

# УГЛЕВОДНЫЙ ОБМЕН

Классификация, биологическая роль,  
переваривание и всасывание углеводов.

Синтез и распад гликогена.

Гликолиз. Глюконеогенез.

Аэробный распад глюкозы.

# Классификация углеводов

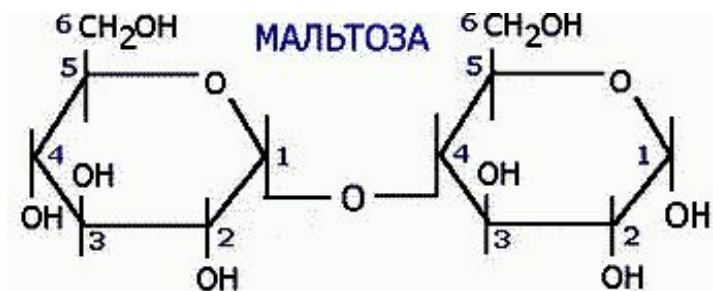
- **Моносахариды** – содержат только одну структурную единицу (*рибоза, глюкоза, фруктоза, галактоза*).
- **Олигосахариды** – состоят из нескольких (от 2 до 10) остатков моносахаридов – дисахариды (*мальтоза, сахароза, лактоза*), трисахариды (*раффиноза*).
- **Полисахариды** – высокомолекулярные вещества, состоящие более чем из 10 остатков моносахаридов (*гликоген, крахмал, целлюлоза, гепарин, гиалуроновая кислота, хондроитинсульфаты, кератосульфаты*).

# Классификация углеводов

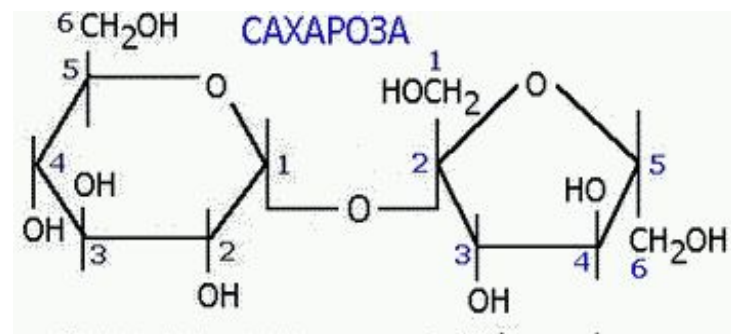
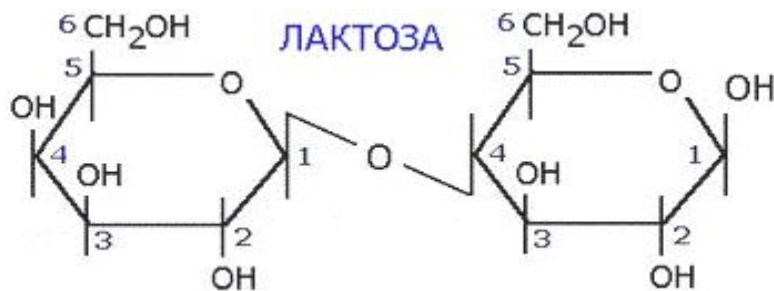
## Олигосахариды классифицируются

- **Гомоолигосахариды** – состоящие из остатков одного вида моносахаров

Мальтоза (2 остатка глюкозы)



- **Гетероолигосахариды** – состоящие из остатков разных сахаров  
лактоза (глюкоза и галактоза), сахароза (глюкоза и фруктоза)

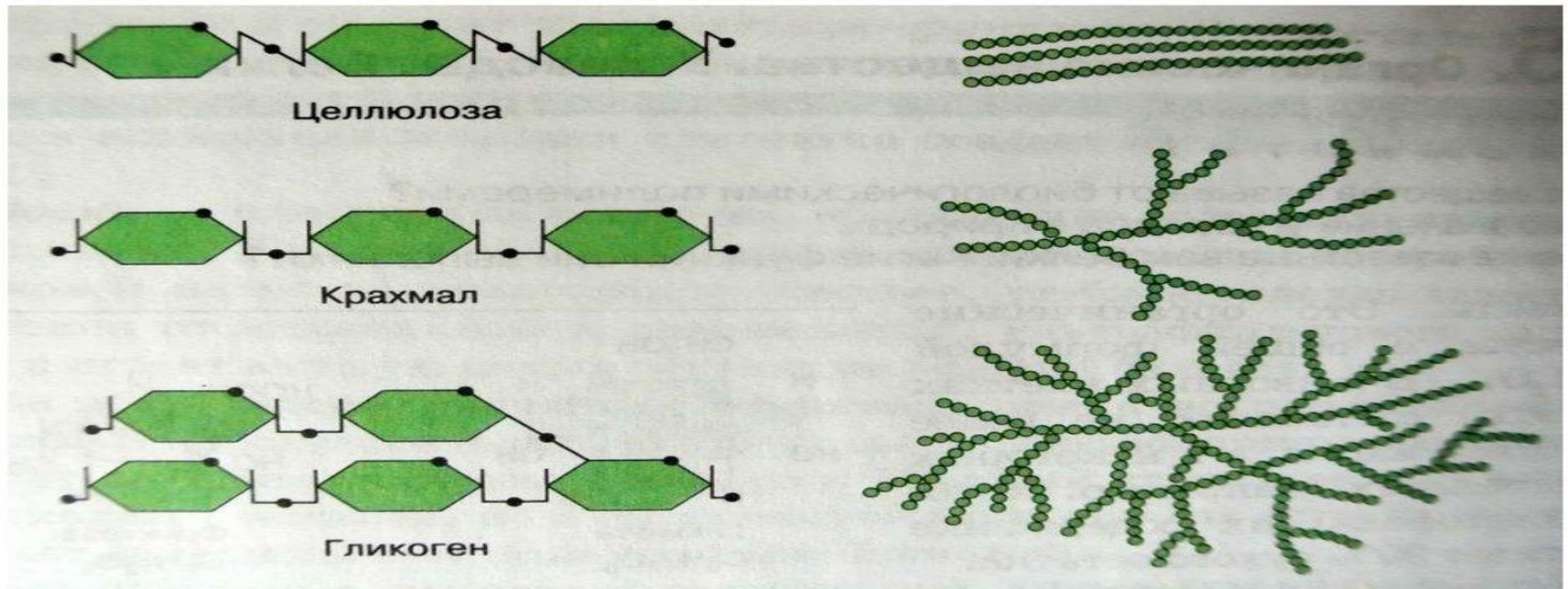


# Классификация углеводов

Полисахариды (гликаны) классифицируются

- *Гомополисахариды* - один вид моносахаридов

*Целлюлоза, гликоген, крахмал → глюкоза*



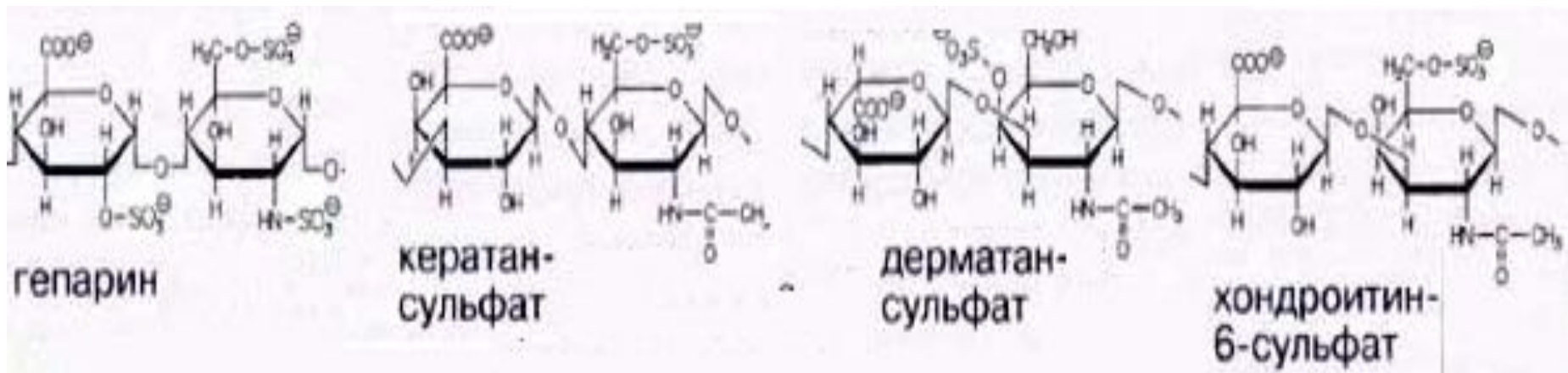
# Классификация углеводов

Полисахариды (гликаны) классифицируются

*Гетерополисахариды* – наличие двух и более типов  
мономерных звеньев

*Гиалуроновая кислота* → *ацетилглюкозамин* и *глюкуроновая кислота*

*Гепарин* → *сульфатированный глюкозамин* и *сульфатированная идуроновая кислота*



# Функции углеводов

## I. Энергетическая функция.

60-70% энергии организм получает за счёт углеводов.

