

Обмен углеводов

План

1. Анаэробный распад углеводов.
2. Брожение.
3. Глюконеогенез.
4. Пентозофосфатный путь окисления глюкозы и его биологическое значение.

Функции углеводов заключаются в том, что они служат источником **энергии**, за счет их окисления обеспечивается около половины всей потребности животного в энергии, при этом главная роль принадлежит

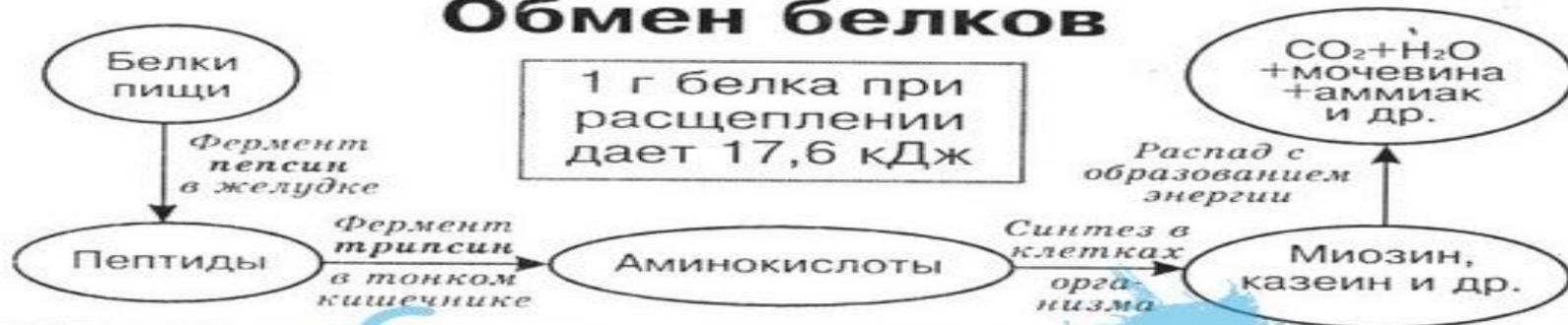
глюкозе и гликогену.

- Синтез и распад гликогена протекают по разным метаболическим путям.
- Печень запасает глюкозу в виде гликогена не столько для собственных нужд, сколько для поддержания постоянной концентрации глюкозы в крови и, следовательно, обеспечивает глюкозой другие ткани. Присутствие в печени глюкозо-6-фосфатазы обуславливает эту главную функцию печени.
- •Функция мышечного гликогена заключается в освобождении глюкозо-6-фосфата, потребляемого в самой мышце для окисления и получение энергии.
- Синтез гликогена — процесс эндергонический. Так, на включение одного остатка глюкозы в полисахаридную цепь используется 1 моль АТФ и 1 моль УТФ. •Распад гликогена до глюкозо-6-фосфата не требует энергии. •Направление процесса в сторону синтеза или распада гликогена обеспечивается регуляцией

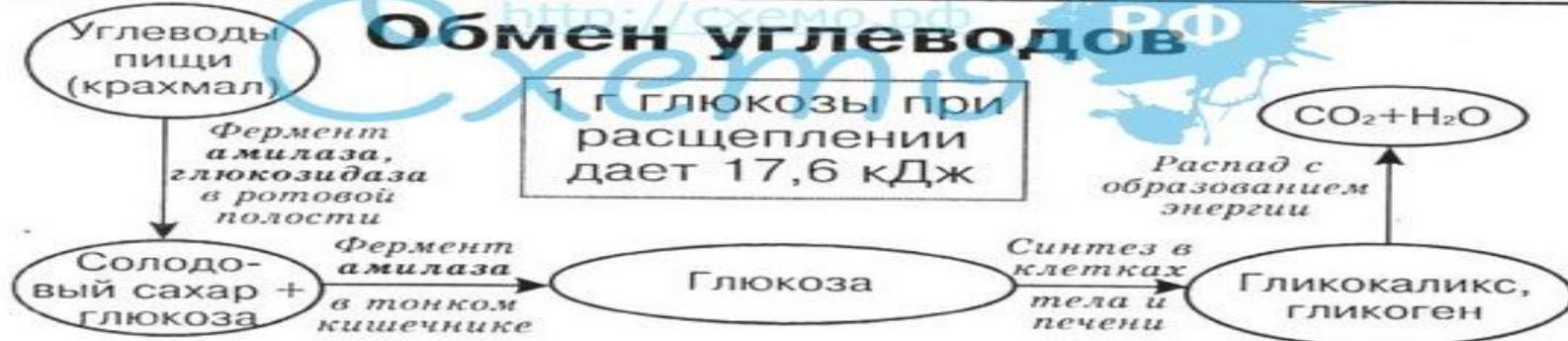
Превращение веществ в организме

Обмен веществ - сложная цепь превращений в организме, начиная с момента поступления из внешней среды и кончая удалением продуктов распада.

Обмен белков

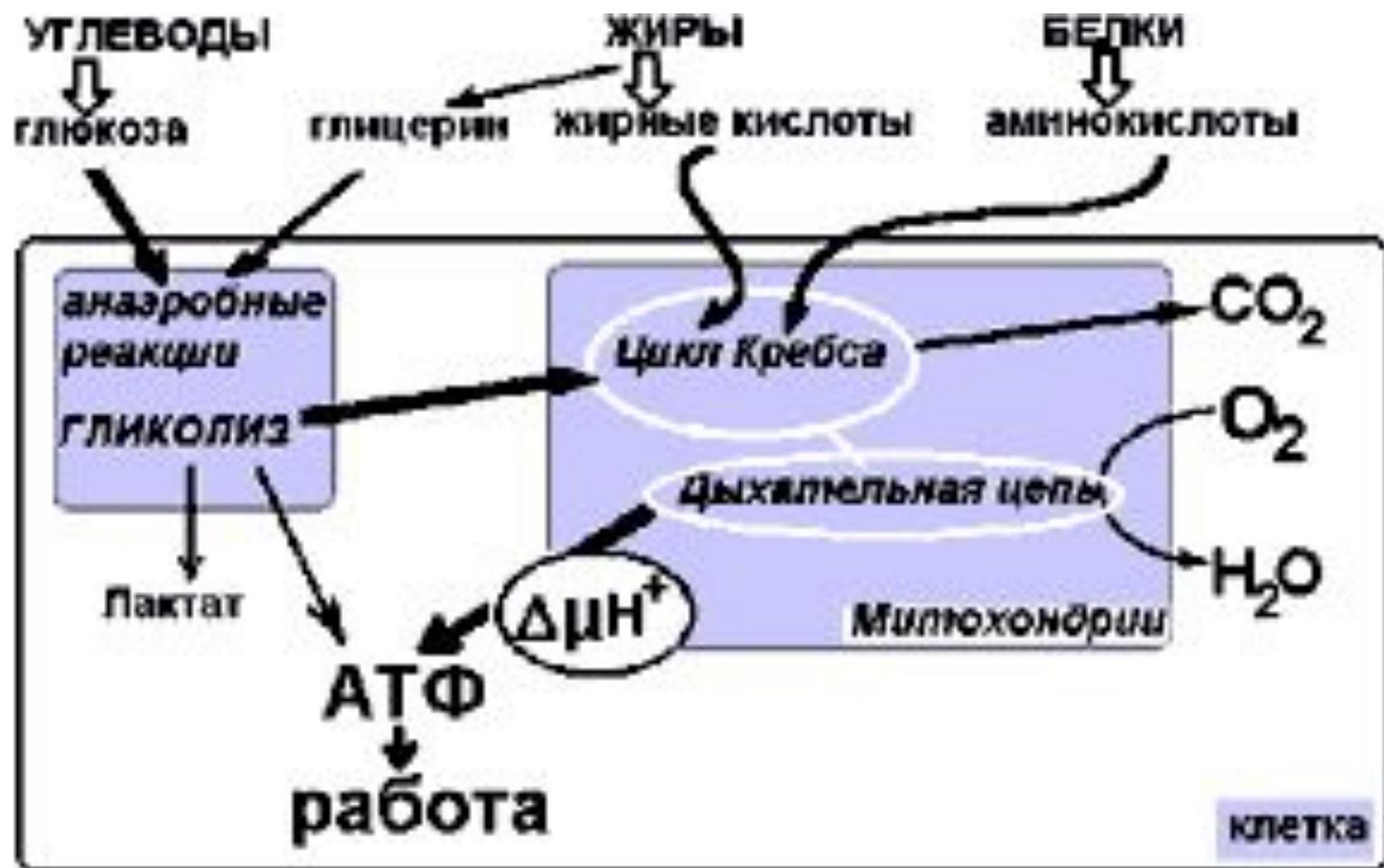


Обмен углеводов



Обмен жиров





Обмен белков

Белки пищи
(C, H, O, N, [S])



аминокислоты



белки,
свойственные организму



продукты распада:
 CO_2 , H_2O , NH_3
мочевина (энергия
освобождается)

Обмен жиров

Жиры пищи
(C, H, O)



глицерин и жирные
кислоты



жиры,
свойственные организму



продукты распада:
 CO_2 , H_2O
(энергия
освобождается)

Обмен углеводов

Углеводы пищи
(C, H, O)



