



ФГБОУ ВО НГМУ Минздрава России
Медико-профилактический факультет
Кафедра медицинской химии

Лекция № 15

по дисциплине «Химия»

для студентов 1-ого курса медико-профилактического
факультета

Введение в энергетический обмен и ключевые
соединения метаболизма. Гидрокси- и кетокислоты,
аминоспирты.



углеводы
жиры
белки



+ O₂



H₂O



CO₂



АТФ

+ тепло

Лектор - старш. препод., канд. биол. наук,
Шехирева Татьяна Викторовна,
каб. 452, e-mail: tatiana_sheh@mail.ru.

Актуальность темы.

Гидрокси- и кетокислоты:

- являются необходимыми участниками биохимических реакций;
- выполняют в организме важные физиологические функции;
- являются ключевыми соединениями промежуточного этапа катаболизма веществ;
- используются как лекарственные препараты.

Цель лекции.

Знание структуры и роли этих соединений позволяет получить представление о ключевых реакциях энергетического и пластического обмена.

Задача лекции:

- изучить ключевые реакции метаболизма энергетического обмена, выделить важные роли гидрокси- кетокислот, аминоспиртов, ацетильных и ацильных тиоэфиров в энергетике клетки;
- рассмотреть структуру биологически важных соединений энергетического обмена;
- Обозначить их применение в медицине.

План лекции:

- **Строение, биологическая роль гидроксикислот.**
- **Строение, биологическая роль кетокислот.**
- **Строение, биологическая роль аминоспиртов.**
- **Строение, биологическая роль коэнзим А (вит. В5).**
- **Пути образования и использование в организме тиоэфиров коэнзим А (ацил- и ацетил-КоА).**
- **Введение в биоэнергетику. Этапы энергетического обмена:**
 - 1. условия протекания,**
 - 2. локализации в клетке,**
 - 3. энергетическое значение,**
 - 4. суммарное уравнение.**

Энергетический обмен –

это совокупность химических реакций постепенного расщепления высокомолекулярных органических соединений, сопровождающихся высвобождением энергии, часть которой расходуется на синтез АТФ. Образовавшаяся АТФ является универсальным источником энергии для процессов жизнедеятельности организмов.

I этап общего пути катаболизма веществ:

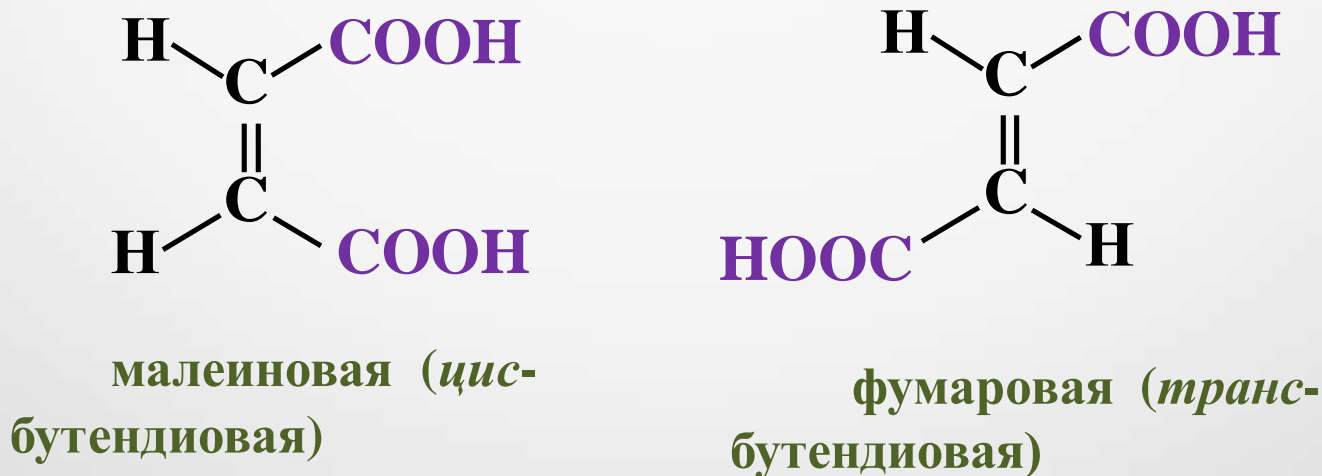
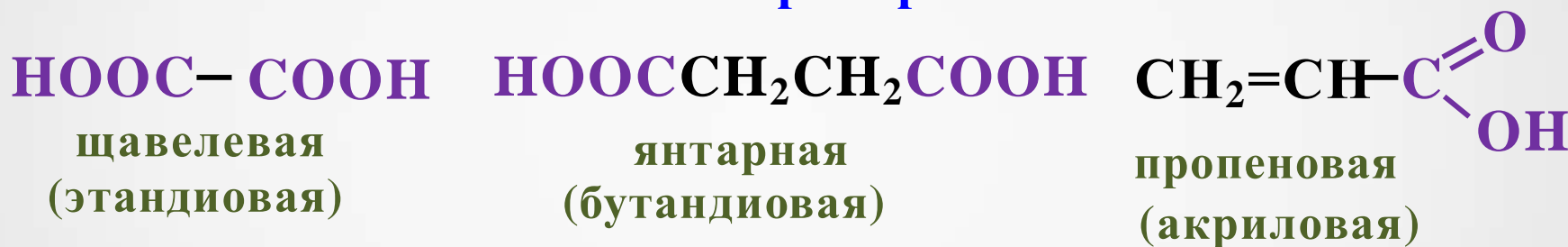


Строение биологически важных соединений: ДИКАРБОНОВЫЕ И НЕНАСЫЩЕННЫЕ КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ

Монокарбоновые кислоты содержат в своем составе одну карбоксильную группу, **дикарбоновые** - две карбоксильные группы.

Ненасыщенные карбоновые кислоты содержат в своем составе двойные связи.

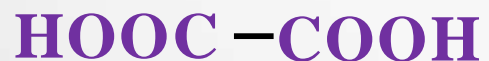
Примеры:



Характеристика основных биологически важных дикарбоновых и ненасыщенных карбоновых кислот:

Щавелевая кислота – содержится в свободном виде и в виде солей (**оксалатов**) в щавеле, ревене, шпинате.

Оксалат кальция образует камни в почках и мочевом пузыре (**оксалурия**) при некоторых заболеваниях.



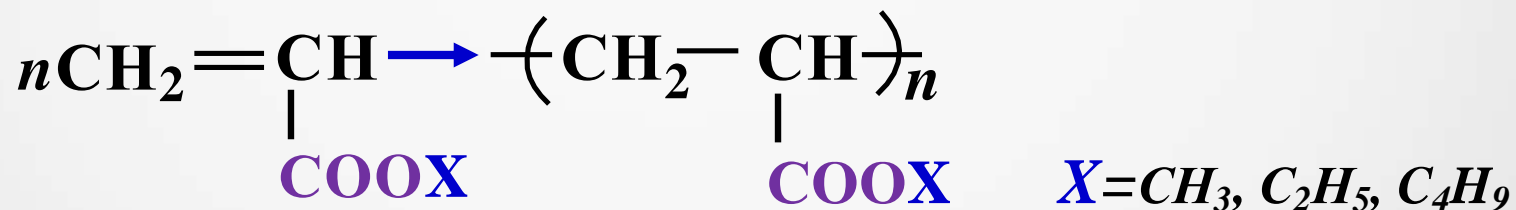
щавелевая
(этандиовая)



ОРИНИМА



Акриловая кислота используется для получения полимеризацией ее сложных эфиров (**полиакрилатов**) прозрачных, термопластичных полимеров, они физиологически безвредные.



Полиакрилаты используют **в медицине**, в **стоматологии** для изготовления искусственных челюстей и зубов, для пломбирования зубов. А также из полимеров на основе **акрилатов** изготавливают **протезы** и **контактные линзы**.

Строение биологически важных окси- и оксокислот:

Оксикислоты (гидроксикислоты) содержат в молекуле

одновременно гидроксильную (-ОН) и карбоксильную

($-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$) группы.

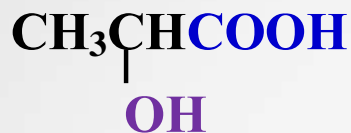
Оксокислоты (кетокислоты) – карбонильную и ($-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ | \end{array}$)

карбоксильную группы ($-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$).

ГИДРОКСОКИСЛОТЫ И КЕТОКИСЛОТЫ

Гидроксикислоты – соединения, содержащие в своем составе карбоксильную и гидроксильную группы.

Примеры гидроксикислот:



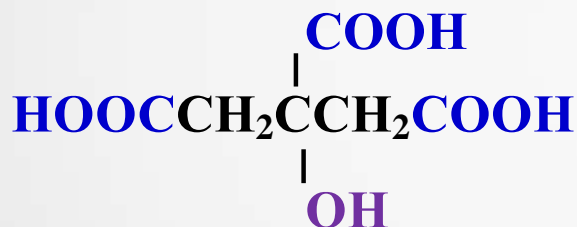
молочная
(2-гидроксипропановая)



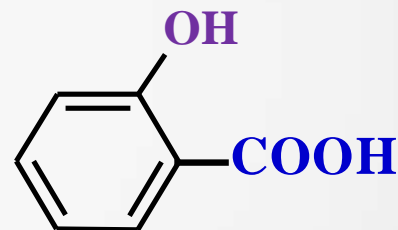
гликолевая
гидроксиуксусная



яблочная
(гидроксипропандиовая)



лимонная
(2-гидроксипропан-1,2,3-трикарбоновая)



салициловая
(2-гидроксibenзойная)



винная
(2, 3-дигидроксипропандиовая)

ЗНАЧЕНИЕ ГИДРОКСОКИСЛОТ:



Гликолевая кислота,

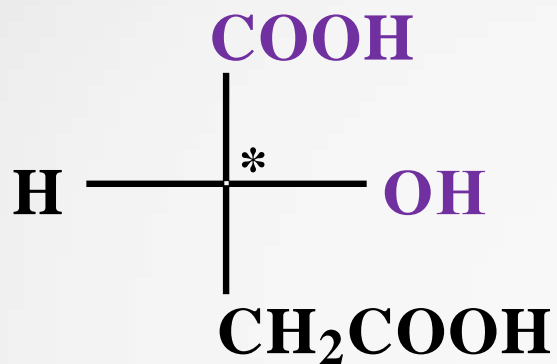
гидроксиуксусная кислота - простейший представитель гидроксикислот. Встречается во многих растениях, например, в **свекле** и **винограде**.

Применение:

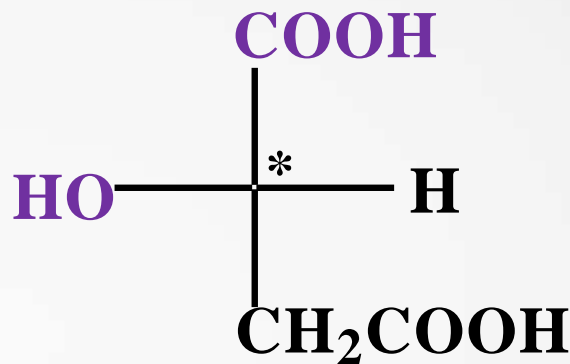
- в хозяйственной деятельности — в составе чистящих средств;
- в косметологии при химическом пилинге кожи, при лечении **гиперкератоза**, **очищает сальные протоки от угрей**, способствует проникновению других активных веществ в кожу;
- в производстве рассасывающихся шовных материалов для проведения хирургических операций (шовных материалов дексона и полиглактина-910).



Яблочная кислота, гидроксипутандиовая кислота –
в значительных количествах содержится в незрелых
яблоках, рябине, фруктовых соках. Соли яблочной кислоты
называются **малатами**.