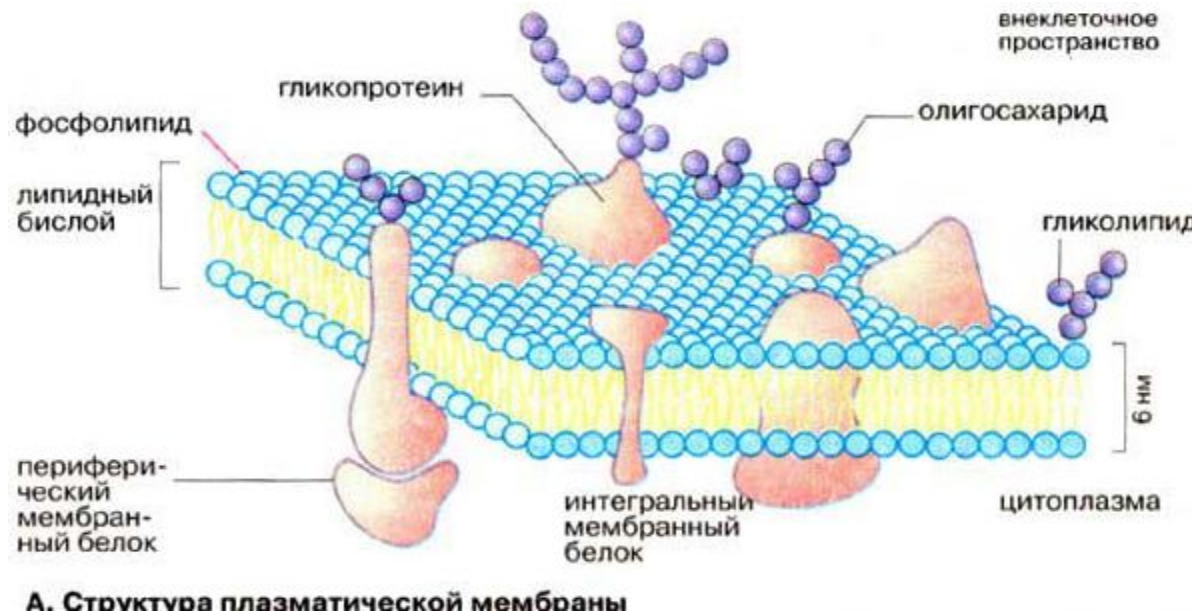
Суточная потребность в углеводах 400 – 500 г.

Мозг, кровь, почки, надпочечники живут за счёт углеводов.

При окислении 1 г углеводов выделяется 4,1 ккал энергии.

## II. Структурная функция.

Углеводы входят в состав мембран и в состав соединительной ткани.

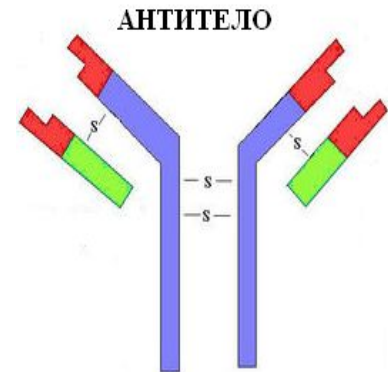




# Функции углеводов

## III. Защитная функция.

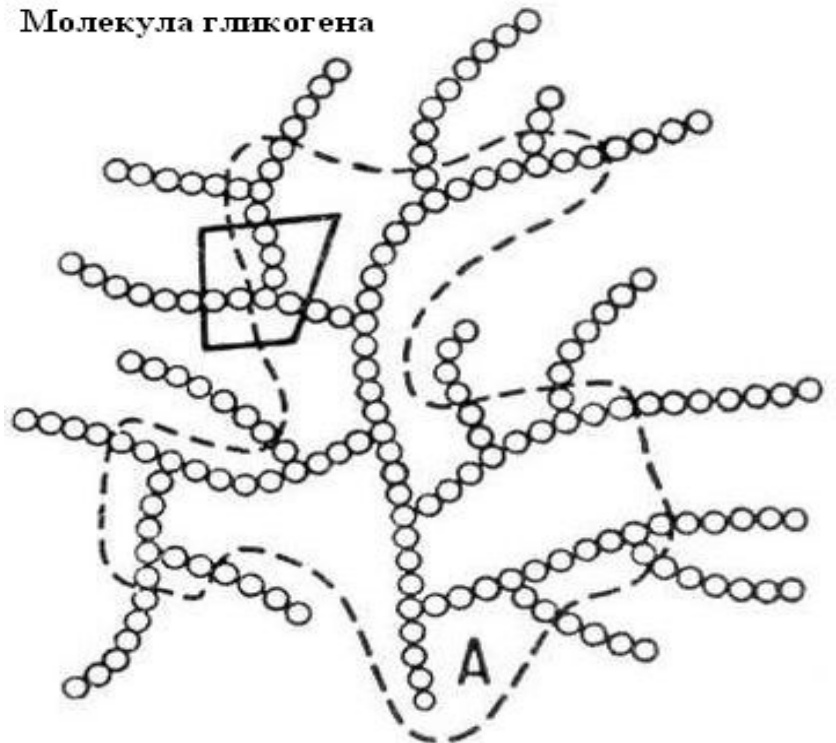
- Гетерогликаны входят в состав вязких секретов, (роль биологического смазочного материала) – выстилают трущиеся поверхности суставов, слизистой пищевода, кишечника, трахеи, бронхов.
- Иммуноглобулины являются гликопротеинами.



# Функции углеводов

## IV. Резервная функция

Гликоген – временное депо (резервный источник)  
ГЛЮКОЗЫ.

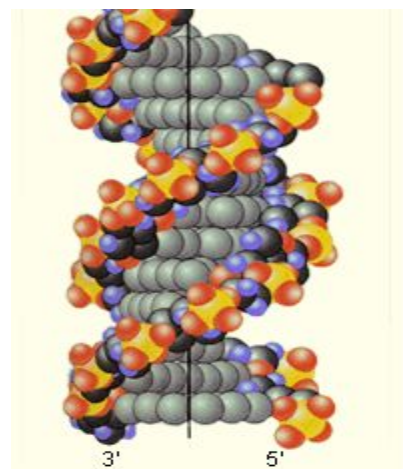




# Функции углеводов

## V. Специфические функции углеводов

- Обуславливают различия групп крови
- Рецепторная функция
- Препятствуют свертыванию крови (гепарин)
- Участвуют в детоксикации (глюкурониды)
- Входят в состав биологически активных веществ:  
(нуклеиновых кислот, коферментов, гормонов)



# Переваривание углеводов

Углеводы поступают в организм человека с продуктами растительного и животного происхождения.

Основные углеводы пищи:

- крахмал,
- гликоген,
- сахароза,
- фруктоза,
- лактоза,



- клетчатка - не переваривается в ЖКТ. Нужна для перистальтики кишечника, формирования каловых масс, является сорбентом.

# Переваривание углеводов

Ферменты, переваривающие углеводы, относятся к **гидролазам**, так как осуществляют гидролиз гликозидных связей.

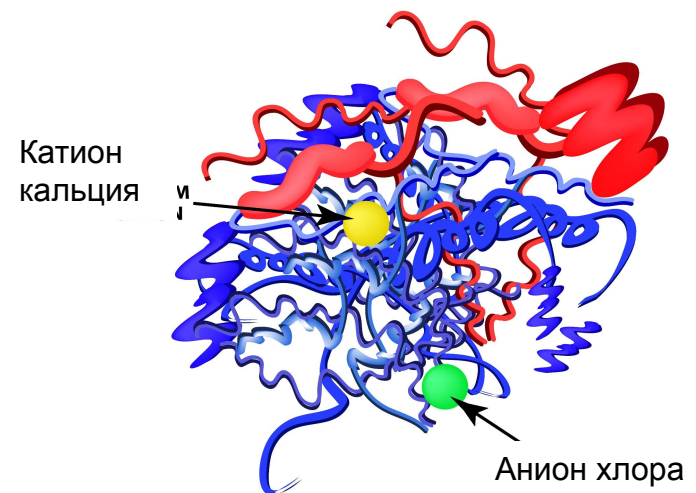
Переваривание начинается в **ротовой полости**.

$\alpha$ -амилаза слюны гидролизует  **$\alpha$ -1,4-гликозидные связи**, не гидролизует связи в дисахаридах.

Оптимум pH амилазы слюны – 6,8.

Под действием амилазы крахмал разрушается до глюкозы, декстринов и небольшого количества мальтозы.

