

# УГЛЕВОДНЫЙ ОБМЕН

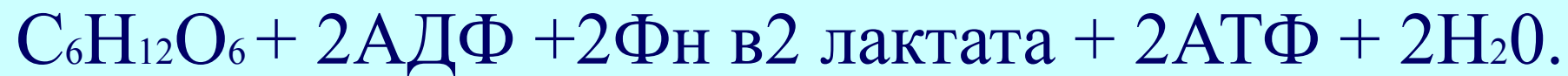
Анаэробный распад глюкозы

Глюконеогенез



# ГЛИКОЛИЗ

- это анаэробный распад глюкозы до лактата.



- включает 11 реакций и 2 этапа.

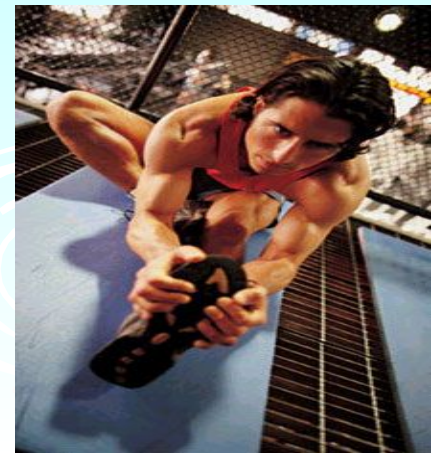
## Значение гликолиза

Благодаря гликолизу организм осуществляет ряд функций в условиях недостаточности кислорода.

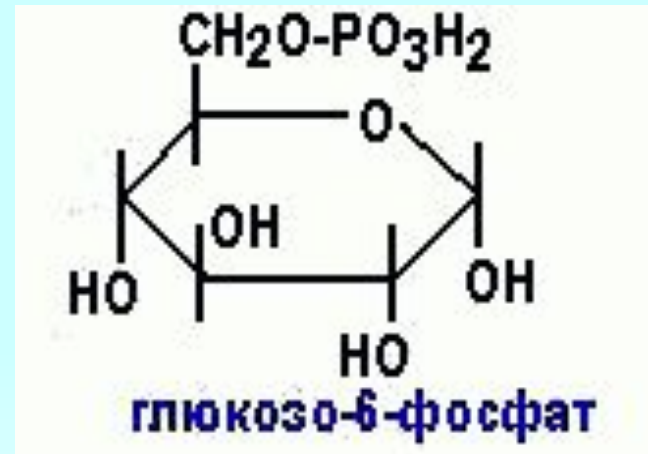
Когда на Земле не было кислорода, то гликолиз был основным источником энергии.

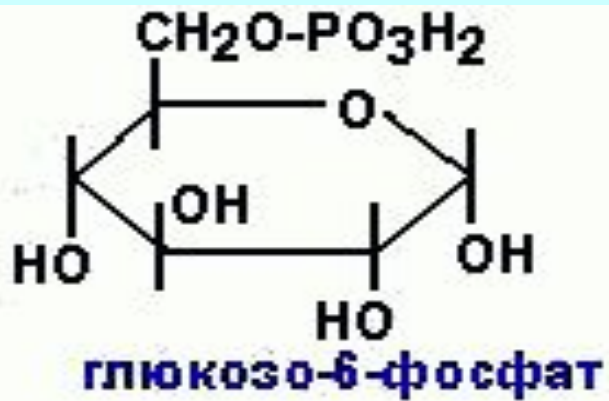
# Особенности гликолиза

- Ферменты гликолиза локализуются в цитоплазме.
- Наиболее интенсивен гликолиз в:
  - эритроцитах,
  - работающей мышце,
  - эмбриональной ткани,
  - опухоли.
- 3 необратимые реакции (киназные).

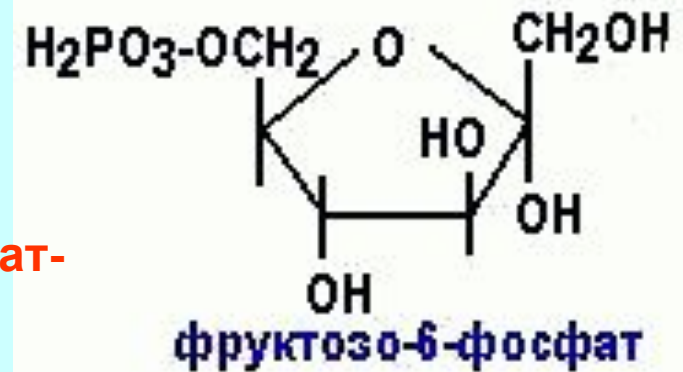


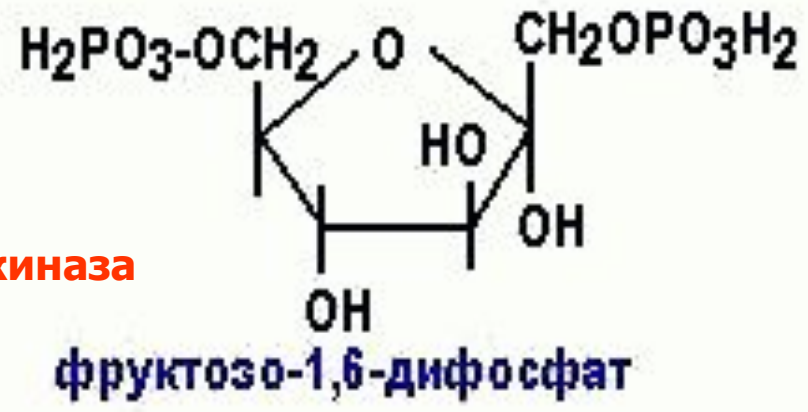
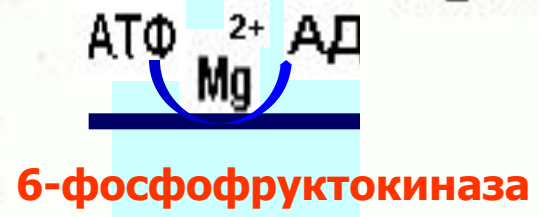
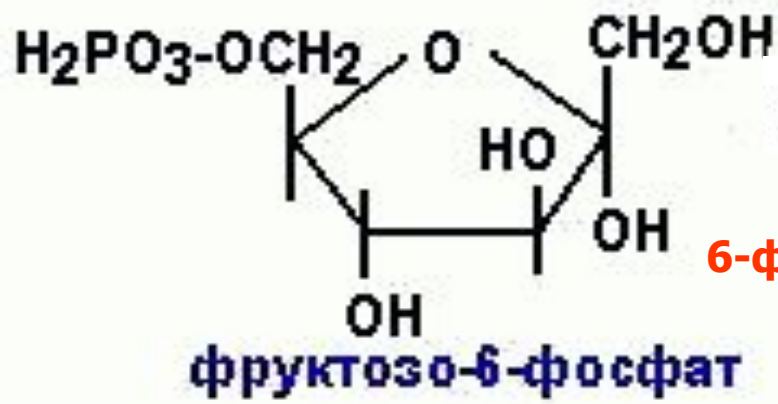
# Первый этап гликолиза