D-яблочная кислота



L-яблочная кислота

Яблочная кислота содержит
один хиральный атом углерода и
существует в виде двух энантиомеров.



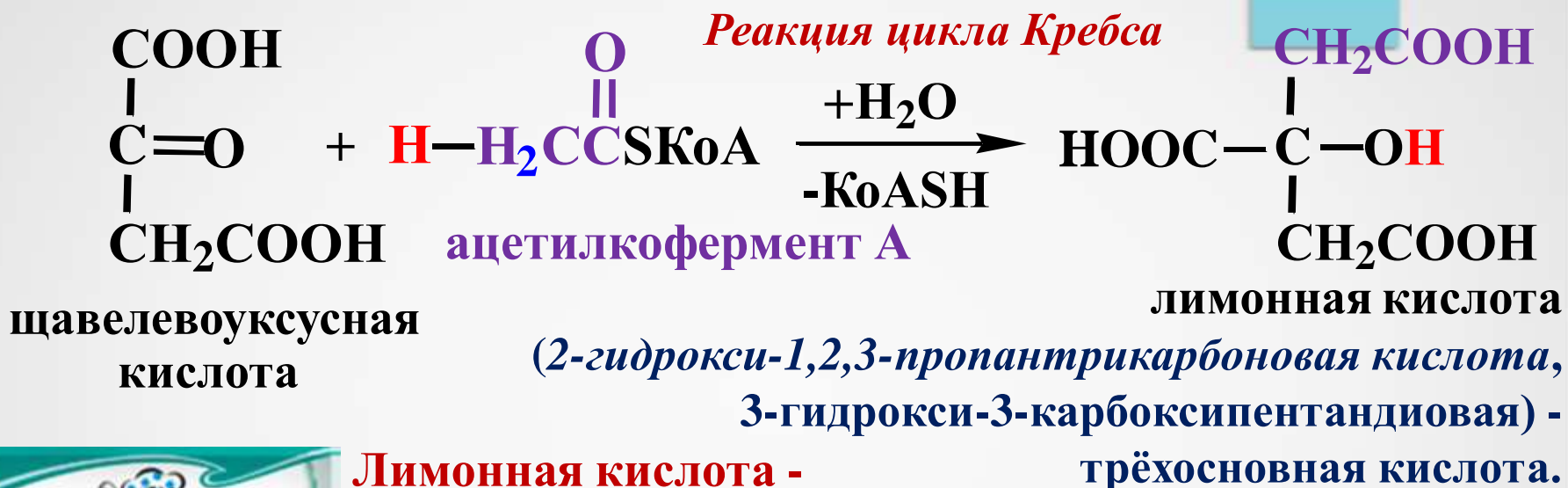
Биологическая роль яблочной кислоты

- Является промежуточным продуктом **цикла трикарбоновых кислот (цикла Кребса)**, где L-яблочная кислота образуется путем гидратации фумаровой кислоты, далее она окисляется коферментом НАД⁺ в **щавелевоуксусную кислоту**.



- Впервые выделена шведским химиком Карлом Шееле (Carl Wilhelm Scheele) в 1785 г. из незрелых яблок.
- Соли, эфиры и анионы яблочной кислоты называются малатами.

Лимонная кислота, 2-гидроксипропан-1,2,3-трикарбоновая - содержится в цитрусовых, в некоторых ягодах и фруктах.

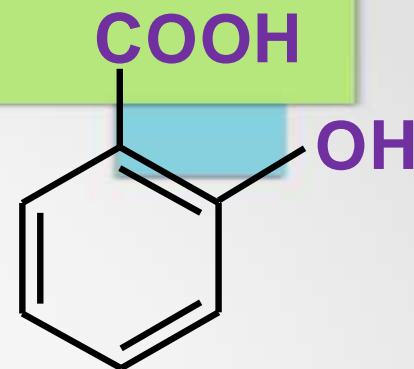


- Лимонная кислота** -
- Являются вместе с изомером (**изолимонная кислота**) важнейшими участниками энергетического обмена (**цикла трикарбоновых кислот**).
 - Образуется при взаимодействии щавелевоуксусной кислоты и ацетилкофермента А.
 - Соли, анионы и эфиры лимонной кислоты называются **цитратами**.

Салициловая кислота,

2-гидроксibenзойная - впервые была

выделена из коры черной ивы; содержится в эфирном масле, выделяемом из цветов некоторых видов **спирей** (*Spiraea ulmaria*, *Spiraea digitata*, в природе встречается в виде гликозидов ее метилового эфира).



2-оксибензойная кислота

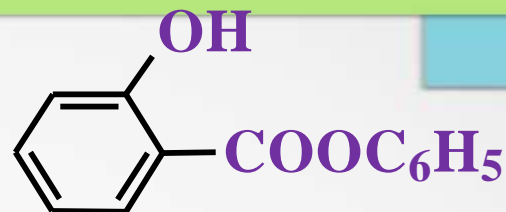


Салициловая кислота, ее соли (**салицилаты**) и её сложные эфиры (метилсалицилат), ее синтетические производные (ацетилсалициловая кислота - **аспирин**) обладают выраженным **противовоспалительным и кроворазжижающий** (антитромбическим), **жаропонижающим** действиями.

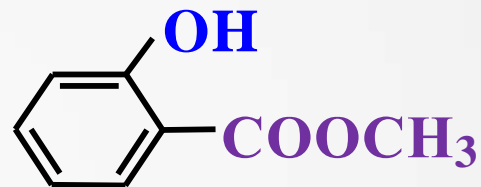
Производные салициловой кислоты как лекарственные средства

Эфиры салициловой кислоты – **фенилсалицилат (салол)** – антисептический и противовоспалительный перепарат;

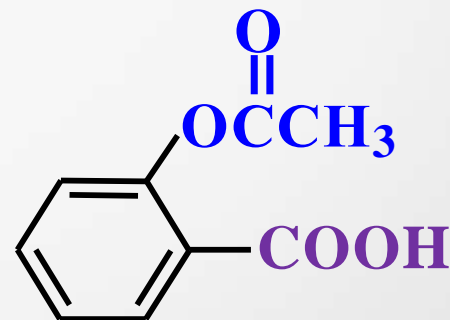
Метилсалицилат, ацетилсалициловая кислота (аспирин) – противовоспалительный, жаропонижающий и болеутоляющий препарат.



фенилсалицилат



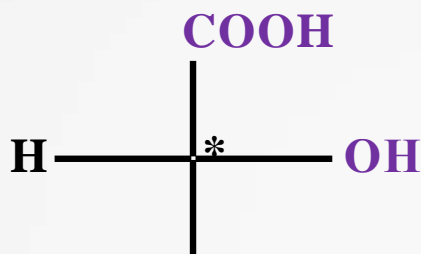
метилсалицилат



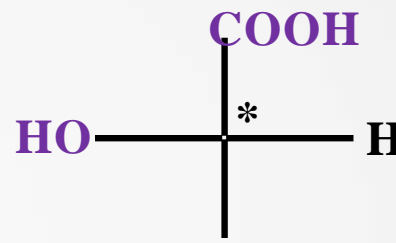
**ацетилсалициловая
кислота**

Молочная кислота, 2-гидроксипропановая – продукт молочнокислого брожения лактозы, содержащейся в молоке, и других углеводов в составе овощей и плодов: **кислое молоко, кефир, квашеная капуста, моченые яблоки и др.**

D-молочная кислота



L-молочная кислота

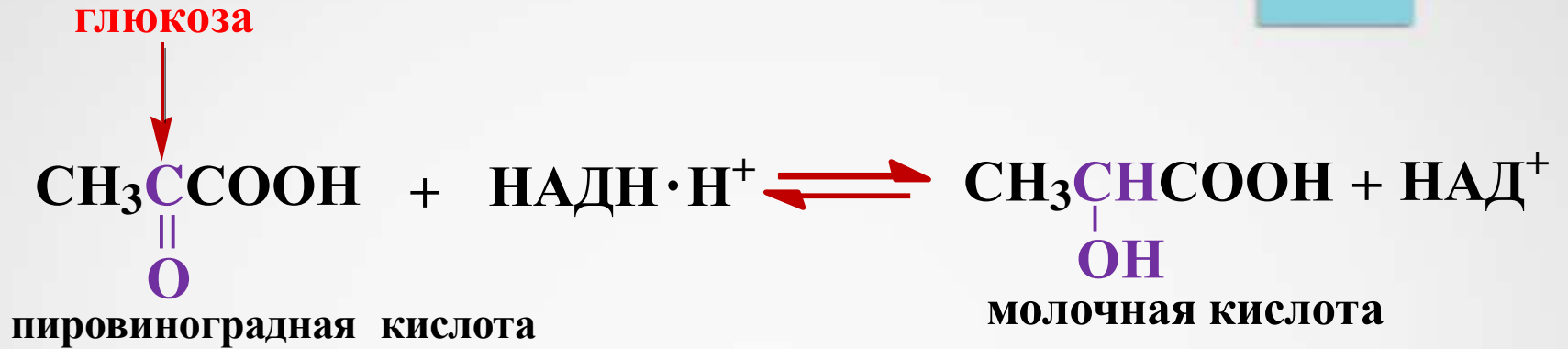


- ❖ Содержит один хиральный атом углерода, поэтому может существовать в виде двух **оптических изомеров (энантиомеров)**.
- ❖ **D-Молочная** кислота образуется в мышечной ткани при интенсивной работе мышц, а L-молочная кислота - под действием ферментов микроорганизмов.
- ❖ Соли и эфиры молочной кислоты называются **лактатами**.



Биологическая роль молочной кислоты

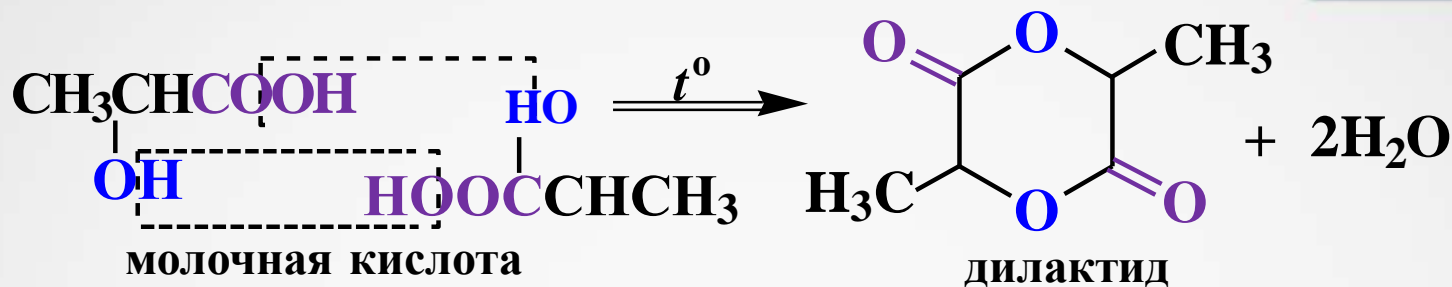
Молочная кислота является промежуточным продуктом окисления глюкозы в организме (анаэробный гликолиз).



