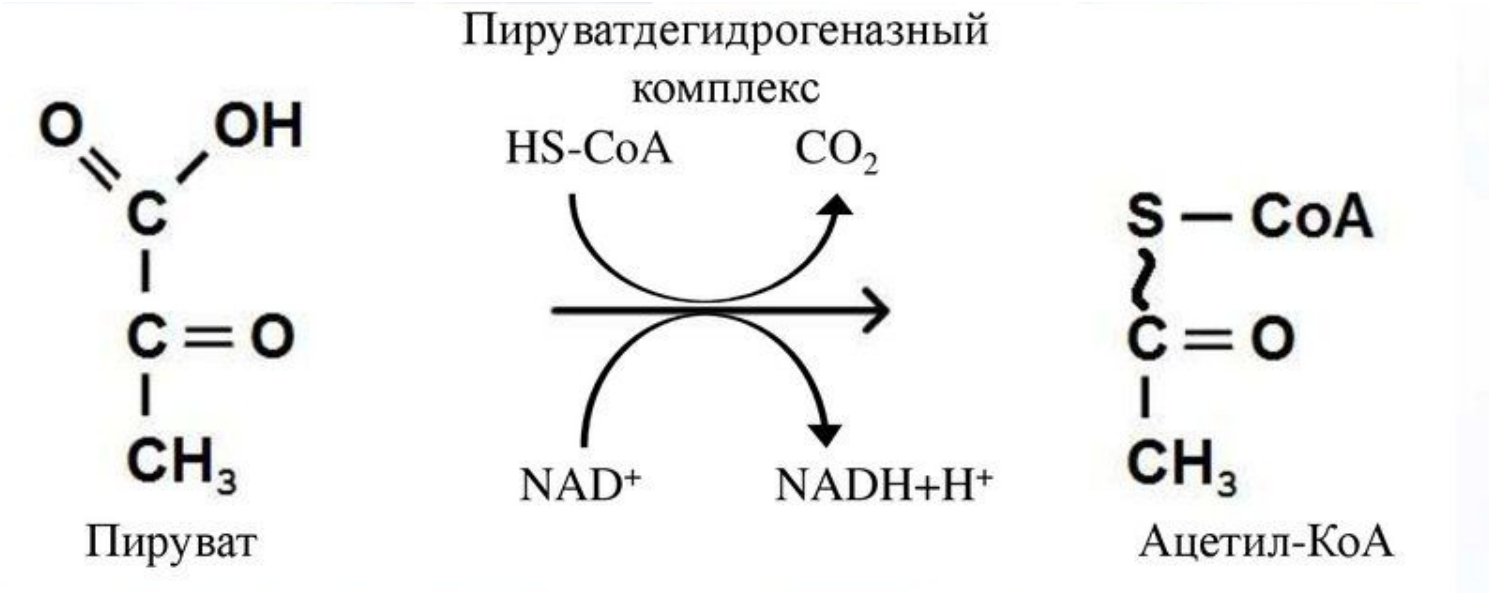
Пируватдегидрогеназный комплекс

Состав и функции компонентов пируватдегидрогеназного комплекса

Кофермент	Активной формой какого витамина является	Функция
ТДФ (тиаминдифосфат)	B_1	Декарбоксилирование пирувата
Амид липоевой кислоты	N	Перенос ацетильного остатка
CoASH	B_3	1. Акцептор ацетильного остатка 2. Донор атома водорода
НАД	PP (B_5)	Дегидрирование $ФАДН_2$
ФАД	B_2	Дегидрирование восстановленной формы липоевой кислоты

Порядок включения коферментов в реакцию и сформированные за счёт них устойчивые комплексы - ферменты:





Итоги ОДП:

- образование ацетил-КоА – важнейшего метаболита в клетке;
- образование 1 $НАДН_2$ (на 1 моль глюкозы – 2 $НАДН_2$), который поступает в ЭТЦ;
- окисление одного атома углерода до CO_2;
- обеспечивает вхождение ПВК в цикл Кребса.