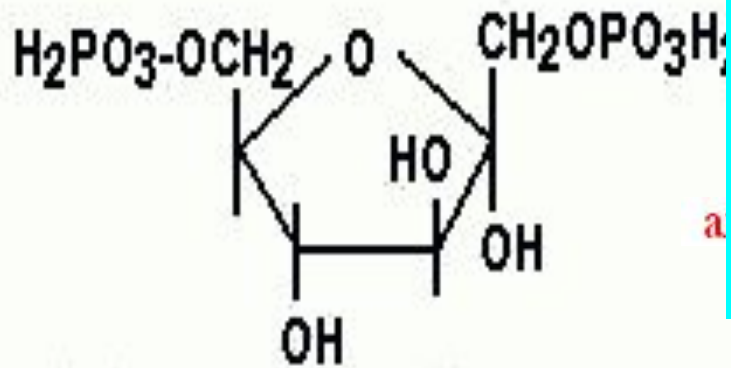




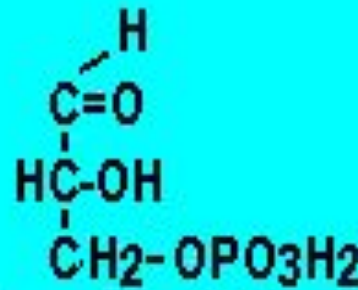
**глюкозо-6-фосфат-  
изомераза**



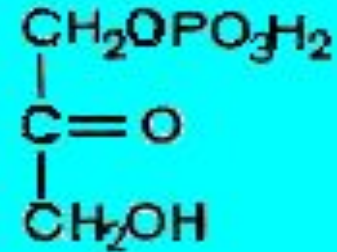




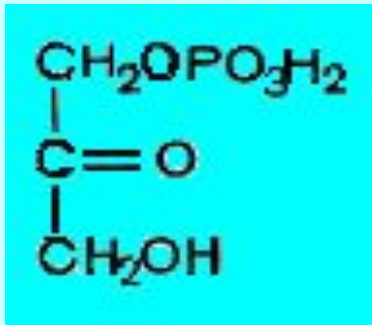
фруктозо-1,6-дифосфат



глицеральдегид-3-фосфат



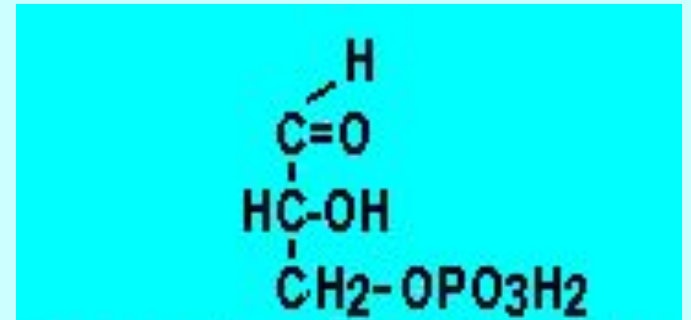
диоксиацетон-фосфат



диоксиацетон-  
фосфат



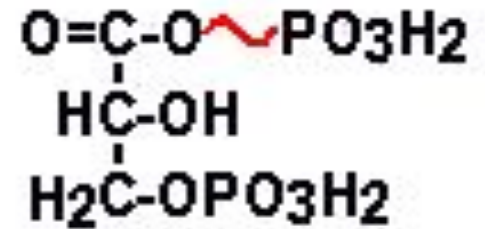
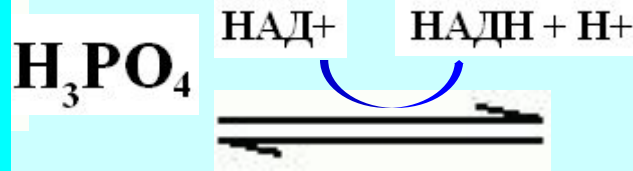
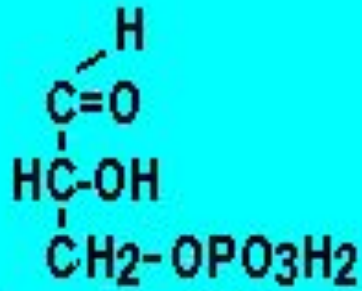
триозофосфат-  
изомераза



глицеральдегид-3-  
фосфат



# Второй этап гликолиза

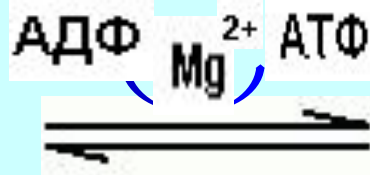
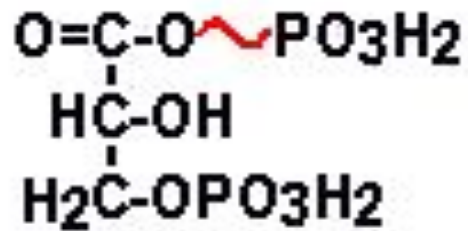


глицеральдегид-3-  
фосфат

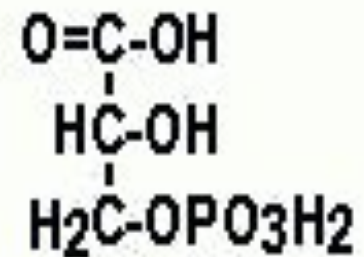
глицеральдегид -  
фосфатдегидрогеназа

1,3 -дифосфоглицерат

- В активном центре фермента глицеральдегидфосфатдегидрогеназы содержатся SH-группы цистеина.
- На первом этапе происходит отщепление водорода с альдегидной группы субстрата, а второй водород от SH-группы активного центра.
- Водород переходит на НАД, в результате получаем НАДН+Н<sup>+</sup>, образуется фермент-субстратный комплекс, который взаимодействует с фосфорной кислотой.
- Свободная энергия, освобождённая при окислении альдегидной группы, сохраняется в высокоэнергетической фосфатной группе.

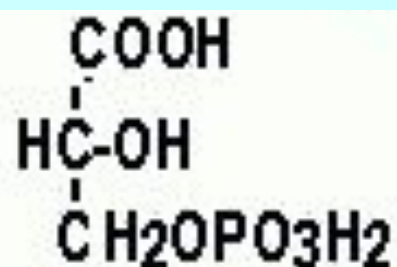


фосфоглицераткиназа

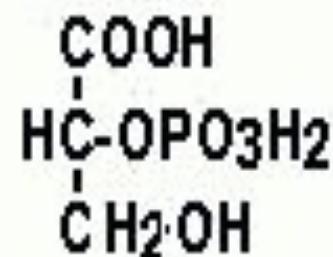


3-фосфоглицерат

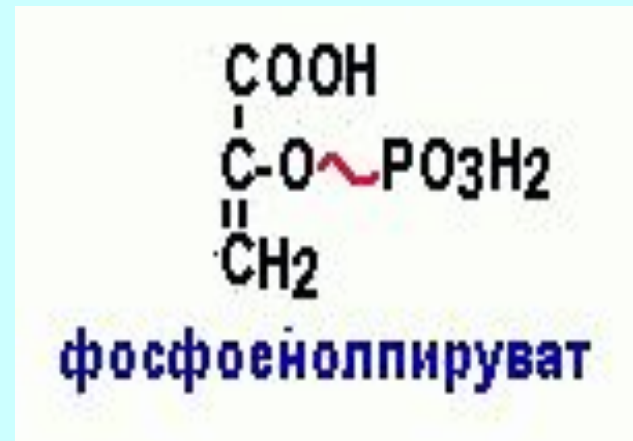
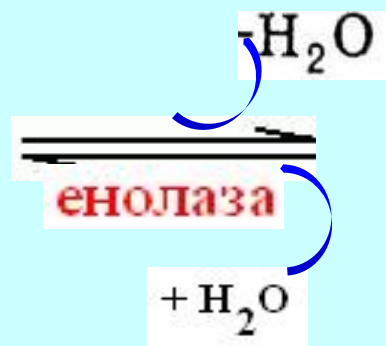
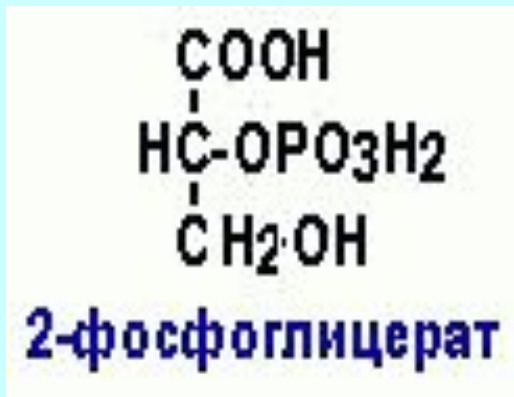
1,3 -дифосфоглицерат

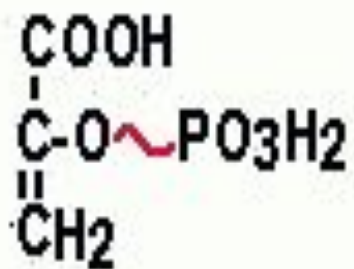


3-фосфоглицерат

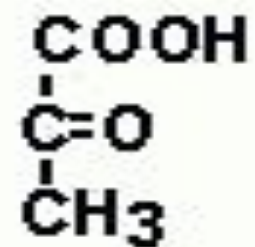
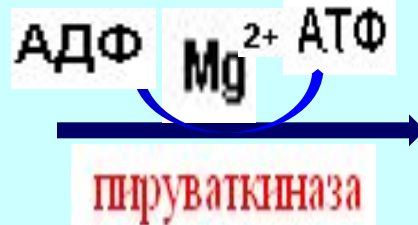