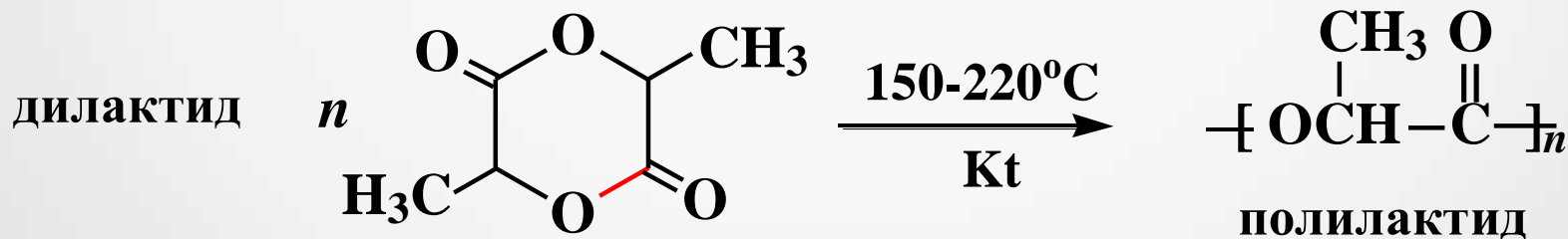
Молочная кислота
накапливается в мышцах при
интенсивной работе из-за
недостатка кислорода, поэтому в
мышцах возникает характерная
боль.

Полимолочная кислота

При нагревании молочной кислоты в результате **межмолекулярной этерификации** образуется шестичленный циклический диэфир – **дилактид**.



Дилактид при нагревании полимеризуются с образованием полилактида – **полимолочной кислоты**.



Полимолочная кислота используется в качестве рассасывающих хирургических нитей, в косметологии для лифтинга кожи.

Бета-оксимасляная кислота, β-гидроксибутират -

одна из представителей кетоновых тел наряду с ацетоном (пропаноном) и ацетоуксусной кислотой.



β-гидроксимасляная
кислота

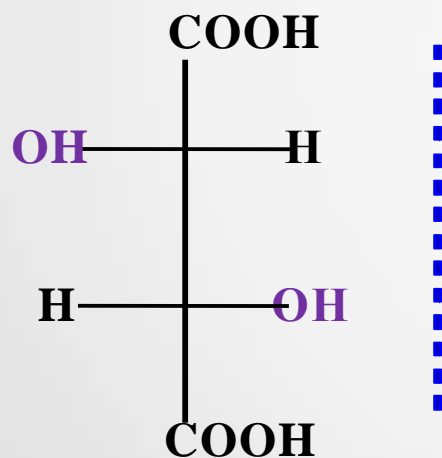


ацетон

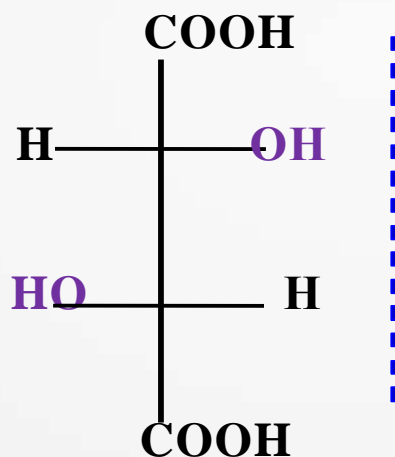
- В крови здорового человека кетоновые тела содержатся в незначительных концентрациях.
- При патологических состояниях (длительное голодание, тяжёлая физическая нагрузка, сахарный диабет) концентрация кетоновых тел может значительно повышаться и достигать **20 ммоль/л (кетонемия)**. Это приводит к ацидозу.

Винная, 2, 3-дигидроксипутандиовая (двухосновная оксикислота)-

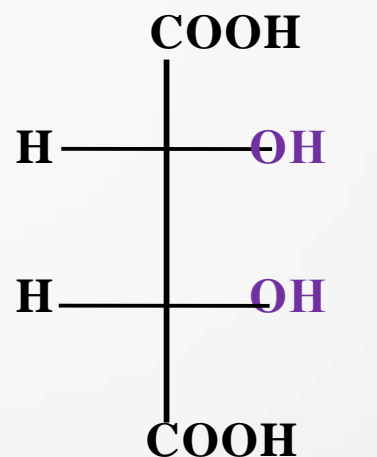
- в значительном количестве содержится в кислом соке многих фруктов;
- D-винную кислоту получают действием минеральных кислот на её кислую калиевую соль (винный камень), образующуюся при брожении виноградного сока;
- при пиролизе D-винная кислота декарбоксилируется с образованием ПВК и пировинной (метилянтарной);
- соли и анионы винной кислоты называют тартратами.



D - кислота



L- винная кислота



мезовинная кислота

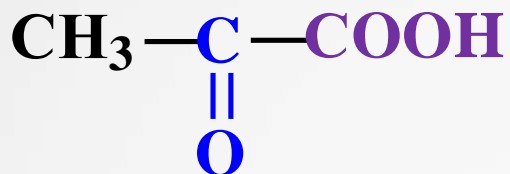
(оптически не активна)

Известны три оптических изомера винной кислоты: **D-энантиомер, L-энантиомер и мезо-форма** (мезовинная кислота):

КЕТОКИСЛОТЫ – соединения, содержащие в своем составе карбоксильную и оксо-(кето) группу (>C=O).

Примеры биологически важных

кетокислот:



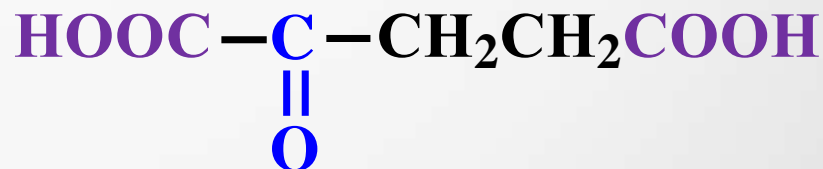
пировиноградная, ПВК
(2-оксопропановая)



ацетоуксусная
(3-оксобутановая)



щавелевоуксусная, ЩУК
(оксобутандиовая)



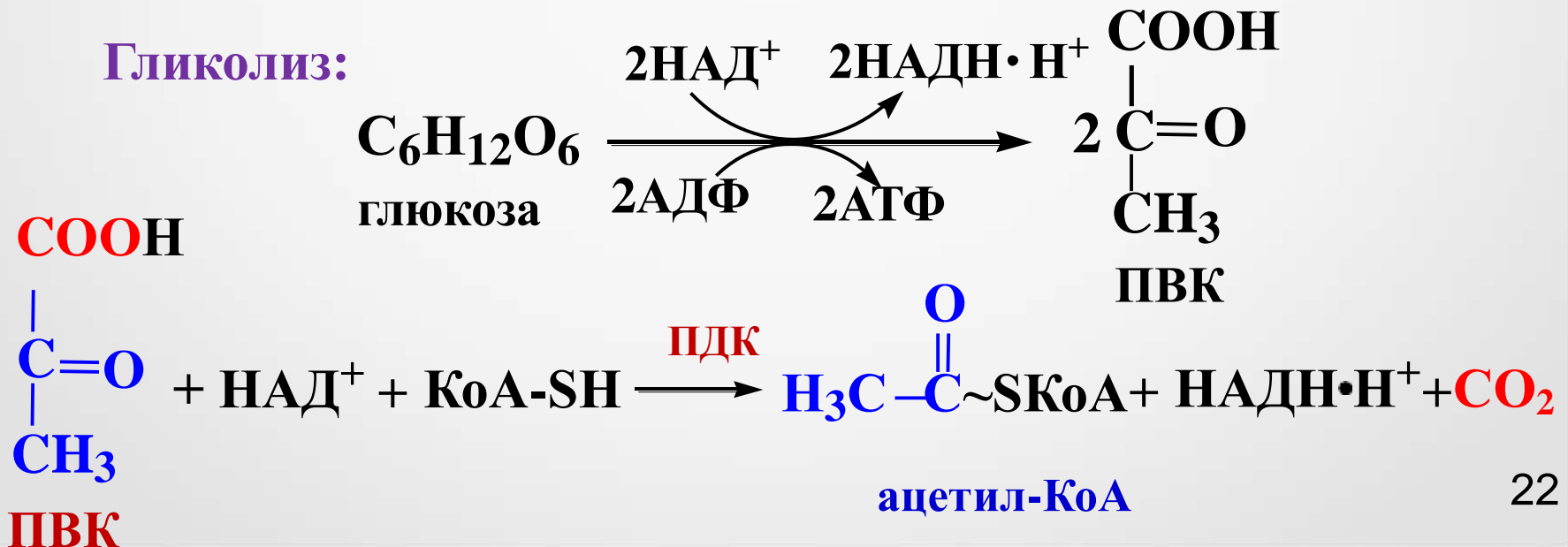
α -кетоглутаровая, α -КГ
(2-оксопентандиовая)

Биохимическая роль кетокислот:

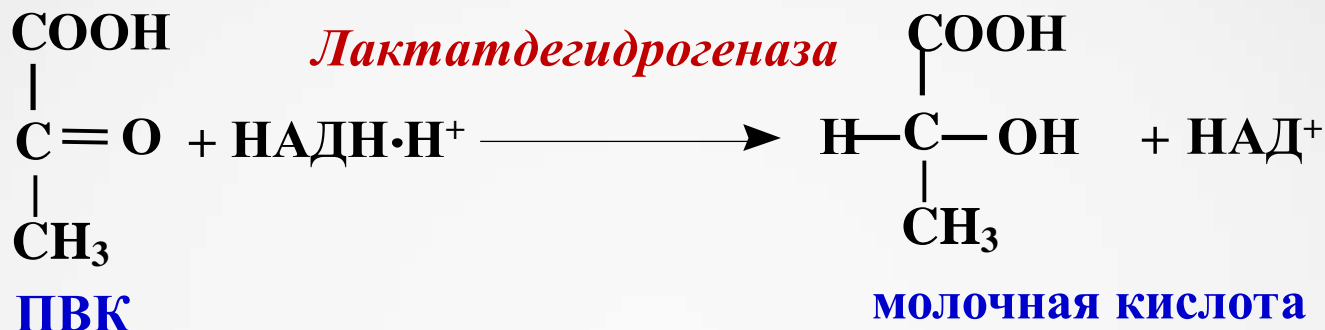
Пировиноградная кислота (ПВК), 2-оксопропановая кислота -

- одно из центральных соединений метаболизма (**субстрат в процессе-пируватдегидрогеназный комплекс, ПДК**);
- промежуточный продукт при молочнокислом и спиртовом брожении углеводов;
- является продуктом окисления глюкозы в организме (гликолиз);
- в анаэробных условиях превращается в молочную кислоту, в аэробных – в **ацетилкоэнзим А** (ключевой метаболит катаболизма);
- может быть использована на **синтез глюкозы** (обратный процесс гликолиза), **заменяемых аминокислот, жирных кислот, холестерина**;
- соли, эфиры и анионы называются **пируватами**.

Гликолиз:



Восстановление пировиноградной кислоты в молочную (лактат):



Молочная кислота образуется при молочнокислом брожении сахаров и играет важную роль в метаболизме (является продуктом анаэробного окисления глюкозы).