глюкоза

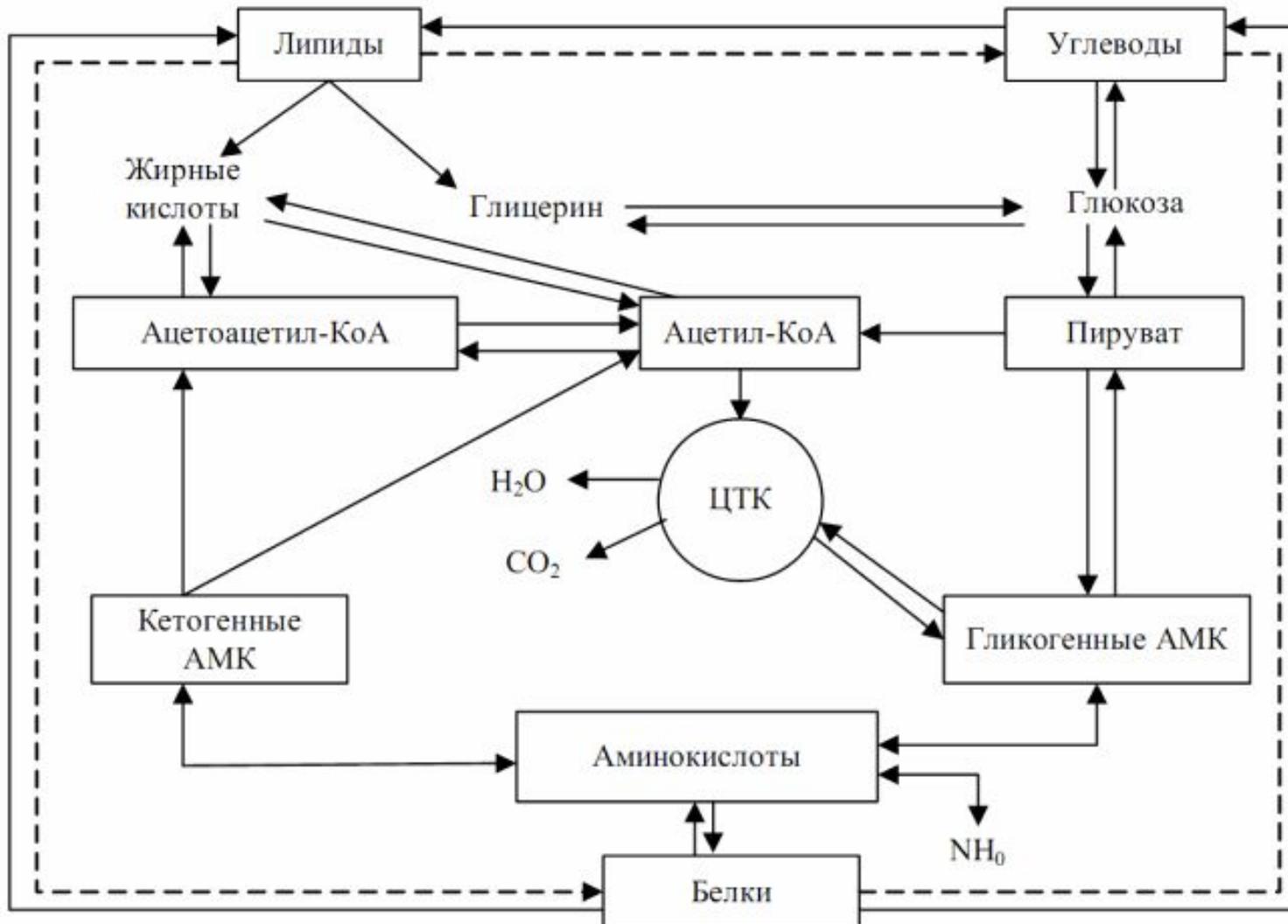


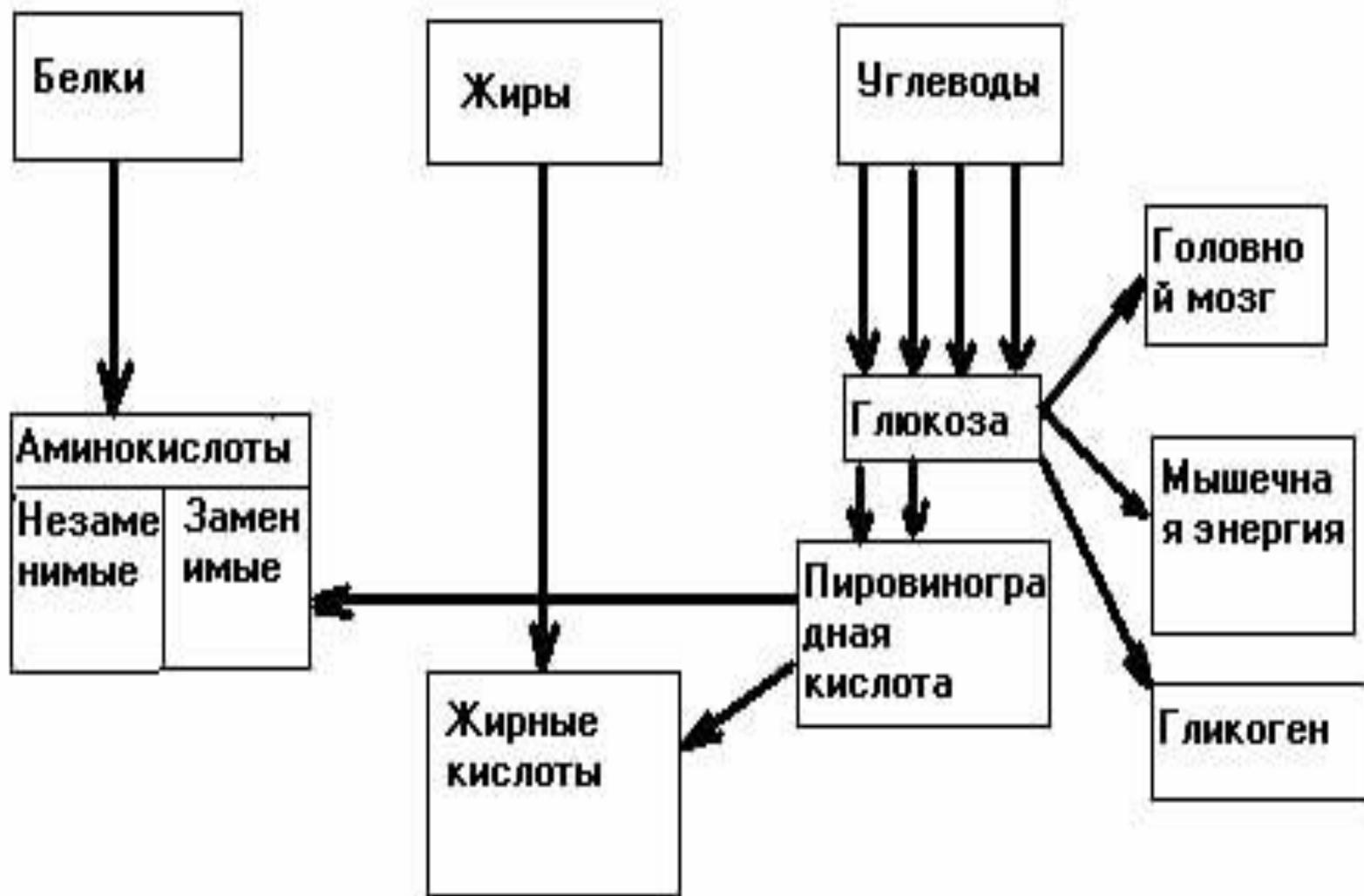
гликоген



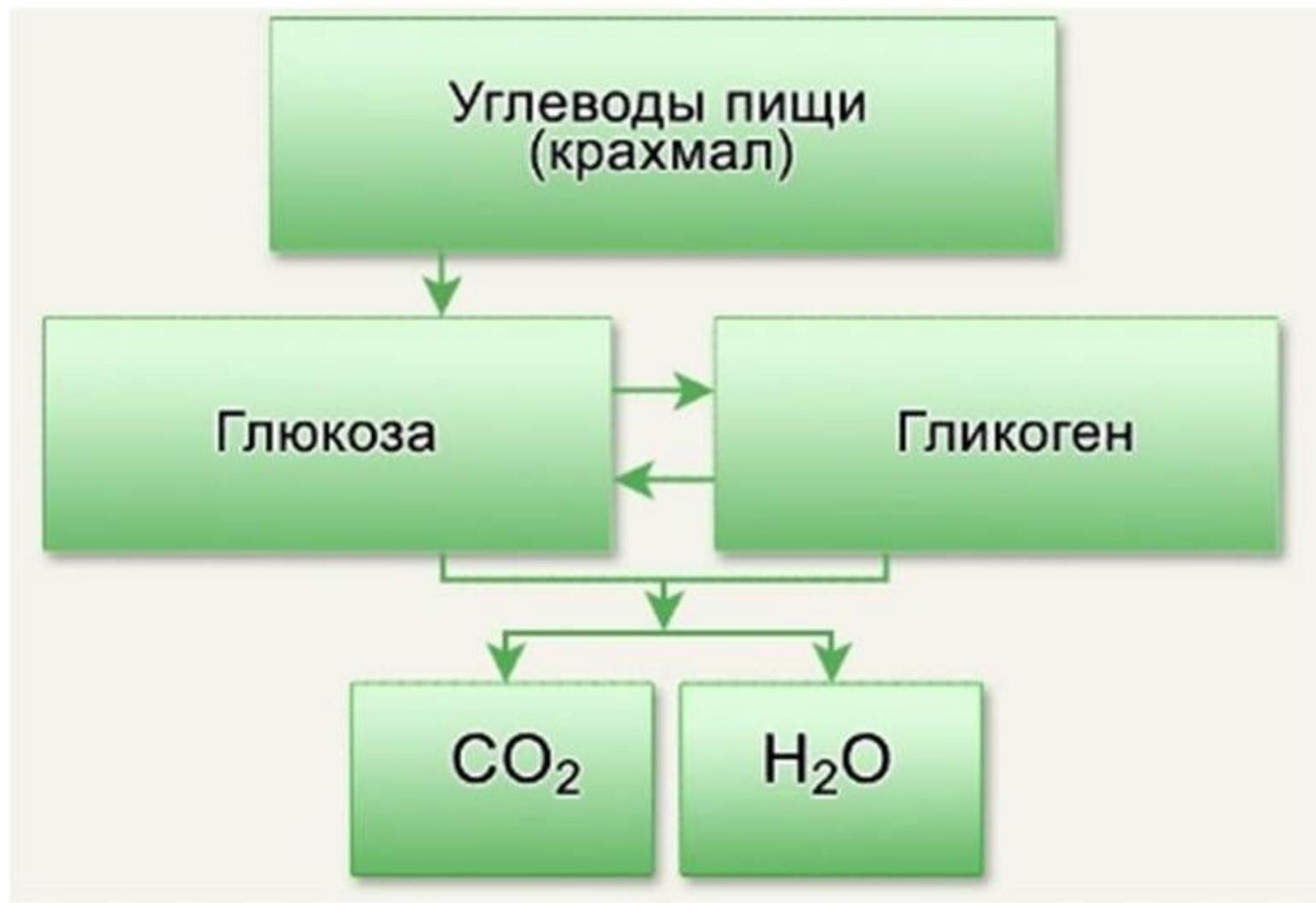
продукты распада:
 CO_2 , H_2O
(энергия освобождается)

Роль печени
в превращении одних веществ организма
в другие.





Расщепление углеводов



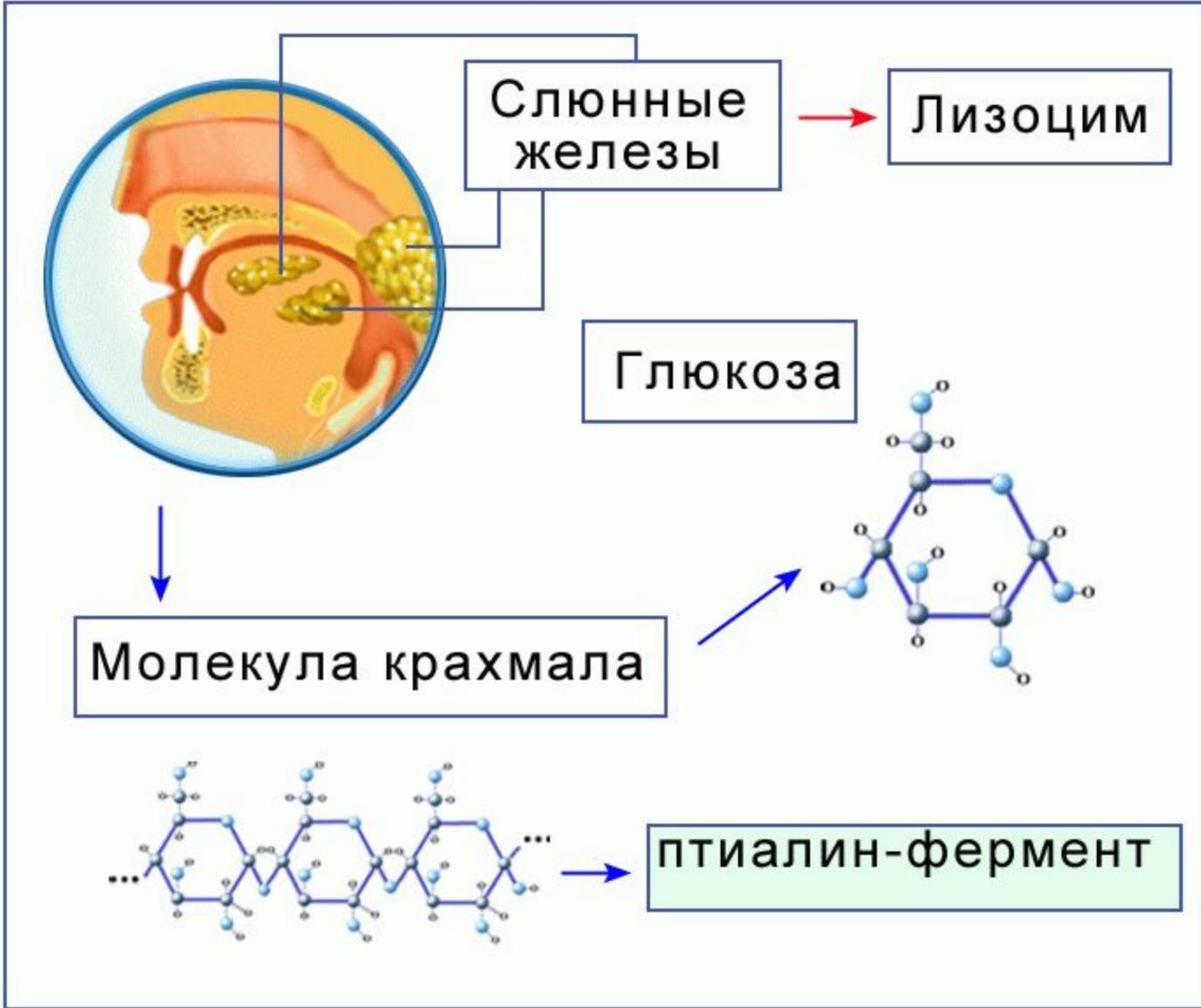
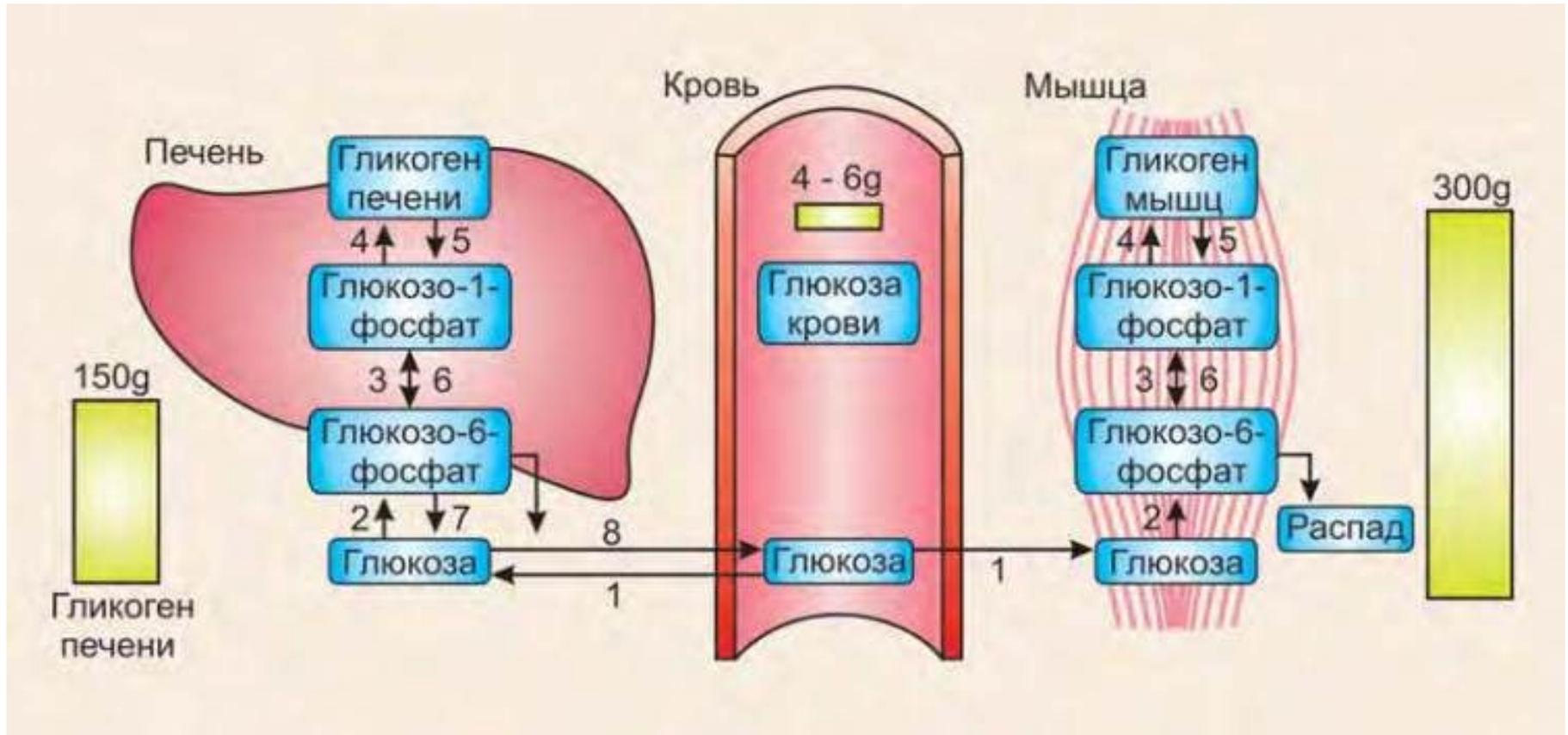


СХЕМА ОБМЕНА УГЛЕВОДОВ



общая схема синтеза и распада гликогена.