2-фосфоглицерат





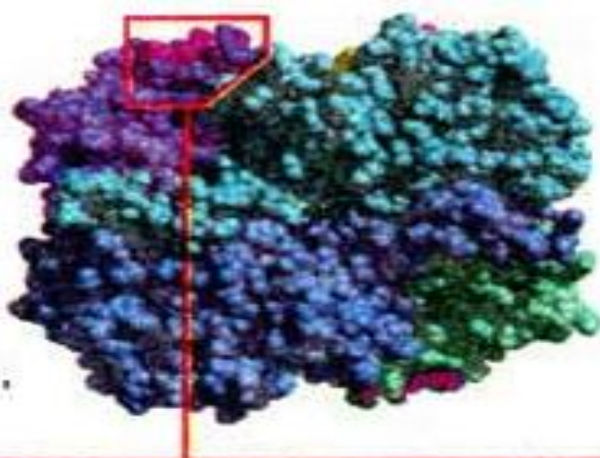
фосфоенолпируват



пируват



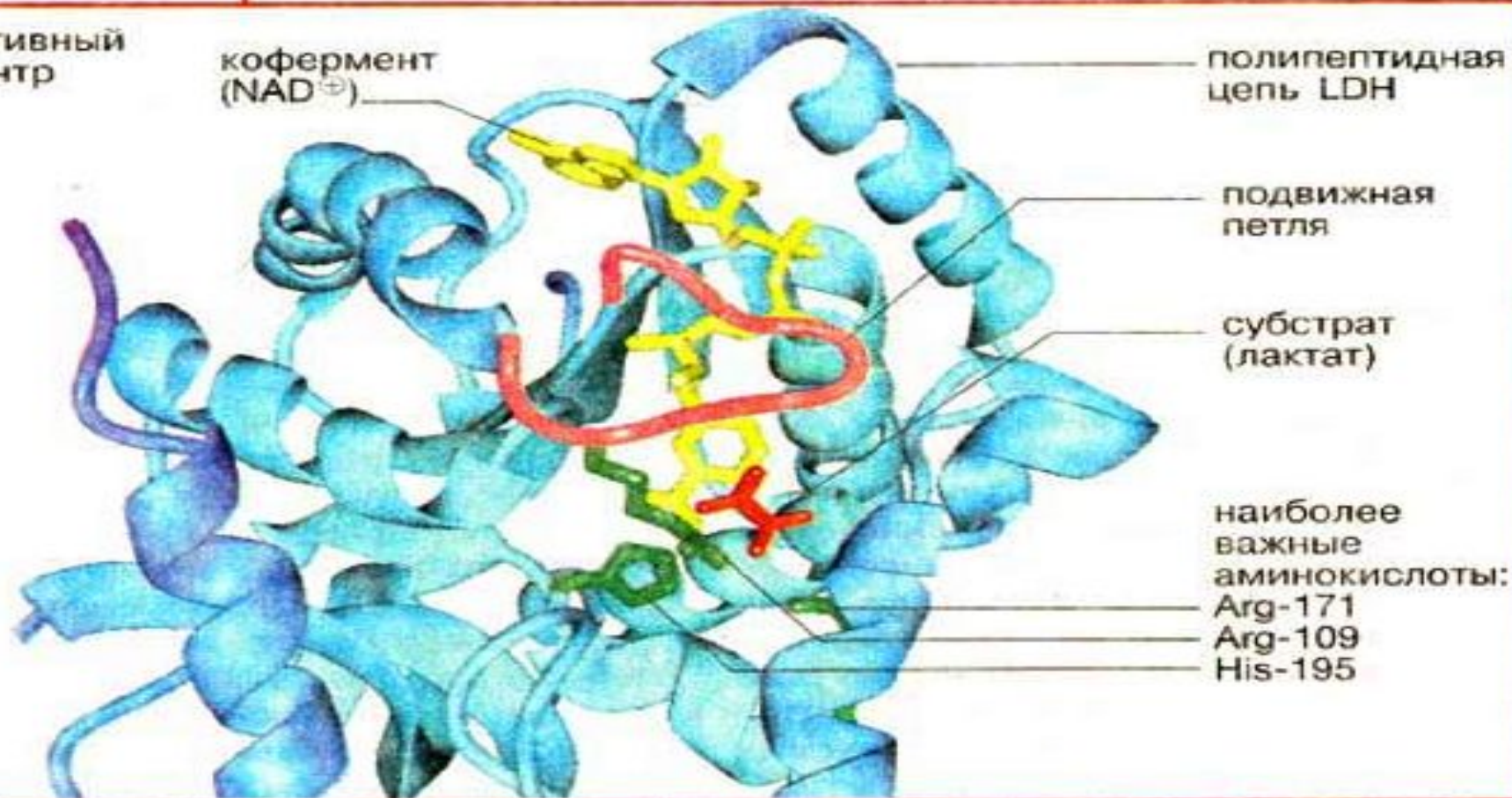




1. Тетрамер,  
144 кДа

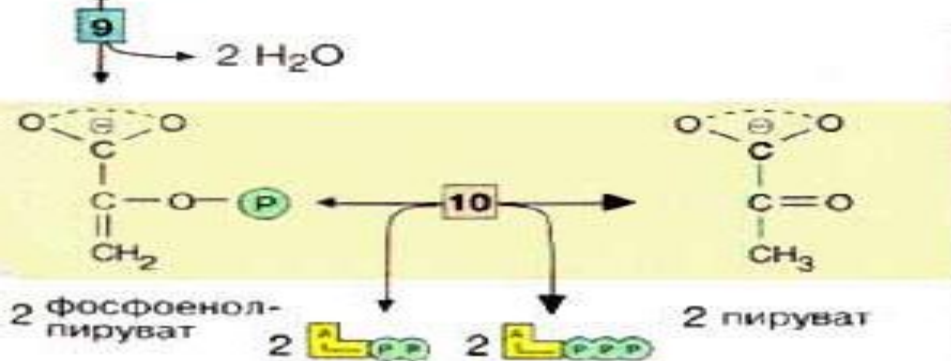
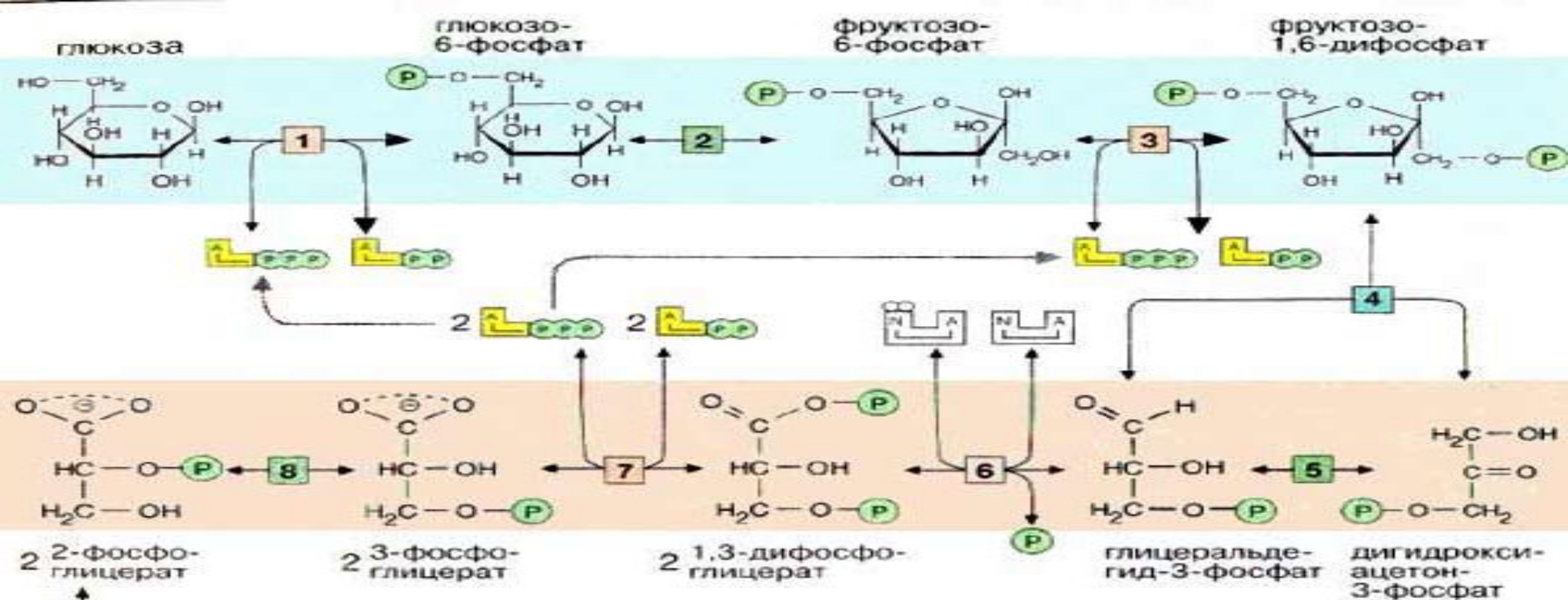