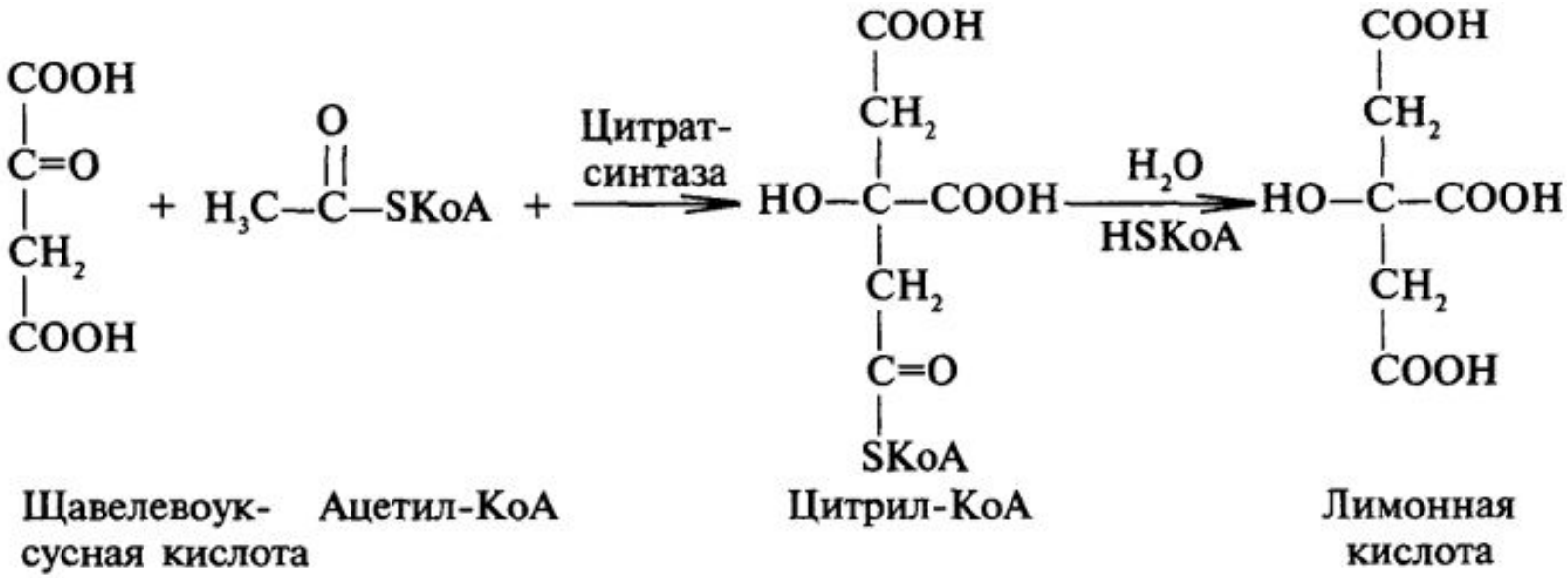
Цикл Кребса
(ЦТК, цикл лимонной кислоты)

Универсальный путь окисления органических веществ в отличие от гликолиза.
Протекает в матриксе митохондрий;
ферменты, за исключением одного, не связаны с мембранами.
Состоит из 8 реакций.