- 1–4 — реакции синтеза гликогена в печени и мышцах; 5–6 — реакции мобилизации гликогена в печень и мышцы; 7–8 — реакции дефосфорилирования глюкозо-6-фосфата и поступление глюкозы в кровь. Реакция происходит в печени в отличие от мышц, в которых отсутствует фермент фосфатаза

Гликоген печени используется для поддержания уровня глюкозы в крови в периоды между приемом пищи или интенсивном ее окислении, а гликоген скелетных мышц — для энергообеспечения самих мышц (рис. 58).

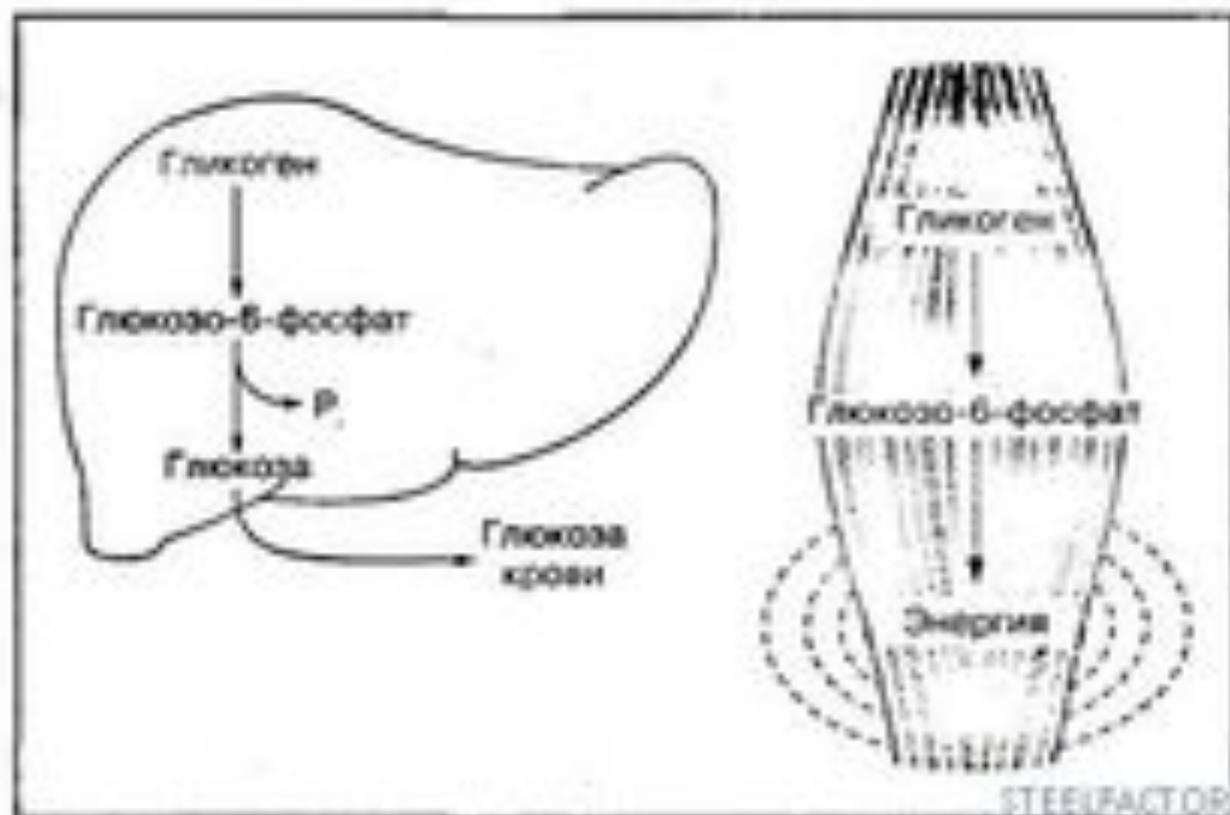


Рис. 58
Использование
гликогена печени
и скелетных мышц

- **Метаболизм(обмен) углеводов в организме человека состоит в основном из следующих процессов:**
- 1. Расщепление в пищеварительном тракте поступающих с пищей полисахаридов и дисахаридов до моносахаридов. Всасывание моносахаридов из кишечника в кровь.
- 2. Синтез и распад ликогена в тканях, прежде всего в печени.
- 3. Гликолиз. Понятие «гликолиз» означает расщепление глюкозы. Понятие «гликолиз» используется для описания распада глюкозы, проходящего через образование глюкозо-6-фосфата, фруктозобисфосфата и пирувата как в отсутствие, так и в присутствии кислорода. В последнем случае употребляют термин «аэробный гликолиз» в отличие от «анаэробного гликолиза», завершающегося образованием молочной кислоты(лактата).

- 4. Аэробный путь прямого окисления глюкозы или, как его называют, пентозофосфатный путь (пентозный цикл).
- 5. Взаимопревращение гексоз.
- 6. Аэробный метаболизм пирувата. Этот процесс выходит за рамки углеводного обмена, однако может рассматриваться как завершающая его стадия: окисление продукта гликолиза – пирувата.
- 7. Наконец, важным является процесс глюконеогенеза, или образование углеводов из неуглеводных продуктов. Такими продуктами являются в первую очередь пировиноградная и молочная кислоты, глицерин, аминокислоты и ряд других соединений.

- Глюкоза выполняет роль связывающего звена между энергетическими (катаболизм) и пластическими (анаболизм) функциями углеводов

ОБМЕН УГЛЕВОДОВ

(моно-, ди-, олигосахариды)

энергетическая

-растительный крахмал

-глюкоза

-целлюлоза

пластическая

гликоген

МЫШЦЫ

- Суточная норма потребления 400-500 г углеводов.

Обмен углеводов



Общая схема метаболизма глюкозы



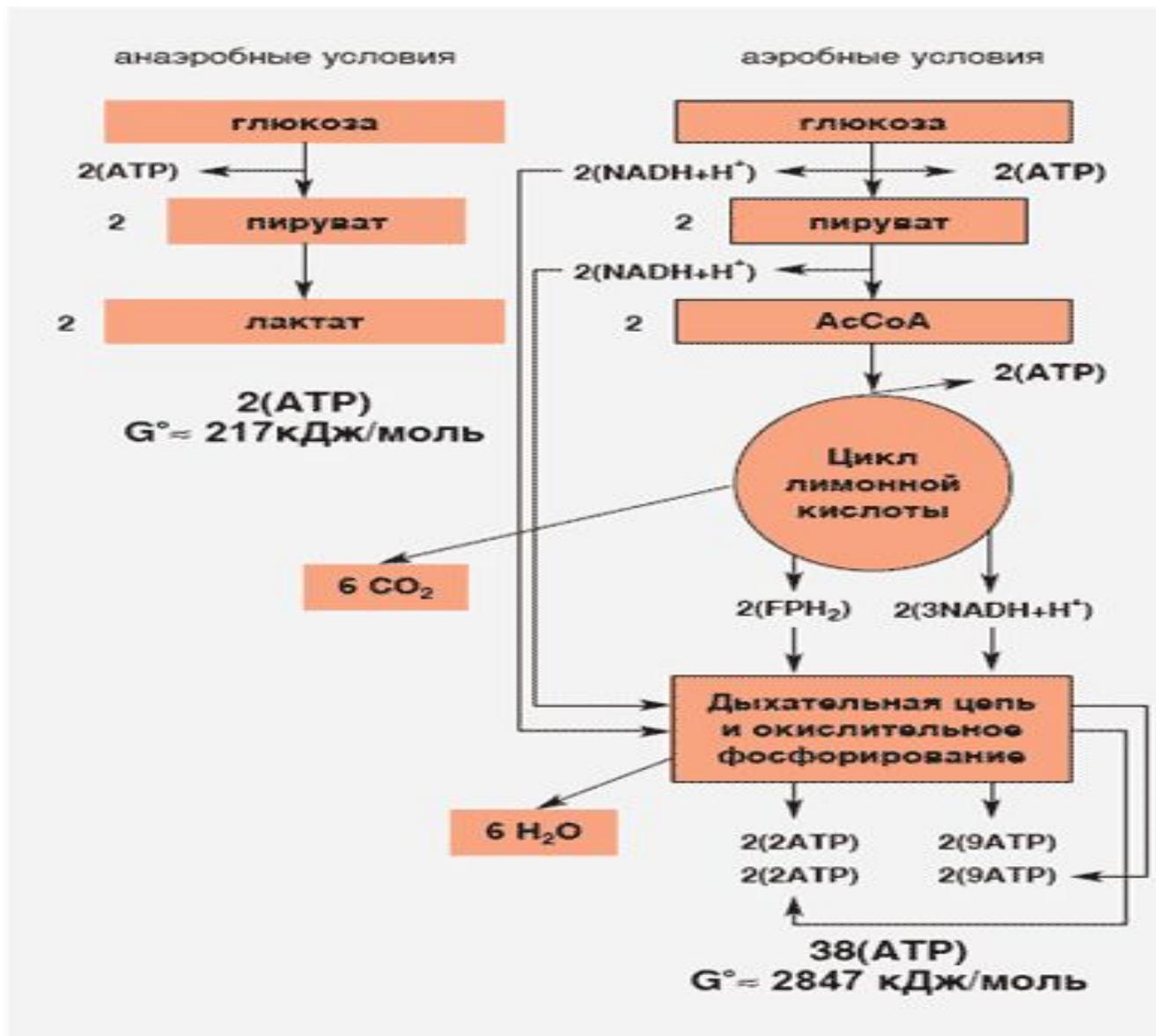
- 1 - запасание углеводов в виде гликогена;
- 2 - мобилизация гликогена;
- 3 - 6 - анаболические превращения глюкозы;
- 7 - катаболизм глюкозы.

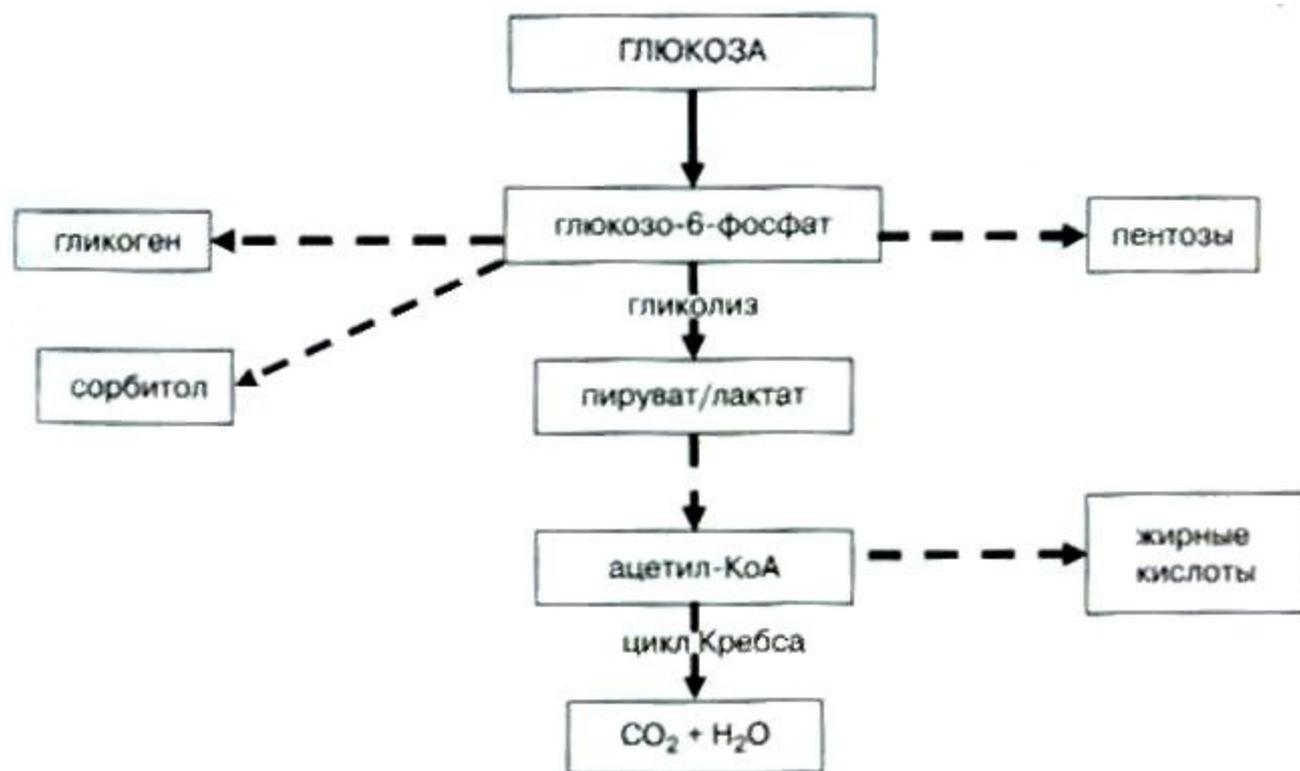
Катаболизм глюкозы

- Расщепление глюкозы в тканях происходит аэробно – с участием кислорода
- Если этот процесс начинается с глюкозы, то называется **ГЛИКОЛИЗОМ.**
- Окисление глюкозы без доступа кислорода – анаэробное превращение, которое начинается с гликогена и заканчивается образованием молочной кислоты называется **ГЛИКОГЕНОЛИЗОМ.**

Гликолиз

Рис.1. Энергетический баланс анаэробного и аэробного процессов (2).