Амилаза



# Переваривание углеводов

## в желудке

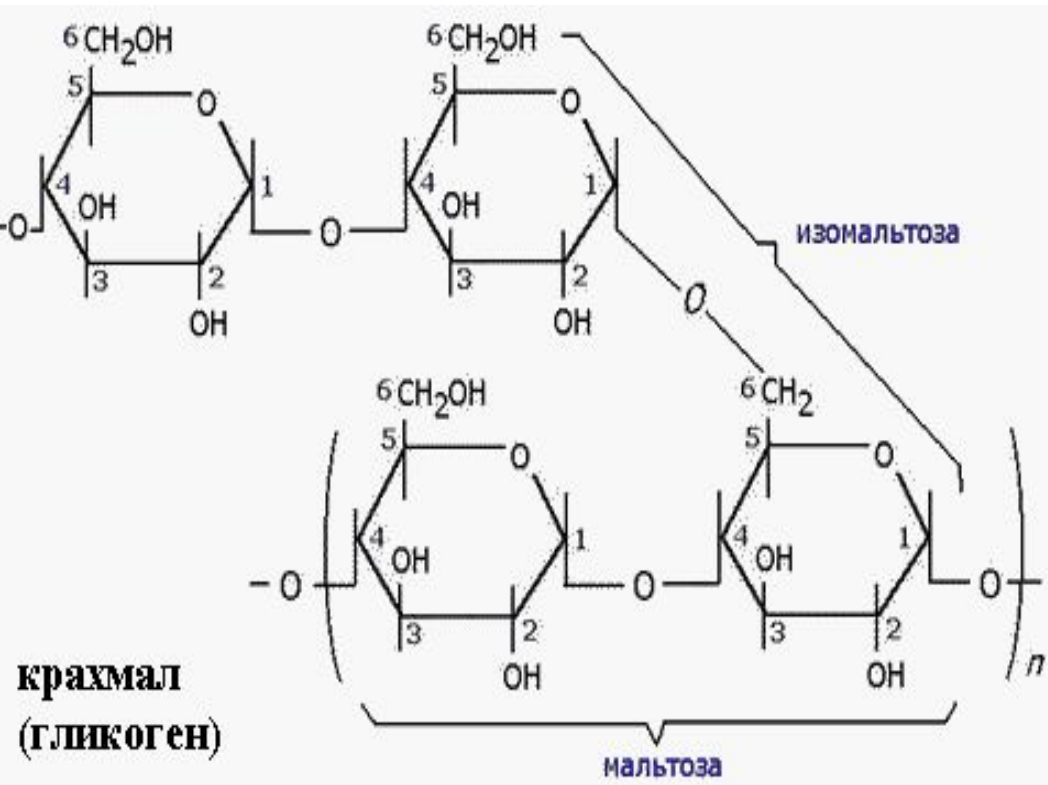
Кислый желудочный сок прекращает действие амилазы, лишь в глубине пищевого комка незначительно продолжается переваривание углеводов до мальтозы.

## в кишечнике

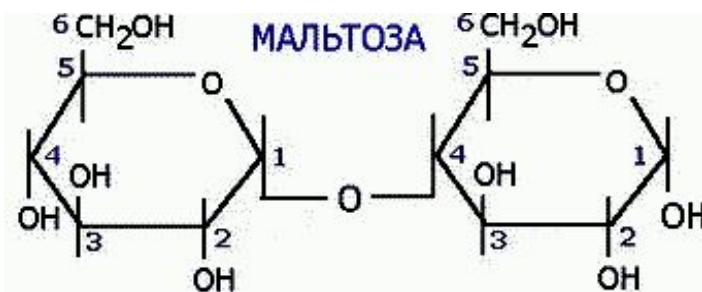
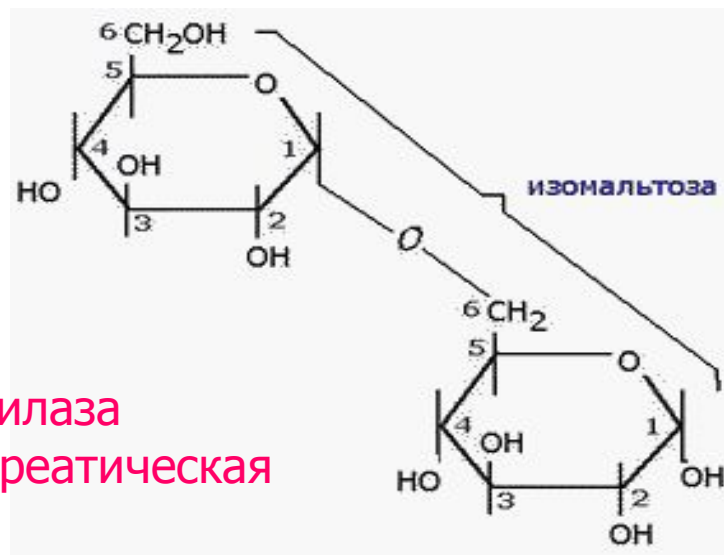
В двенадцатиперстной кишке  $\alpha$ -амилаза панкреатическая (рН = 7,5 - 8,0) завершает переваривание крахмала и гликогена (с образованием глюкозы) до мальтозы.



# Переваривание углеводов



$\alpha$ -амилаза  
панкреатическая



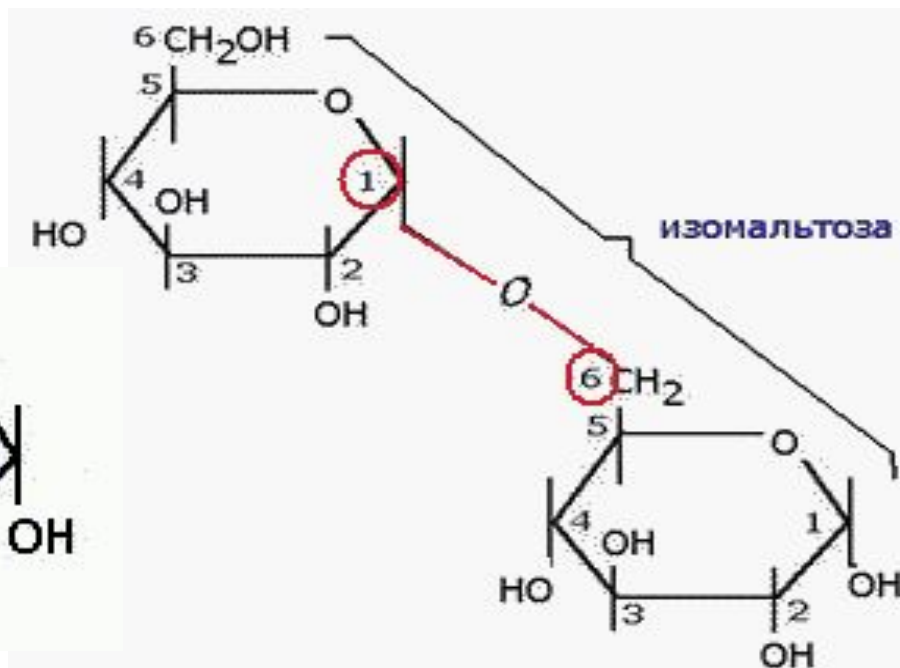
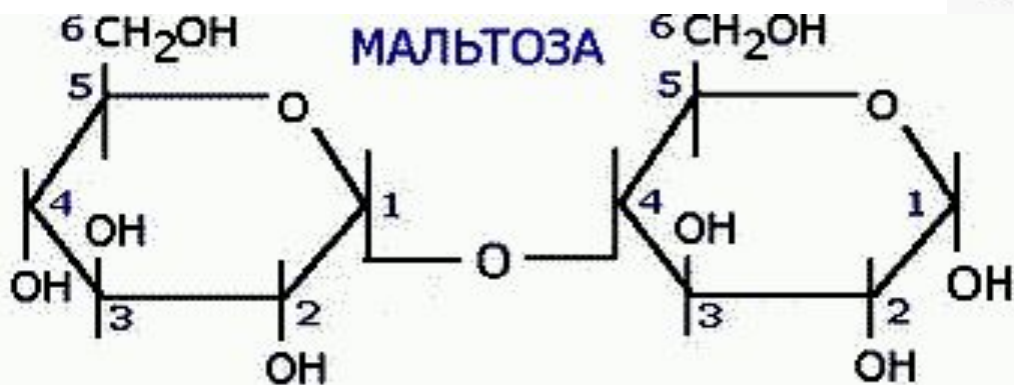
# Переваривание углеводов

## ферменты кишечного сока

мальтаза, изомальтаза, сахараза, лактаза осуществляют гидролиз дисахаридов на поверхности клеток и внутри энтероцитов.

