

УГЛЕВОДНЫЙ ОБМЕН

Классификация, биологическая роль,
переваривание и всасывание углеводов.

Синтез и распад гликогена.

Гликолиз. Глюконеогенез.

Аэробный распад глюкозы.

Классификация углеводов

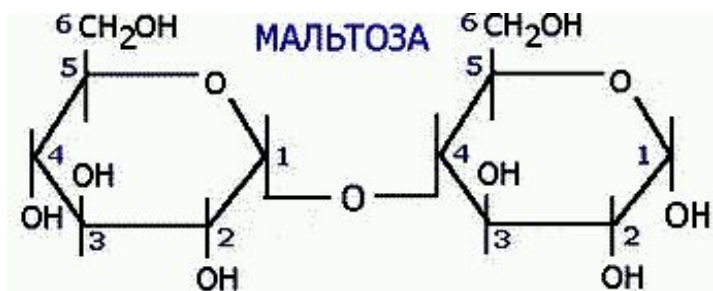
- **Моносахариды** – содержат только одну структурную единицу (*рибоза, глюкоза, фруктоза, галактоза*).
- **Олигосахариды** – состоят из нескольких (от 2 до 10) остатков моносахаридов – дисахариды (*мальтоза, сахароза, лактоза*), трисахариды (*раффиноза*).
- **Полисахариды** – высокомолекулярные вещества,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

Классификация углеводов

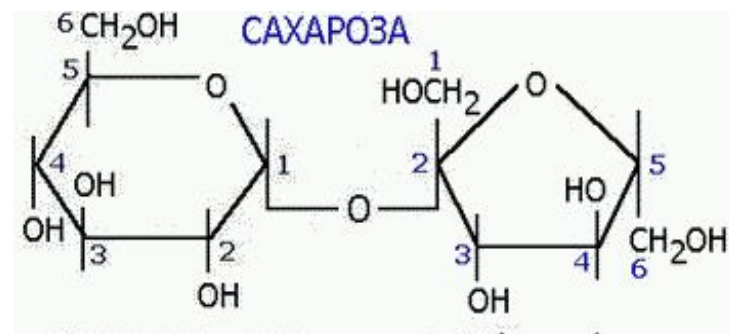
Олигосахариды классифицируются

- **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)

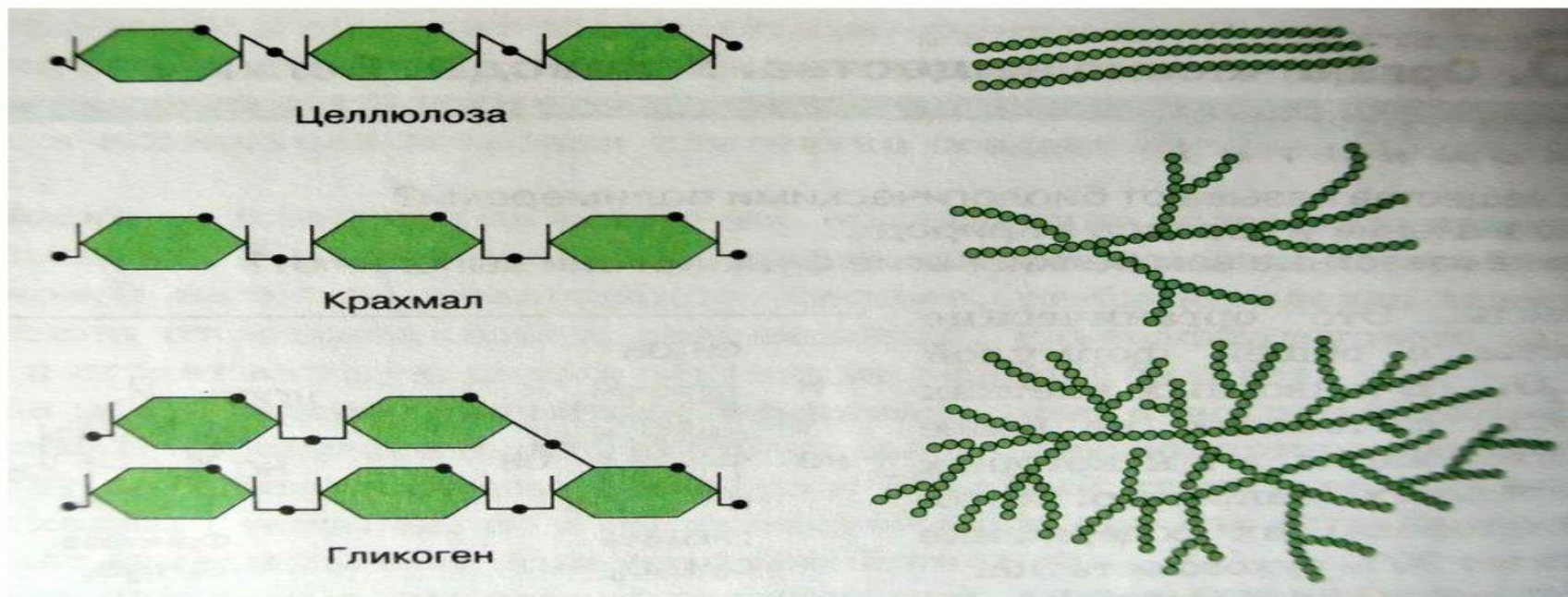


Классификация углеводов

Полисахариды (гликаны) классифицируются

- **Гомополисахариды** - один вид моносахаридов

Целлюлоза, гликоген, крахмал → глюкоза



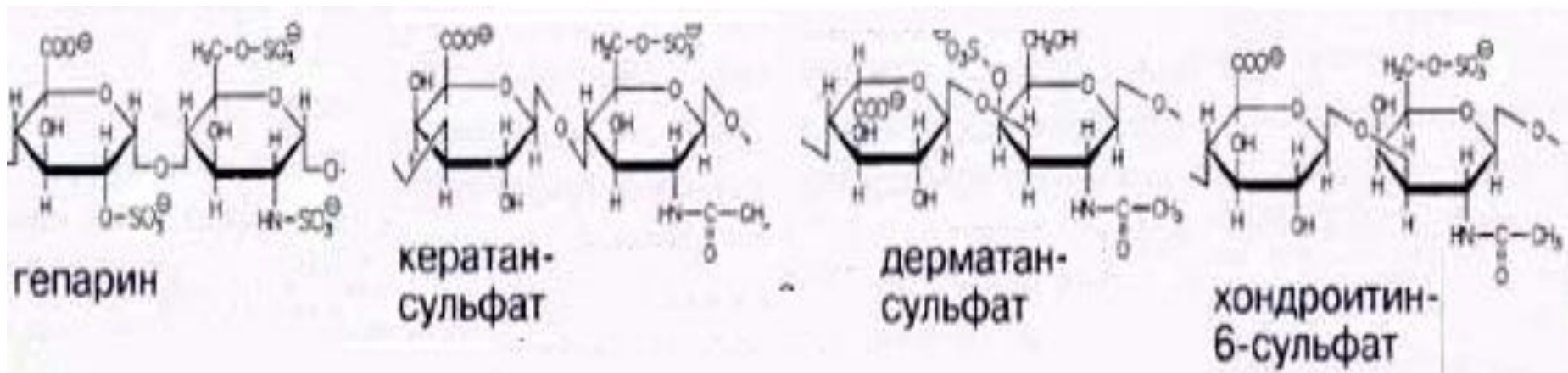
Классификация углеводов

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.