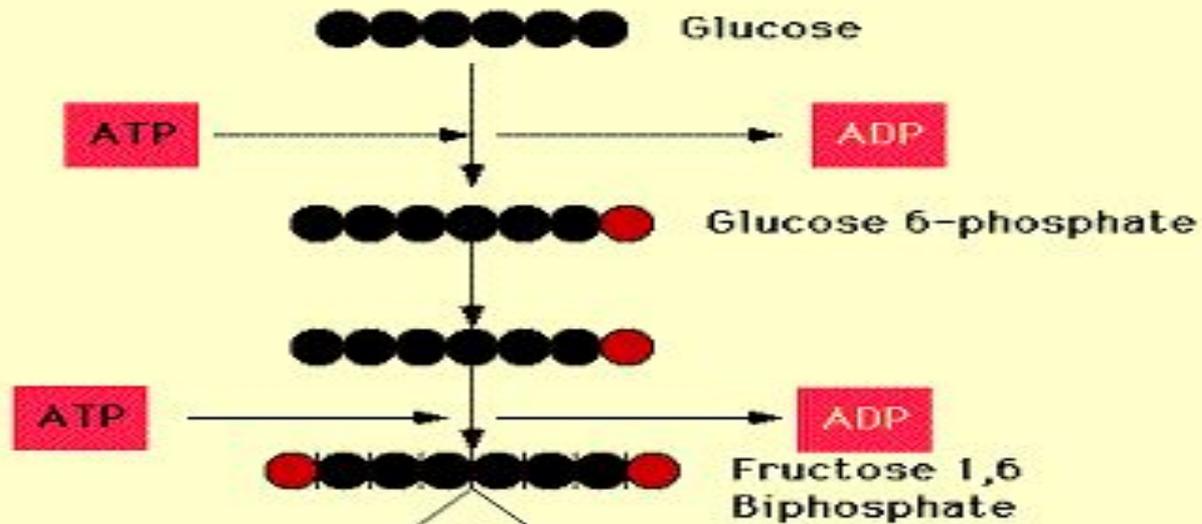




Основные пути метаболизма глюкозы

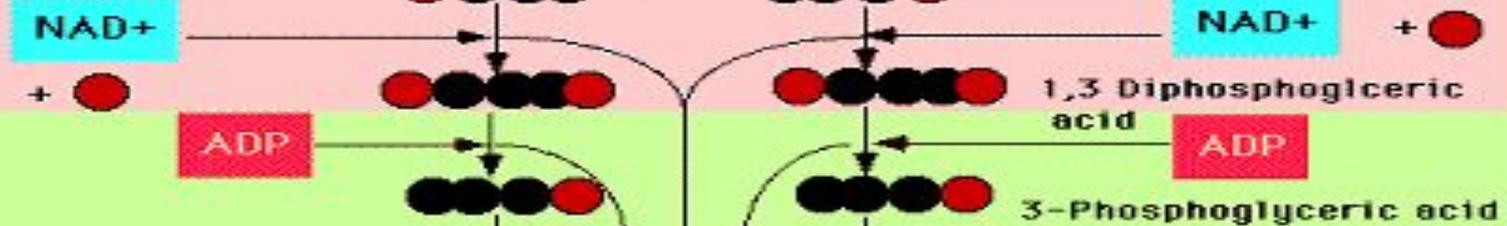
Glycolysis

STEP 1.



Phosphoglycer aldehyde (PGAL)

STEP 2



STEP 3



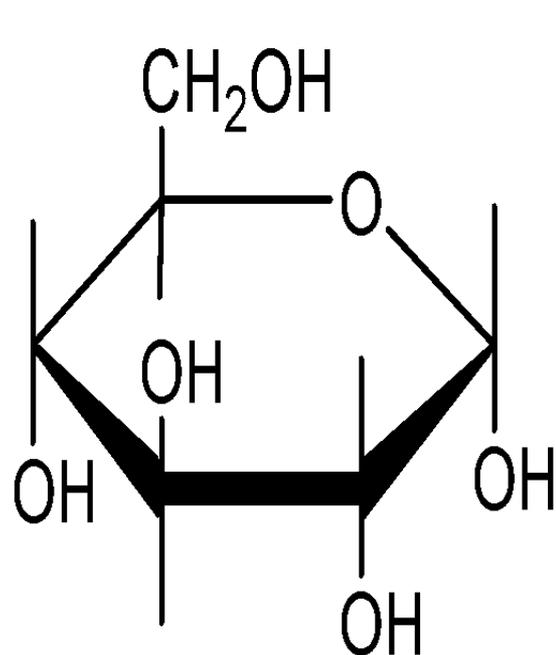
STEP 4



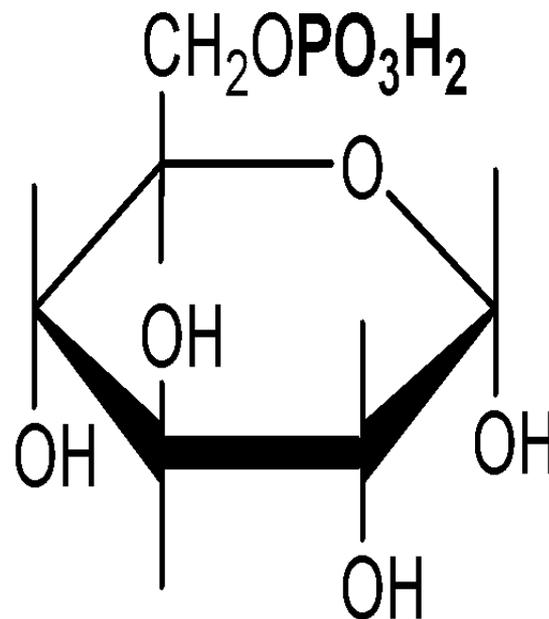
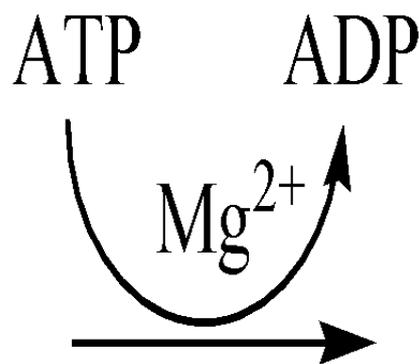
1 этап (1-4 стадии)

1.1.

фосфорилирование



Глюкоза

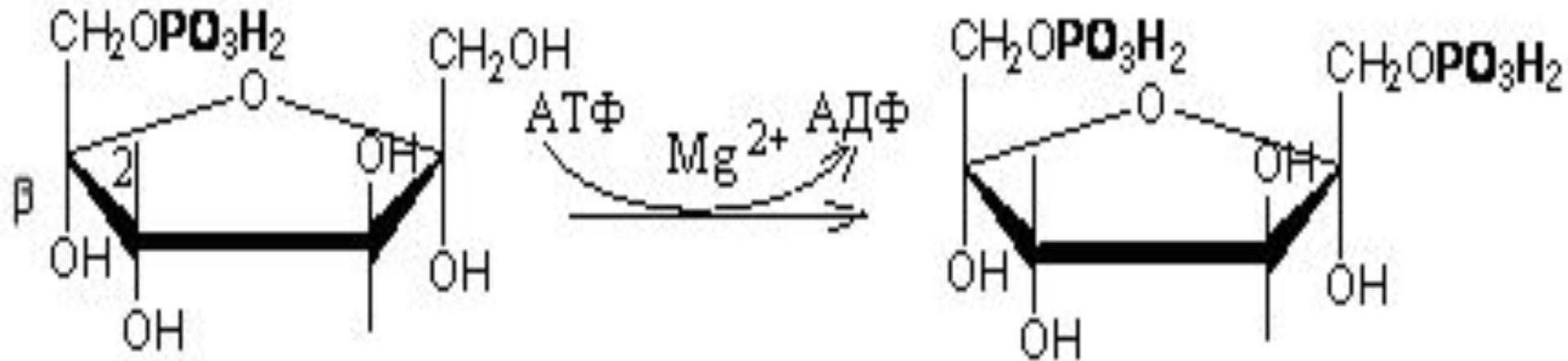


Глюкозо-6-фосфат

Фосфорилирование осуществляет фермент **фосфогексокиназа**.

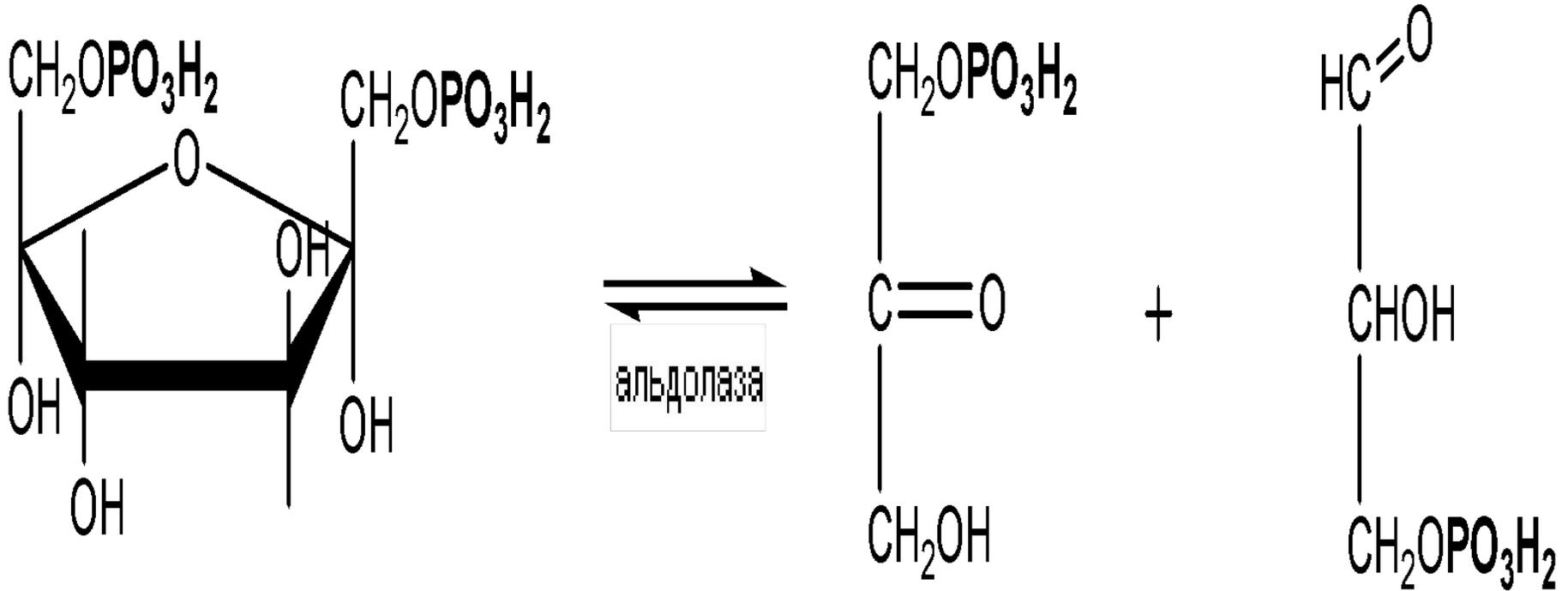
- глюкоза **способна** проходить через клеточные мембраны
- глюкозо-6-фосфат **не может** проходить через клеточные мембраны, в результате фосфорилирования глюкозы она **«запирается в клетке»**

1.2 . Образование фруктозо-1,6-ди-фосфата с участием АТФ и фосфофруктокиназы



Фруктозо - 6 - фосфат Фруктозо -1,6- дифосфат

1.3. Расщепление на 2 фосфотриозы (альдолаза)