**Мальтаза** гидролизует  $\alpha$ -1,4- гликозидные связи,

**Изомальтаза** -  $\alpha$ -1,6- гликозидные связи между двумя остатков ГЛЮКОЗЫ.



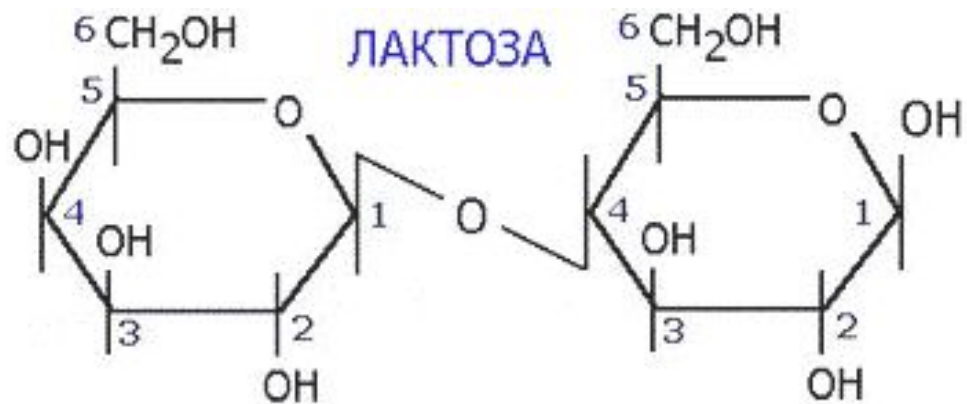
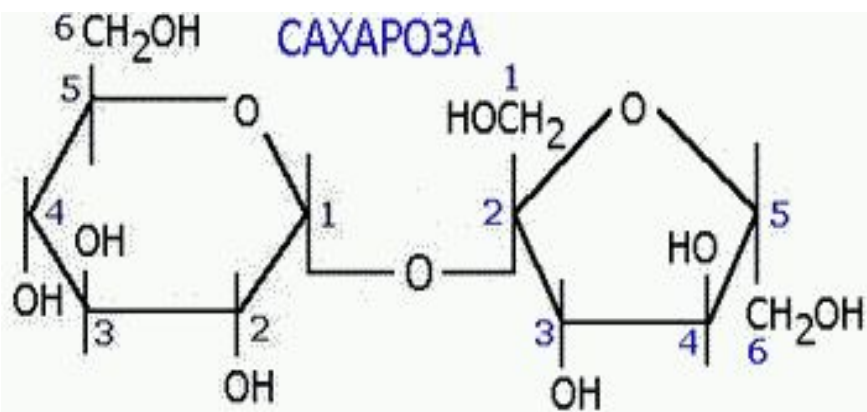


# Переваривание углеводов

## ферменты кишечного сока

**Лактаза** гидролизует  $\beta$ -1,4-гликозидные связи между галактозой и глюкозой в лактозе.

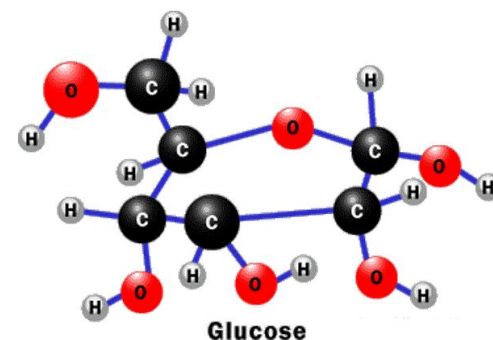
**Сахараза** гидролизует  $\alpha$ -1,2-гликозидные связи между фруктозой и глюкозой в сахарозе.



# Переваривание углеводов

Всосавшиеся моносахариды через кровеносную систему попадают в печень.

От печени оттекает кровь, содержащая только глюкозу.



65% всосавшейся глюкозы захватывают головной мозг, скелетные мышцы, печень и используют ее как энергетический материал.

30% глюкозы в жировой ткани используется для синтеза резервных триацилглицеринов.

5% используется на синтез гликогена.

# Переваривание углеводов

## Бифидобактерии

- Анаэробные молочно-кислые бактерии, населяющие кишечник человека.
- Ферментируют углеводы с образованием молочной и уксусной кислот, тем самым способствуя всасыванию углеводов,
- Способствуют синтезу витаминов К и В<sub>1</sub>,
- Непатогенны для человека.
- Антагонисты энтеропатогенных и гнилостных бактерий.



# Мальабсорбция дисахаридов

- нарушения всасывания, вызванные расстройствами транспортных механизмов и недостаточностью пищеварительных ферментов.

## *Различают:*

- синдром первичной мальабсорбции (наследственный),
- синдром вторичной мальабсорбции.

## *Этиология:*

- снижение активности ферментов гидролиза углеводов и транспортных переносчиков через кишечную стенку,
- недостаточное поступление в кишечник ферментов с пищеварительными соками,
- инактивирование ферментов,
- морфологические изменения тонкой кишки и нарушение перистальтики.

# Непереносимость лактозы

- *Первичная непереносимость лактозы*

Недостаточность **лактазы** наследуется по аутосомно-рецессивному типу.

Лечение: маленьким детям в молоко добавляют лактазу (заместительная терапия).

- *Приобретённая непереносимость лактозы* наблюдается при энтероколитах, язвенных колитах.

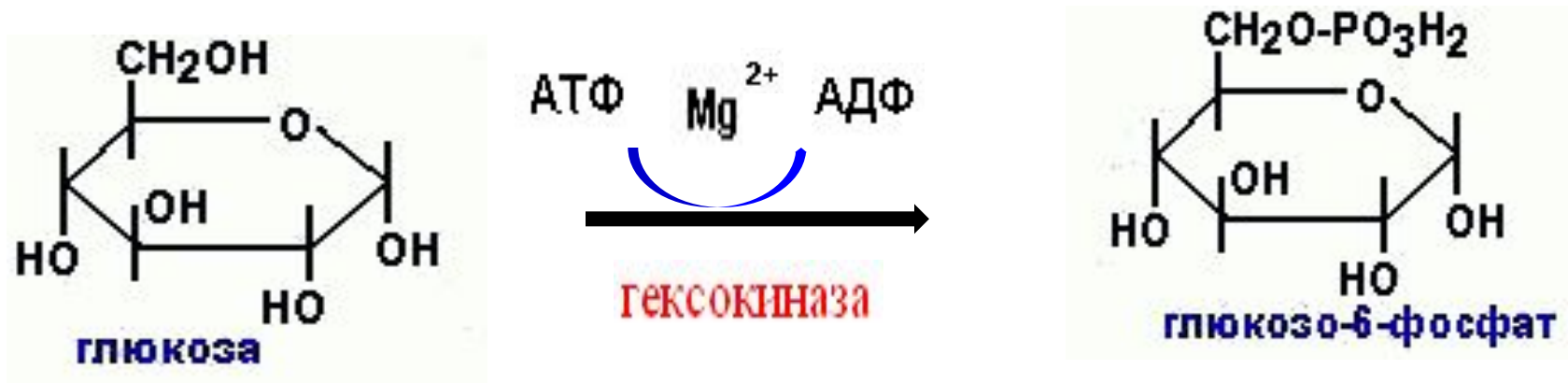
**Симптомы:** метеоризм, диарея при употреблении молока, наблюдается лактозурия.

У взрослых чаще бывает приобретённая непереносимость лактозы.



# Гексокиназная реакция

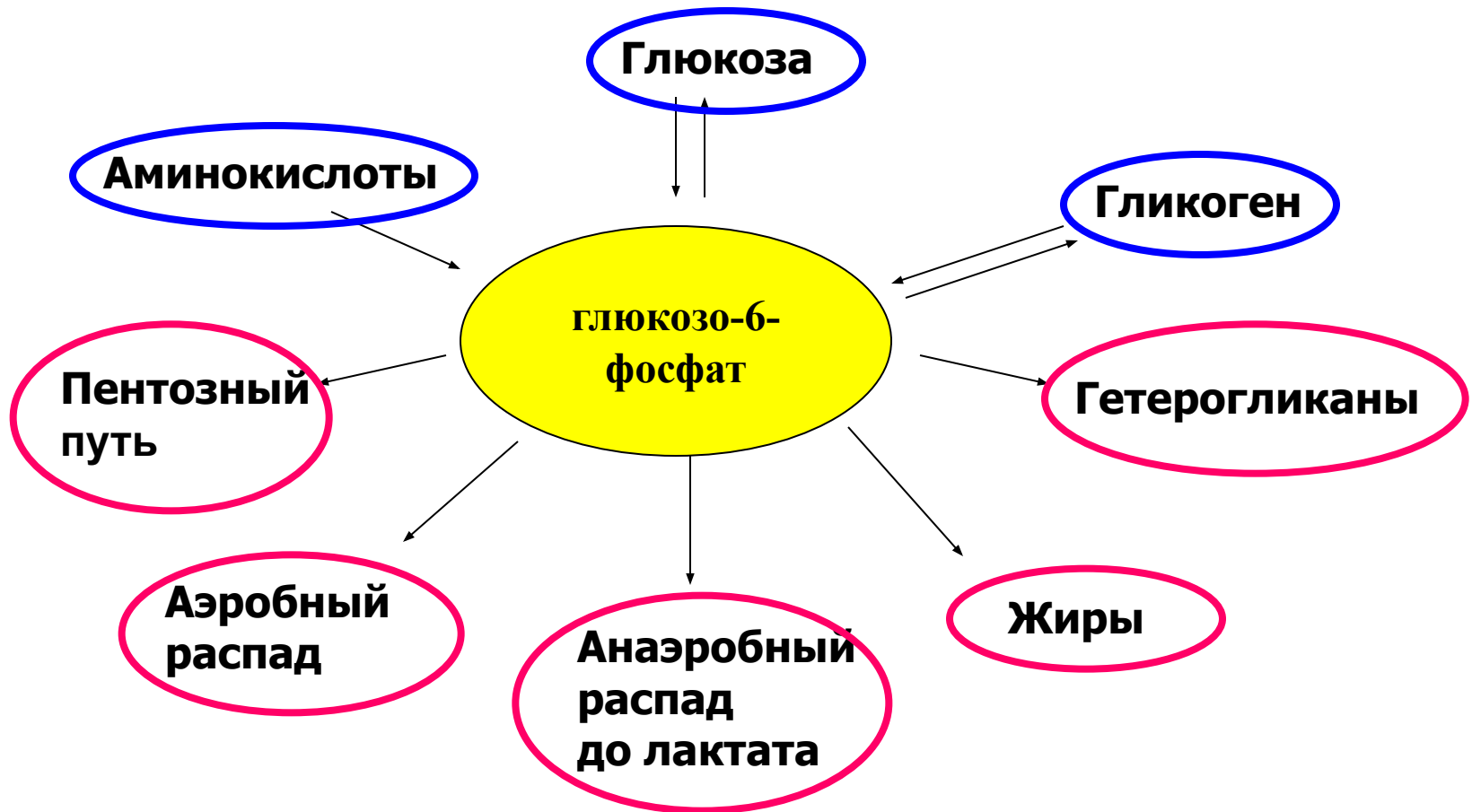
- **Глюкоза**, поступающая из крови в клетку, сразу же превращается в свою активную форму – **глюкозо-6-фосфат**
- Реакция необратимая
- Глюкоза уже не может выйти из клетки
- Это развилка путей метаболизма глюкозы