2. Активный центр

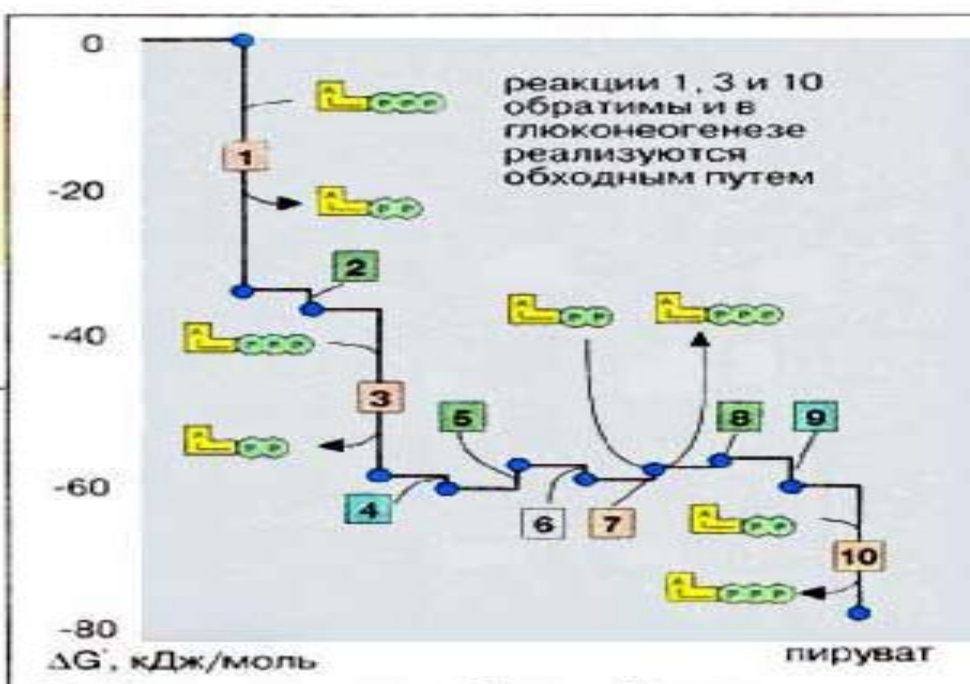


Лактатдегидрогеназа: структура





- |   |  |
|---|--|
| <b>1</b> гексокиназа 2.7.1.1                | <b>6</b> глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназа 1.2.1.12 |
| <b>2</b> глюкозо-6-фосфатизомераза 5.3.1.9  | <b>7</b> фосфоглицераткиназа 2.7.2.3                   |
| <b>3</b> 6-фосфофруктокиназа 2.7.1.11       | <b>8</b> фосфоглицератмутаза 5.4.2.1                   |
| <b>4</b> фруктозодифосфатальдолаза 4.1.2.13 | <b>9</b> фосфопируватгидратаза 4.2.1.11                |
| <b>5</b> триозофосфатизомераза 5.3.1.1      | <b>10</b> пируваткиназа 2.7.1.40                       |



# Баланс гликолиза

АТФ образуется за счёт двух реакций субстратного фосфорилирования (ПК, фосфоглицераткиназной).

Из глюкозы образуется 4АТФ.

2АТФ тратится в гликолизе на фосфорилирование (ГК, ФФК реакции).

- |                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| □ Гексокиназная реакция         | -1АТФ |
| □ Фосфофруктокиназная реакция   | -1АТФ |
| □ Фосфоглицераткиназная реакция | 2АТФ  |
| □ Пируваткиназная реакция       | 2АТФ  |

**Итого:  $4 - 2 = 2\text{АТФ}$**

# Регуляция гликолиза

- 1) Гексокиназа – аллостерический фермент, ингибируется глюкозо-6-фосфатом. Инсулин стимулирует синтез глюкокиназы, которая не ингибируется глюкозо-6-фосфатом.
- 2) Фосфофруктокиназа - аллостерический фермент. Положительный модулятор – АМФ, АДФ, Фн, цАМФ, ионы двухвалентных металлов.

Отрицательный модулятор – АТФ и цитрат.

Когда величина  $\frac{[АТФ]}{[АДФ]^* [Фн]}$  значительна, то происходит угнетение ФФК.

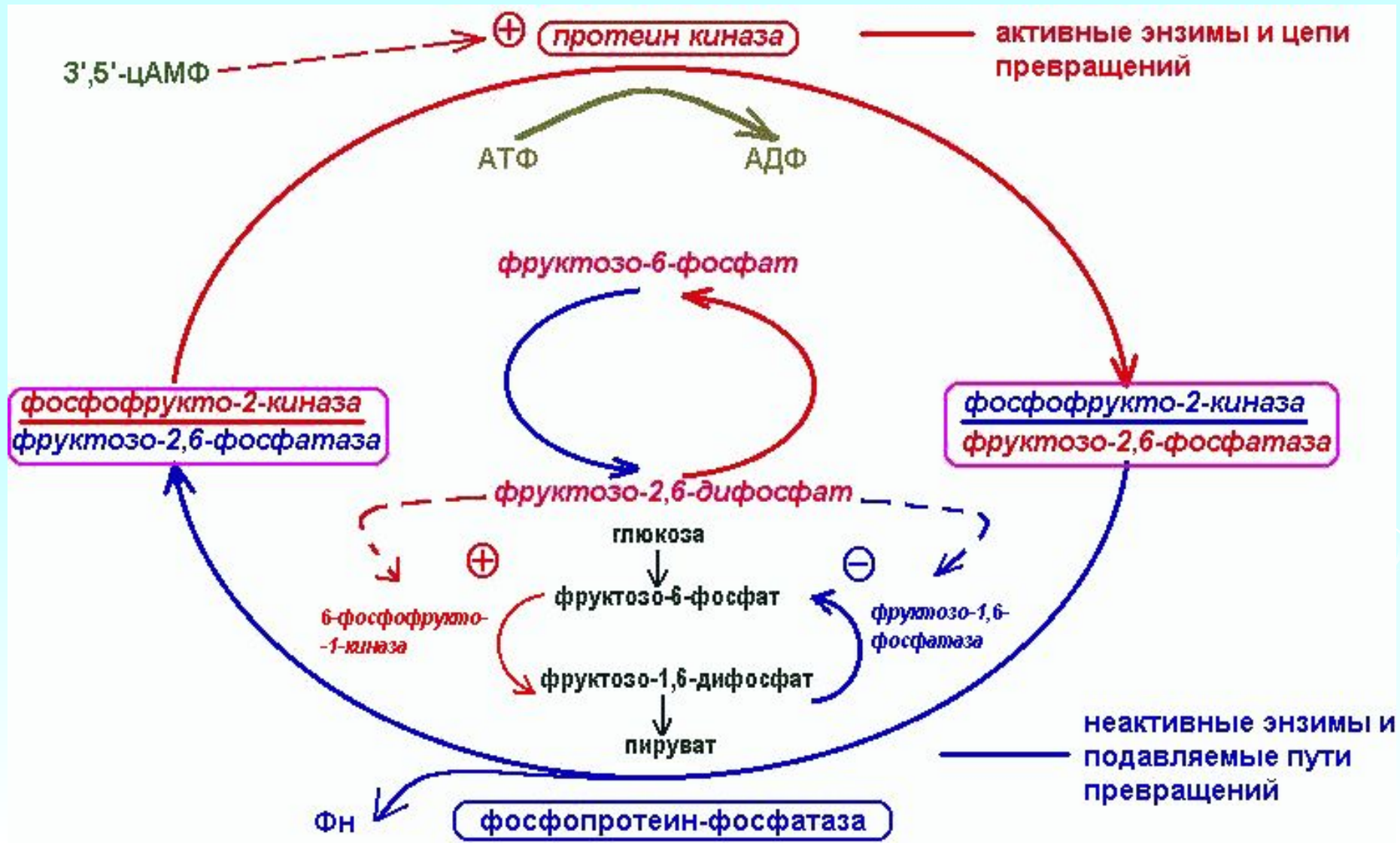
Эффект Пастера -торможение гликолиза кислородом.

Причина этого: кислород окисляет НАДН+Н<sup>+</sup> и он не восстанавливает ПВК в лактат.

- 3) Пируваткиназа – аллостерический фермент. Положительный модулятор – АДФ.

Отрицательный модулятор – АТФ, ацетил-КоА, жирные кислоты.

Система регуляции столь сложна, так как гликолиз - это древнейший катаболический путь, занимающий, центральное место в метаболизме.