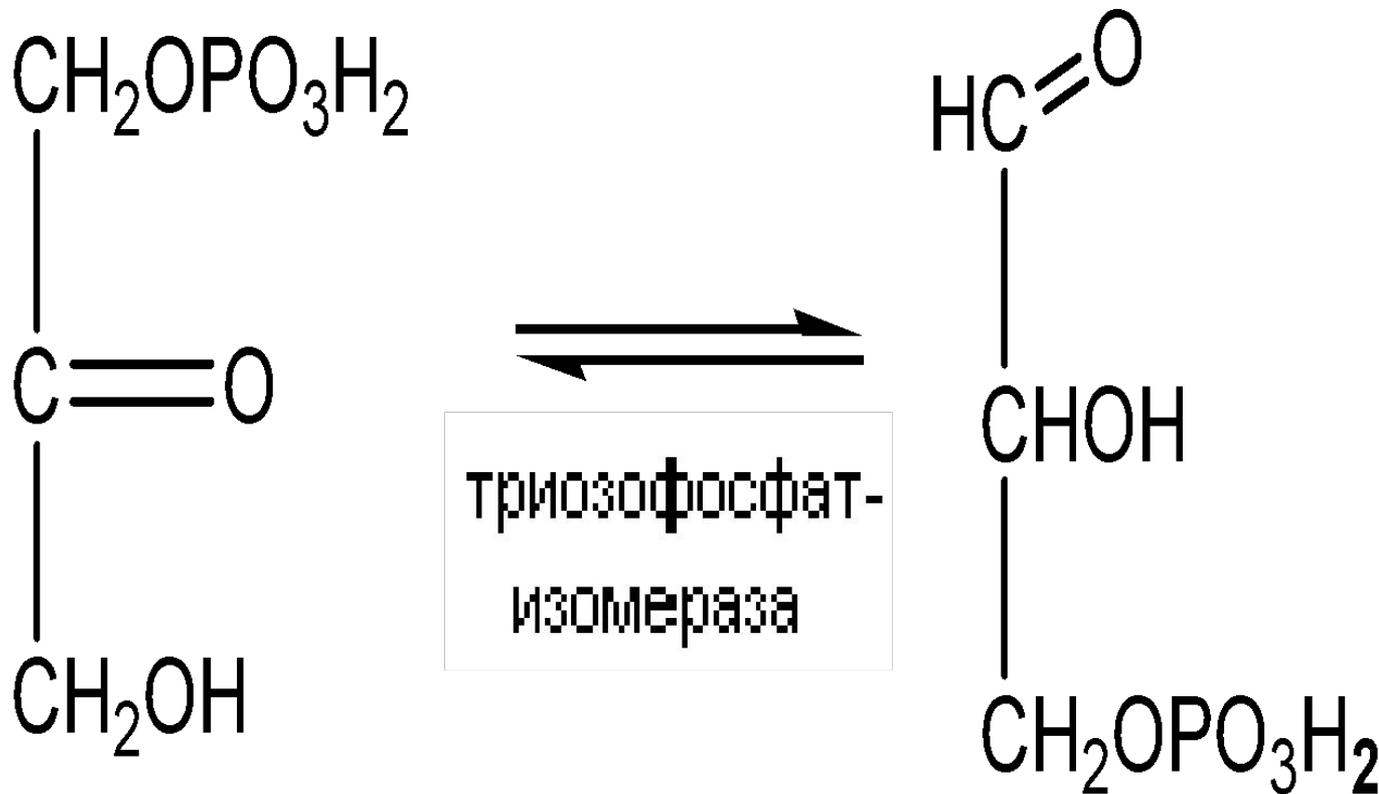


Фруктозо-1,6-дифосфат

**Диоксиацетон-
фосфат**

**Глицеральдегид
- 3- фосфат**

1.4. Превращение в 3-фосфоглицериновый альдегид (триозофосфотизомераза)



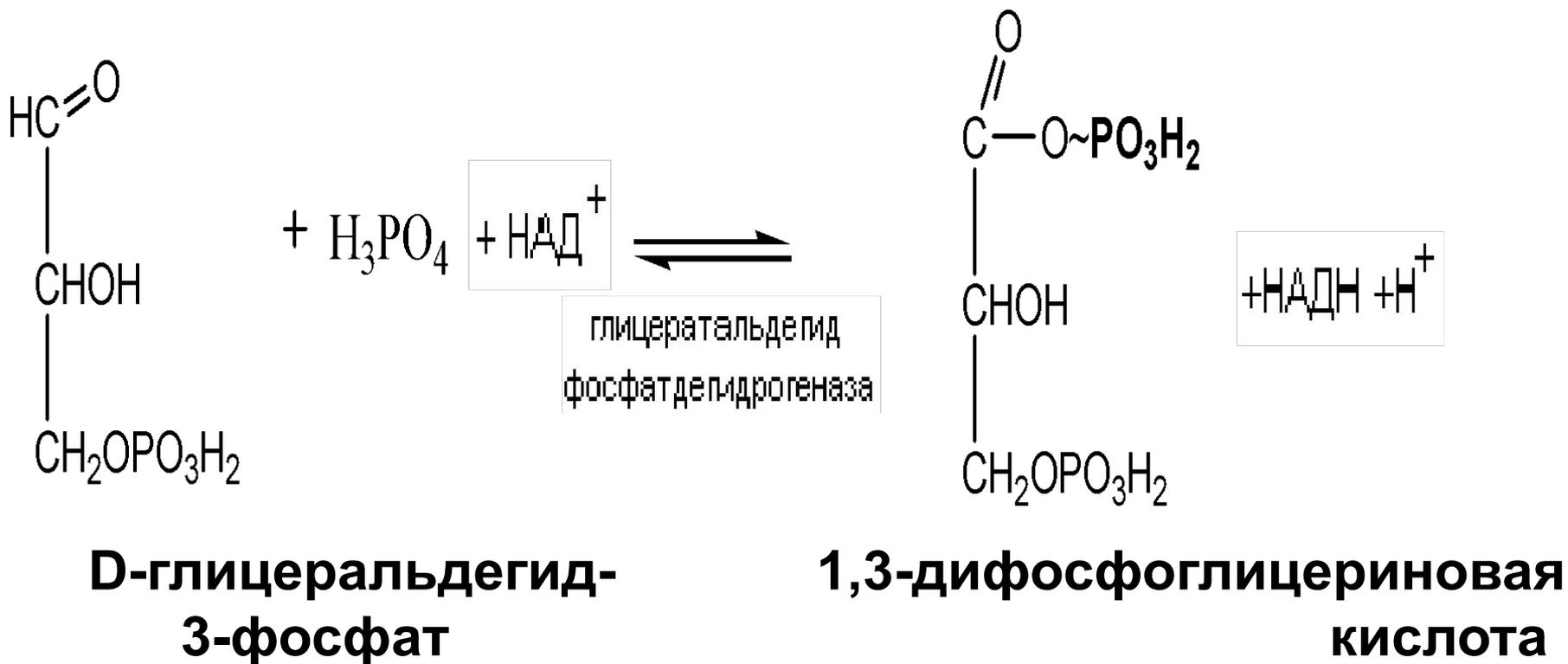
Диоксиацетонфосфат

Глицеральдегид-3-фосфат

2 этап - окисление

**3-фосфоглицеринового альдегида до
1,3-дифосфоглицериновой**

2.1. образование 1,3-дифосфоглицериновой кислоты с участием глицеральдегиддигидрогеназы и НАД



2.2. Перенос остатка фосфорной кислоты с 1,3-дифосфоглицериновой кислоты на АДФ (фосфоглицераткиназа), с образованием АТФ :

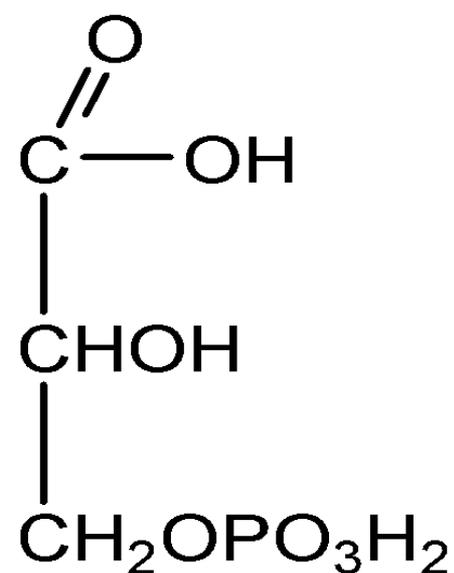


**1,3-дифосфоглицериновая
кислота**

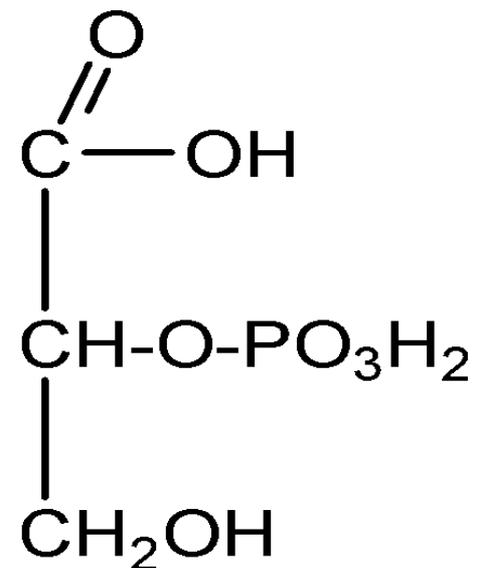
**3-фосфоглицериновая
кислота**

- 3 этап

2.3. Превращение 3-фосфоглицериновой кислоты (фосфоглицеромутаза) в 2-фосфоглицериновую кислоту



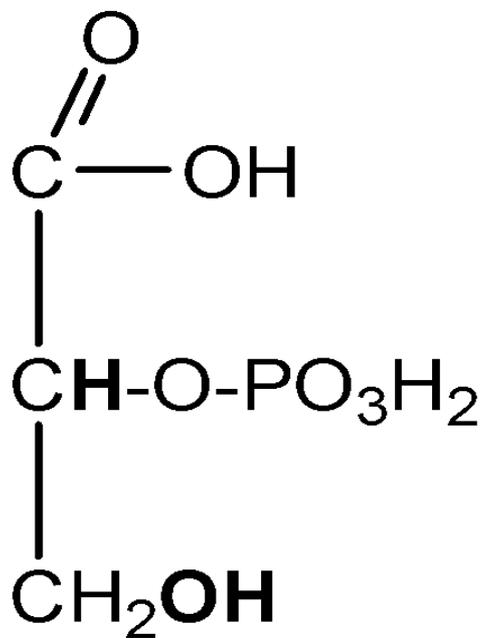
фосфоглицеромутаза



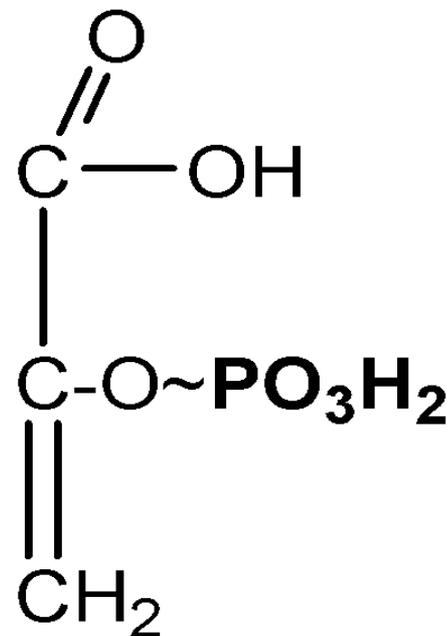
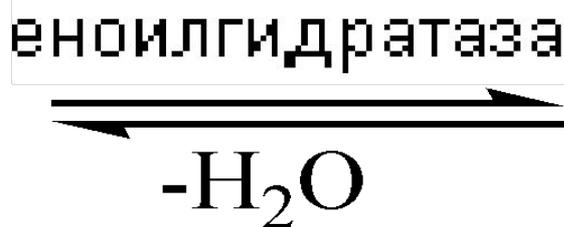
3-фосфоглицериновая
кислота

2-фосфоглицериновая
кислота

2.4. Дегидрирование 2-фосфоглицериновой кислоты (енолгидратаза), с образованием енольной формы 2-фосфопировиноградной кислоты, с макроэргической фосфатной связью



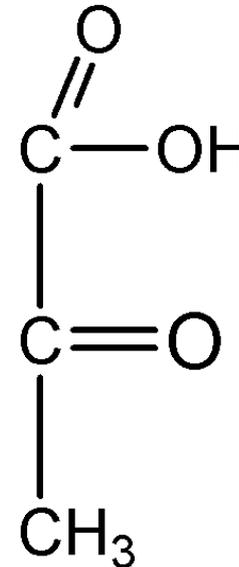
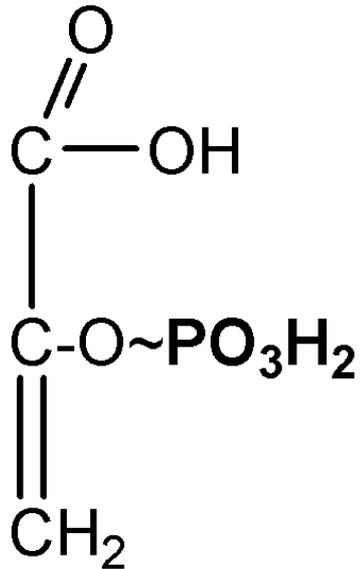
**2-фосфоглицериновая
кислота**