Фосфорилирование (активация) -  
первая стадия любых дальнейших превращений  
моносахаридов



# Пути превращения глюкозо-6-фосфата в организме



# Гликоген

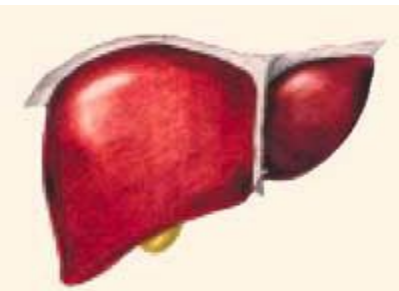
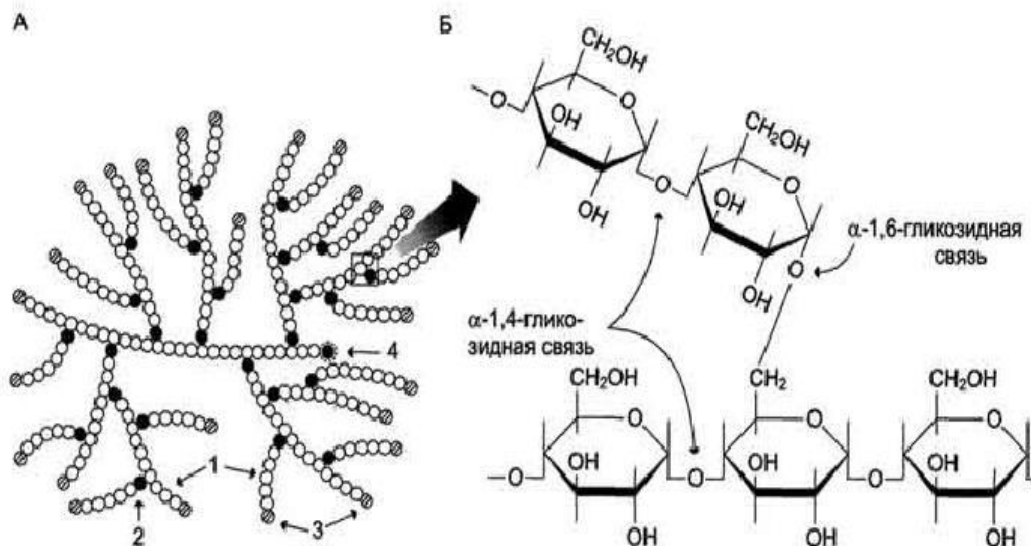


В организме человека  
содержится до 450 г гликогена

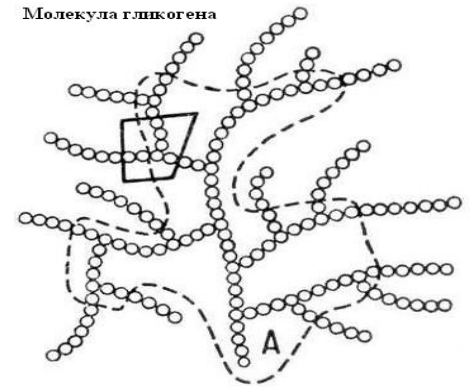
## Депозит гликогена:

- скелетные мышцы  
(2/3 общего гликогена),
- печень  
(1/3 общего гликогена).

## Гликоген



# Синтез гликогена



## Гексокиназная реакция



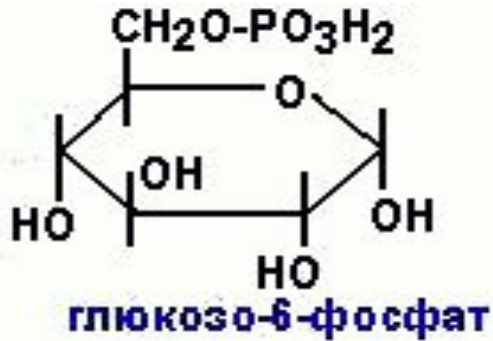
**ГЛЮКОКИНАЗА**

В ПЕЧЕНИ

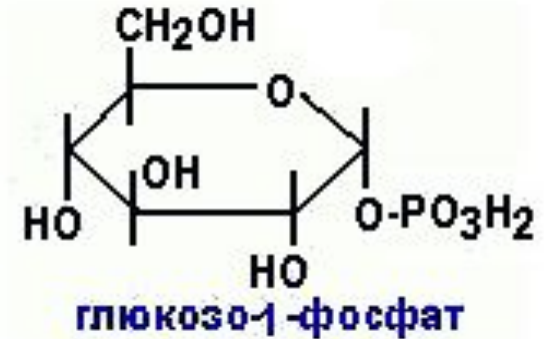
– не ингибируется гл-6-ф

# Синтез гликогена

Реакция изомеризации

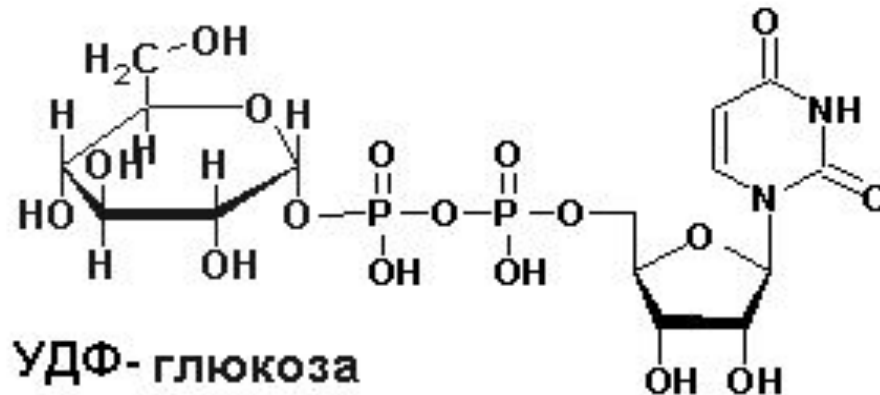


Фосфоглюкомутаза



УДФ-пирофосфорилаза

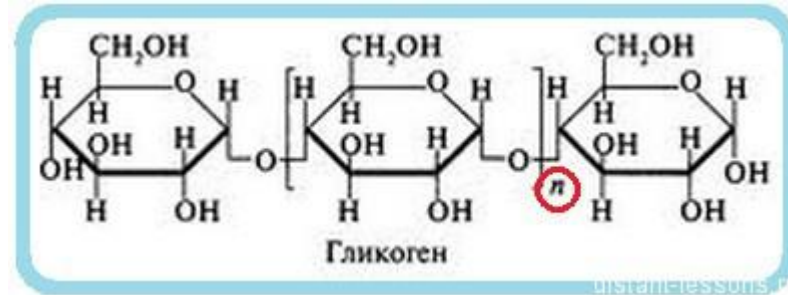
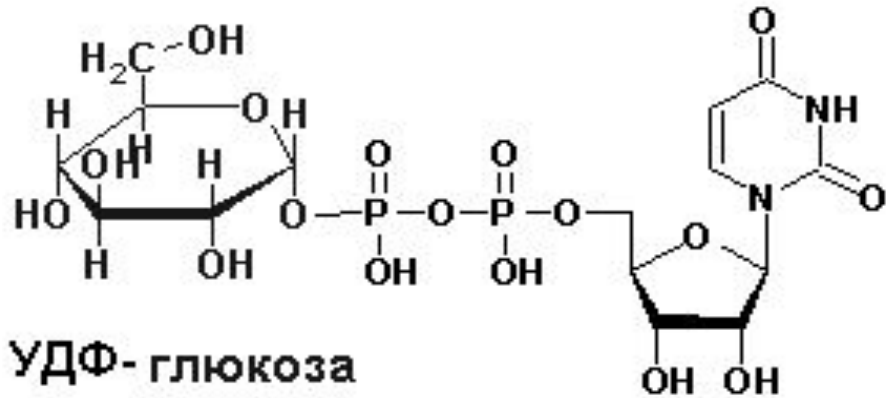
Образование УДФ



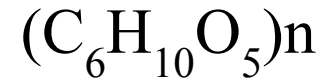
УТФ

+  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$

# Синтез гликогена



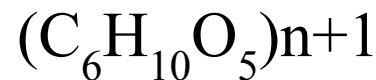
+



гликоген



**гликогенсинтаза**



гликоген

+

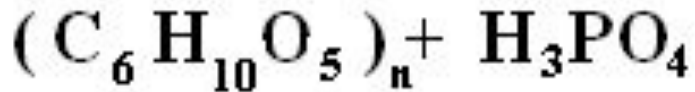
УДФ

**Гликогенсинтаза** – ключевой фермент синтеза гликогена

*Активируется* инсулином.