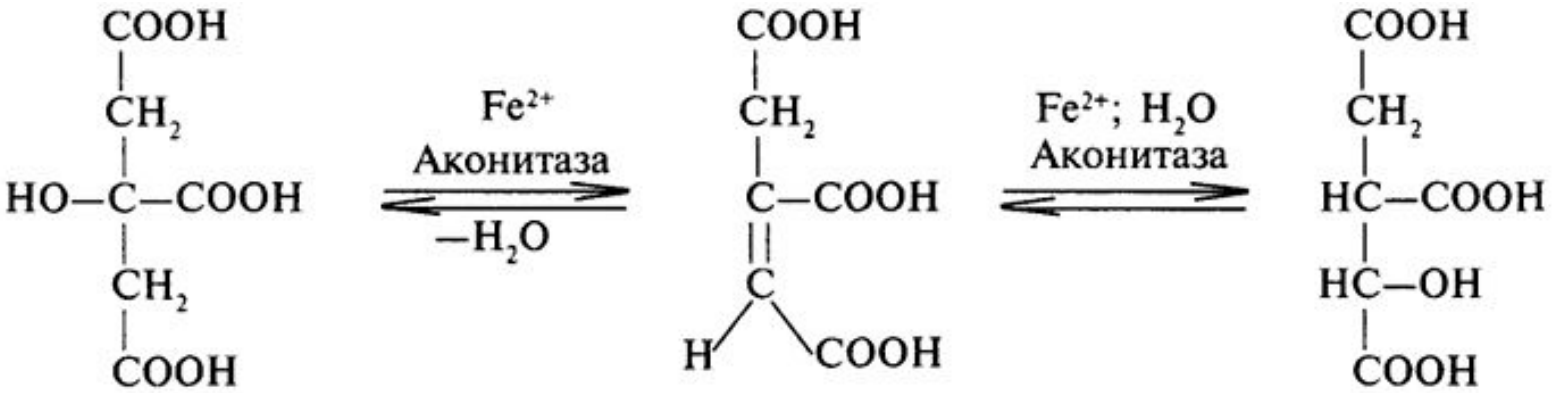
Синтез щавелево-уксусной кислоты

Карбоксилирование ПВК однократно происходит в митохондриях. Эта реакция не включается в цикл Кребса, это подготовительная, предварительная реакция. Далее ЩУК образуется по ходу цикла.

1. **Синтез лимонной кислоты** - конденсация ацетил-КоА и щавелевоуксусной кислоты с участием фермента цитратсинтазы митохондриального матрикса.



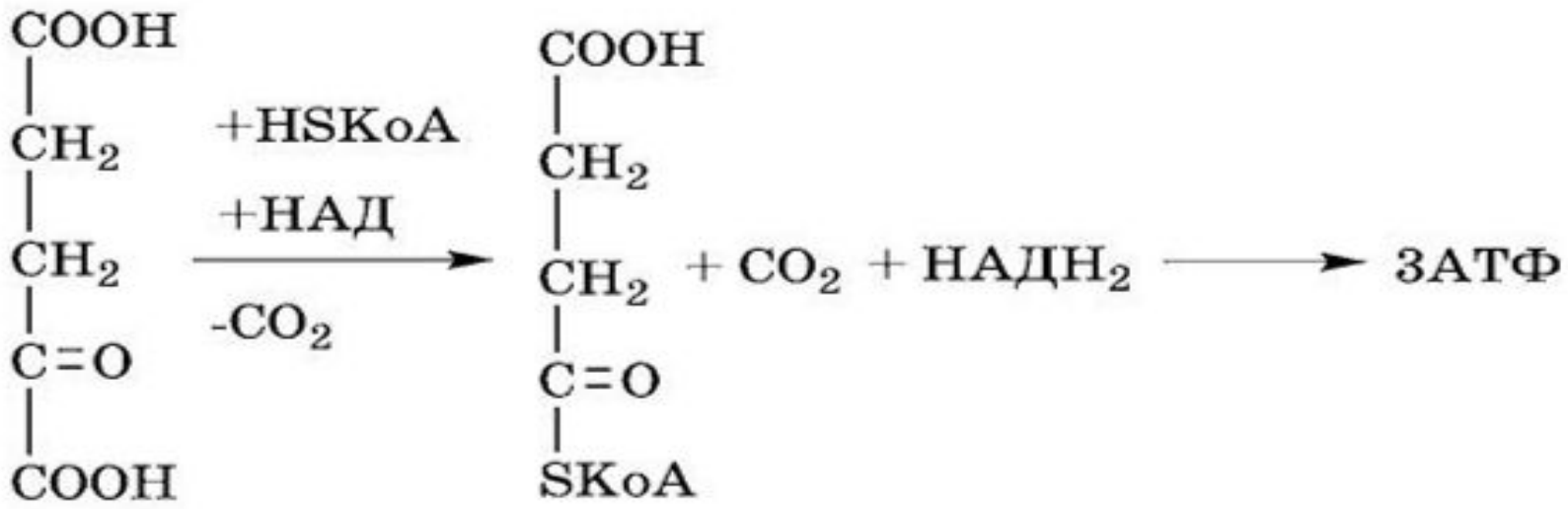
2. **Образование изолимонной кислоты** – проходит с участием аконитагидратазы через стадию образования цис-аконитовой кислоты.