Щавелевоуксусная кислота (ЩУК), 2-оксобутандиовая кислота, двухосновная альфа-кетокислота -

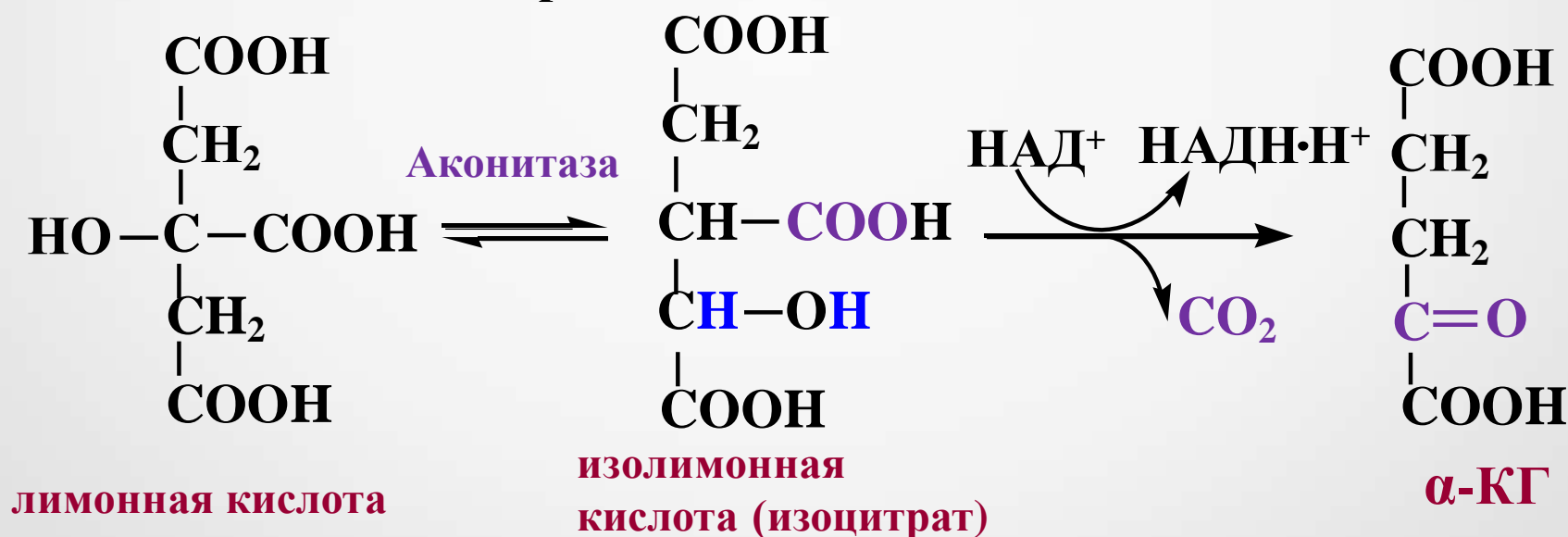
- является ключевым субстратом энергетического обмена (**цикл Кребса**), образуется при окислении яблочной кислоты;
- может быть использована на синтез глюкозы или заменимых аминокислот (аспарагиновой, аспарагина);
- из **щавелевоуксусной кислоты** и **ацетилкофермента А** по типу альдольной конденсации образуется лимонная кислота;
- анионы, соли и эфиры называются **оксалоацетатами**.



α -Кетоглутаровая кислота (α -КГ),

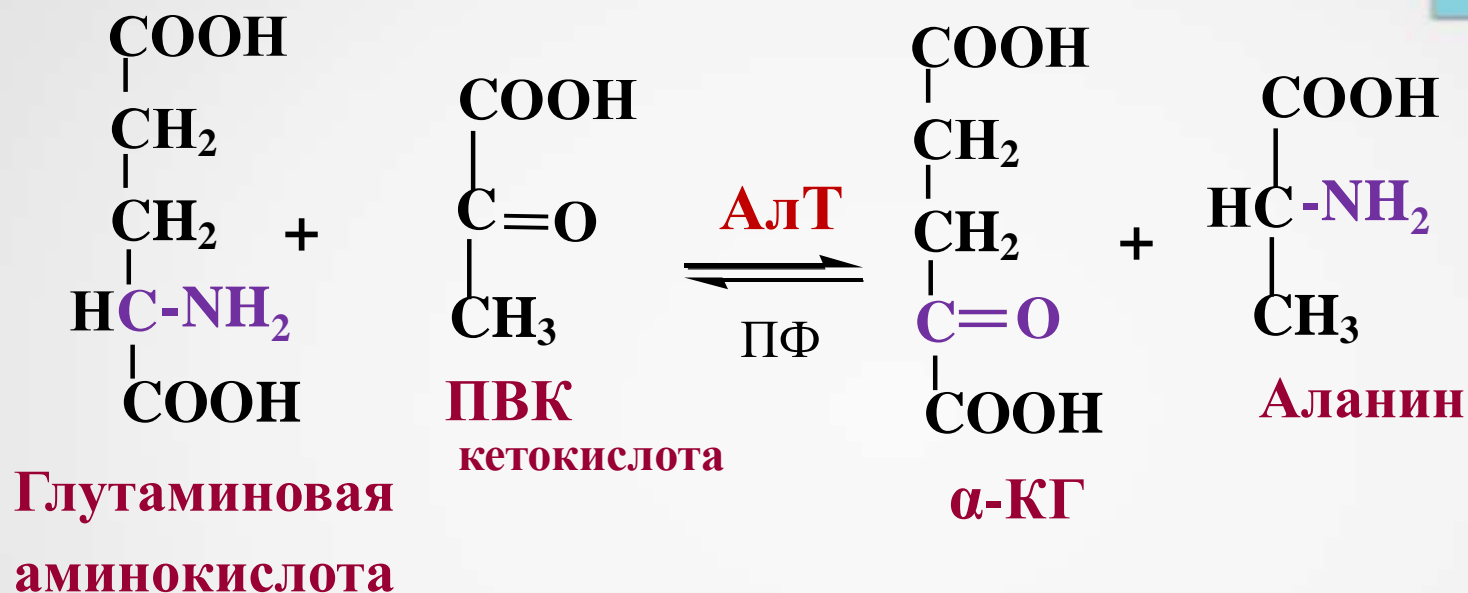
2-оксопентандиовая кислота -

- является ключевым участником энергетического обмена, образуется в результате декарбоксилирования изоцитрата в **цикл Кребса**;
- является предшественником аминокислот, например, **глутаминовой** (трансаминирование, дезаминирование), **γ -аминомасляной** и др.



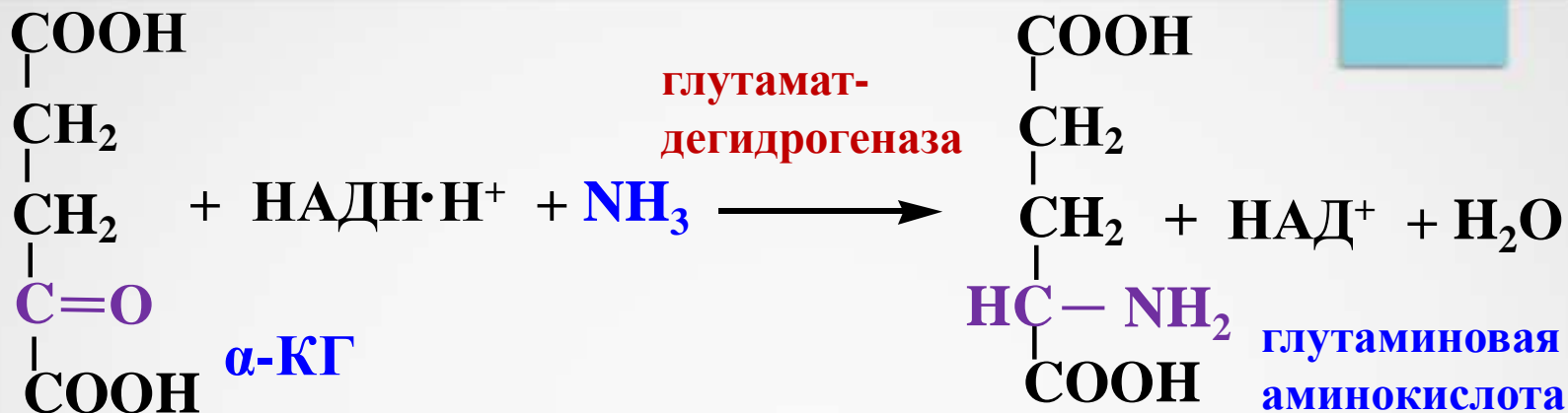
Реакции Цикла Кребса

Получение α -кетоглутаровой кислоты трансаминированием:



α -КГ в реакциях **трансаминирования** является коллектором (собирателем) аминогрупп!

В мозге для обезвреживания аммиака используется реакция восстановительного аминирования **α -КГ**:



Синтез **глутаминовой аминокислоты** из α -кетоглутаровой.



Универсальная реакция обезвреживания аммиака в тканях (**синтез глутамина**)

Ацетоуксусная кислота, 3-оксобутановая кислота –

- Образуется в процессе метаболизма жирных кислот.
- Накапливается при некоторых патологических состояниях.



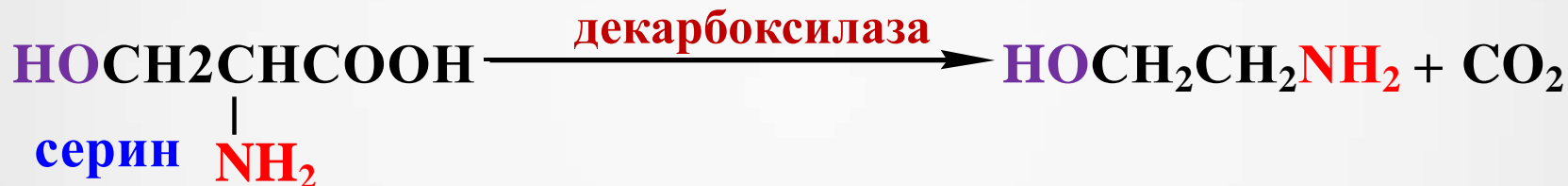
- В плазме крови здорового человека **кетонотел** содержатся в незначительных концентрациях.
- При длительном голодании, тяжелой физической нагрузке, сахарном диабете концентрация кетонотел может значительно повышаться (**кетонемия, кетонурия**).

АМИНОСПИРТЫ И АМИНОФЕНОЛЫ

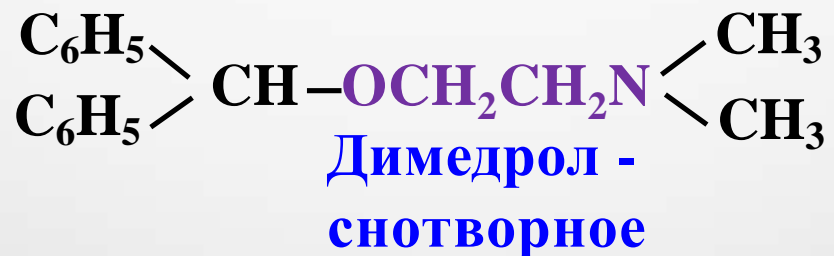
Аминоспирты - соединения, содержащие в молекуле одновременно амино- и гидроксигруппы.

ПРИМЕРЫ: Коламин (2-аминоэтанол, β-этаноламин) – является структурным компонентом фосфолипидов.

- В организме образуется при декарбоксилировании аминокислоты серина.



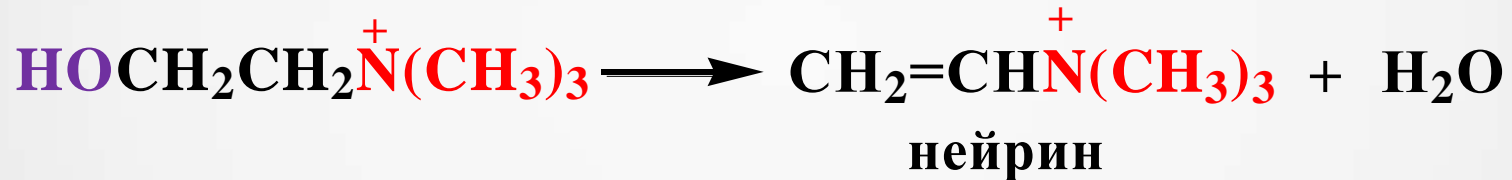
- Фрагмент коламина входит в состав снотворного средства димедрола, который используется в виде соли.