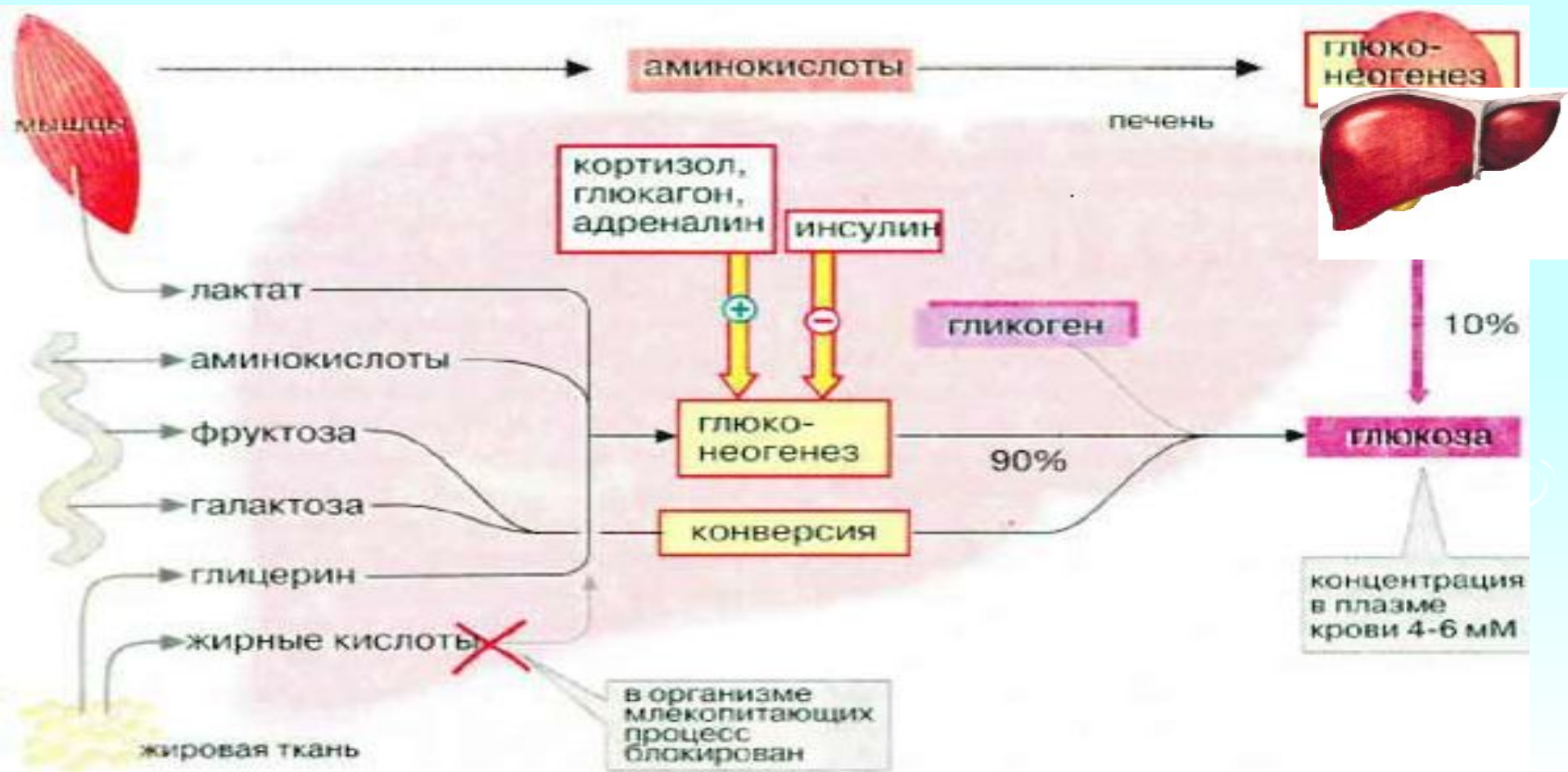





# Гликолиз обратим.

## Биологическое значение обратимости гликолиза:

- освобождение тканей от лактата,
- возможность осуществления глюконеогенеза.

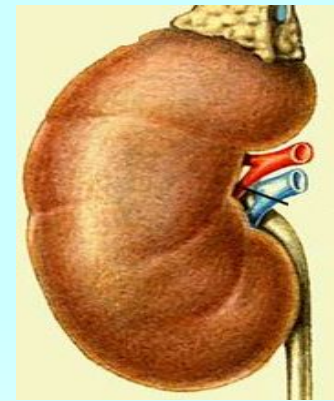


# Глюконеогенез - это образование глюкозы вновь из неуглеводных компонентов:

- пирувата,
  - лактата,
  - гликогенных аминокислот,
  - глицерина,
  - любого соединения, которое в процессе катаболизма может быть превращено в пируват или один из метаболитов цикла Кребса.
- 

# Глюконеогенез протекает в:

- печени,
- корковом веществе почек,
- слизистой кишечника.

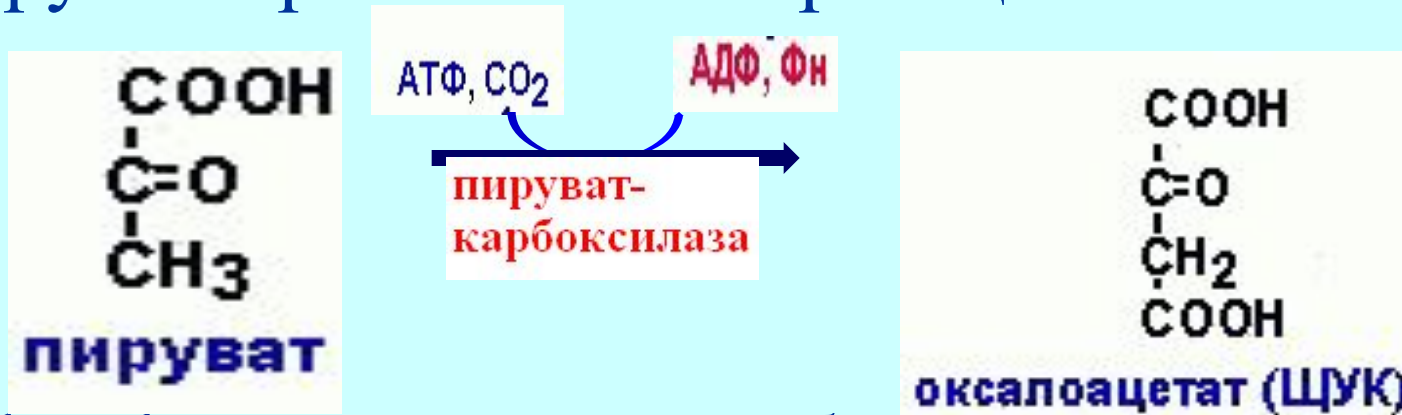


За счёт глюконеогенеза в условиях углеводного голодания образуется 80 г глюкозы.

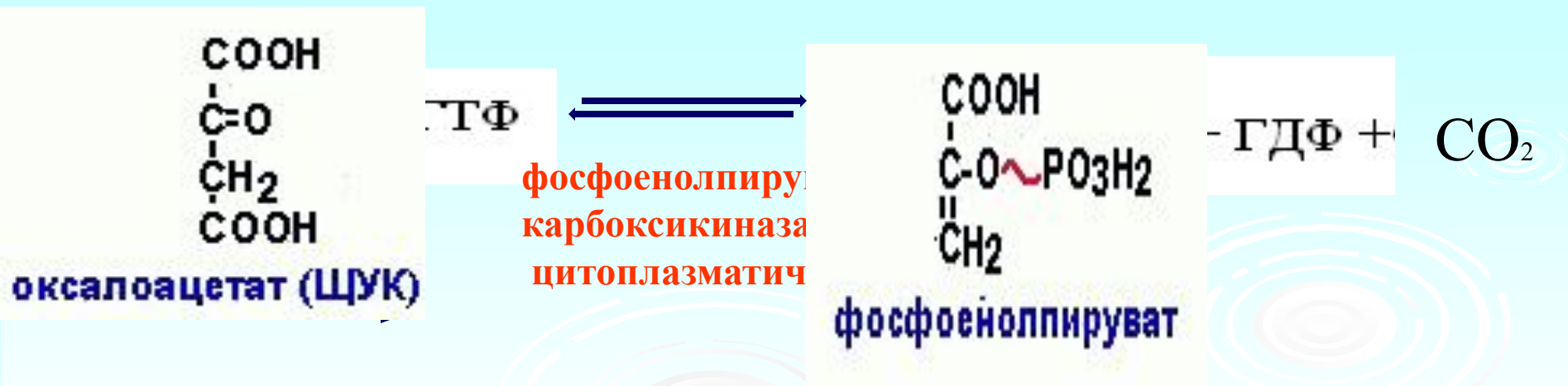
Глюконеогенез—это частично обращённый гликолиз.

Три реакции гликолиза необратимы, поэтому используются другие ферменты.

Пируваткиназная реакция заменяется двумя:  
пируваткарбоксилазной реакцией



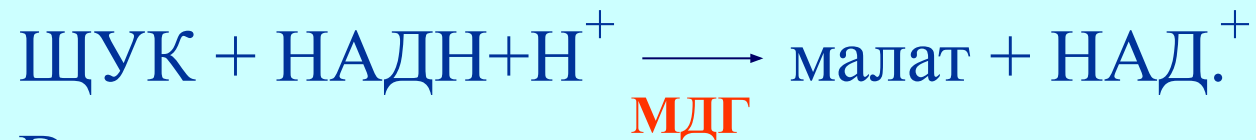
и фосфоенолпируваткарбоксикиназной реакцией.