3. **Окисление изолимонной кислоты** – с участием изоцитратдегидрогеназы образуется α-кетоглутаровая кислота, одновременно выделяется 1моль CO_2 и 1 $НАДН_2$

4. **Окислительное декарбоксилирование α-кетоглу-таровой кислоты**.

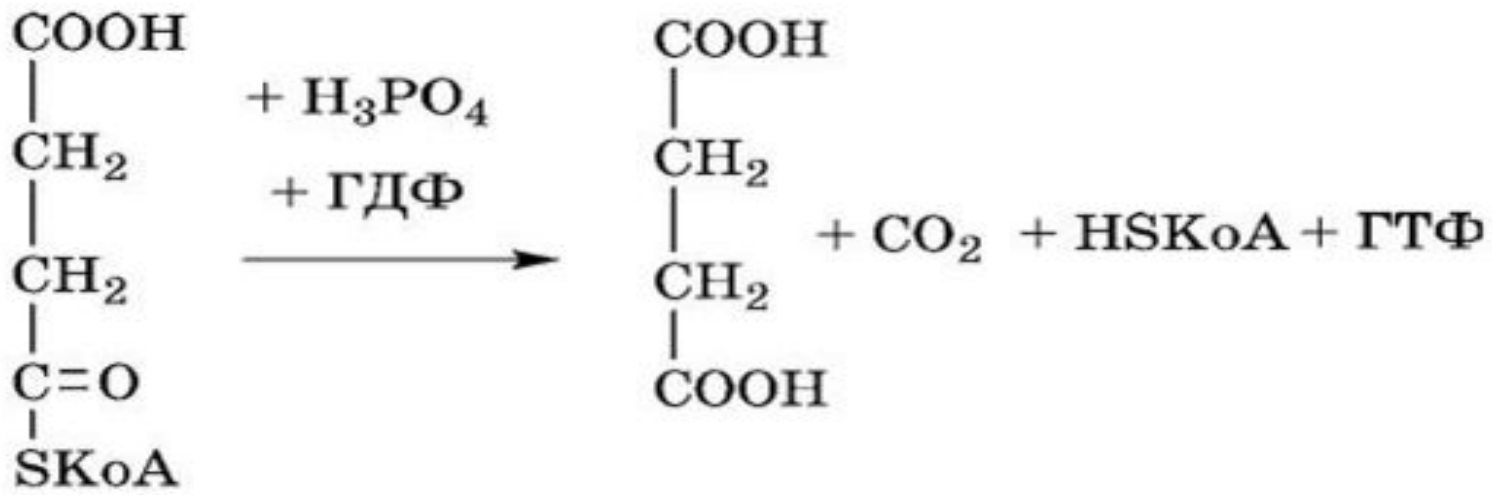
Комплекс α –кетоглутаратдегидрогеназа аналогичен по составу и действию пируватдегидрогеназному комплексу.