Холин – триметил-(2-гидроксиэтил) аммоний



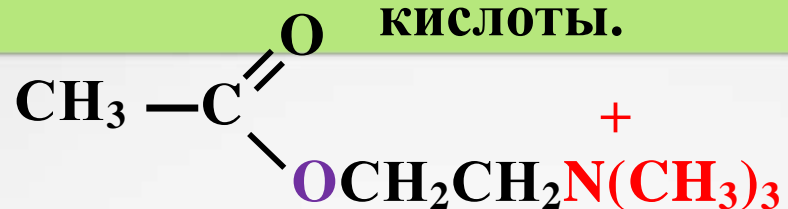
- ❖ Структурный элемент фосфолипидов.
- ❖ Имеет большое значение как витаминоподобное соединение, регулирующее жировой обмен.
- ❖ Продукт внутримолекулярной дегидратации холина (производное холина, **нейрин** – образуется при гниении белков и обладает высокой токсичностью).



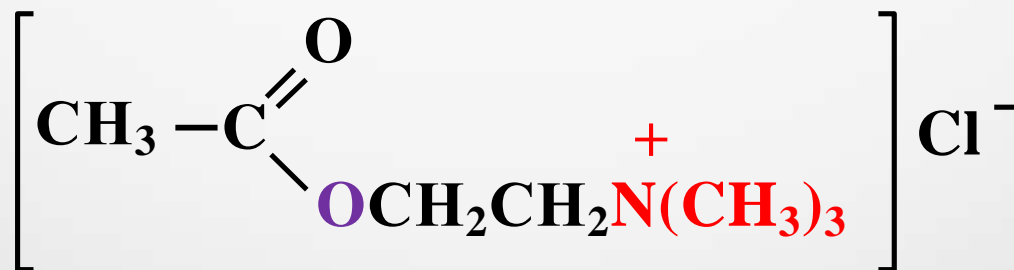
- ❖ В результате окисления холина в организме образуется **ион бетаин**, который служит источником метильных групп в реакциях трансметилирования.



Ацетилхолин – сложный эфир холина и уксусной кислоты.

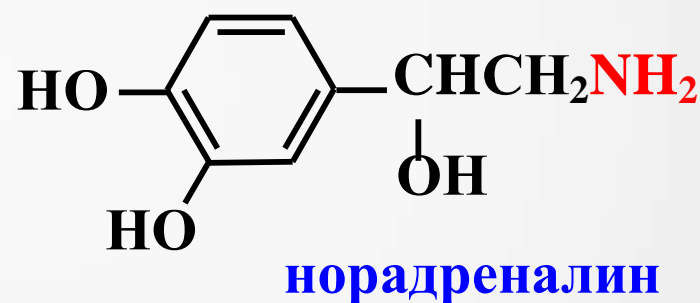
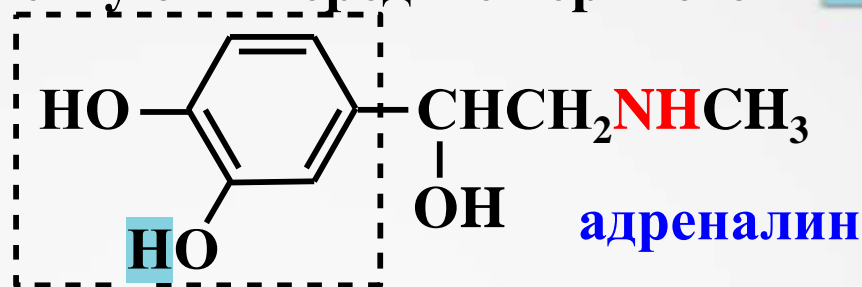


- ❖ Наиболее распространенный посредник при передаче нервного возбуждения в нервных тканях (**нейромедиатор**).
- ❖ Образуется в организме при ферментативном ацетилировании холина.
- ❖ В медицинской практике находит применение в качестве сосудорасширяющего средства **ацетилхолинхлорид**.



Катехоламины – производные фенолов, содержащие аминогруппу в боковой алкильной цепи (**дофамин**, **норадреналин**, **адреналин**), выполняют роль гормонов, нейромедиаторов (участвуют в передаче нервного импульса).

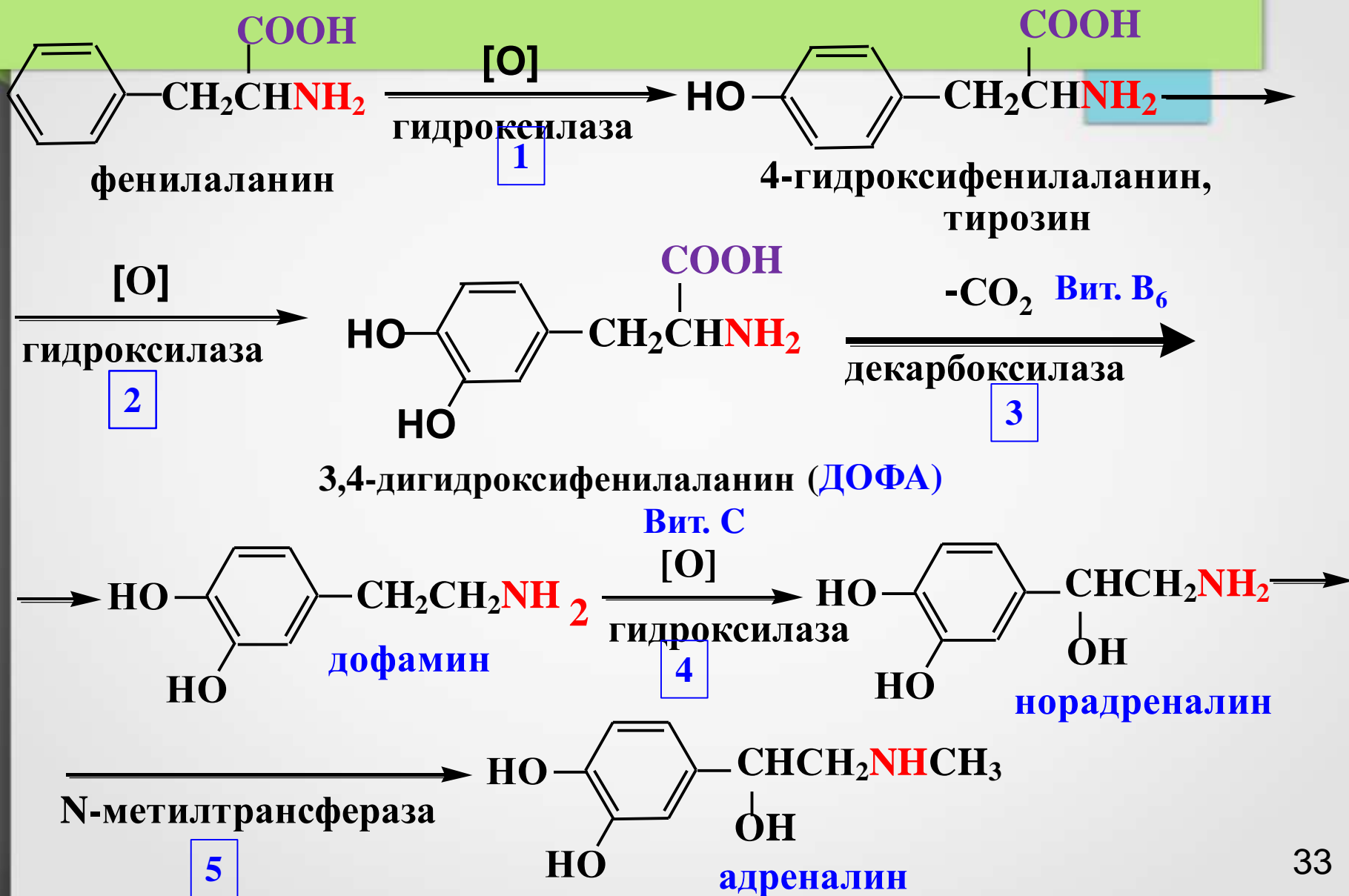
фрагмент
пирокатехина



Адреналин – «гормон страха», его выброс в кровь происходит при испуге, волнении, при этом учащается сердцебиение.

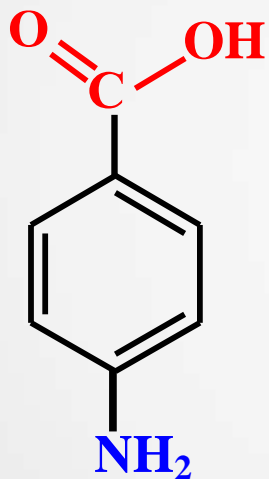
Норадреналин – «гормон ярости», вызывает реакцию агрессии, увеличение секреции происходит при стрессе, тяжелой физической нагрузке.

Схема биосинтеза катехоламинов:

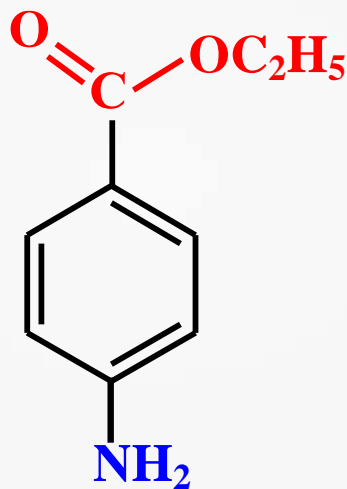


ПАРА-АМИНОБЕНЗОЙНАЯ КИСЛОТА И ЕЕ ПРОИЗВОДНЫЕ

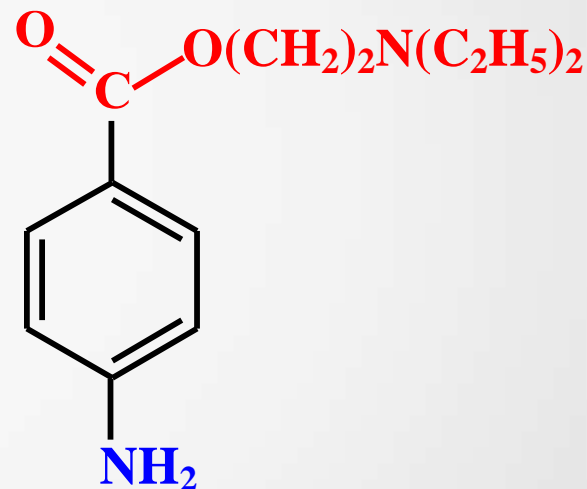
Эфиры *пара*-аминобензойной кислоты (анестезин, новокаин) обладают общим свойством – способностью вызывать местную анестезию.