**2-фосфоенолпировиноградная
кислота**

- 4 этап
- **пировиноградной кислоты (ПВК)**

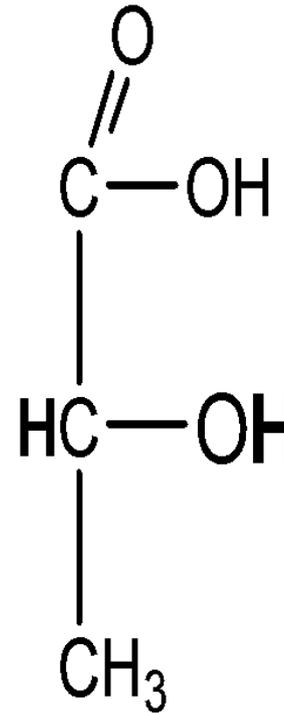
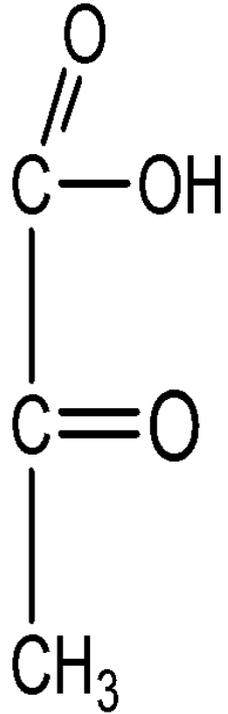
2.5. Субстратное фосфорилирование. Превращение енольной формы ПВК в кетоформу пирувата (пируваткиназа) с передачей макроэнергической связи на АДФ и синтезом АТФ :



**Фосфоенолпировиноградная
кислота**

**Пировиноградная
кислота**

2.6. При недостатке кислорода **ПВК** (лактатдегидрогеназа) с участием НАДН₂ превращается в **молочную кислоту**, которая является конечным продуктом **анаэробного расщепления глюкозы** в животных тканях:



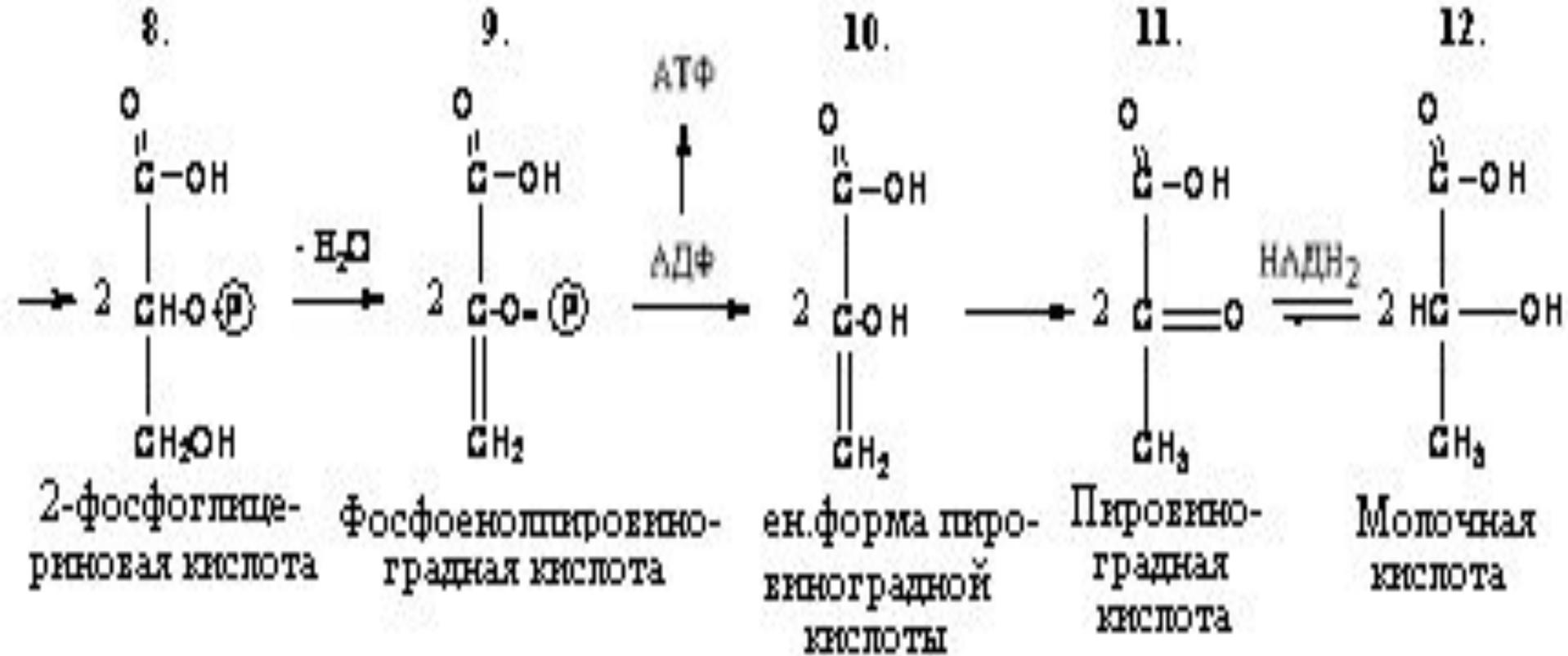
Пируват (ПВК)

Лактат (молочная кислота)

Гликолиз

- При гликолизе из одной молекулы глюкозы образуется 2 молекулы молочной кислоты и синтезируется 4 молекулы АТФ, из них 2 молекулы расходуется на фосфорилирование глюкозы (образование глюкозы 6-фосфата) и фруктозы-6-фосфата (образование фруктозы 1,6-дифосфата). Суммарную реакцию гликолиза можно записать в виде следующего уравнения:
- **$C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2P_{неорг.} \rightarrow 2C_3H_6O_3 + 2ATP$**

Этапы гликолиза



- **Молочнокислое брожение** отличается от гликолиза тем, что при этом в качестве конечного продукта распада образуется две молекулы молочной кислоты. Обычно **брожением** называют микробиологическое, а **гликолизом** тканевое окисление глюкозы без доступа кислорода.

- Аэробный путь распада глюкозы является основной формой ее катаболизма.
- Десять ферментов, катализирующих распад глюкозы до пировиноградной кислоты, локализованы в **цитозоле**, все остальные – в **митохондриях**.
- Пировиноградная кислота, образованная в цитозоле, проходит через мембраны митохондрий с помощью малатного челночного механизма и подвергается **окислительному декарбоксилированию с образованием активированной уксусной кислоты (ацетил-КоА)**.

Окислительное декарбоксилирование с образованием активированной уксусной кислоты (ацетил-КоА)



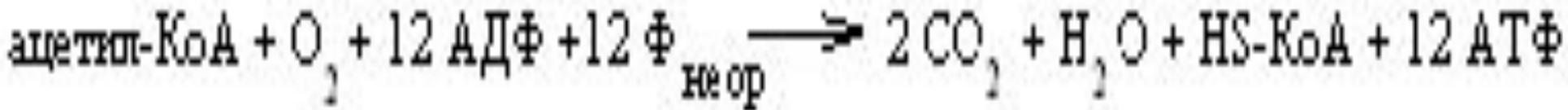
ПВК

ацетил~SКоА

**ацетил~SКоА --промежуточный
метаболит углеводов, белков и
ЛИПИДОВ**

Цикл трикарбоновых кислот (цикл Кребса)

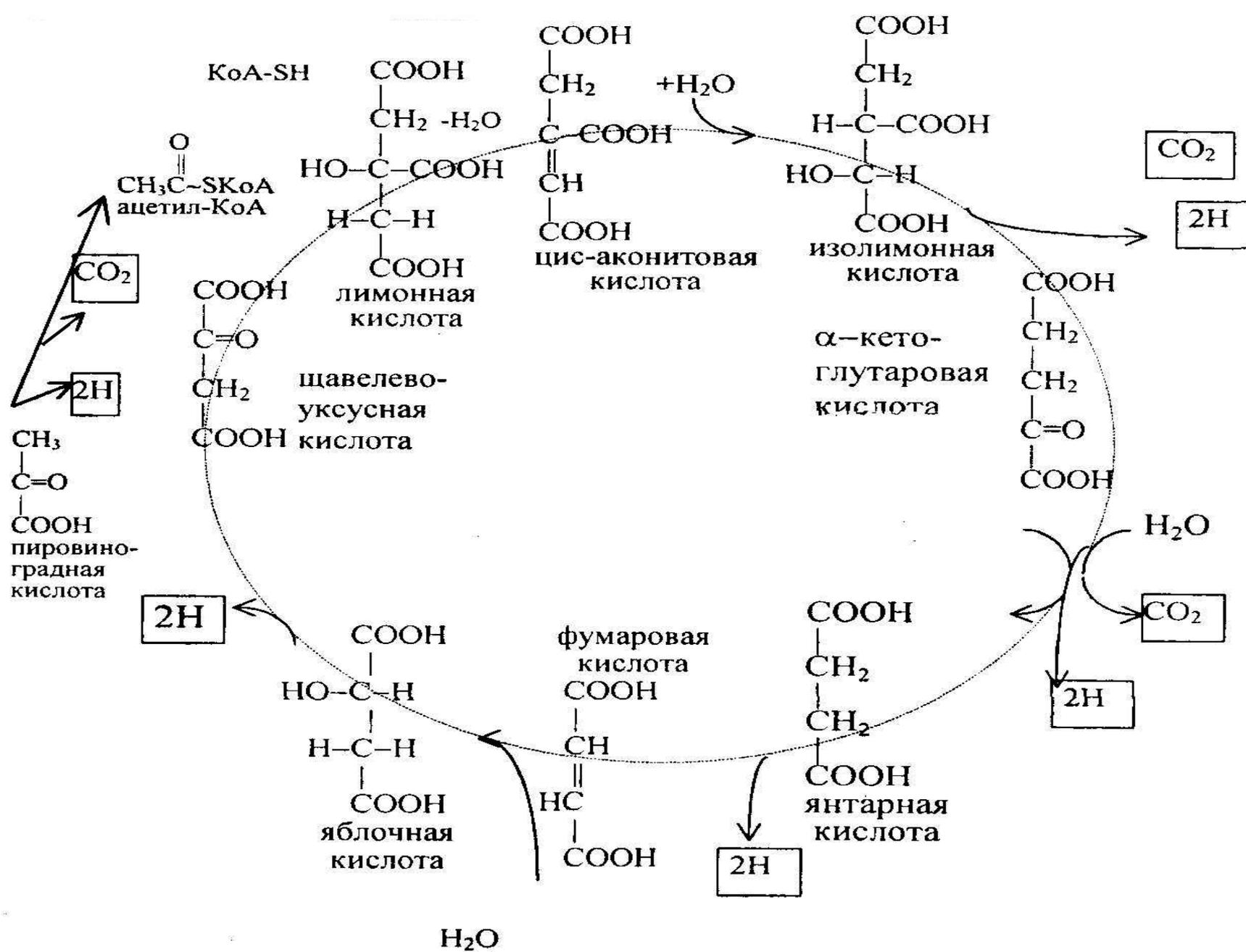
- окисление активированной уксусной кислоты (ацетил~SКоА) до конечных продуктов – углекислоты, воды и энергии.



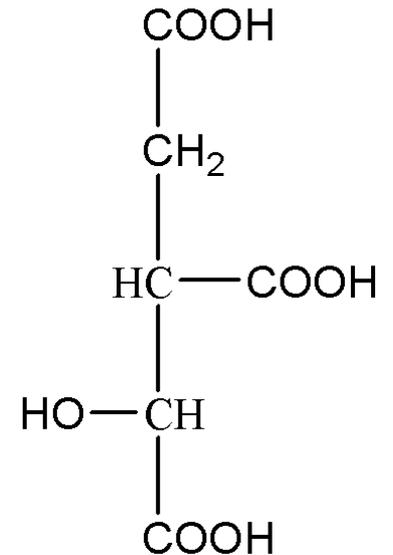
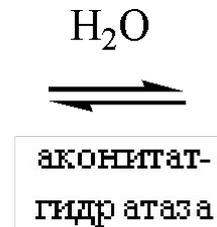
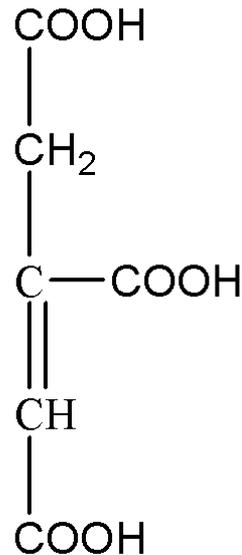
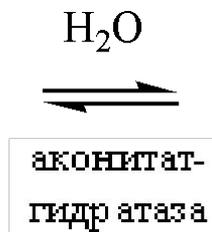
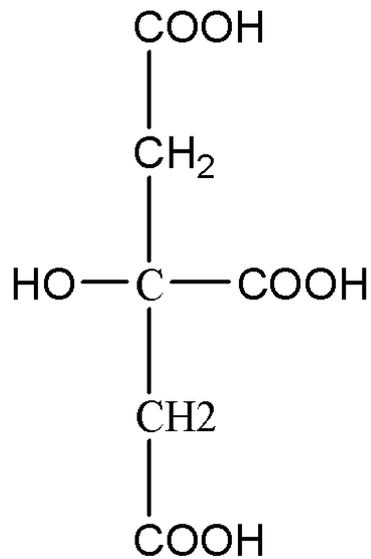
- Реакции цикла трикарбоновых кислот происходят во внутренних отсеках митохондрий, то есть на внутренней мембране.