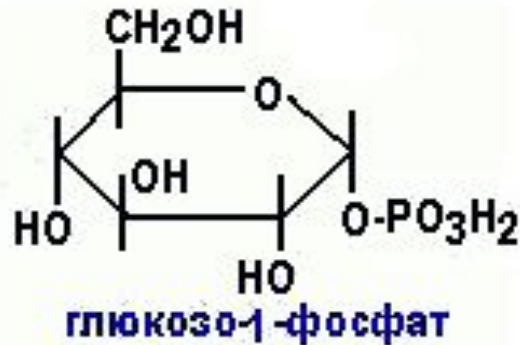
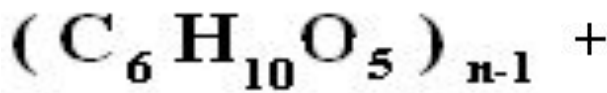
*Ингибируется* – адреналином, глюкагоном

# Распад гликогена (гликогенолиз)

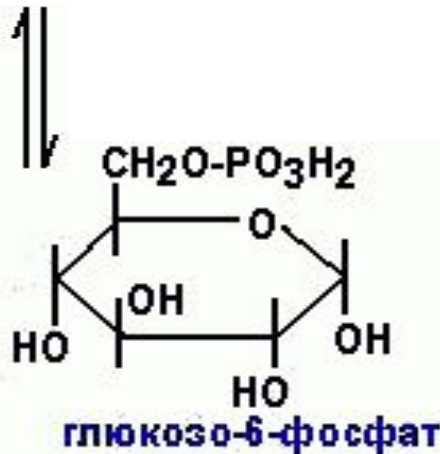


Гликоген

**Фосфорилаза**



**Фосфоглюкомутаза**



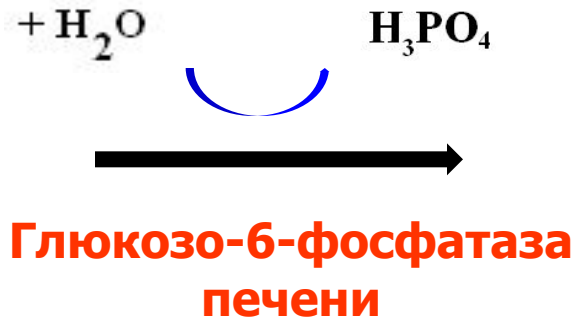
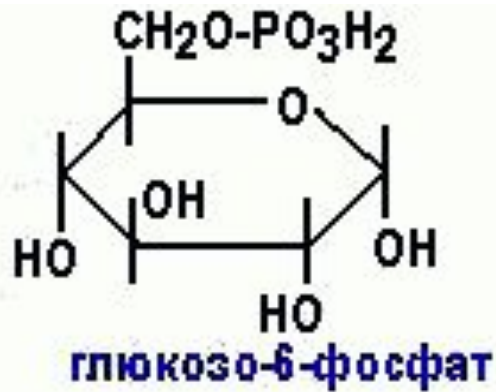
Ключевой фермент распада гликогена – **фосфорилаза** –

*активируется* адреналином, ГЛЮКАГОНОМ,

*ингибируется* инсулином.



# Распад гликогена (гликогенолиз)



**В мышцах**  $\longrightarrow$  **CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, лактат**

- Гликоген печени, расщепляясь до глюкозы, поступает в кровь и используется на нужды организма
- В мышцах гликоген расщепляется до глюкозо-6-фосфата и используется на собственные нужды – обеспечение энергией (конечные продукты CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O или молочная кислота)

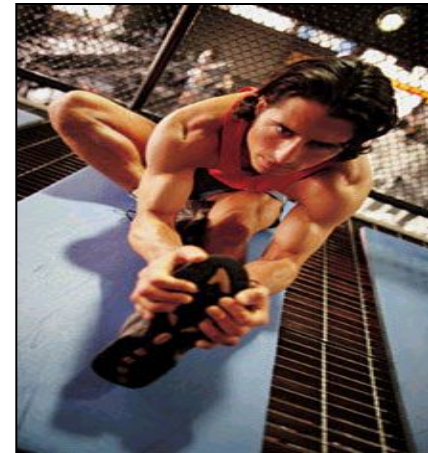
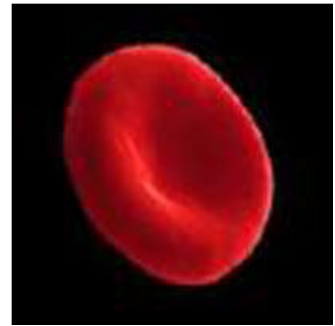
# Функциональные отличия гликогена печени и мышц

	Печень	Скелетные мышцы
Фермент глюкозо-6-фосфатаза	есть	нет
Распад	до глюкозы	до лактата
Кровь, оттекающая от органа	содержит глюкозу	содержит лактат
Функция гликогена	Поддержание уровня глюкозы	Резерв энергии

# ГЛИКОЛИЗ

Интенсивно идет

- в эритроцитах,
- эмбриональных тканях,
- опухолях.
- Позволяет поддерживать интенсивную работу скелетной мышцы в условиях недостатка кислорода.



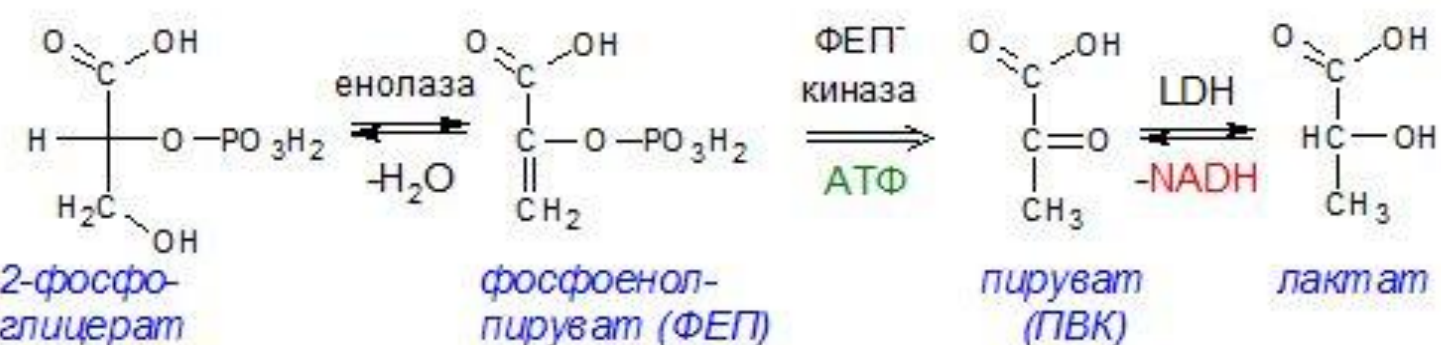
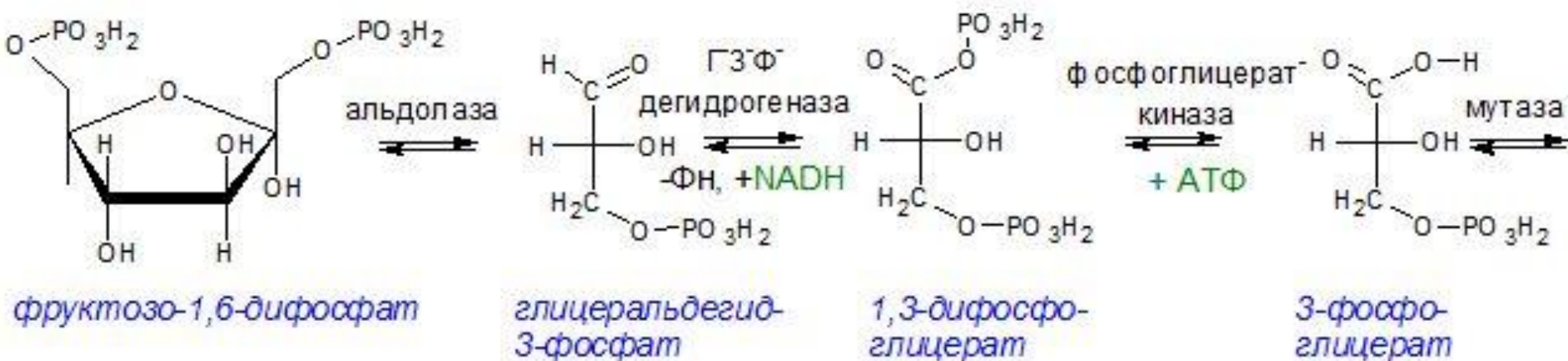
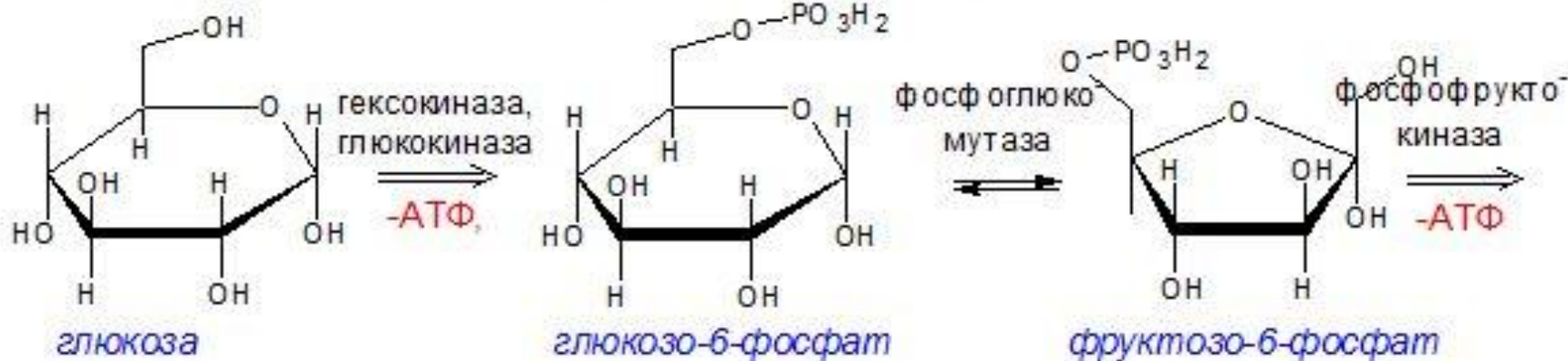
# Г Л И К О Л И З