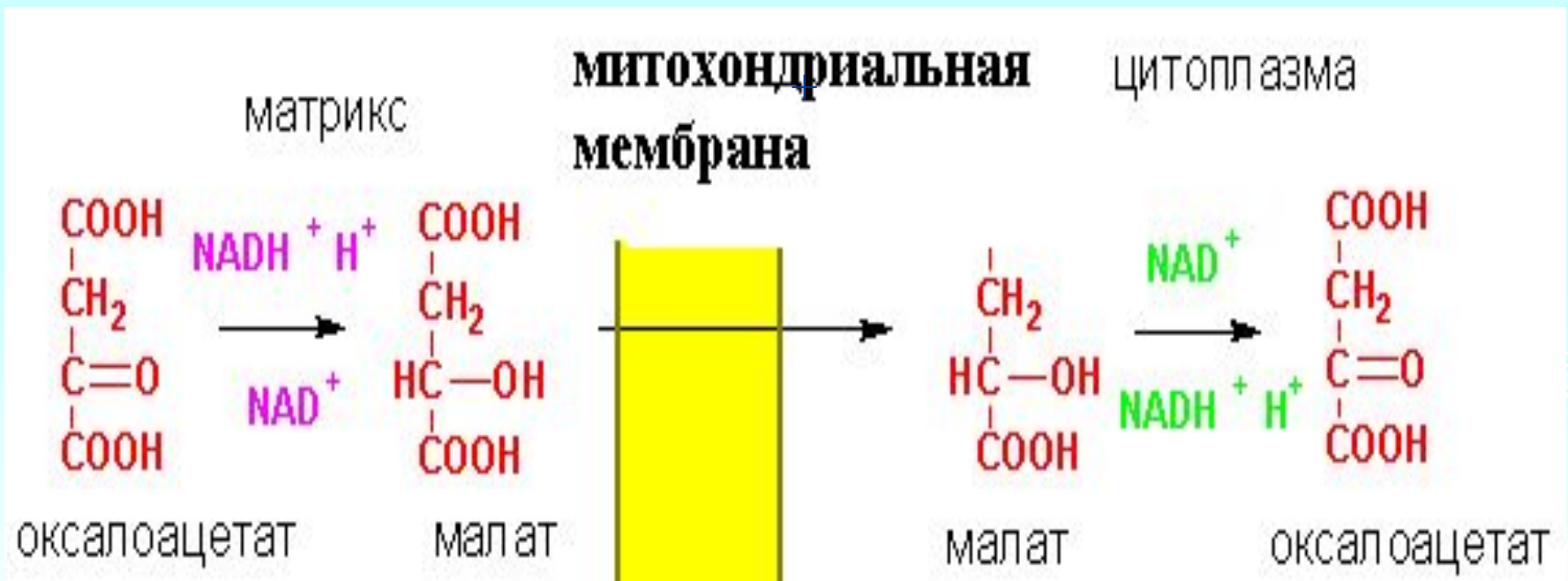


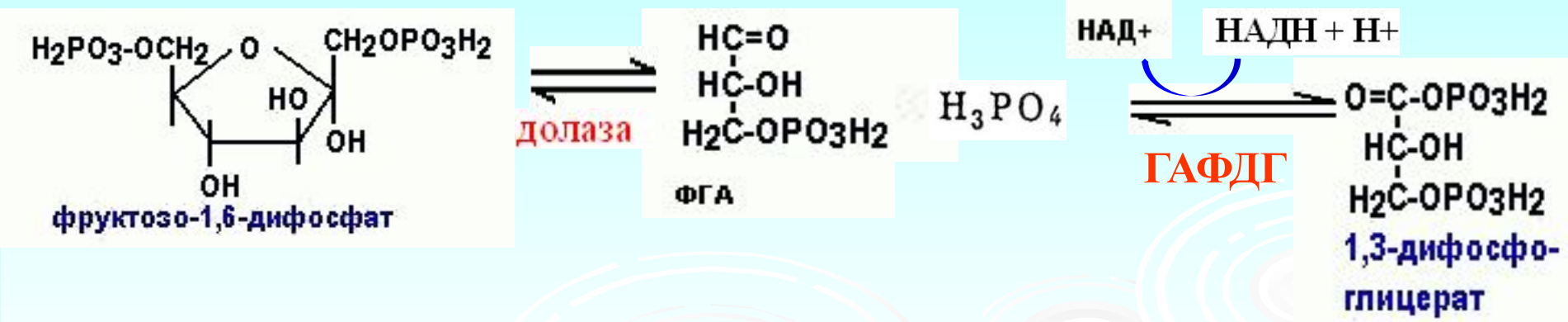
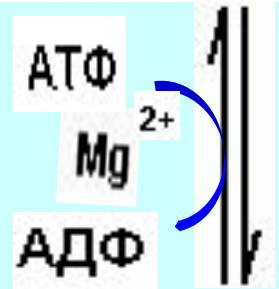
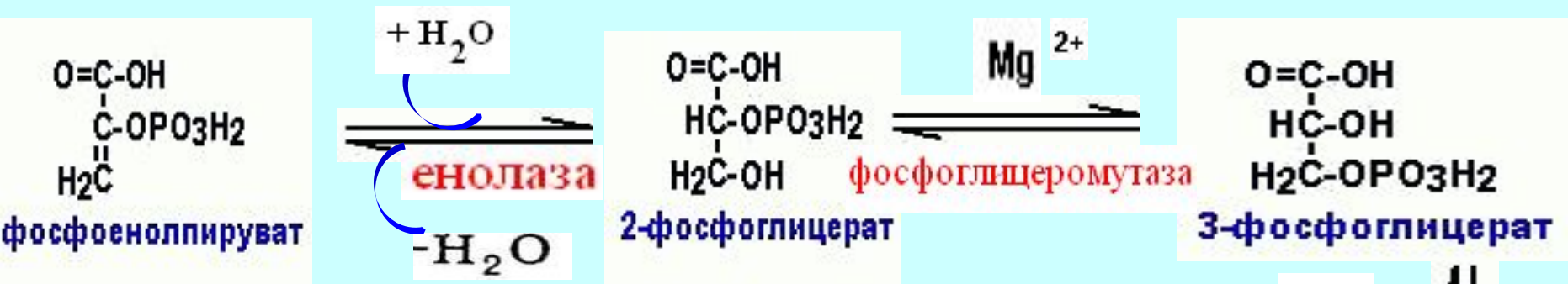
Между этими реакциями существует челночный механизм.

ЩУК не может самостоятельно выйти из митохондрий.

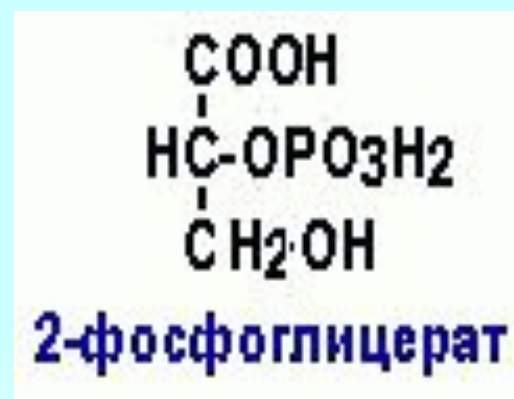
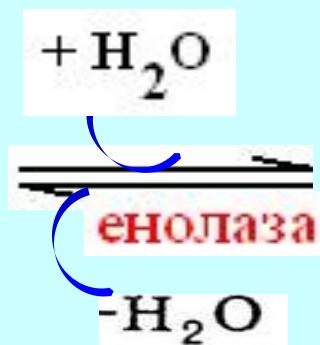
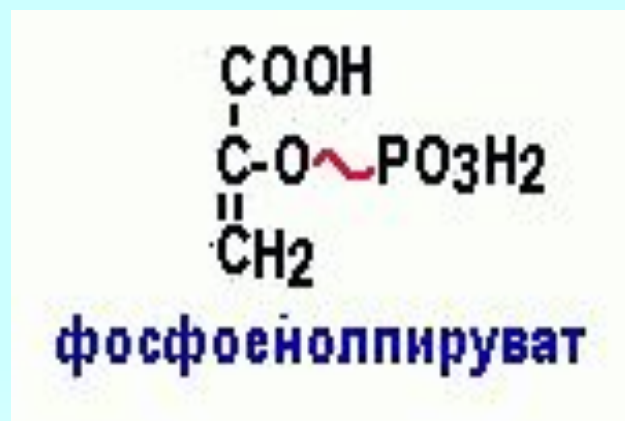


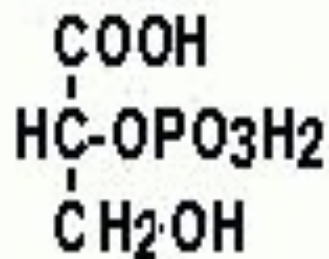
В цитоплазме малат окисляется цитоплазматической малатдегидрогеназой до ЩУК.