пара-аминобензойная
кислота (ПАБК)



анестезин



новокаин

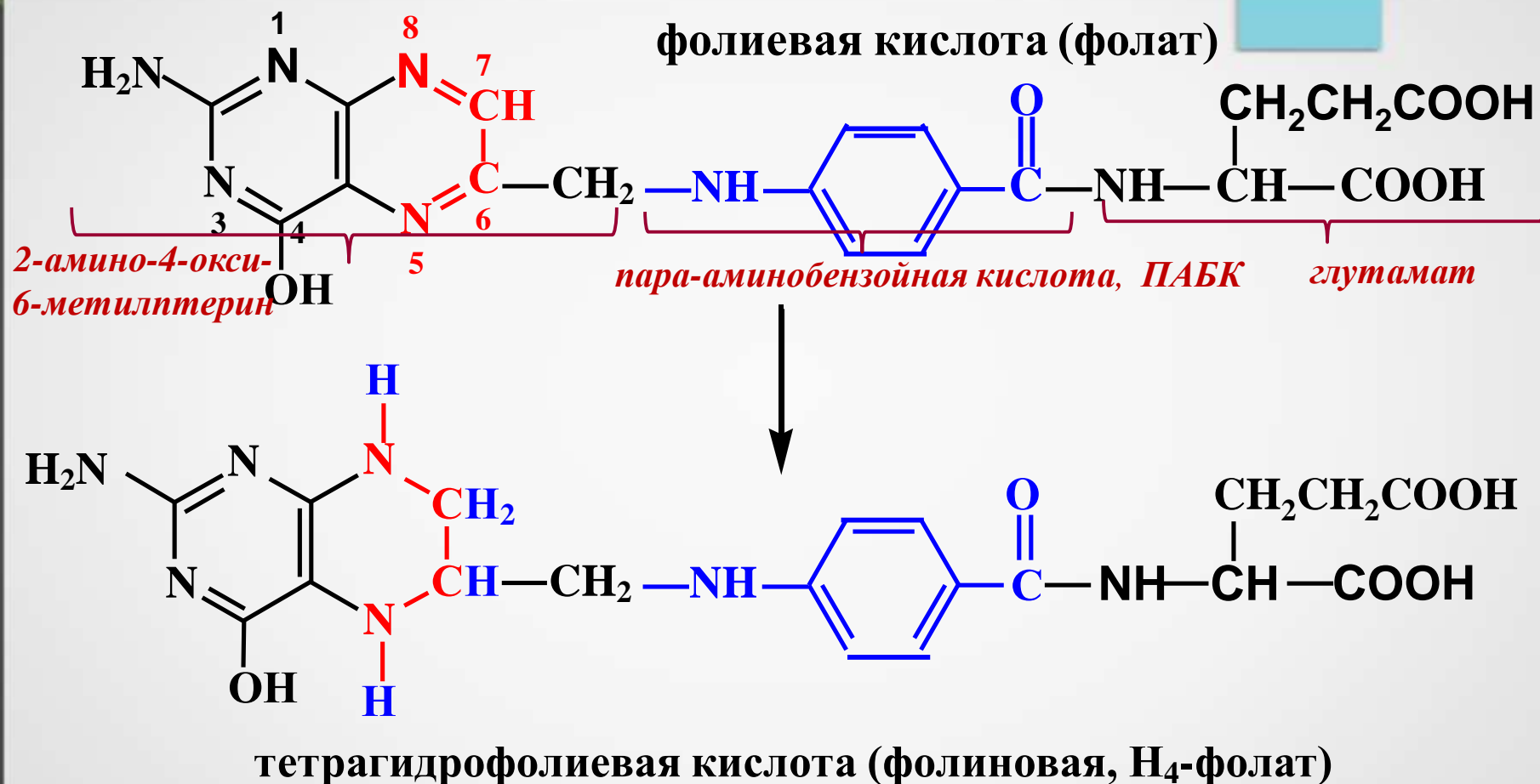
Фолиевая кислота, фолат, витамин **B₉** (лат. *folium* – лист), впервые была выделена из листьев шпината, в организме человека не синтезируется, должна поступать в готовом виде, может образовываться сапрофитными бактериями толстого кишечника.

Фолиевая кислота играет важную роль в метаболизме аминокислот и нуклеиновых кислот.



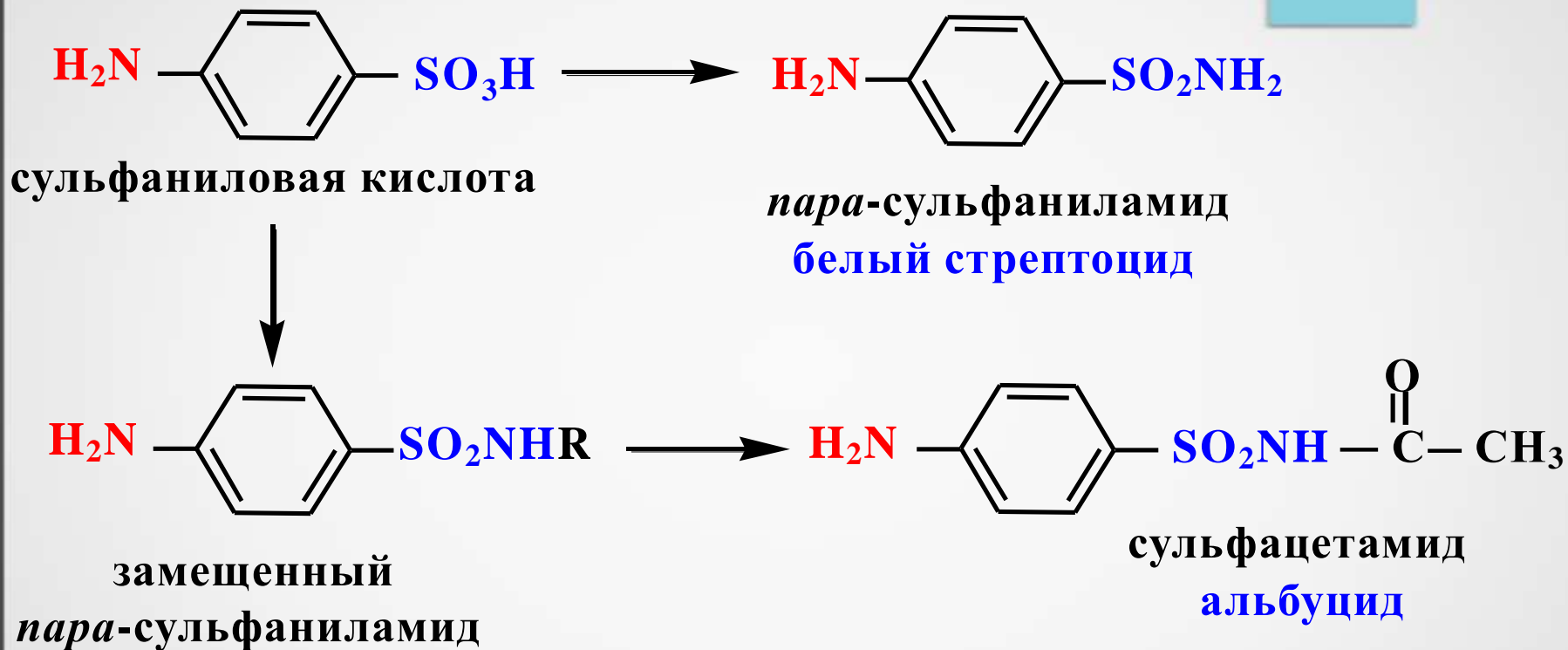
Выполняет коферментную функцию **тетрагидрофолиевая кислота и ее производные** в биосинтезе нуклеотидов!

Тетрагидрофолиевая кислота (фолиновая кислота, Н₄-фолат)
образуется ферментативно в печени из фолиевой кислоты.

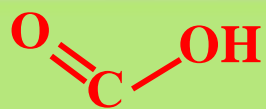


Н₄-фолат, являясь коферментом, участвует в переносе
формильных (-НС=О), гидроксильных, метильных групп.

**Сульфаниламидные препараты –
обладают антибактериальным действием (обнаружены в 1935 г.),
являются амидами сульфаниловой кислоты.**

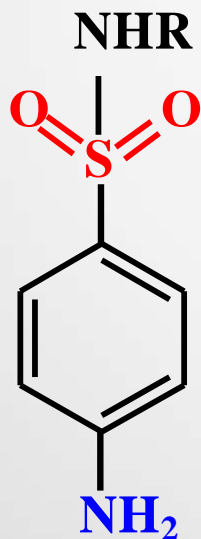


Все сульфаниламиды обязательно содержат сульфамидную группу ($-\text{SO}_2\text{NH}_2$). Ее замена на другую группу приводит к потере антибактериальной активности.



Механизм антибактериального действия сульфаниламидных препаратов:

пара-аминобензойная
кислота (ПАБК)



пара-сульфаниламид

- ❖ *Пара*-сульфаниламиды похожи по строению на **ПАБК**, отличаются радикалами.
- ❖ Многие патогенные микроорганизмы способны синтезировать фолиевую кислоту. *Пара*-сульфаниламиды подавляют синтез ее у бактерий, нарушается синтез нуклеиновых кислот и деление бактериальных клеток.
- ❖ На организм человека данные препараты не влияют, так как фолиевая кислота у человека не синтезируется, а поступает с пищей³⁸

Задание:

□ По аналогии с превращением пировиноградной кислоты (ПВК) в лактат напишите превращение

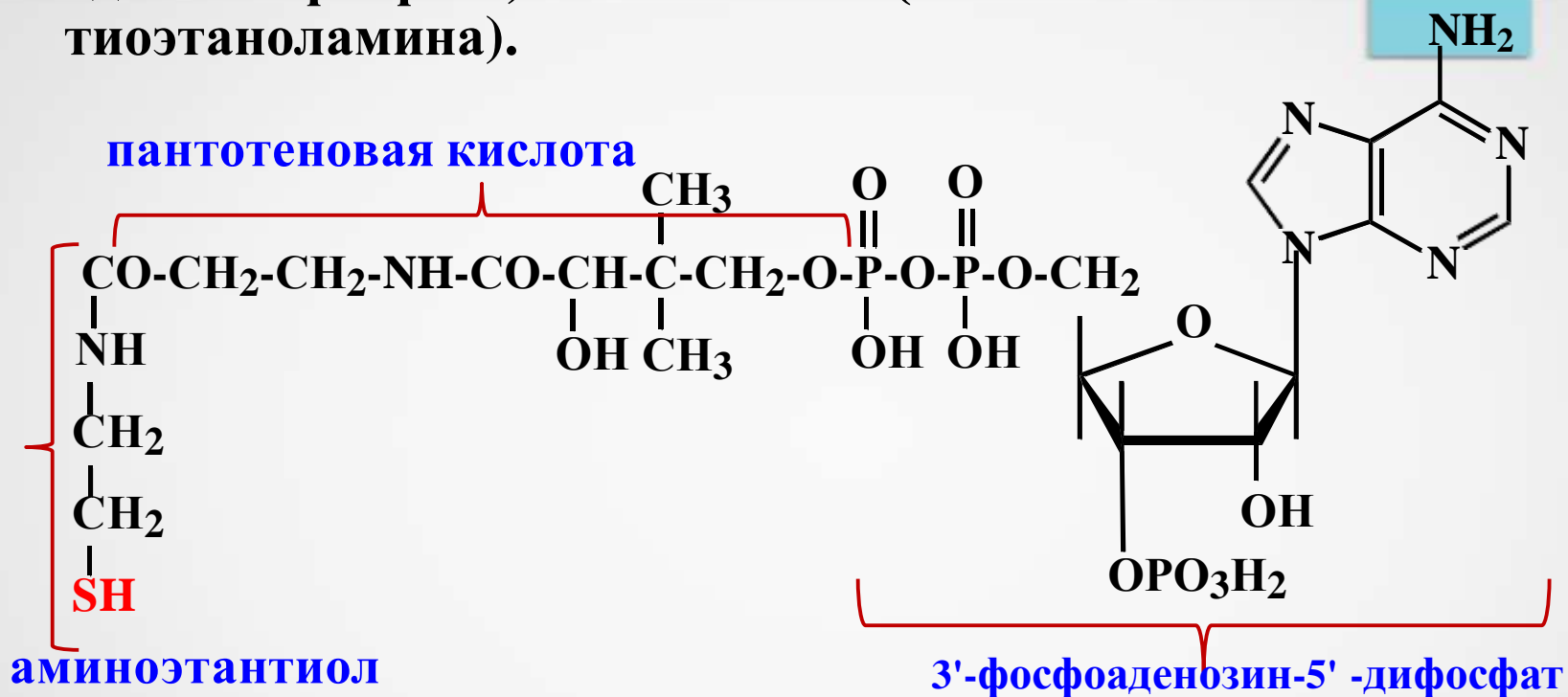
- 1) щавелевоуксусной кислоты (ЩУК) в малат,
- 2) ацетоуксусной кислоты в бета-гидроксибутират (см. слайды № 23).