делится на 2 этапа:

1. Подготовительный – активация глюкозы, включает 5 реакций и завершается расщеплением углеродного скелета на 2 триозы, затрачивается 2 АТФ.

2. Генерация АТФ или гликолитическая оксидоредукция → триоза окисляется до ПВК и восстанавливается до молочной кислоты. Образование АТФ по механизму субстратного фосфорилирования.

# СХЕМА ГЛИКОЛИЗА



# Баланс гликолиза

4 АТФ образуется за счёт двух реакций субстратного фосфорилирования

2 АТФ потребляются (тратятся на фосфорилирование)

1.	Гексокиназная реакция	-1 АТФ
2.	Фосфофруктокиназная реакция	-1 АТФ
3.	Фосфоглицераткиназная реакция	2 АТФ
4.	Пируваткиназная реакция	2 АТФ

ЧИСТЫЙ ВЫХОД – 2 АТФ (4 – 2 = 2)

# Регуляция гликолиза

аллостерические ферменты гликолиза регулируют необратимые, ключевые, киназные реакции

- 1. Гексокиназа** - ингибируется глюкозо-6-фосфатом, (*Глюкокиназа* не ингибируется глюкозо-6-фосфатом).
- 2. Фосфофруктокиназа** - активаторы – АМФ, АДФ, Фн, цАМФ, ионы двухвалентных металлов.  
Ингибиторы – АТФ и цитрат.
- 3. Пируваткиназа** - активатор – АДФ.  
Ингибиторы – АТФ, ацетил-КоА, жирные кислоты.



# Эффект Пастера

- торможение гликолиза кислородом

- Биохимический механизм эффекта заключается в конкуренции за пируват ферментов пируватдегидрогеназы и лактатадегидрогеназы.
- В присутствии кислорода происходит окислительное фосфорилирование НАДН<sub>2</sub> в дыхательной цепи → ПВК в лактат не восстанавливается.



# Глюконеогенез

**- ЭТО СИНТЕЗ ГЛЮКОЗЫ ИЗ НЕУГЛЕВОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ:**

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

**Глюконеогенез – это частично обращённый гликолиз.**

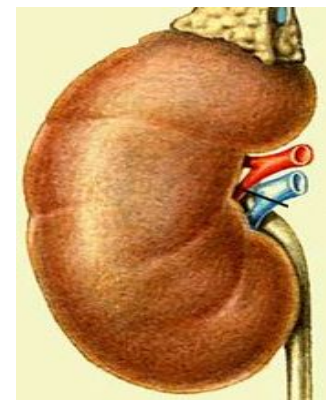
# Глюконеогенез

протекает в:

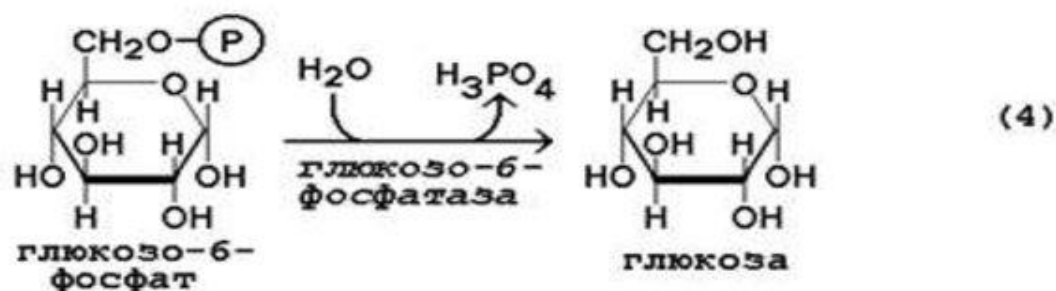
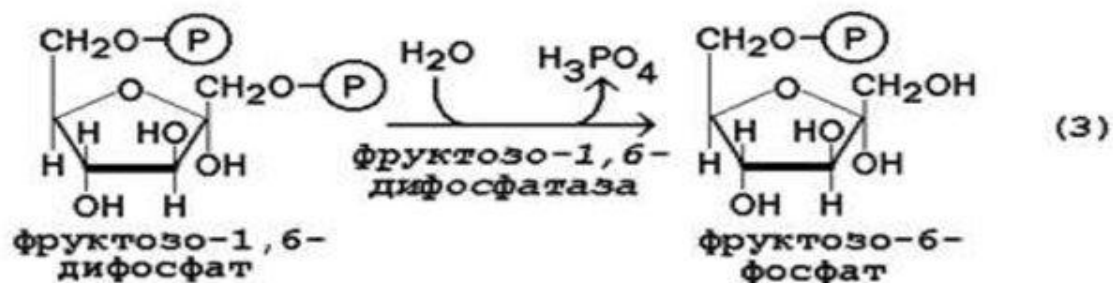
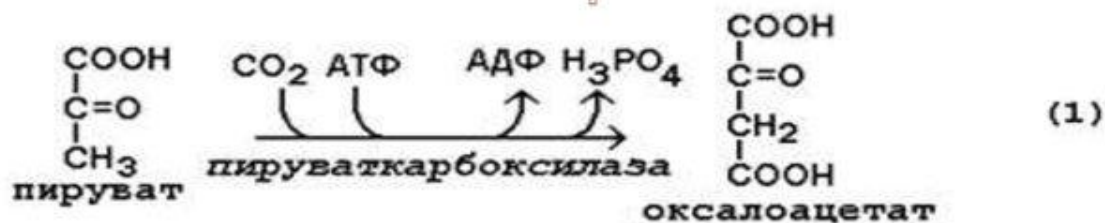
- печени,
- корковом веществе почек,
- слизистой кишечника.

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

**Три реакции гликолиза необратимы, поэтому  
используются другие ферменты.**



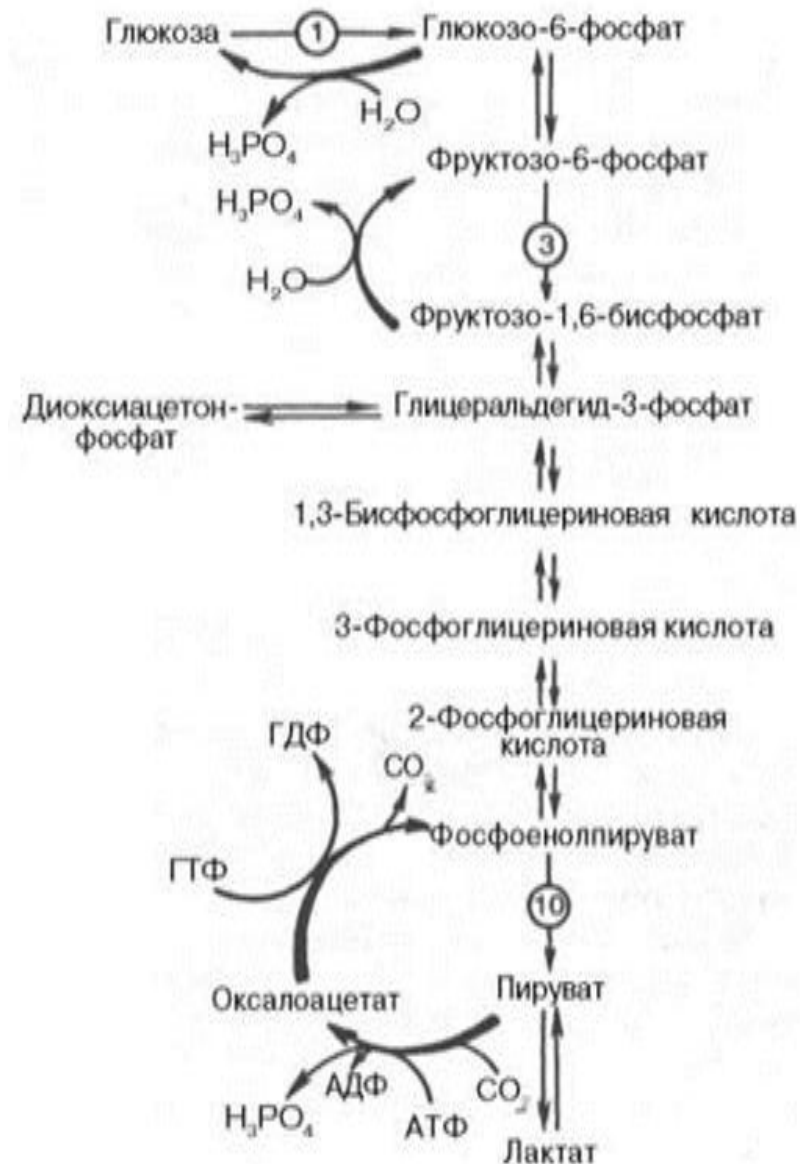
# ОБХОДНЫЕ РЕАКЦИИ ГЛЮКОНЕОГЕНЕЗА (НЕОБРАТИМЫЕ РЕАКЦИИ ГЛИКОЛИЗА)