α-Кетоглутаровая кислота

Сукцинил-КоА

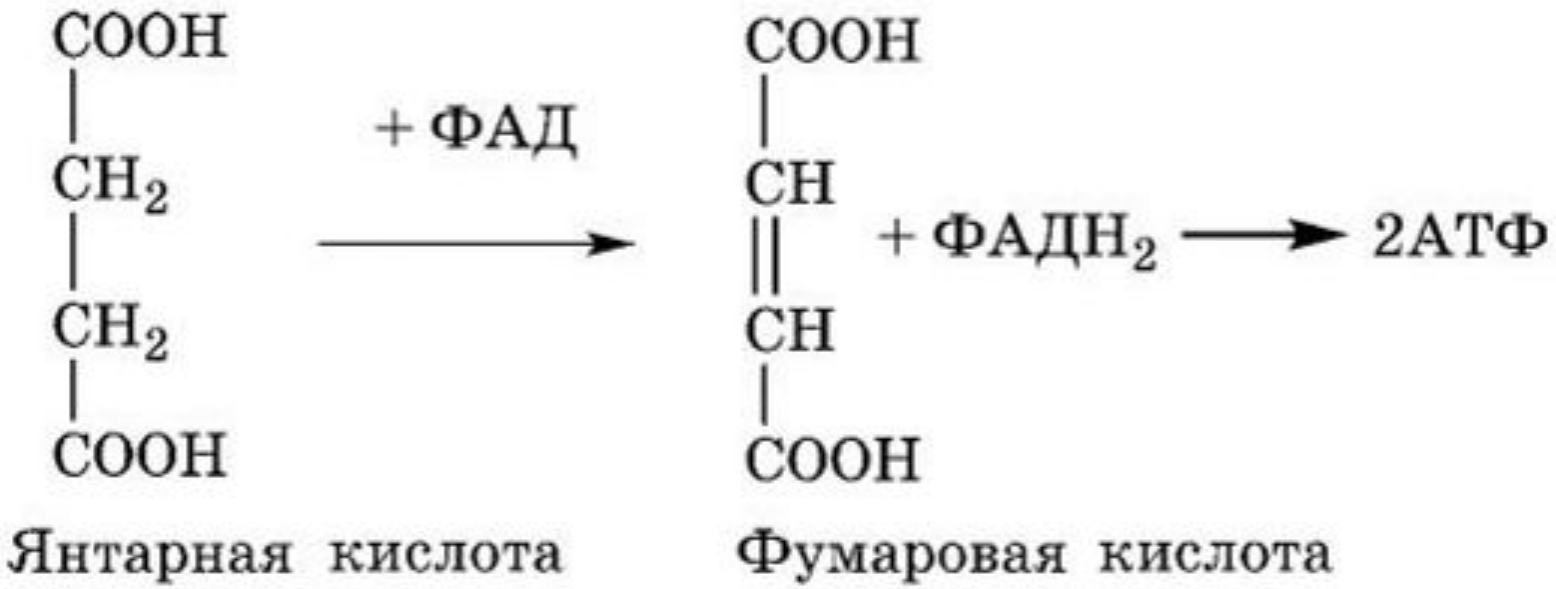
5. **Образование янтарной кислоты** - молекула сукцинил-КоА имеет макроэргическую связь, энергия которой сохраняется в форме ГТФ. Фермент сукцинил-КоА-синтетаза; ГТФ далее превращается в АТФ.