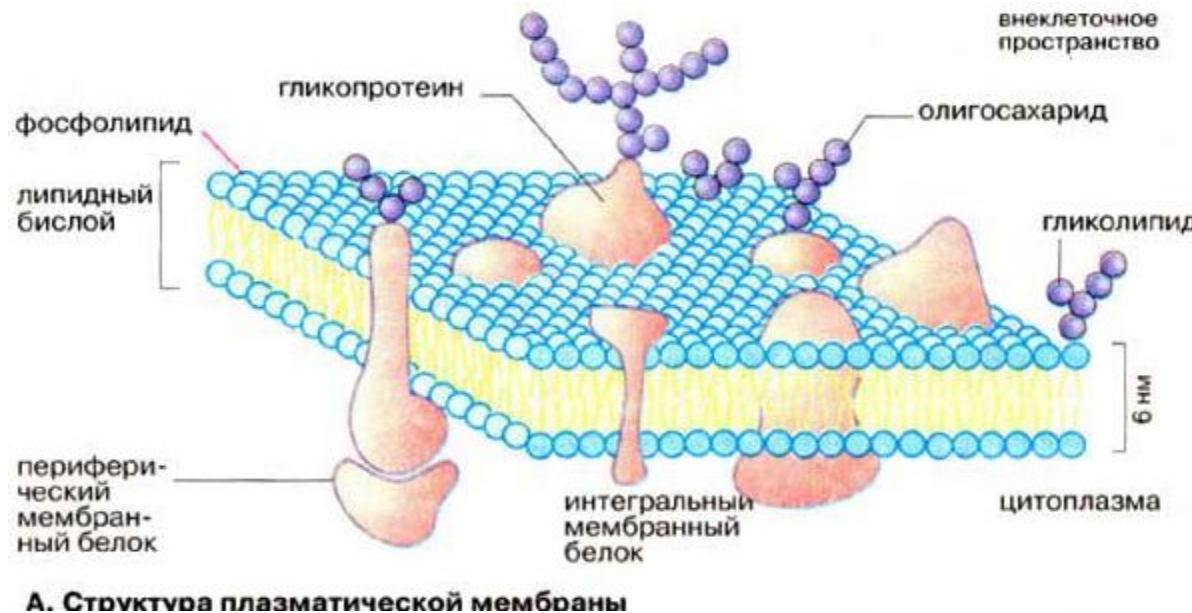
Суточная потребность в углеводах 400 – 500 г.

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.

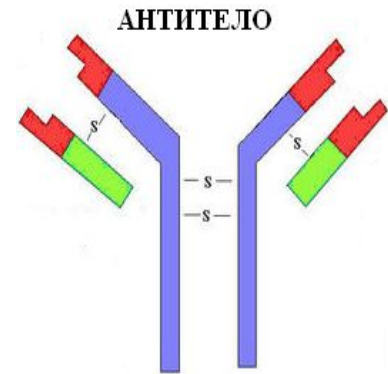


А. Структура плазматической мембраны

Функции углеводов

III. Защитная функция.

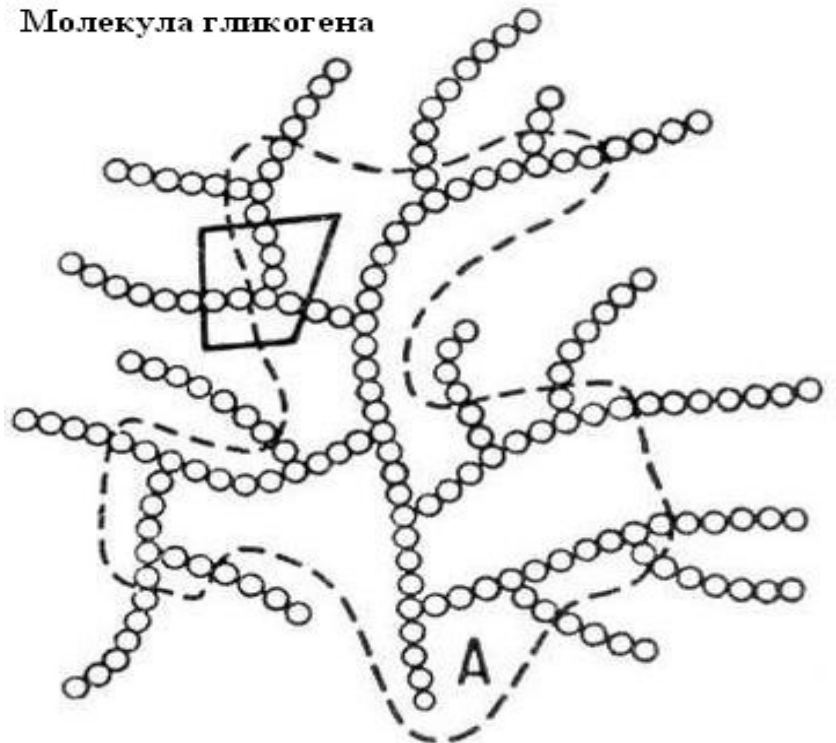
- Гетерогликаны входят в состав вязких секретов, (роль биологического смазочного материала) – выстилают трущиеся поверхности суставов, слизистой пищевода, кишечника, трахеи, бронхов.
- Иммуноглобулины являются гликопротеинами.



Функции углеводов

IV. Резервная функция

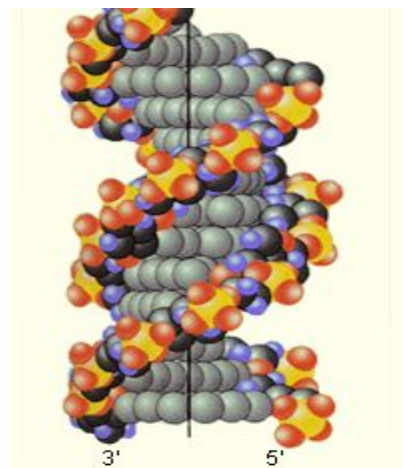
Гликоген – временное депо (резервный источник)
ГЛЮКОЗЫ.



Функции углеводов

V. Специфические функции углеводов

- Обуславливают различия групп крови
- Рецепторная функция
- Препятствуют свертыванию крови (гепарин)
- Участвуют в детоксикации (глюкуроныды)
- 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.

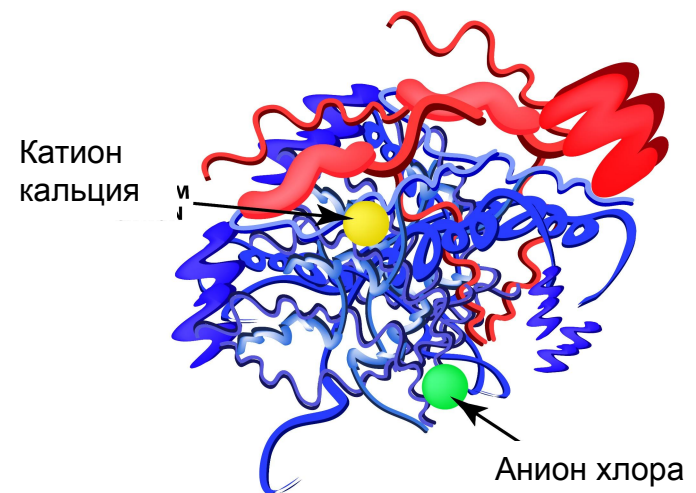
Переваривание начинается в **ротовой полости**.

α -амилаза слюны гидролизует **α -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