Во всех реакциях используйте кофермент $\text{НАДН} \cdot \text{H}^+$

□ К какому типу реакций относятся данные реакции и почему?

Строение коэнзима А (вит. В5):

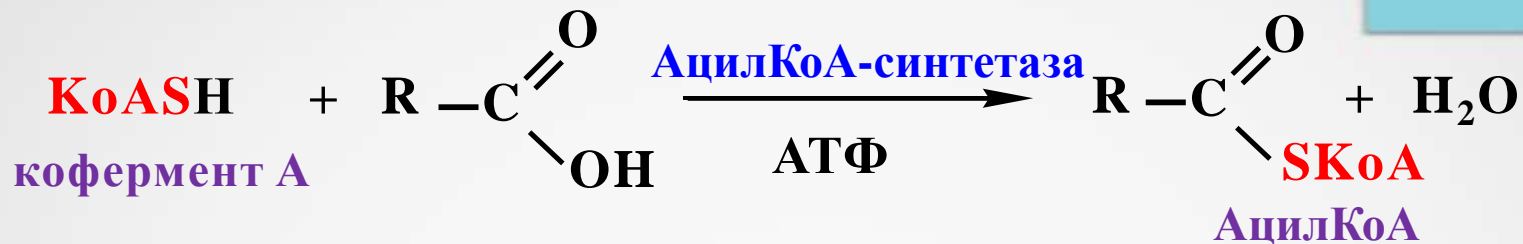
Коэнзим А (коэнзим А, КоА, СоА, HSKoA) – производное аденозинфосфата, **витамина В5** (пантотеновой кислоты и тиоэтанолamina).



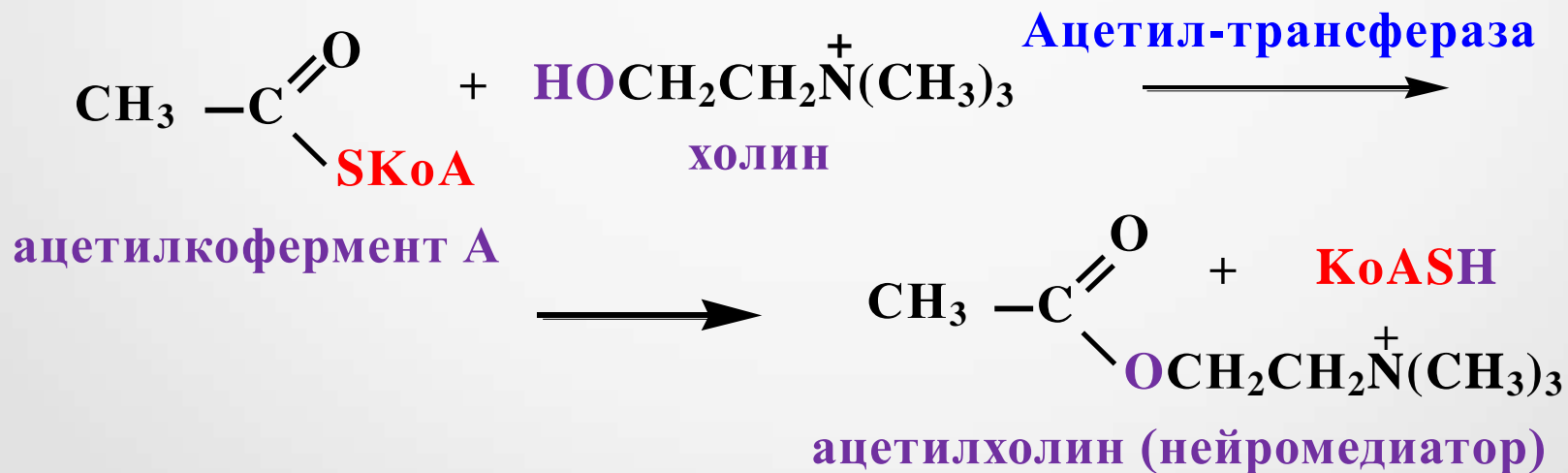
- один из важнейших коферментов, принимающий участие в реакциях переноса ацильных и ацетильных групп при синтезе и окислении жирных кислот, **важный участник в цикле трикарбоновых кислот.**

Значение тиоэфиров коэнзим А (ацил- и ацетил-КоА):

Производные кофермента А (коэнзима А) – ацетил КоА и ацилКоА (название зависит от ВЖК):



В организме (ацетил) ацилкоферменат А участвует в реакции **трансацилирования** (переносе ацетильных или ацильных остатков на спирты, амины, другие субстраты).



Введение в биоэнергетику

С точки зрения биоэнергетики все живые существа делятся на:

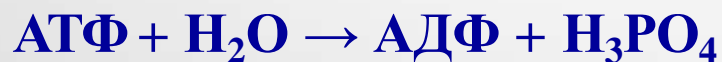
- **фотосинтетики** (накапливают АТФ за счет преобразования солнечной энергии в химическую, например, растения;
- **хемотротфики** (источником свободной энергии, получаемой в химической форме, служит процесс расщепления пищевых молекул (углеводов, жиров, белков)).

Введение в биоэнергетику

- ❖ Процесс распада веществ в организме называется **катаболизмом**, а процесс синтеза – **анаболизмом**.
- ❖ Оба эти процесса вместе составляют **метаболизм**.
- ❖ Энергия запасается в виде электрохимического потенциала митохондриальной мембраны, а также макроэргических связей молекулы АТФ (и любых других нуклеотидтрифосфатов).
- ❖ Макроэргические связи легко расщепляются с выделением большого количества энергии. При разрыве макроэргических связей АТФ выделяется около 30 кДж/моль.

Введение в биоэнергетику

- В высокоэнергетических связях АТФ аккумулируется энергия, выделяемая в процессах катаболизма. Энергия, выделяющаяся при окислении пищевых веществ, обеспечивает синтез АТФ из АДФ и H_3PO_4 , а энергия гидролиза АТФ, в свою очередь, используется в различных видах работы.



$$\Delta G^\circ_r = -30.5 \text{ кДж/моль}$$



$$\Delta G^\circ_r = -61.0 \text{ кДж/моль}$$

Введение в биоэнергетику

- За сутки в организме образуется и распадается около 60 кг АТФ. Однако в клетке АТФ не накапливается, а расходуется в течение 1 минуты после образования, что требует ее непрерывного пополнения (АТФ-АДФ цикл).

АТФ-АДФ цикл:

АТФ

Выделение
энергии:
окисление
углеводов,
жиров,
белков

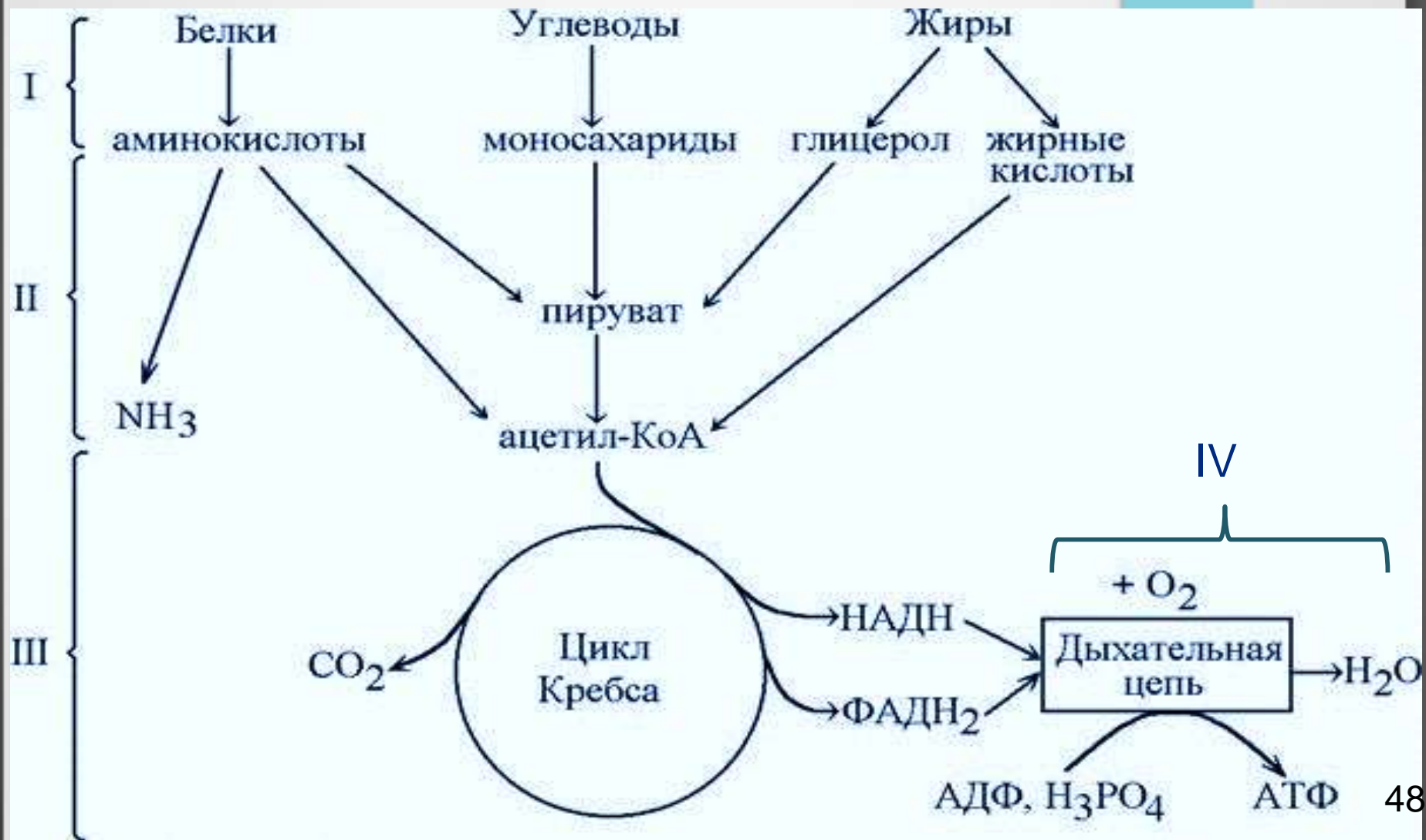
Использование
энергии:
биосинтез
макромолекул,
сокращение
мышц, активный
транспорт,
продукция тепла

АДФ + H_3PO_4

Этапы катаболизма:

- **1 -этап катаболизма** – гидролитический.
- **2-этап катаболизма** (промежуточный) - образование ключевых соединений катаболизма.
- **3-этап катаболизма** - цикл лимонной кислоты (**цикл Кребса** или **цикл трикарбоновых кислот, ЦТК**).
- **4-этап катаболизма** – тканевое дыхание (или цепь переноса электронов) сопряженное с синтезом АТФ окислительным фосфорилированием.