Цикл Кребса

- Дегидрирование ди- и трикарбоновых кислот
- тканевое дыхание и окислительное фосфорилирование
- в этих реакциях участвуют ферменты дыхательной цепи и окислительного фосфорилирования.



Превращение лимонной кислоты в изолимонную происходит (аконитаза)



Цитрат

цис – Аконитат

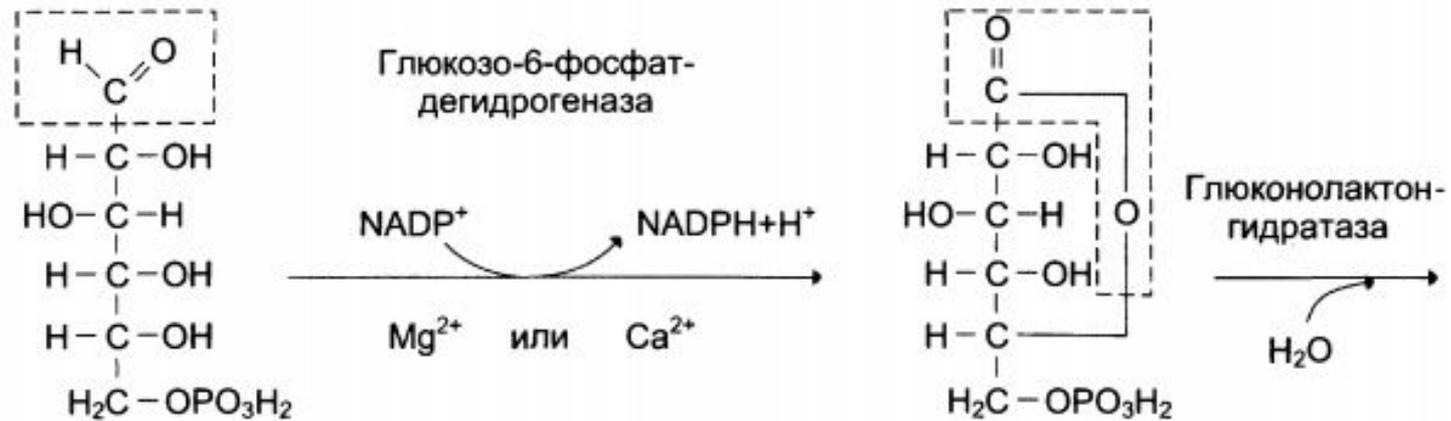
Изоцитрат

Пентозофосфатный путь окисления глюкозы - цепь последовательных химических превращений глюкозы, в результате которых образуется энергия и пентозы, необходимые для синтеза нуклеиновых кислот, нуклеотидов и коферментов.

Выделяют: окислительный и неокислительный пути образования пентоз.

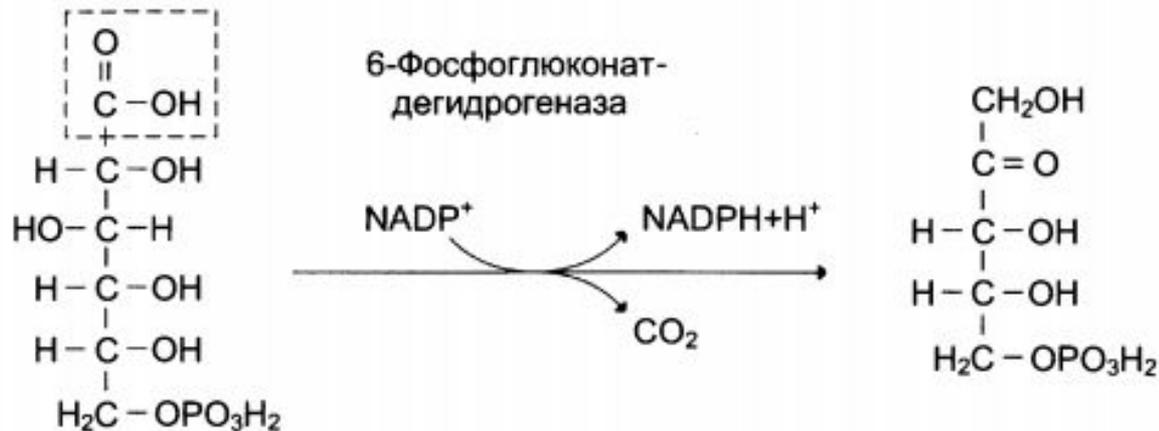
- Окислительный путь включает две реакции дегидрирования, в которых акцептором водорода является НАДФ.
- Во второй из этих реакций одновременно происходит декарбоксилирование – углеродная цепь укорачивается на один атом углерода и получаются пентозы