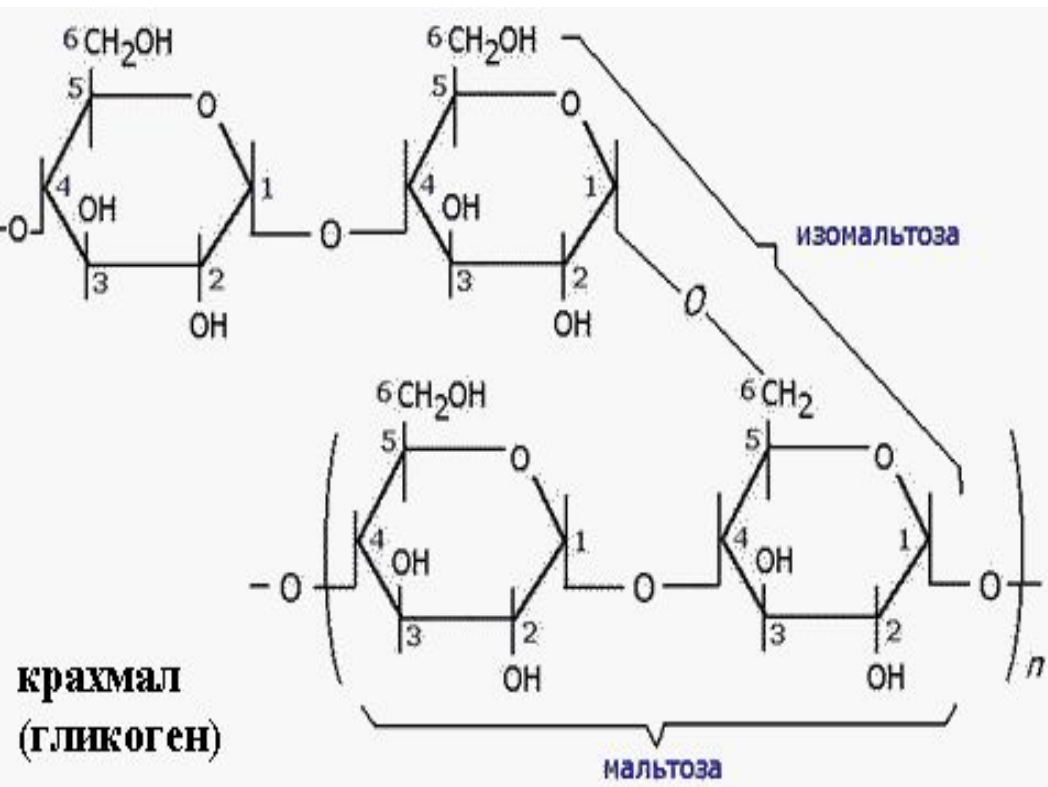
Кислый желудочный сок прекращает действие амилазы, лишь в глубине пищевого комка незначительно продолжается переваривание углеводов до мальтозы.

в кишечнике

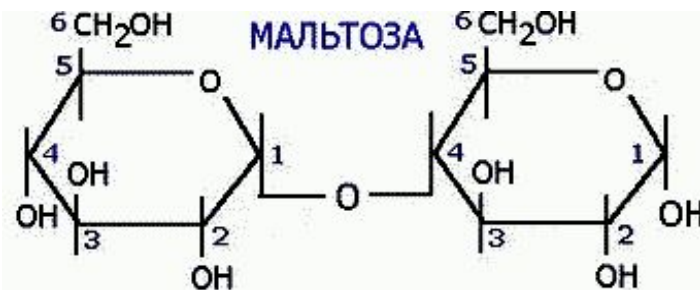
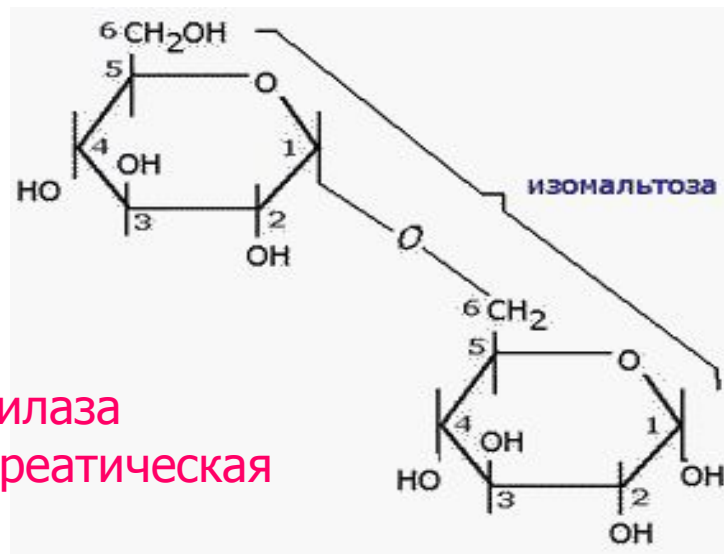
В двенадцатиперстной кишке α -амилаза панкреатическая ($\text{pH} = 7,5 - 8,0$) завершает переваривание крахмала и гликогена (с образованием глюкозы) до мальтозы.



Переваривание углеводов



α-амилаза
панкреатическая



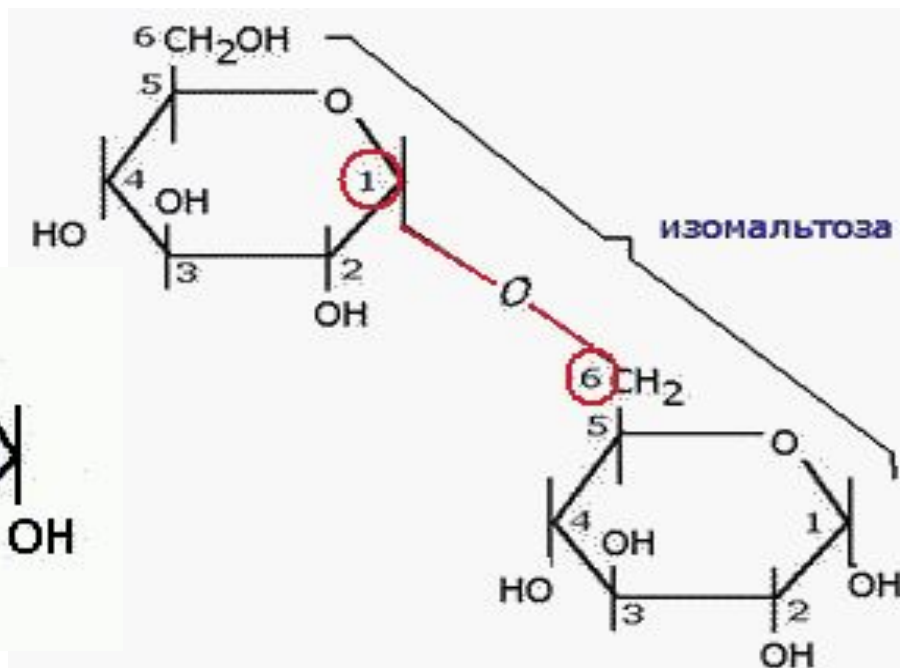
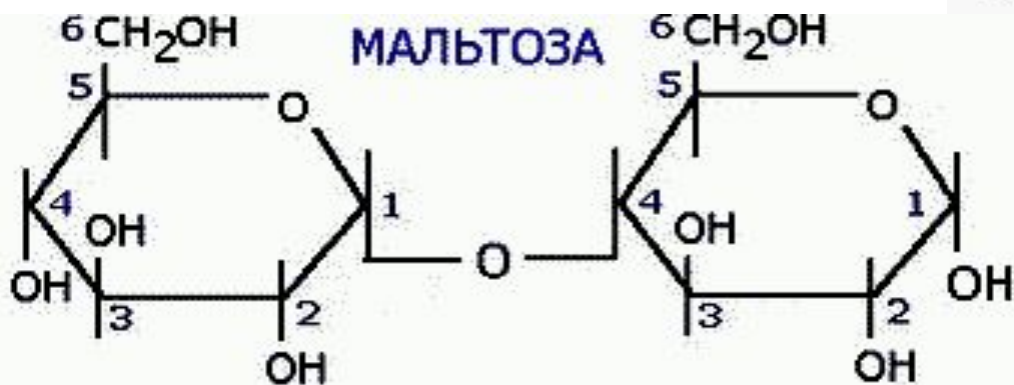
Переваривание углеводов

ферменты кишечного сока

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

Мальтаза гидролизует α -1,4- гликозидные связи,

Изомальтаза - α -1,6- гликозидные связи между двух остатков ГЛЮКОЗЫ.