Схема этапов катаболизма:



1 ЭТАП - гидролиз:

происходит в ЖКТ под действием пищеварительных ферментов:

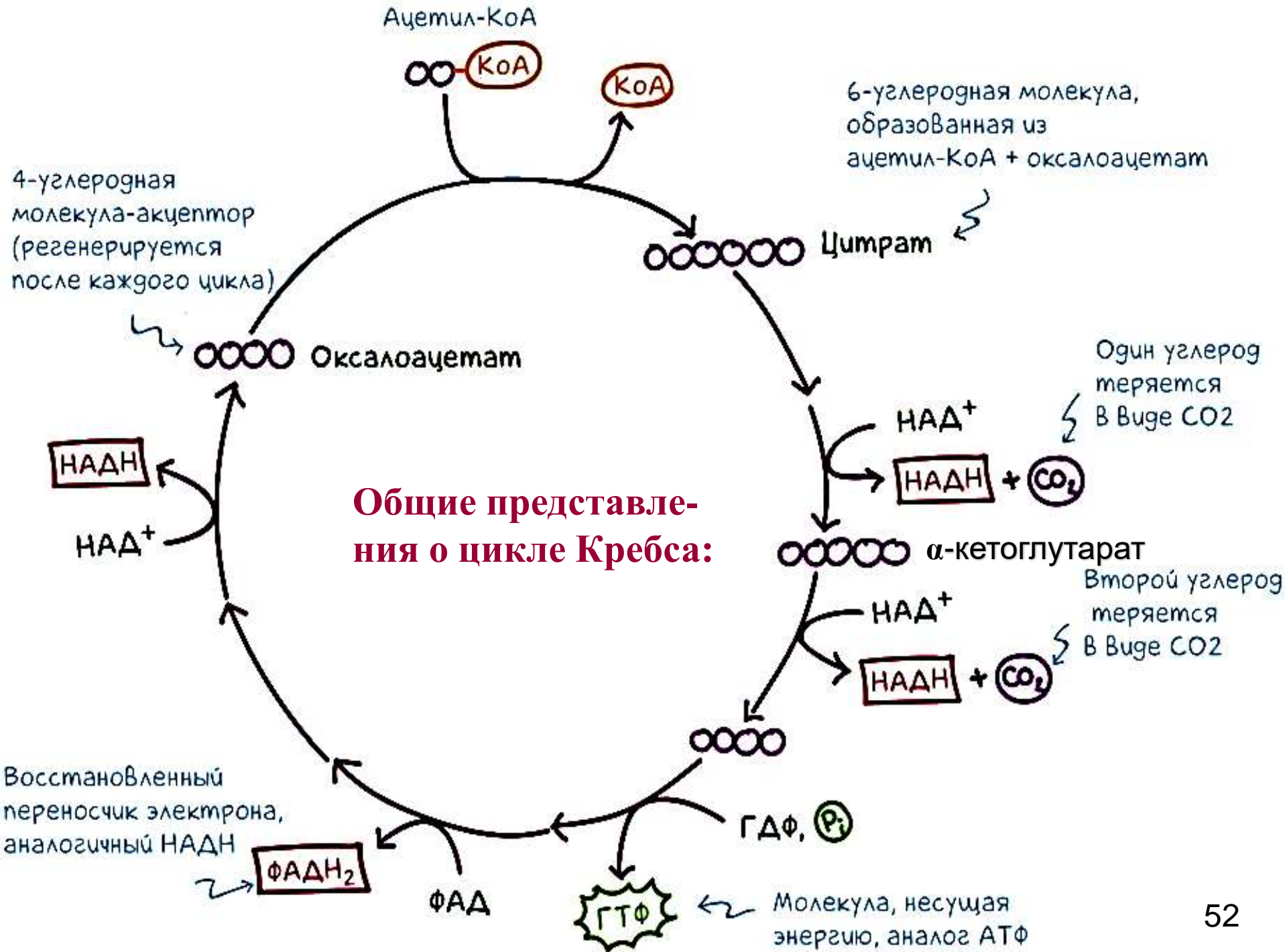
- **Углеводы (крахмал) перевариваются амилазой слюны и поджелудочной железы, дисахариды - дисахаридазами до моносахаров (глюкозы, фруктозы, галактозы).**
- **Белки переваривает пепсин, трипсин, хемотрипсин, эластаза до аминокислот.**
- **Жиры перевариваются липазой до глицерина и**
- **3-х ВЖК.**
- **Фосфолипиды переваривает фосфолипаза до фосфоглицерина и 2-х ВЖК.**

2 ЭТАП – синтез ключевых соединений:

- **ПВК;**
 - **ЩУК;**
 - **Ацетил КоА;**
 - **Альфа-кетоглутарата.**
-
- **Протекает в цитоплазме клетки или в митохондриях.**
 - **Требует участия коферментов НАД⁺ и ФАД.**
 - **Часть энергии запасается в форме АТФ.**

3 ЭТАП – цикл Кребса (цикл трикарбоновых кислот, цикл лимонной кислоты):

- Происходит только в митохондриях клеток.
- За один оборот цикла окисляется одна молекула ацетилкоэнзима А до 2CO_2 .
- Создаются условия для синтеза 12 молекул АТФ
- (в самом цикле АТФ не образуется).
- Образуется структурный аналог АТФ – **ГТФ** в реакции субстратного фосфорилирования (ЦТК).



Суммарное уравнение цикла Кребса:



Конечные продукты цикла Кребса и пути их использования:

- ❑ CO_2 выдыхается с воздухом, небольшая часть используется в реакциях карбоксилирования;
- ❑ НАДН и ФАДН₂ окисляются в дыхательной цепи, участвуя в создании электрохимического потенциала;
- ❑ ГТФ используется на различные виды работы, например, синтез белка.

Энергетическое значение цикла Кребса:

- Образуется **3 НАДН•Н⁺** каждый из которых при окислении в тканевом дыхании создаёт условия для синтеза **3 АТФ** в окислительном фосфорилировании (итого – **9 АТФ**).
- Образуется **ФАДН₂** создающий условия для синтеза **2 АТФ**.
- Непосредственно в цикле Кребса образуется **1 ГТФ** (энергетически = **1 АТФ**) в реакции субстратного фосфорилирования. Найдите её на предыдущем слайде и запишите в тетрадь!

4 ЭТАП – тканевое дыхание и окислительное фосфорилирование:

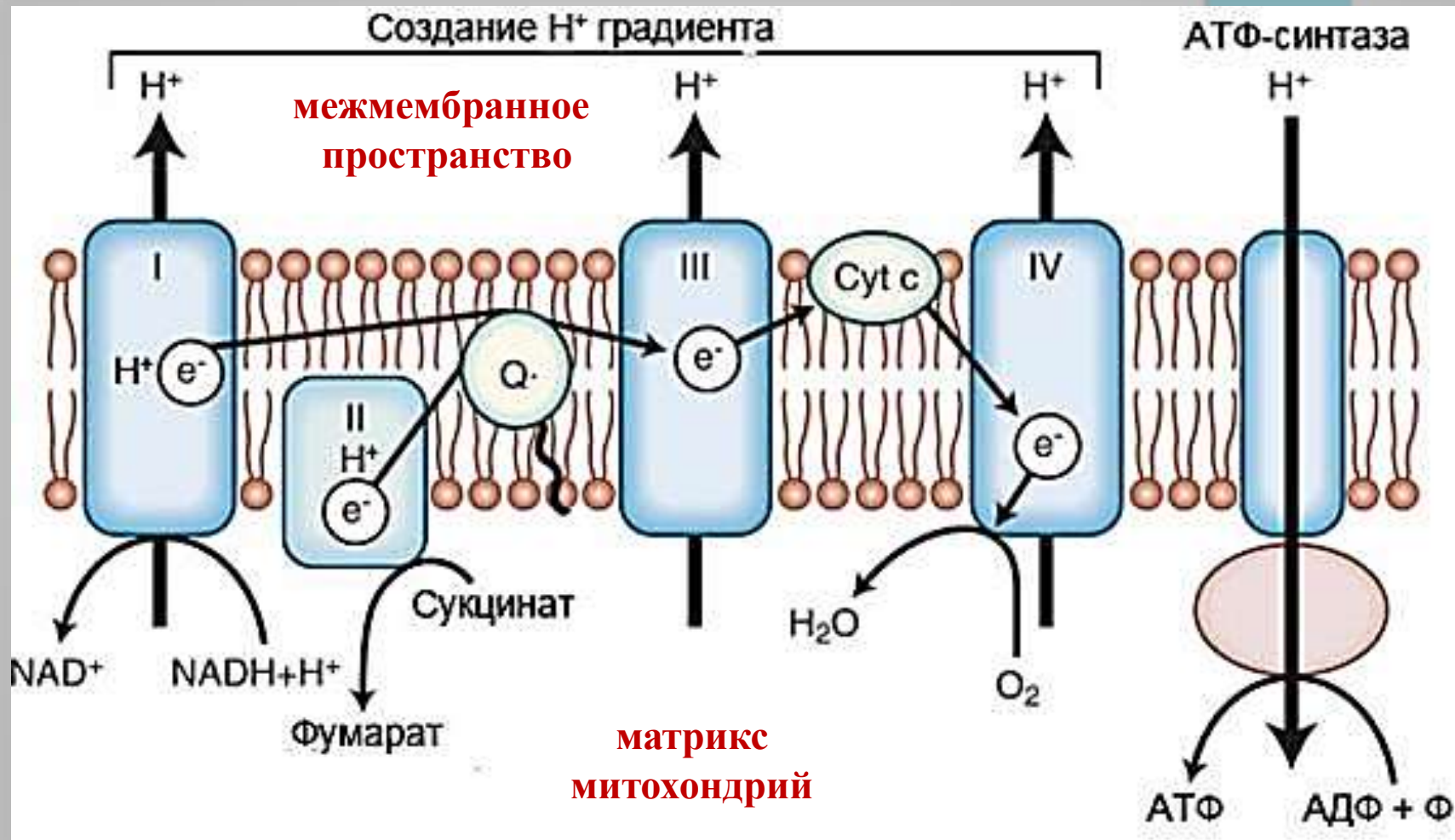
Общее уравнение:



- Протекает на внутренней мембране митохондрий.
- Требуется участия кислорода.
- Ферменты тканевого дыхания (цепи переноса электронов, ЦПЭ) создают на внутренней мембране электрохимический потенциал (в межмембранном пространстве H^+ больше, чем в матриксе).
- При достижении потенциалом значения 220 мЭВ* активируется фермент **протонная АТФ-синтаза** и происходит синтез АТФ из АДФ и фосфата (окислительное фосфорилирование).

* один мЭВ по Международной Системе Измерений равен энергии, необходимой для переноса элементарного заряда в электростатическом поле между точками с разницей потенциалов в 1 В!

Электрон-транспортная цепь митохондрий:



Выводы:

Таким образом, трансформация энергии в организме проходит следующими этапами:



На всех этапах этого процесса часть энергии рассеивается в виде теплоты.

Окси-, оксокислоты и производные КоА – **обязательные участники энергетического обмена!**

Цикл Кребса



Задание для самоконтроля:

Найдите все
окси- и кетокислоты, о которых
говорилось в лекции?

Основная литература.

Литература.

- **Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов : учебник для студентов вузов / ред. Ю. А. Ершов. - М. : Высшая школа, 2002, 2009. - 559 с.**
- **Химия [Электронный ресурс] : учебник / Пузаков С.А. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2006. - <http://www.rosmedlib.ru/book/ISBN5970401986.html>**
- **Попков, В. А. Общая химия [Электронный ресурс] : гриф УМО по медицинскому и фармацевтическому образованию вузов России. / Попков В.А. - Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2010. - Б. ц.– Режим доступа: <http://www.rosmedlib.ru/book/ISBN9785970415702.html>**
- **Биоорганическая химия : учебник для студентов медицинских вузов / Н. А. Тюкавкина, Ю. И. Бауков, С. Э. Зурабян. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2010. - 416 с. : ил.**

Дополнительная литература.

- **Общая химия : учебник для студентов медицинских вузов / В. А. Попков, С. А. Пузаков. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2009. - 976 с.**
- **Органическая химия с основами биохимии [Электронный ресурс] : учебное пособие / М. Ф. Некрасова, Т. И. Вострикова, Н. Е. Ким [и др.]. - Новосибирск : Сибмедиздат НГМУ, 2014. - 232 с.**

Спасибо за внимание!