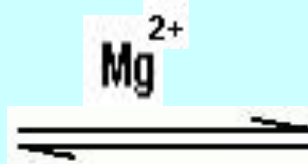


От ФЕП до ФФК реакции все реакции идут в обратной последовательности гликолиза:

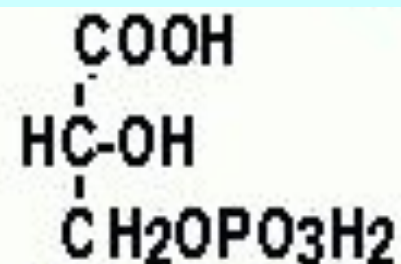




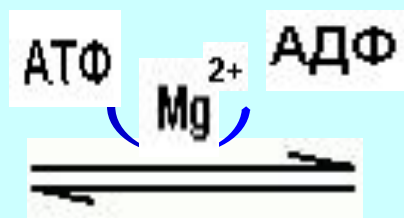
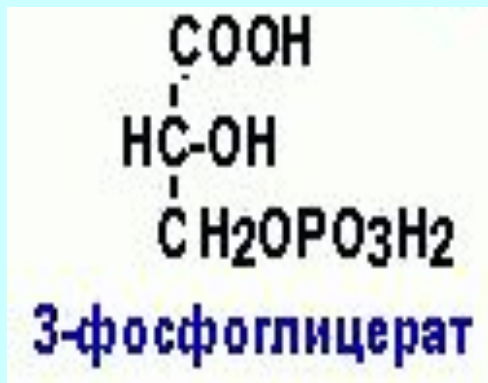
2-фосфоглицерат



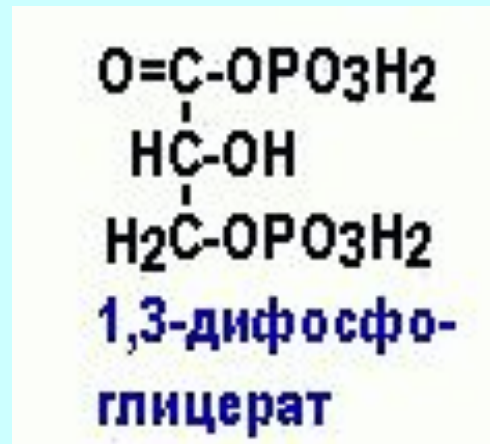
фосфоглицеромутаза

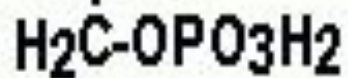
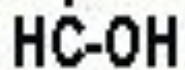
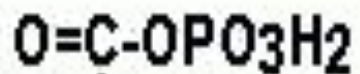


3-фосфоглицерат



**фосфоглицераткиназа**

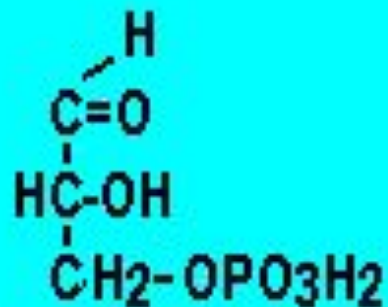




1,3-дифосфо-  
глицерат



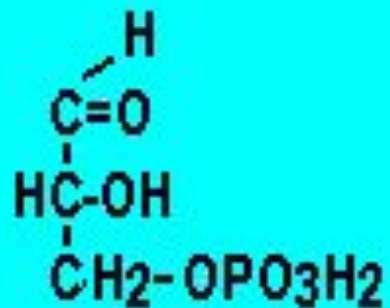
ГАФДГ



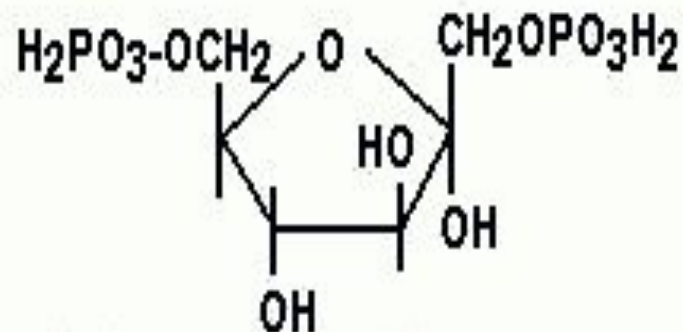
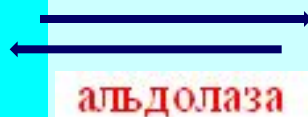
глицеральдегид-3-  
фосфат



2

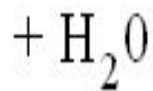
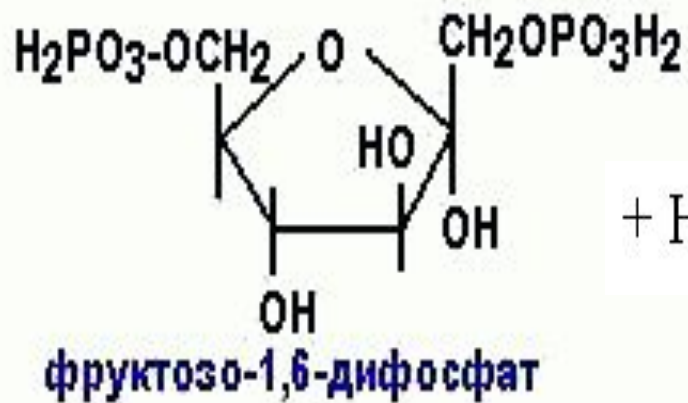


глицеральдегид-3-фосфат

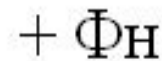
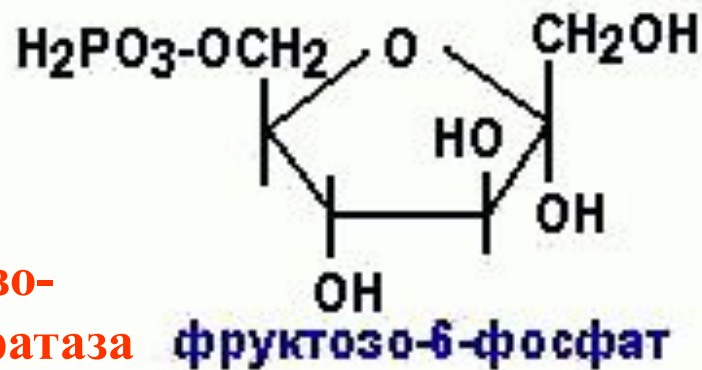


фруктозо-1,6-дифосфат

Фосфофруктокиназная реакция заменяется  
фруктозодифосфатазной реакцией.

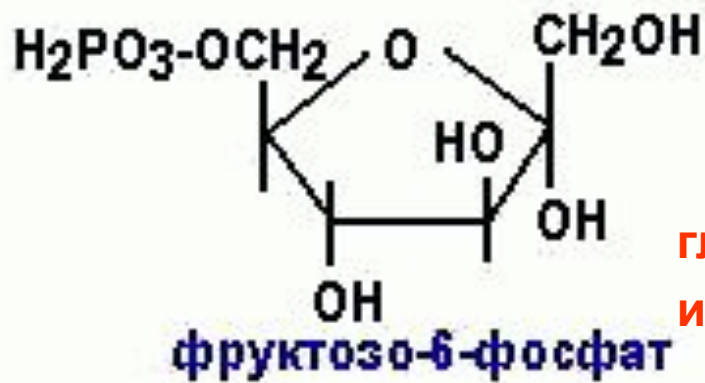


**фруктозо-  
дифосфатаза**

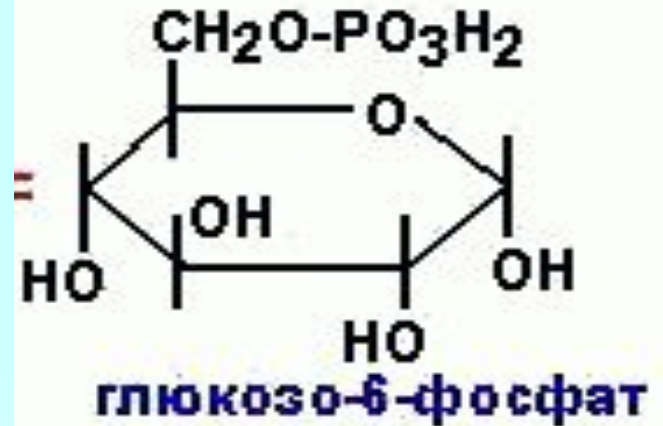




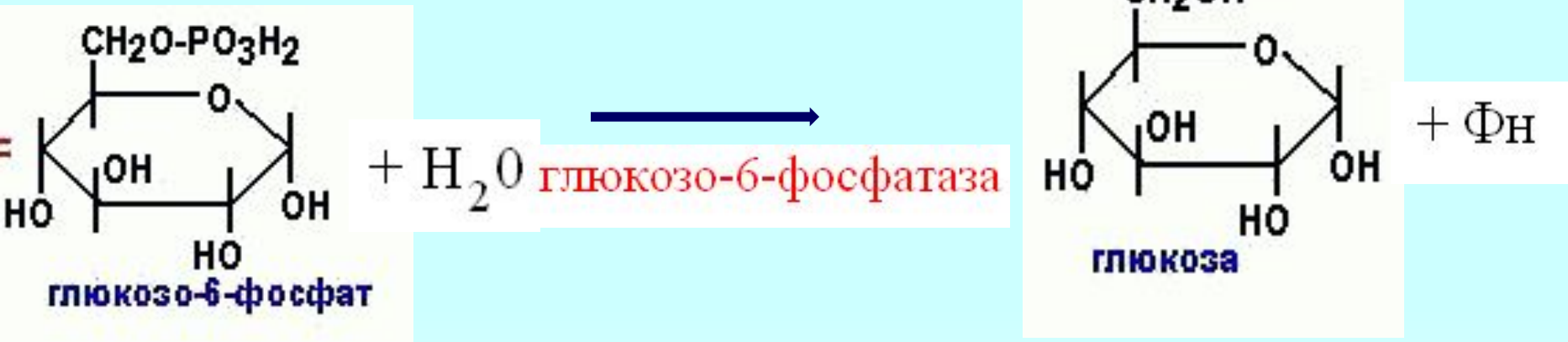
# Фруктозо-6-фосфат превращается в глюкозо-6-фосфат