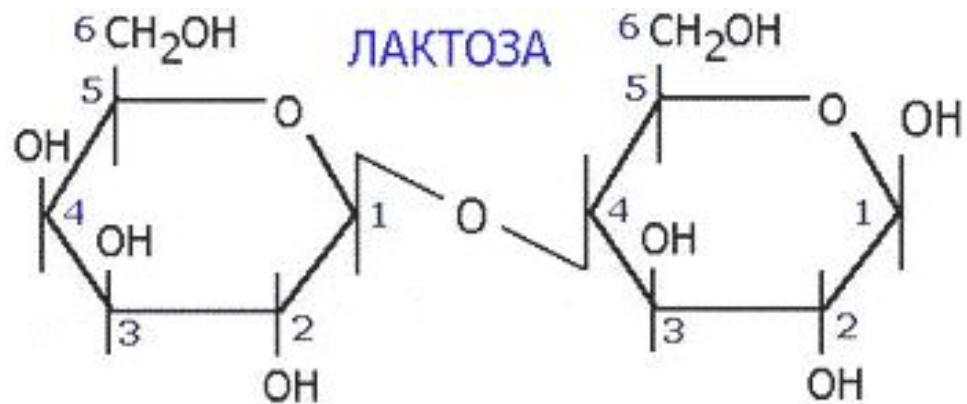
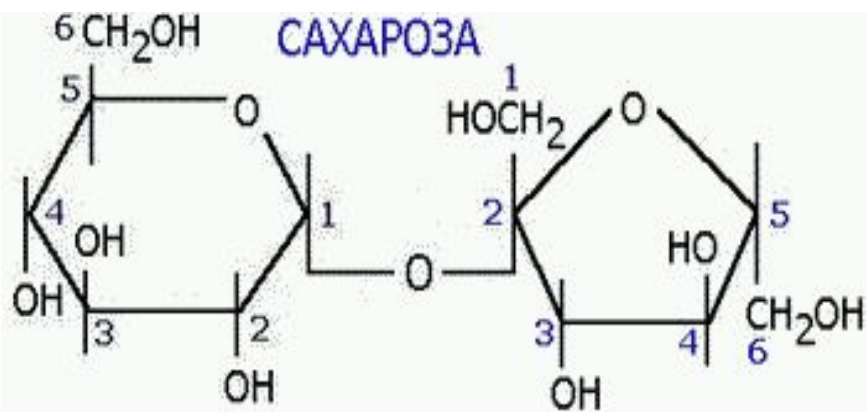


Переваривание углеводов

ферменты кишечного сока

Лактаза гидролизует β -1,4-гликозидные связи между галактозой и глюкозой в лактозе.

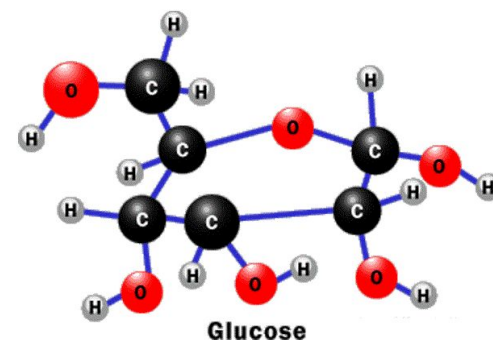
Сахараза гидролизует α -1,2-гликозидные связи между фруктозой и глюкозой в сахарозе.



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 В₁,
- 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.

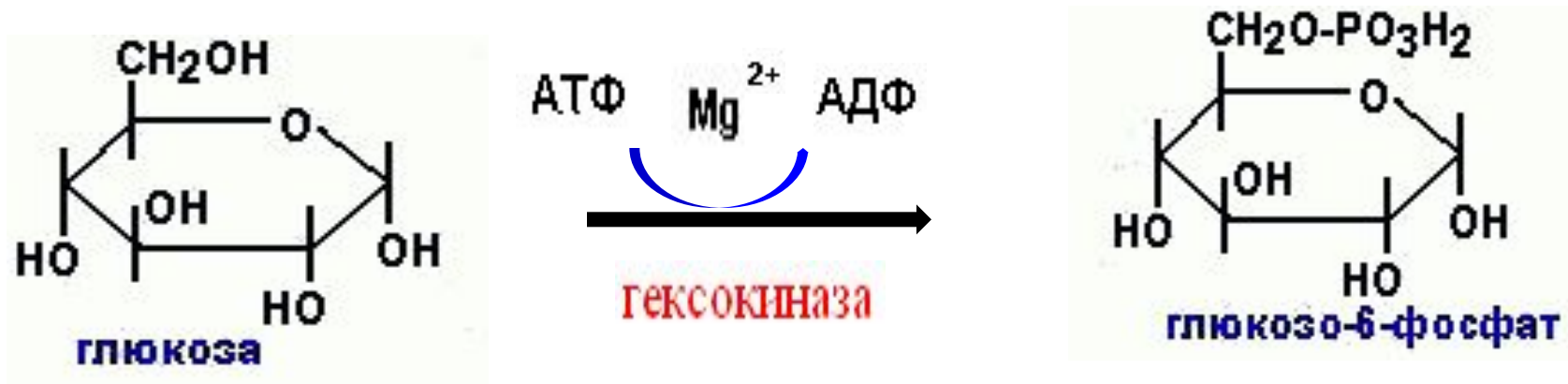
Симптомы: метеоризм, диарея при употреблении молока, наблюдается лактозурия.

У взрослых чаще бывает приобретённая непереносимость лактозы.