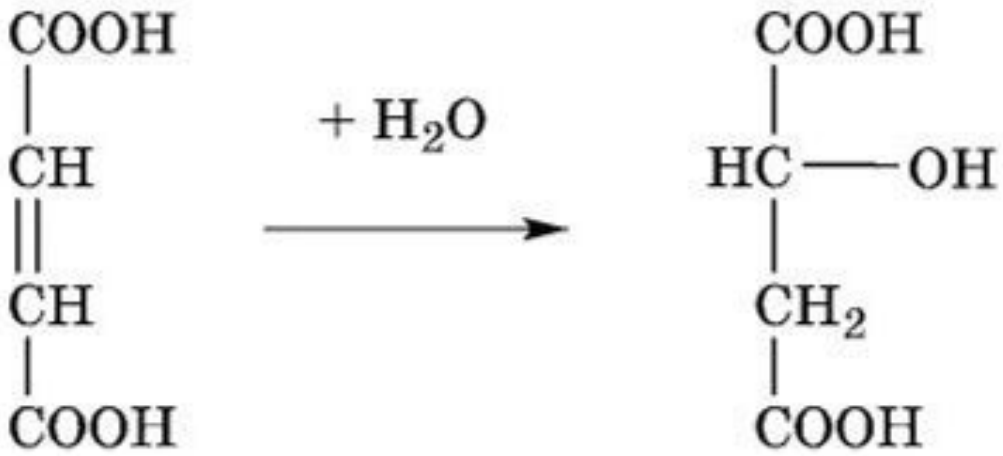
Сукцинил-КоА Янтарная кислота

ГТФ + АДФ →ГДФ + АТФ

6. **Образование фумаровой кислоты** – фермент сукцинатдегидрогеназа (ФАД-зависимый) окисляет янтарную кислоту.



7. **Гидратация фумаровой кислоты** происходит при участии фумаратгидратазы; образуется яблочная кислота (малат).