Окислительный этап



Глюкозо-6-фосфат

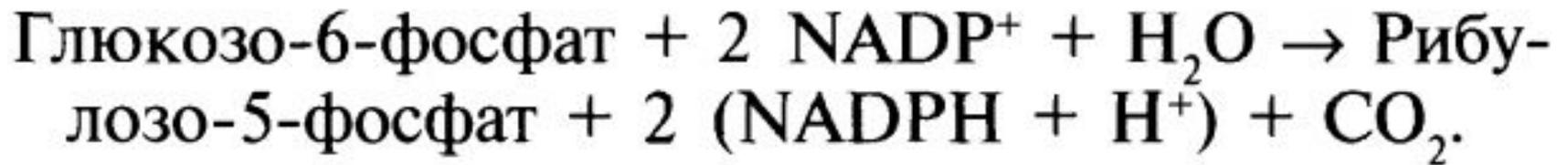
Глюконолактон-6-фосфат



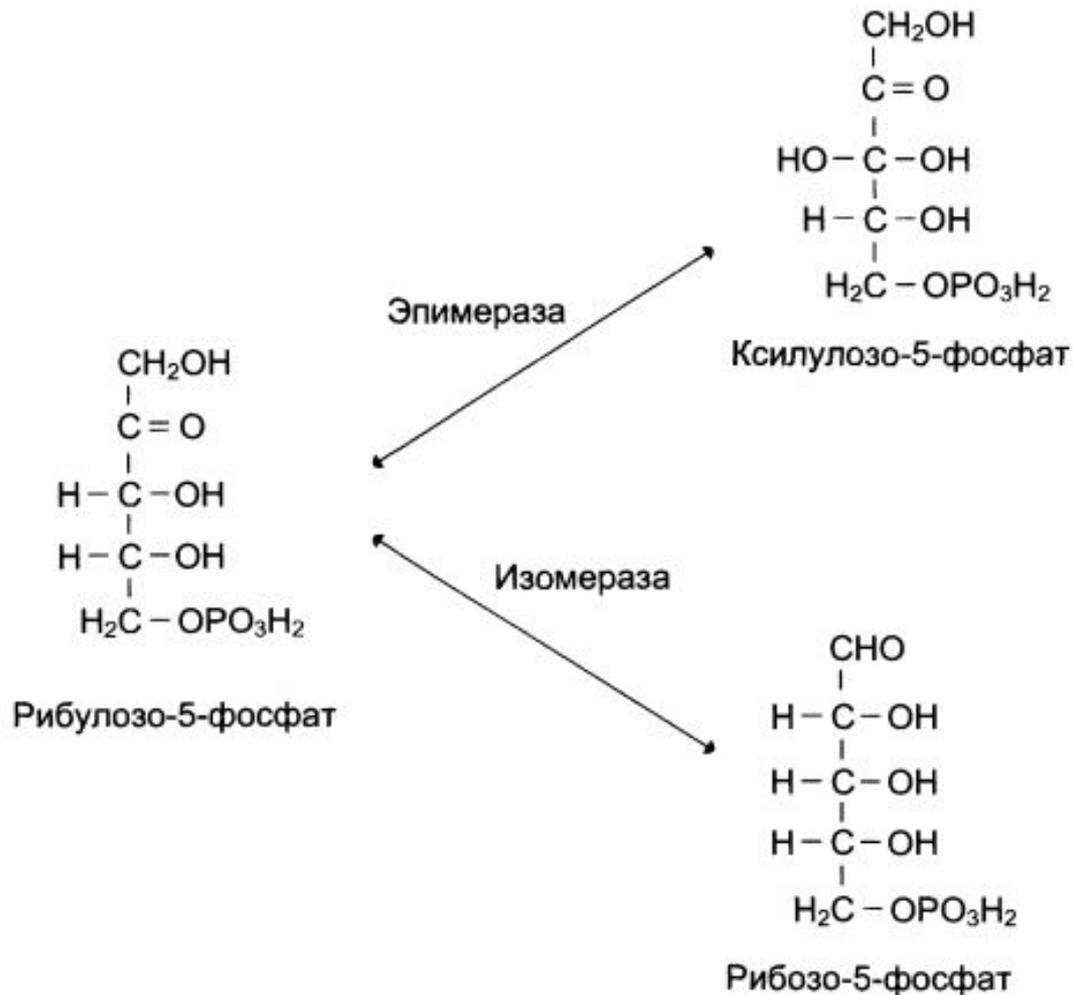
6-Фосфоглюконат

Рибулозо-5-фосфат

Суммарное уравнение окислительного этапа

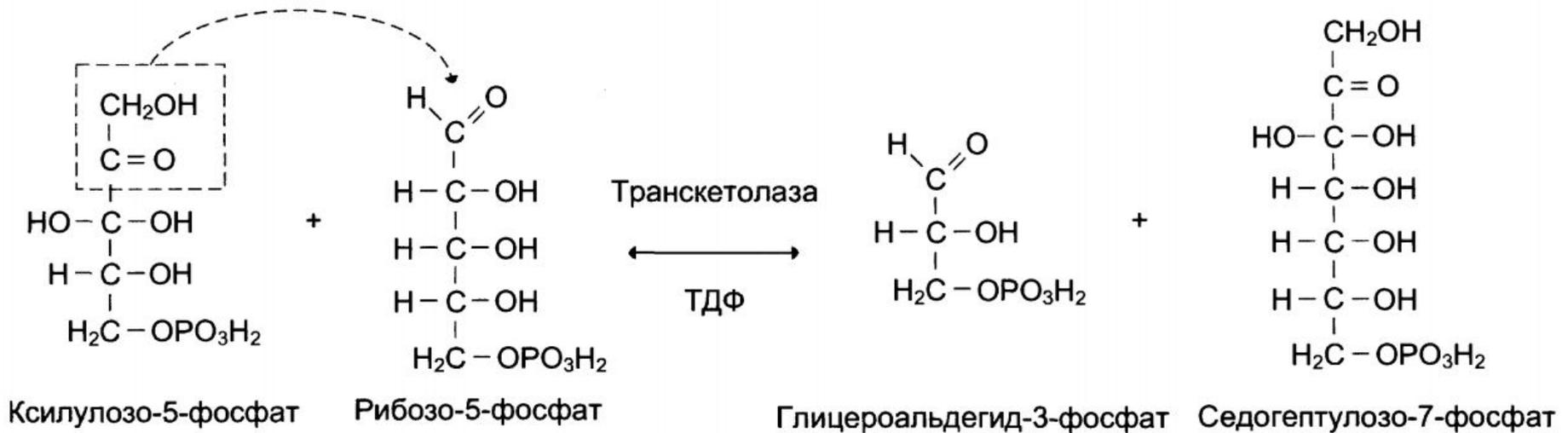


Неокислительный этап

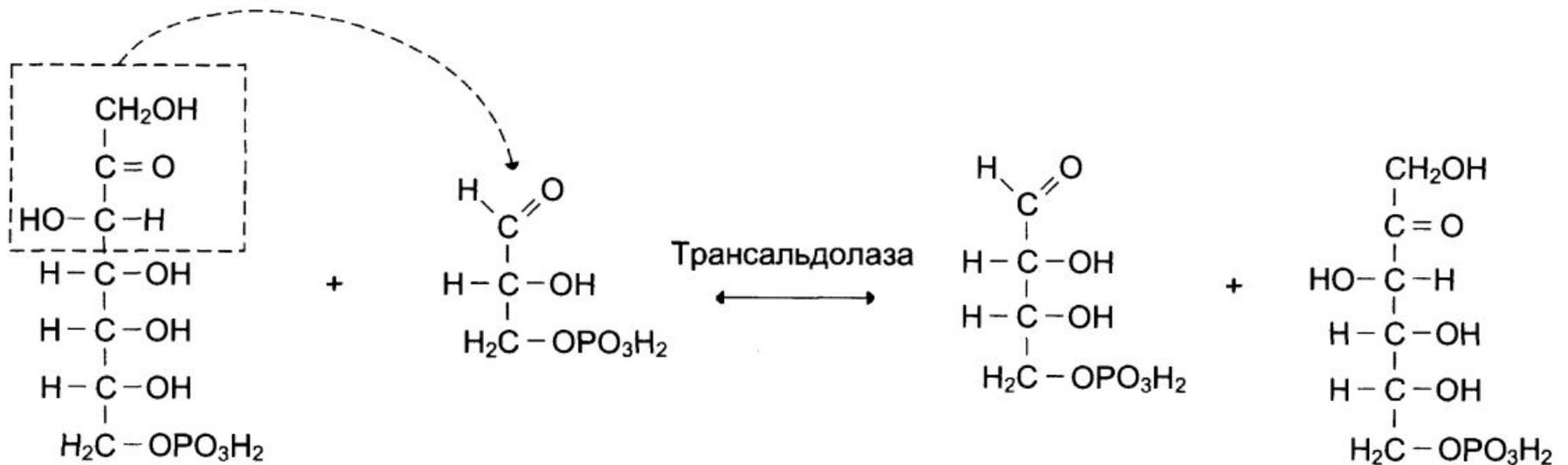


Превращения 5-рибулозо-5-

Реакция переноса двухуглеродного фрагмента, катализируемая транскетолазой



Реакция, катализируемая трансальдозой



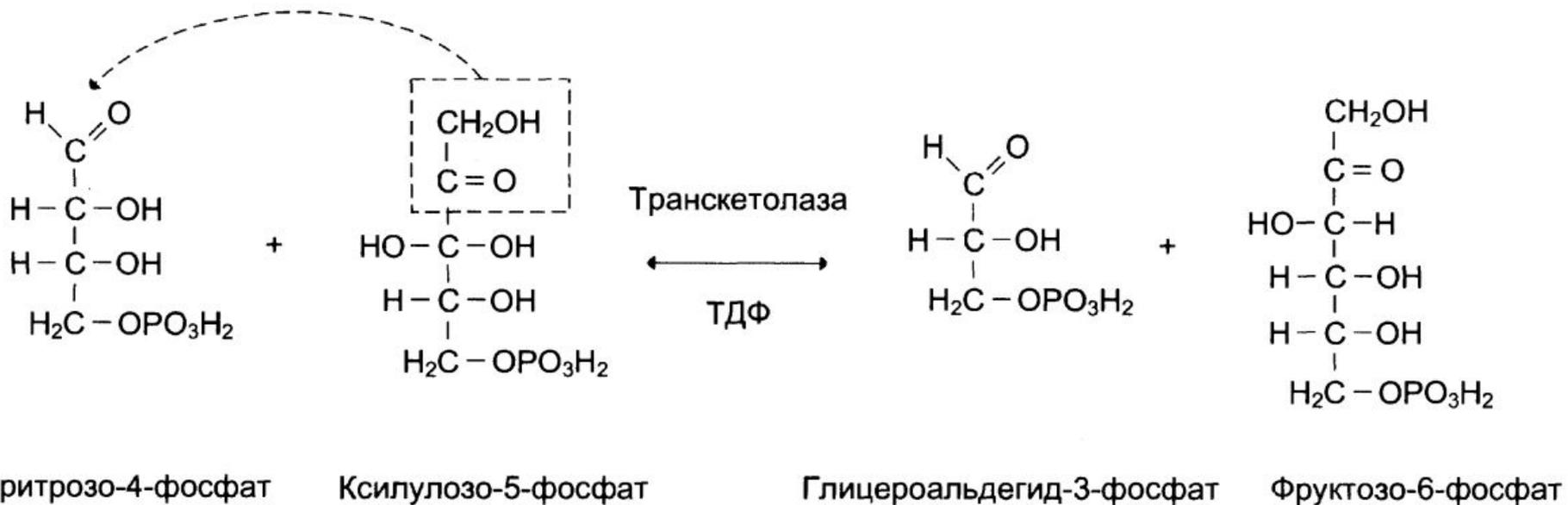
Седогептулозо-7-фосфат

Глицеральдегид-3-фосфат

Эритрозо-4-фосфат

Фруктозо-6-фосфат

Реакция, катализируемая транскетолазой



Значение пентозофосфатного цикла

1. Генерация энергии (36 АТФ)
 2. Образование пентозы, НАДФН₂.
(восстановленный НАДФН₂ необходим в различных процессах синтеза - при синтезе жирных кислот пентозы – в биосинтезе нуклеиновых кислот)
 3. Пути распада углеводов зависят от физических условий, интенсивности работы.
- Гликолиз и аэробный** путь (дихотомический путь) имеет большее значение, чем **пентозный**.

Анаболизм углеводов

Глюконеогенез – биосинтез глюкозы в тканях из неуглеводных компонентов может проходить за счет промежуточных продуктов обмена углеводов, жиров, белков (пировиноградная кислота, яблочная, щавелевоуксусная, α -кетоглутаровая, цитрат и т.д.)



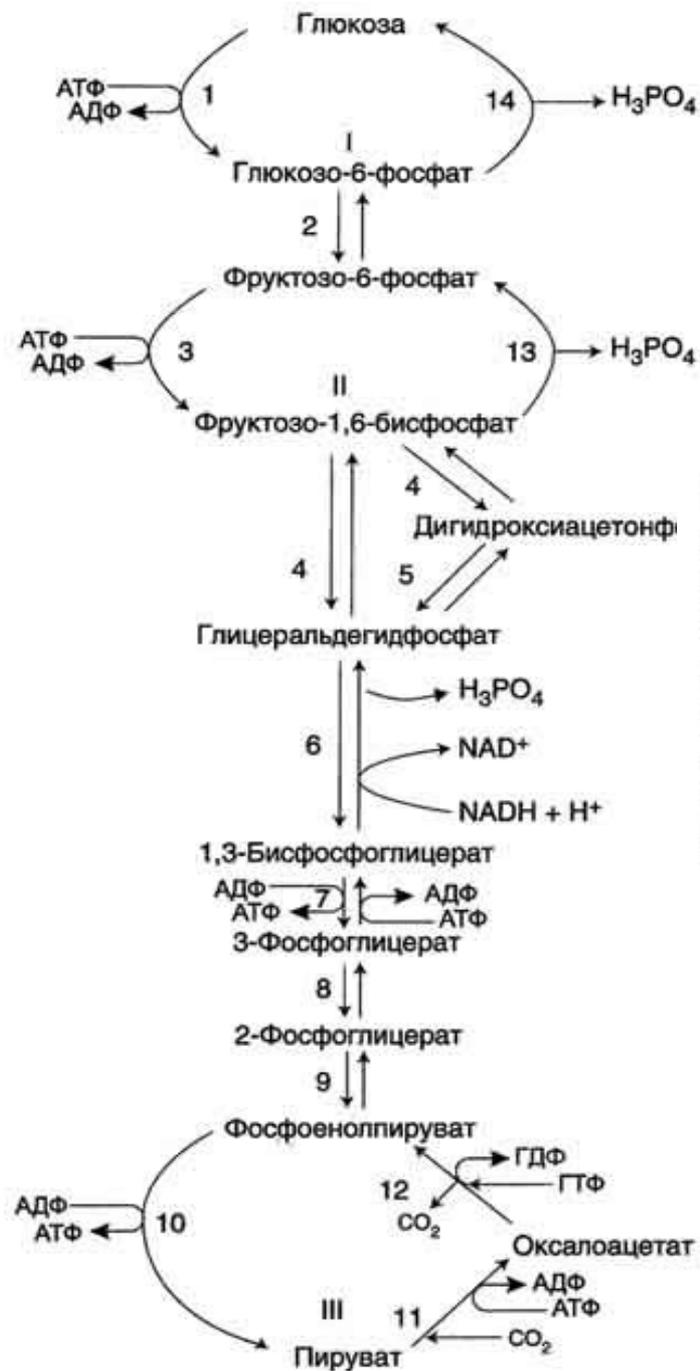
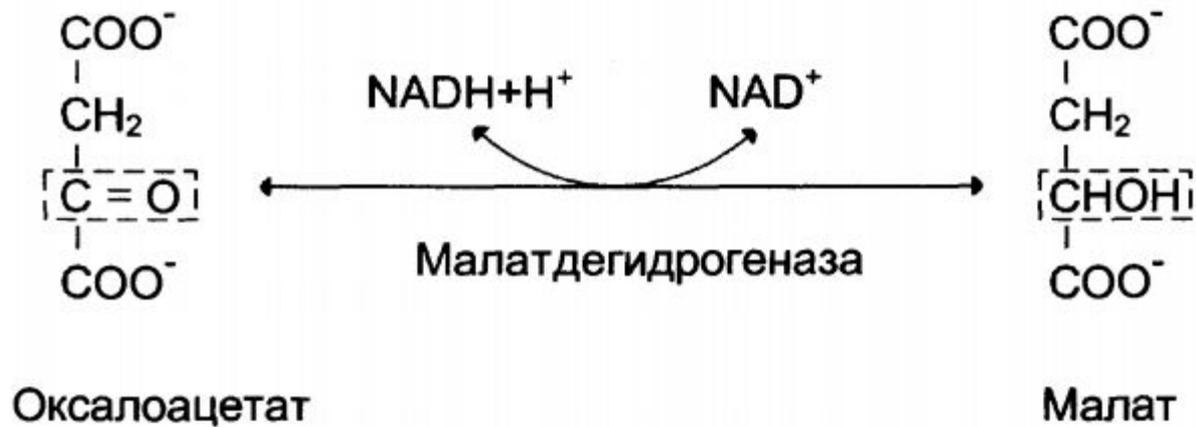


Рис. 7-45. Гликолиз и глюконеогенез. Ферменты обратимых реакций гликолиза и глюконеогенеза: 2 — фосфоглюкоизомераза; 4 — альдолаза; 5 — триозофосфатизомераза; 6 — глицеральдегидфосфатдегидрогеназа; 7 — фосфоглицераткиназа; 8 — фосфоглицератмутаза; 9 — енолаза. Ферменты необратимых реакций глюконеогенеза: 11 — пируваткарбоксилаза; 12 — фосфоенолпируваткарбоксикиназа; 13 — фруктозо-1,6-бисфосфатаза; 14 — глюкозо-6-фосфатаза. I–III — субстратные циклы.

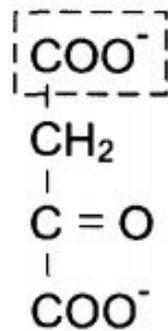


Образование оксалоацетата из пирувата

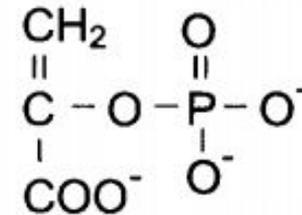
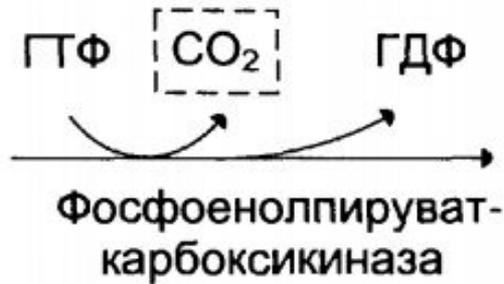


Образование малата из оксалоацетата

Превращение оксалоацетата в фосфоенолпируват

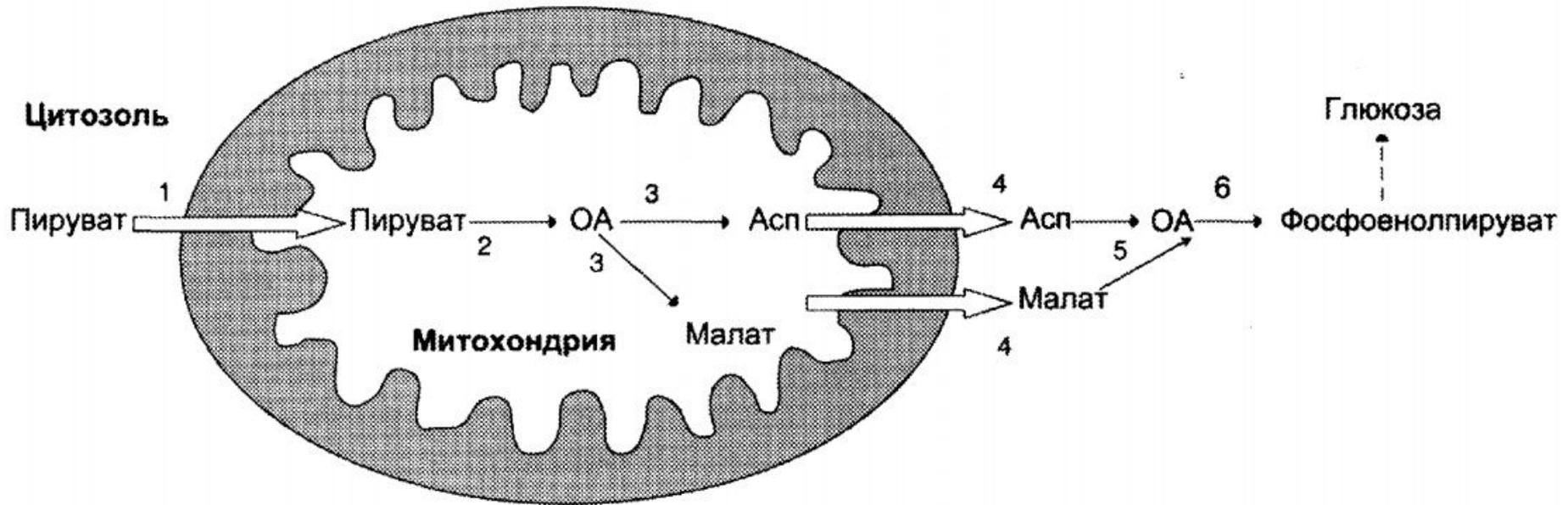


Оксалоацетат



Фосфоенолпируват

Образование оксалоацетата, транспорт в цитозоль и превращение в фосфоенолпируват



- 1- транспорт пирувата из цитозоля в митохондрию
- 2 – превращение пирувата в оксалоацетат (ОА)
- 3 – превращение ОА в малат или аспартат
- 4 – транспорт аспартата и малата из митохондрии в цитозоль
- 5 - превращение малата или аспартата в ОА
- 6 - превращение ОА в фосфоенолпируват