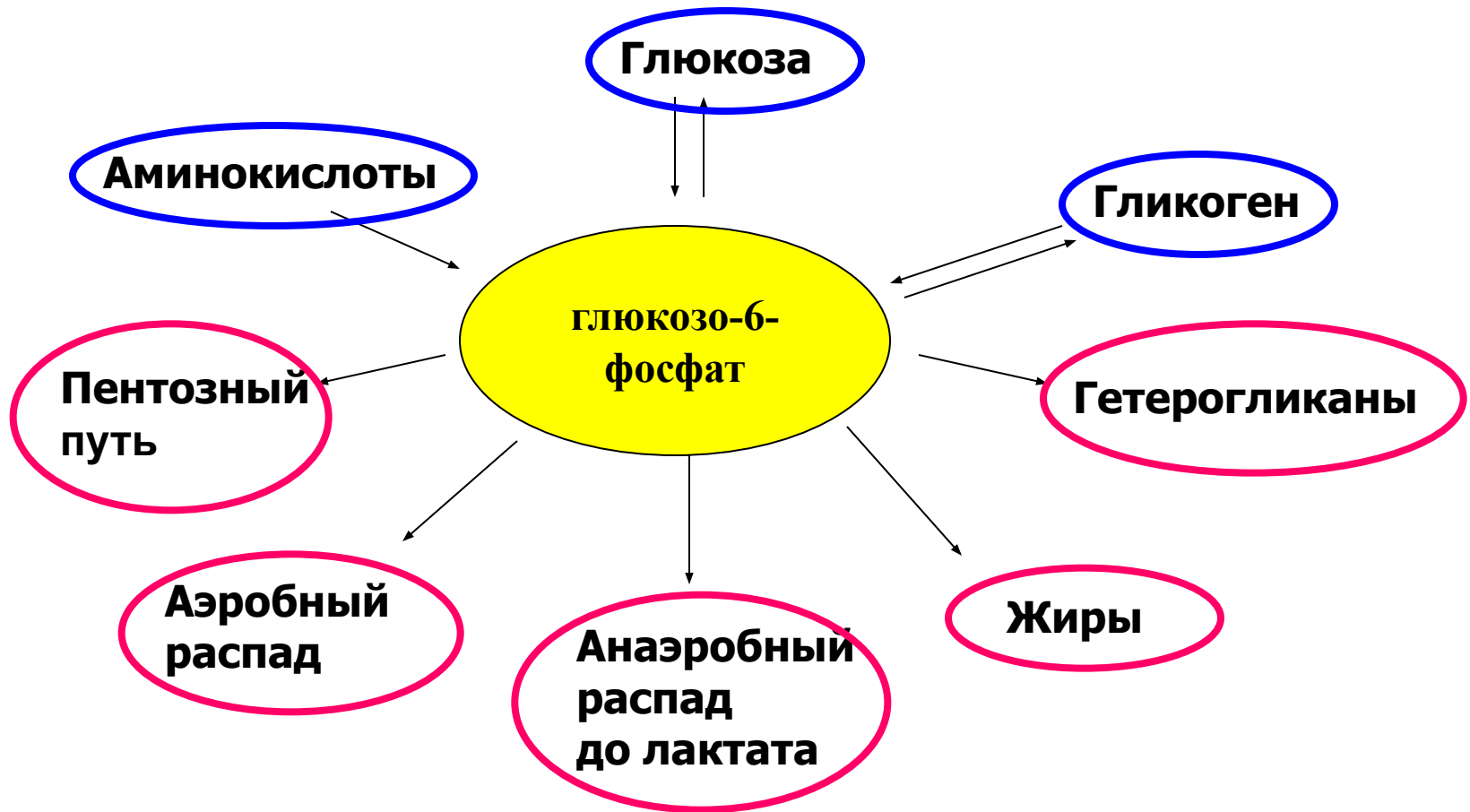
Гексокиназная реакция

- **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

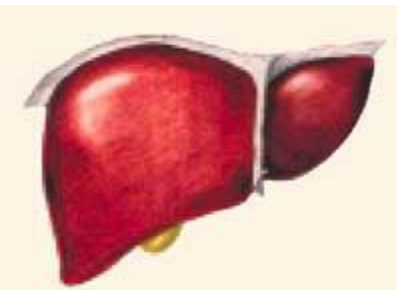
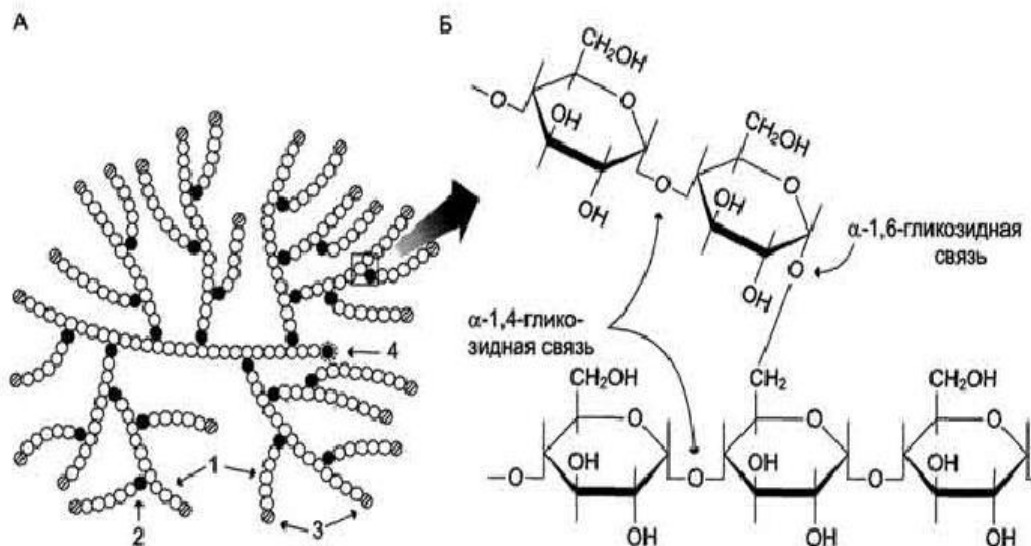


В организме человека
содержится до 450 г гликогена

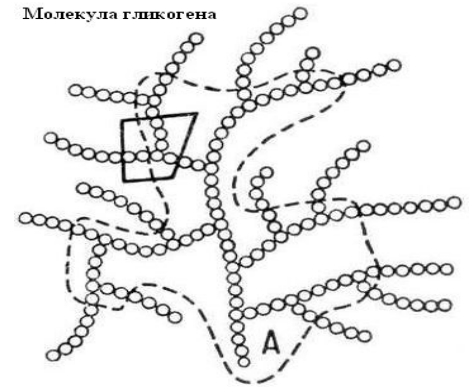
Депозит гликогена:

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

Гликоген



Синтез гликогена



Гексокиназная реакция



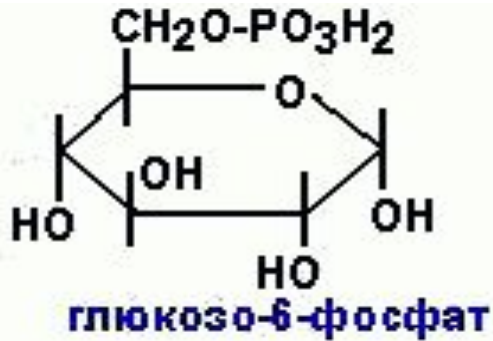
ГЛЮКОКИНАЗА

В печени

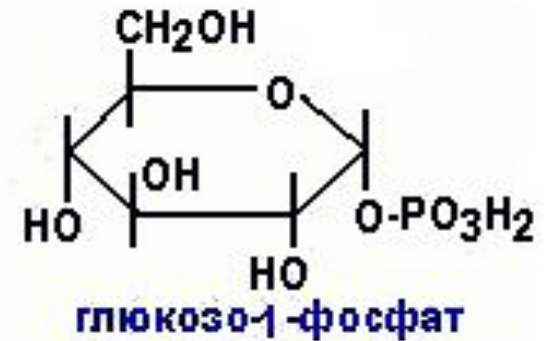
– не ингибируется гл-6-ф

Синтез гликогена

Реакция изомеризации

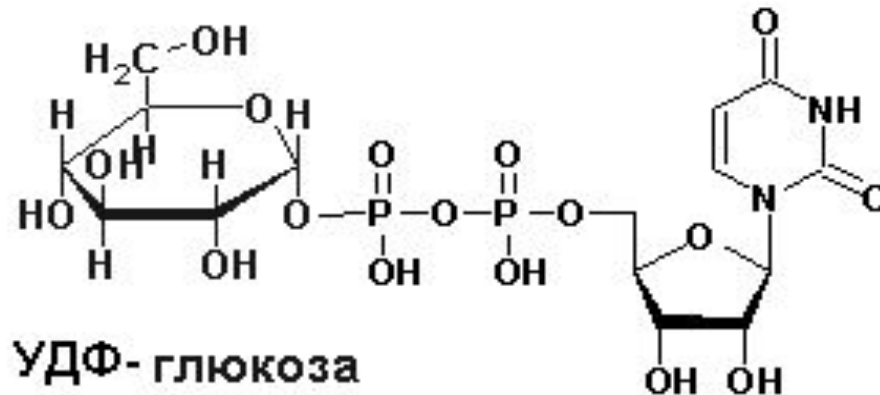


Фосфоглюкомутаза



УДФ-пирофосфорилаза

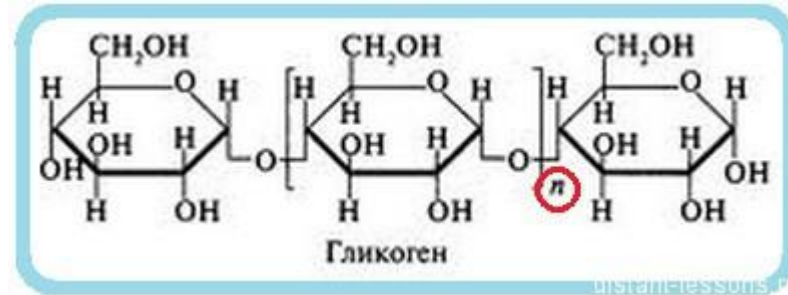
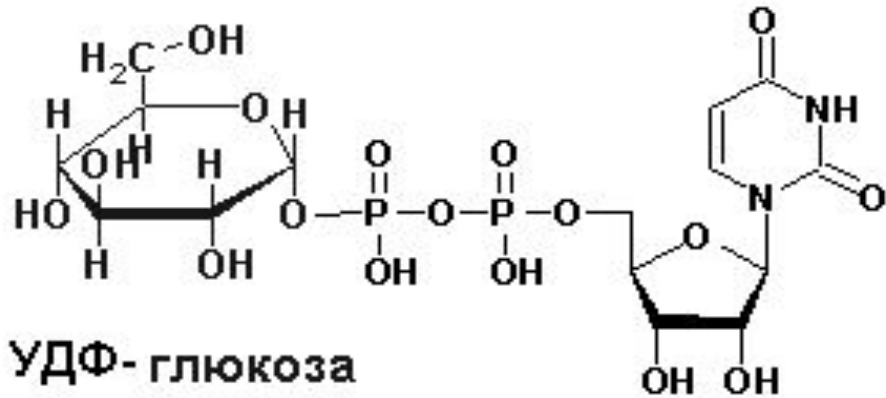
Образование УДФ



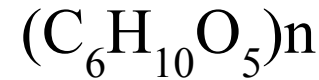
УТФ

+ H₄P₂O₇

Синтез гликогена



+

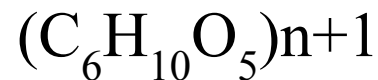


гликоген

Синтез остатка глюкозы
к цепи полимера



гликогенсинтаза



гликоген

+

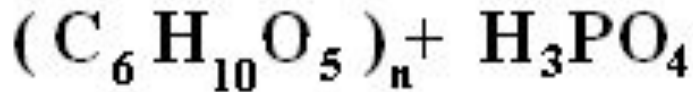
УДФ

Гликогенсинтаза – ключевой фермент синтеза гликогена

Активируется инсулином.