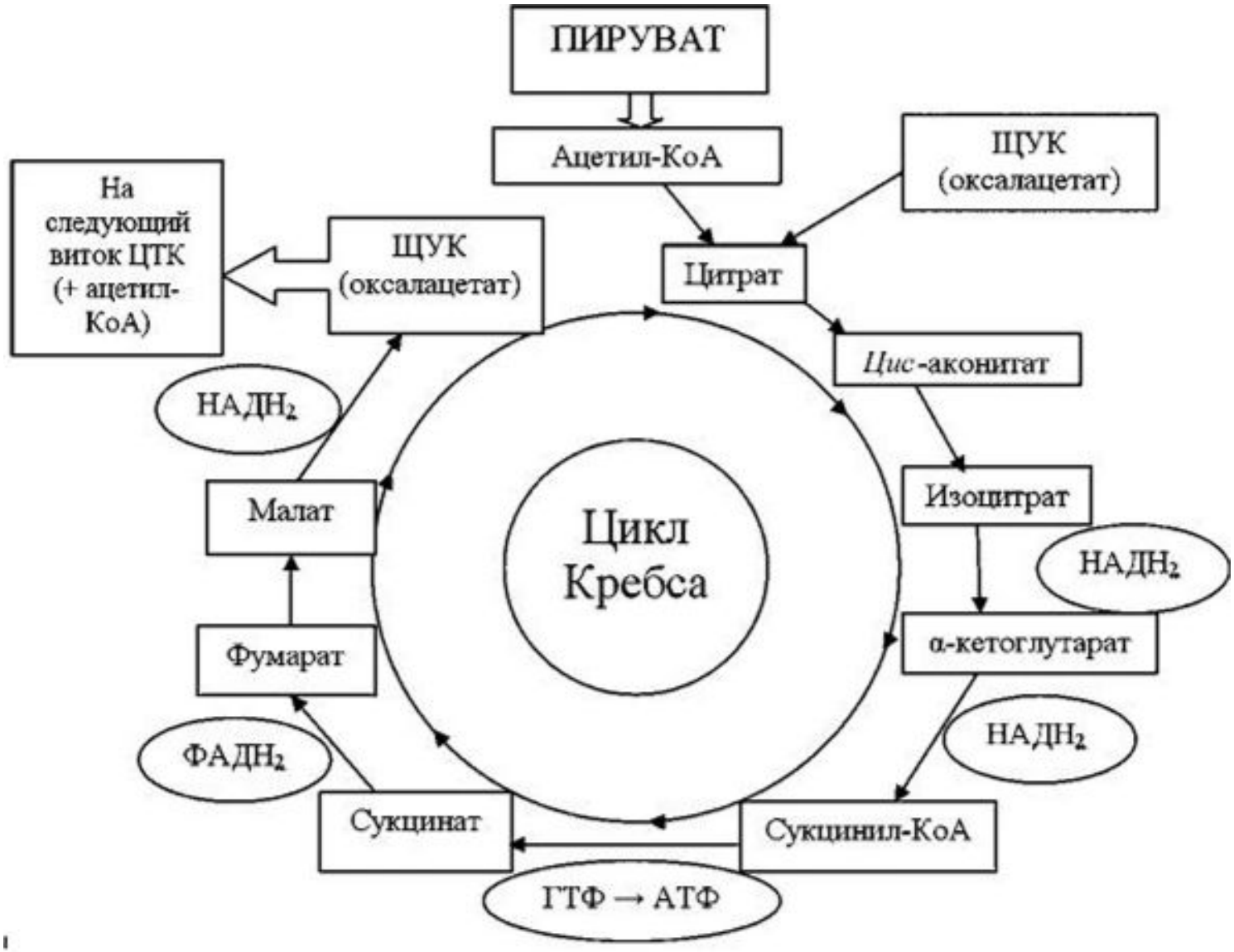
Фумаровая кислота Яблочная кислота

8. **Окисление яблочной кислоты** ферментом малатдегидрогеназой (НАД-зависимый) до ЩУК (оксалоацетат).

Суммарное уравнение подводящее итоги работы цикла:

$CH_3CO\text{-}S\text{-}KoA + 2H_2O + 3НАД + ФАД + ГДФ + Pi \rightarrow 2CO_2 + 3НАДН + ФАДН_2 + KoA\text{-}SH + ГТФ.$

Реакции в цикле протекают только в одном направлении, так как величина свободной энергии в суммарном итоге отрицательная (G' = -40 кДж·моль).



Цикл трикарбоновых кислот в виде схемы

Ацетил-КоА
Оксалоацетат
Цитрат
НАДН₂
НАД⁺
Малат
Ізоцитрат
НАД⁺
НАДН₂
CO₂
Фумарат
α-Кетоглутарат
ФАДН₂
ФАД⁺
НАД⁺
НАДН₂
CO₂
Сукцинат
Сукциніл-КоА
ГДФ
ГТФ
ЩУКа съела ацетат, получается цитрат
через цисаконитат будет он изоцитрат
водороды отдав НАД, он теряет CO2
этому безмерно рад альфа-кетоглутарат
окисление грядет — НАД похитил водород
ТДФ, коэнзимА забирают CO2
а энергия едва в сукциниле появилась
сразу АТФ родилась и остался сукцинат
вот добрался он до ФАДа — водороды тому
надо
фумарат воды напился, и в малат он
превратился
тут к малату НАД пришел, водороды
приобрел
ЩУКа снова объявилась и тихонько затаилась

Энергетика цикла Кребса

3, 4, 8 реакции	3 $НАДН_2$
6 реакция	1 $ФАДН_2$
5 реакция	1 АТФ

1 $НАДН_2$ = 3 АТФ $3 \cdot 3 = 9$ АТФ

1 $ФАДН_2$ = 2 АТФ $2 \cdot 1 = 2$ АТФ

итого: $9 + 2 + 1 = 12$ АТФ,

Т.к. из глюкозы получилось два остатка ацетил-КоА, полученное количество АТФ удваиваем:

$2 \cdot 12 = 24$ АТФ

– это результат окисления 2 молекул ацетил-Ко-А.

Все этапы аэробного окисления углеводов:

Гликолиз – 8 АТФ

ОДП – 6 АТФ

ЦТК – 24 АТФ

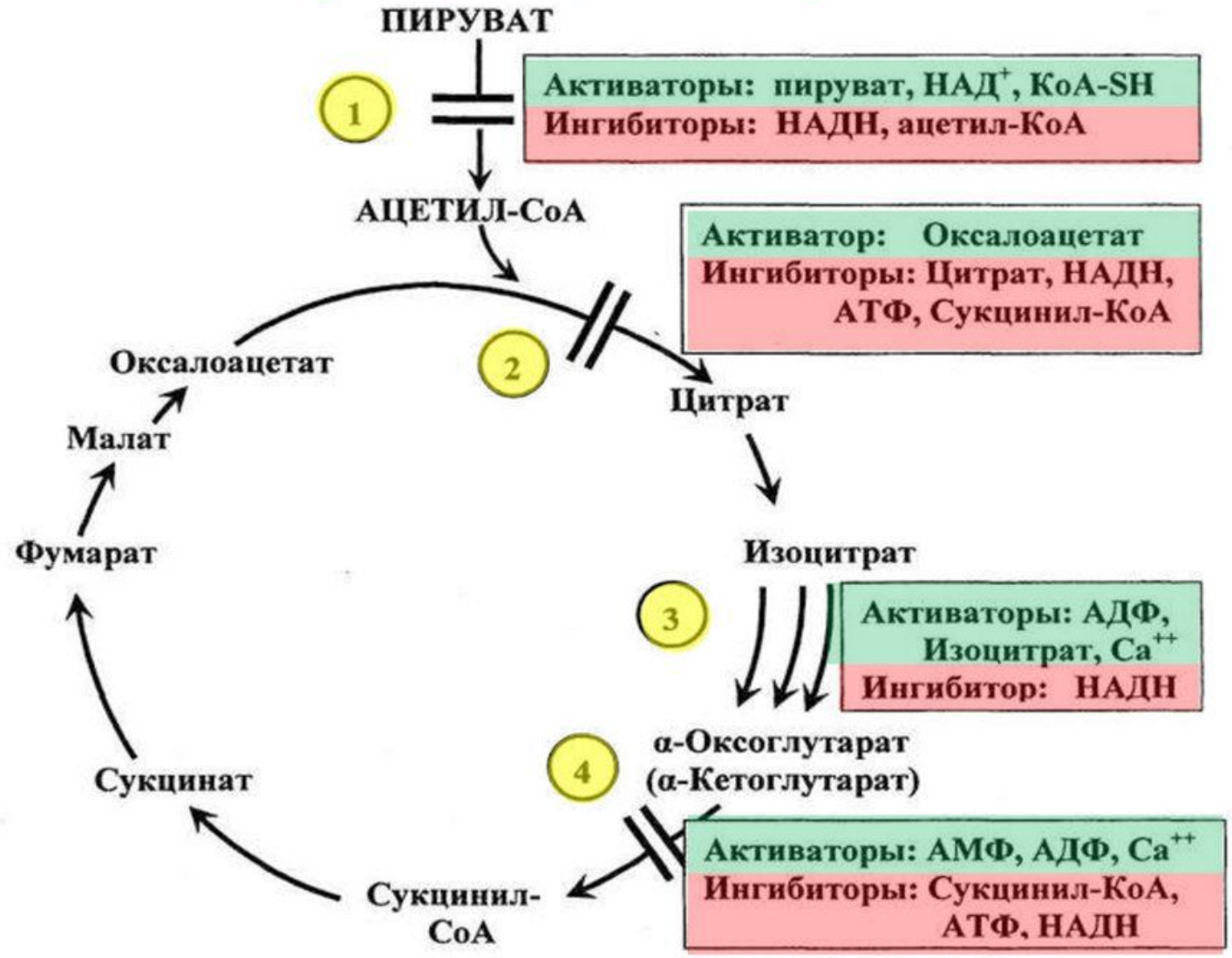
ВСЕГО: 38 АТФ

38·40 кДж = 1520 кДж

КПД = $\frac{1520}{2780}$·100% ≈ 55%

КПД большинства двигателей внутреннего сгорания не превышает 40%.

Регуляция цикла Кребса



Значение цикла Кребса

Цикл Кребса - центральный метаболический путь углерода практически всех организмов на Земле. Он является ключевым звеном как катаболических, так и анаболических процессов.

Продукты распада жиров, белков и других веществ поступают из цитоплазмы, превращаются в ацетил-КоА и также вовлекаются в цикл Кребса.

Промежуточные продукты цикла Кребса могут выходить из цикла на разных стадиях и использоваться в качестве предшественников в биосинтезе самых различных соединений, т. е. включаться в анаболический процесс.

Энергия, образующаяся при окислении ацетил-КоА используется клеткой для осуществления различных процессов.