# Биологическая роль глюконеогенеза

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

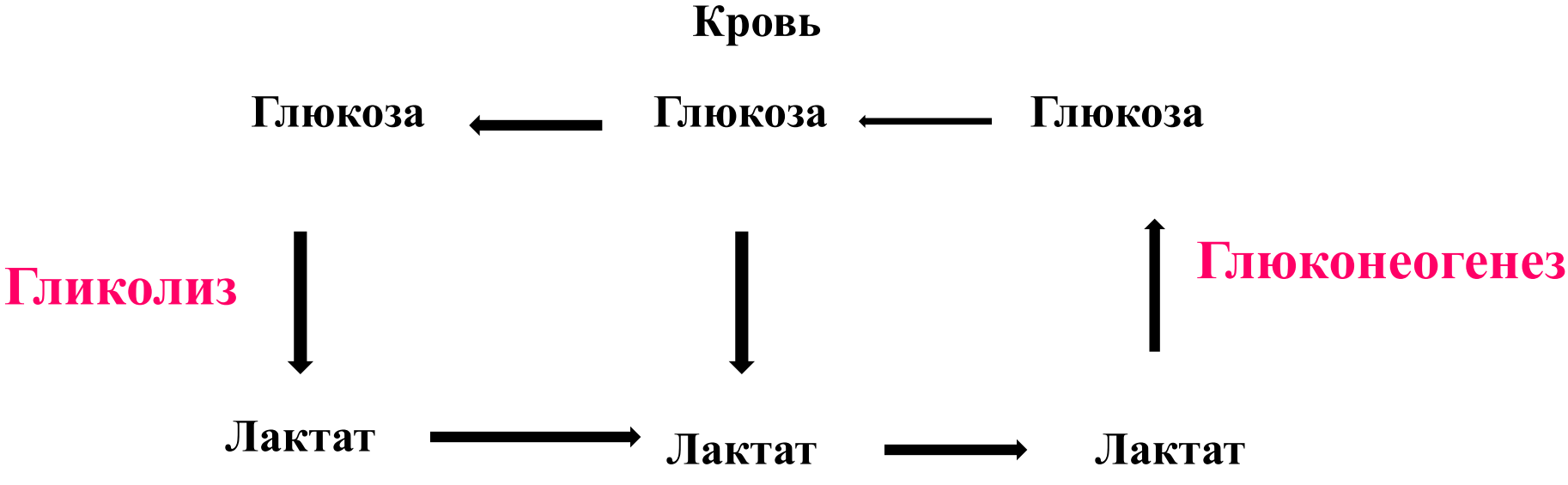
Для синтеза одной молекулы глюкозы из двух молекул пировиноградной кислоты требуется 6 молекул АТФ



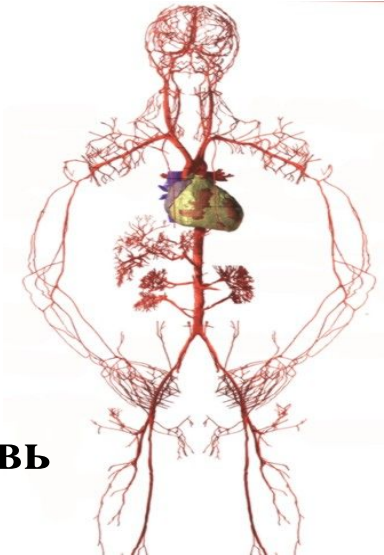
# Цикл Кори

- осуществляет связь между гликолизом в мышце и глюконеогенезом в печени.
- При интенсивной мышечной работе лактат из мышц поступает в кровь, переносится в печень, образуется глюкоза, которая вновь поступает в кровь и переносится к мышцам.

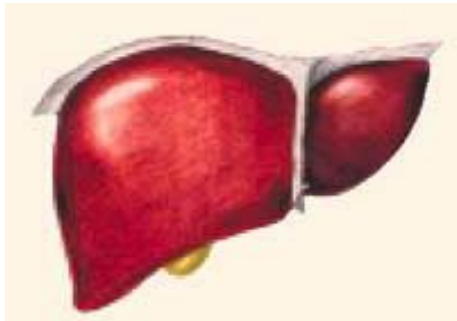
# Цикл Кори



Мышца



Кровь



Печень



# Аэробный распад глюкозы

- Главный путь окисления глюкозы в клетке
- Требуется кислород
- Является основным источником энергии
- Дихотомический распад молекулы глюкозы на 2 триозы
- Происходит в нервной ткани, почках, печени, сердце

распад глюкозы до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в присутствии кислорода

**осуществляется в 3 этапа**

- I. Гликолитическая фаза
- II. Окислительное декарбоксилирование ПВК
- III. Цикл трикарбоновых кислот

# Аэробный распад глюкозы

## I. Гликолитическая фаза

- Происходит в цитоплазме - в реакциях совпадает с гликолизом до ПВК,
- Две реакции идут с затратой энергии (гексокиназная и фосфофруктокиназная)
- Субстратное фосфорилирование обеспечивает на одну молекулу глюкозы **4 АТФ**
- 2 НАДН<sub>2</sub> идут в дыхательную цепь и дают дополнительно **6 АТФ**
- Энергетический выход – 8 АТФ  
(расход 2 АТФ, образуется 10 АТФ, = 8 АТФ)

# Аэробный распад глюкозы

## II. Окислительное декарбоксилирование ПВК

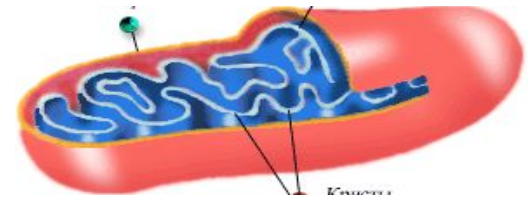
ПВК диффундирует в матрикс митохондрий,  
реакция протекает в матриксе митохондрий,

- реакция необратима,

- требуется кислород,

- окисление до ацетил-КоА и  $\text{CO}_2$  с помощью пируватдегидрогеназного мультиферментного комплекса (3 фермента и 5 коферментов)

- образуются 2 НАДН<sub>2</sub>, которые дают 6 АТФ.



# Аэробный распад глюкозы

## Окислительное декарбоксилирование ПВК



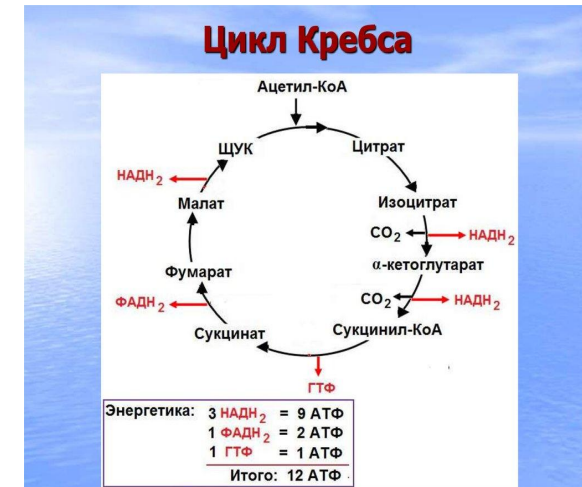
Пируват-дегидрогеназный комплекс

# Аэробный распад глюкозы

## III этап - Цикл Кребса

Сгорание ацетил-КоА в цикле Кребса

- идёт в митохондриях,
- требует присутствия кислорода,
- из 1 молекулы ацетил-КоА – 12 АТФ



из 2 молекул ацетил-КоА = 2\*12 АТФ = 24 АТФ.

*Общий баланс аэробного распада глюкозы:*

I. этап – 8 АТФ

II. этап – 6 АТФ

III. этап – 24 АТФ

Итого: 38 АТФ

на 1 молекулу глюкозы