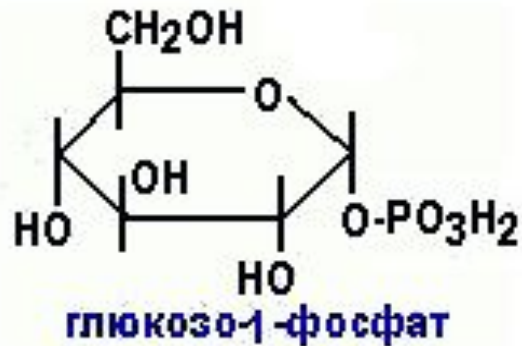
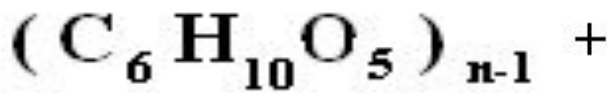
Ингибируется – адреналином, глюкагоном

Распад гликогена (гликогенолиз)

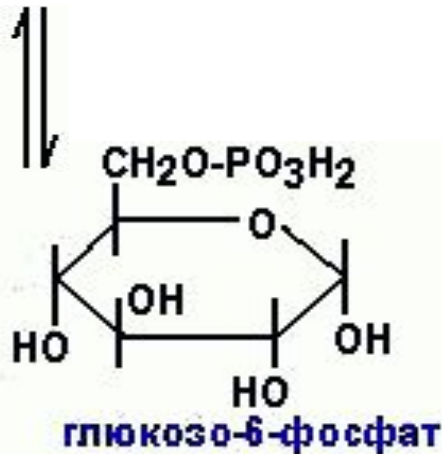


Гликоген

Фосфорилаза



Фосфоглюкомутаза

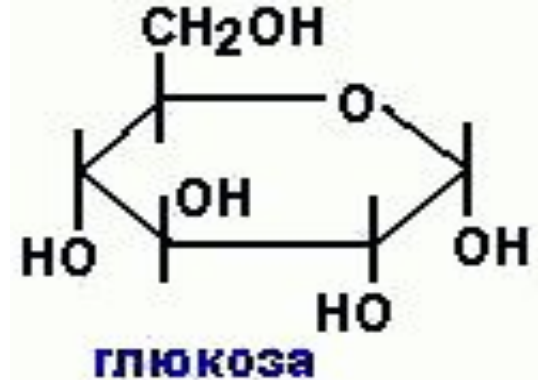
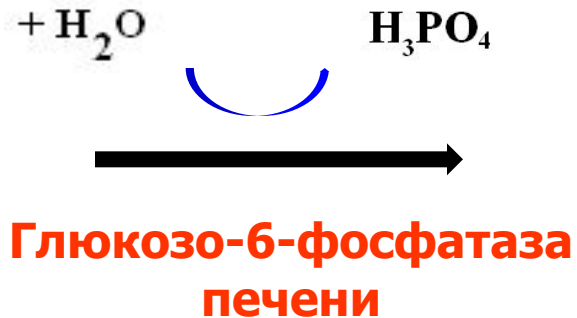
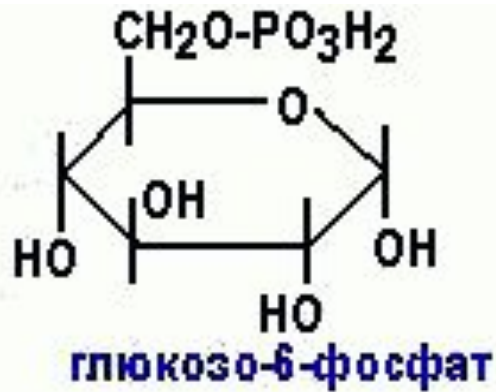


Ключевой фермент распада гликогена – **фосфорилаза** –

активируется адреналином, ГЛЮКАГОНОМ,

ингибируется инсулином.

Распад гликогена (гликогенолиз)



В мышцах \longrightarrow **CO₂, H₂O, 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 CO₂ и H₂O или молочная кислота)

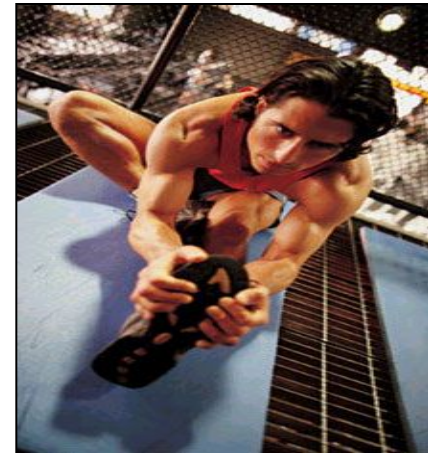
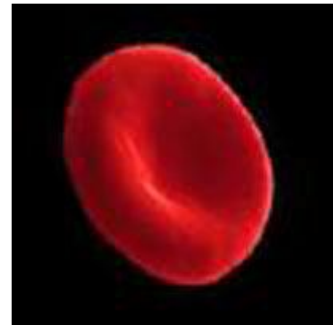
Функциональные отличия гликогена печени и мышц

	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.