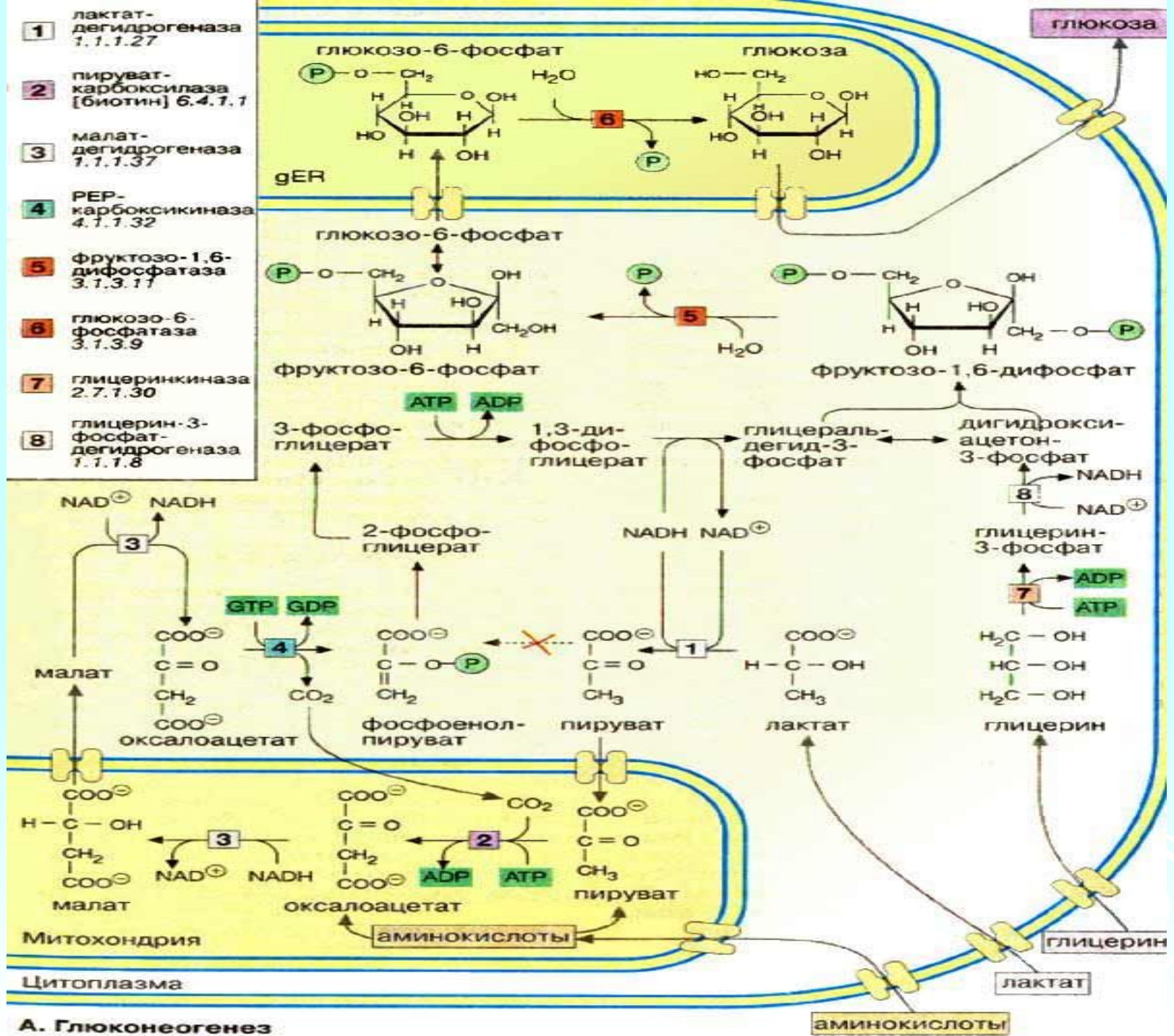
глюкозо-6-фосфат-  
изомераза



# Гексокиназная реакция замещается глюкозо-6-фосфатазной реакцией



- 1** лактат-дегидрогеназа  
1.1.1.27
- 2** пируват-карбоксилаза [биотин] 6.4.1.1
- 3** малат-дегидрогеназа 1.1.1.37
- 4** PEP-карбоксикиназа 4.1.1.32
- 5** фруктозо-1,6-дифосфатаза 3.1.3.11
- 6** глюкозо-6-фосфатаза 3.1.3.9
- 7** глицеринкиназа 2.7.1.30
- 8** глицерин-3-фосфат-дегидрогеназа 1.1.1.8



**А. Глюконеогенез**

# Биологическая роль глюконеогенеза

- избавление от лактата  
(85% лактата идёт на глюконеогенез,  
15% - окисляется до  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и энергии),
- связь обменов,
- получение эндогенной глюкозы.



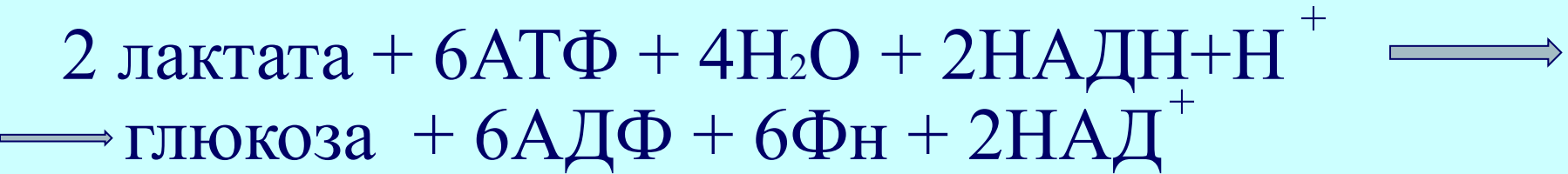
# Особенности глюконеогенеза у детей



- У детей глюконеогенез связан с малым количеством углеводов в пище.
- Запасы гликогена малы.
- Аэробный распад углеводов ещё не происходит в достаточном объёме.
- Ребёнок испытывает дефицит в глюкозе.
- Начинается глюконеогенез.

# Итоговое уравнение

## глюконеогенеза



АТФ используется в

- пируваткарбоксилазной,
- фосфоенолпируваткарбоксикиназной,
- фосфоглицераткиназной реакциях.

НАДН+Н<sup>+</sup> необходим для ГАФДГ.

2Н<sub>2</sub>О участвуют в енолазной реакции.

2Н<sub>2</sub>О – в фосфатазных реакциях.



# Регуляция глюконеогенеза

□ 4 фермента определяют скорость процесса.

При уменьшении АТФ и НАД<sup>+</sup> тормозится глюконеогенез.

Ключевые ферменты глюконеогенеза

стимулируются АТФ,

ингибируются – АДФ и АМФ.

□ Инсулин – репрессор ферментов глюконеогенеза.

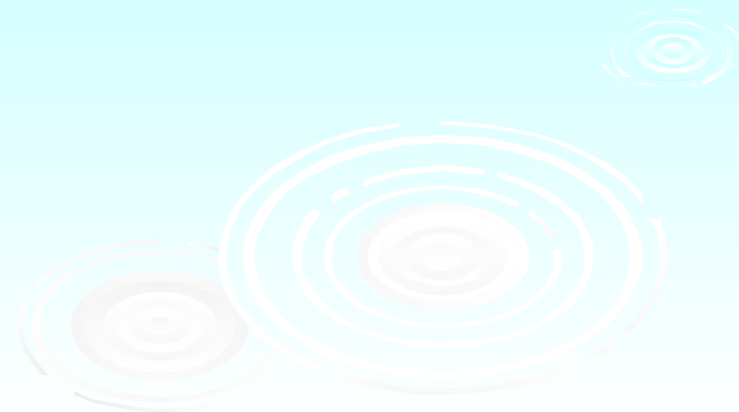
□ Процесс активируется:

глюкокортикоидами,

жирными кислотами,

избытком лактата в крови,

глюкагоном.



# Цикл Кори

осуществляет связь между гликолизом в мышце при активной работе и глюконеогенезом в печени.

При работе лактат поступает из мышц в кровь и печень





# Цикл Кори