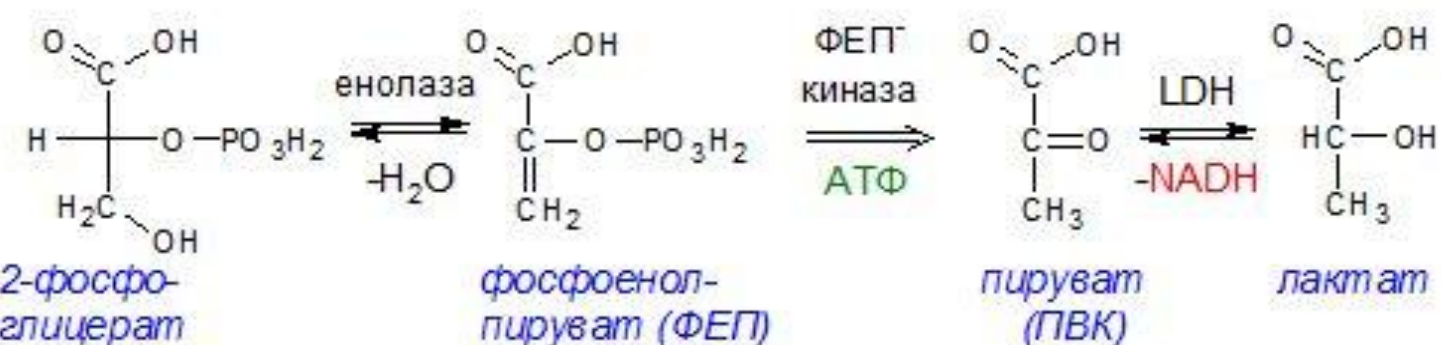
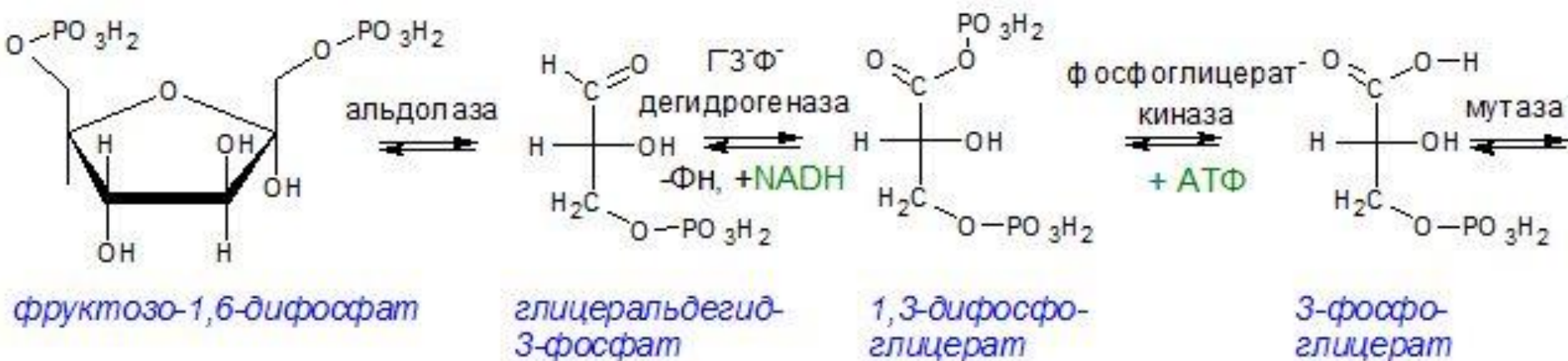
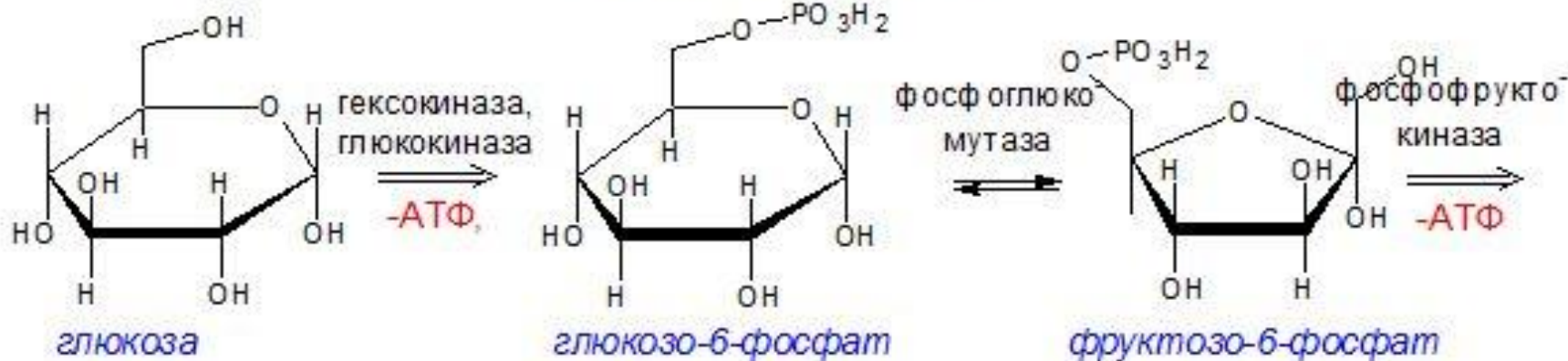
Г Л И К О Л И З

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 НАДН₂ 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.

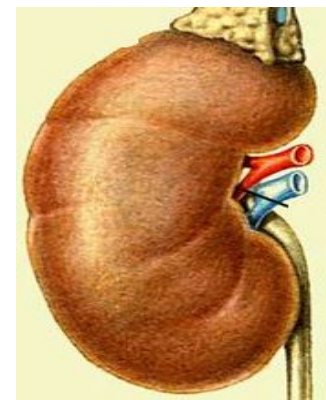
Глюконеогенез

протекает в:

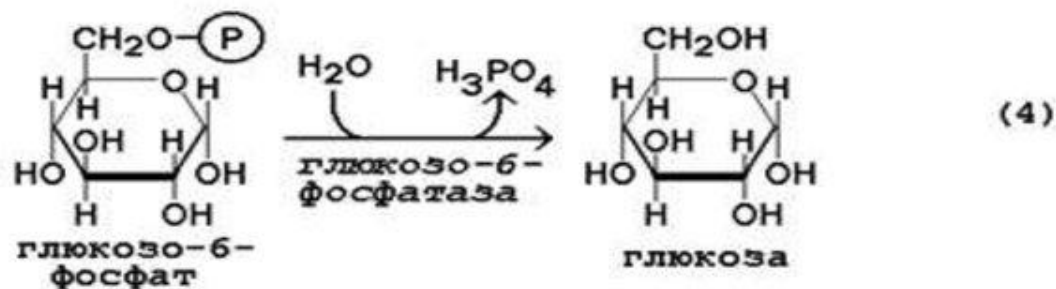
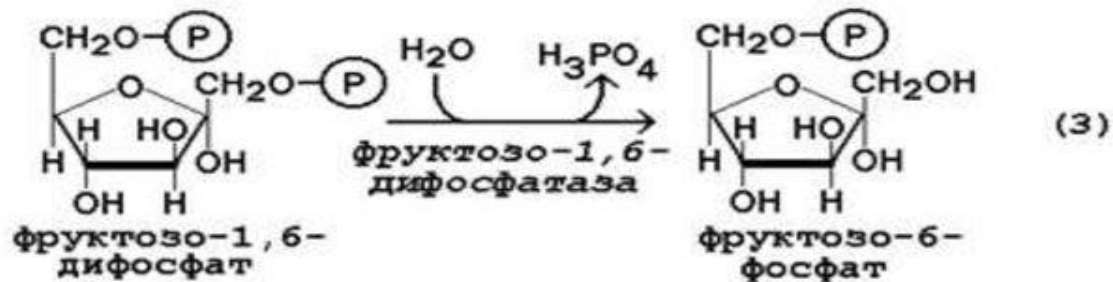
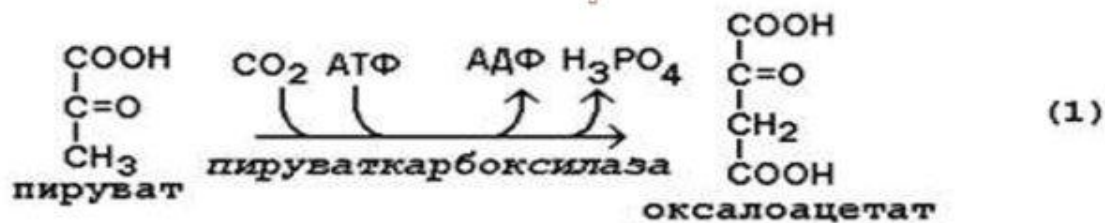
- печени,
- корковом веществе почек,
- слизистой кишечника.

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

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



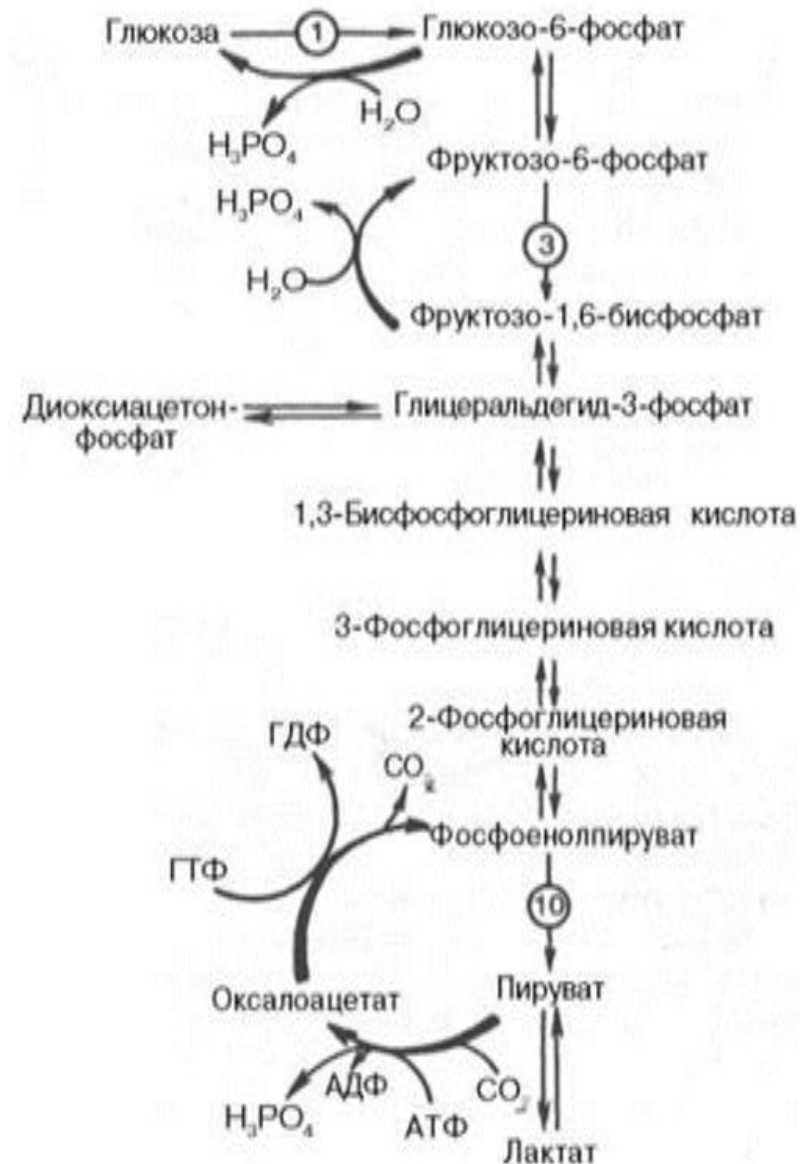
ОБХОДНЫЕ РЕАКЦИИ ГЛЮКОНЕОГЕНЕЗА (НЕОБРАТИМЫЕ РЕАКЦИИ ГЛИКОЛИЗА)



Биологическая роль глюконеогенеза

- избавление от лактата,
 - связь обменов,
 - получение эндогенной глюкозы.
- (85% лактата идёт на глюконеогенез, 15% - окисляется до CO_2 , H_2O и энергии)

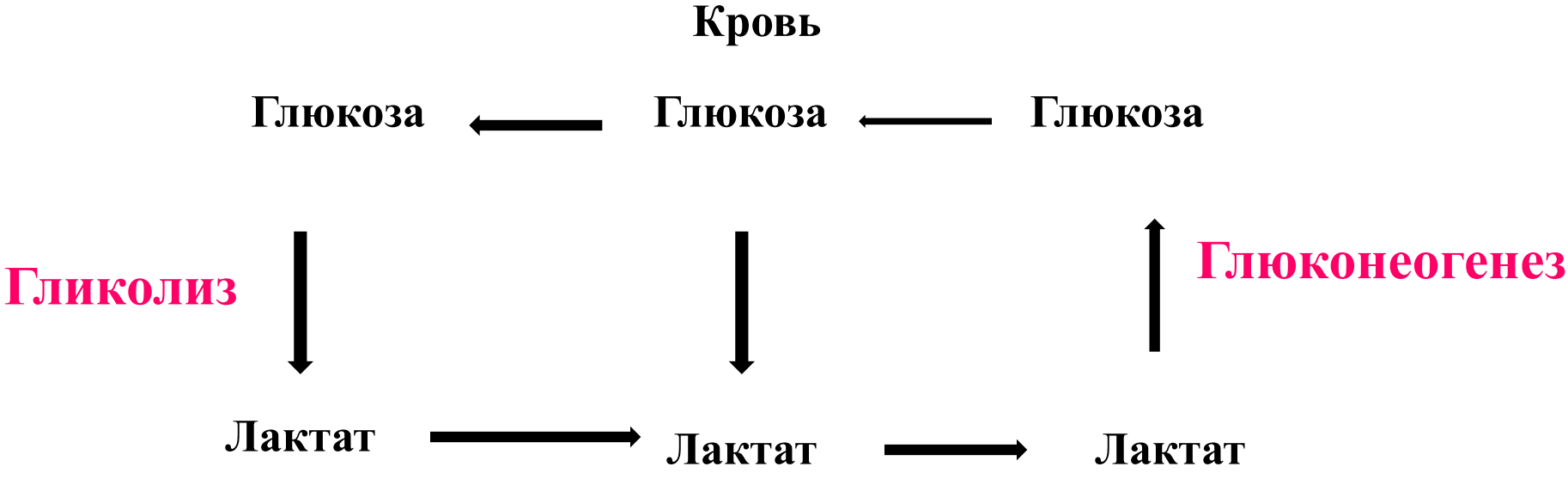
Для синтеза одной молекулы глюкозы из двух молекул пировиноградной кислоты требуется 6 молекул АТФ



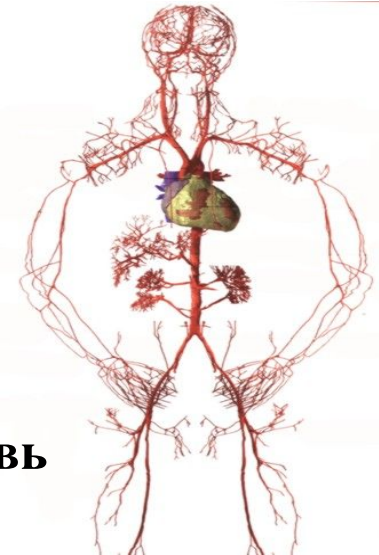
Цикл Кори

- 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.

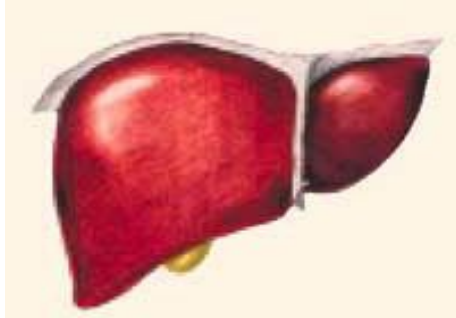
Цикл Кори



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 CO_2 и H_2O 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 НАДН₂ 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

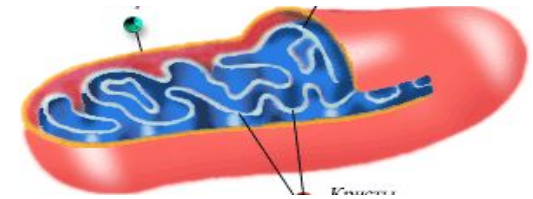
ПВК диффундирует в матрикс митохондрий,
реакция протекает в матриксе митохондрий,

- реакция необратима,

- требуется кислород,

- окисление до ацетил-КоА и CO_2 с помощью пируватдегидрогеназного мультиферментного комплекса (3 фермента и 5 коферментов)

- образуются 2 НАДН₂, которые дают 6 АТФ.



Аэробный распад глюкозы

Окислительное декарбоксилирование ПВК



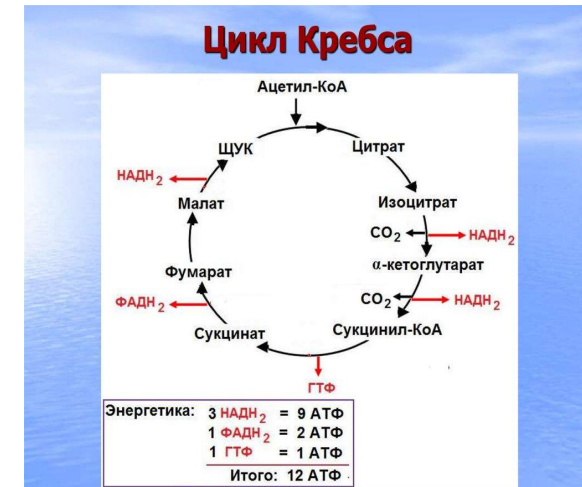
Пируват-дегидрогеназный комплекс

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