

**Тема лекции:**

**ОБМЕН  
УГЛЕВОДОВ**

# План лекции:

1. Основные углеводы организма человека, их биологическая роль.
2. Превращение углеводов в пищеварительном тракте.
3. Биосинтез и распад гликогена в тканях.
4. Анаэробный гликолиз
5. Аэробный гликолиз (гексозодифосфатный путь)
6. Гексозомонофосфатный путь
7. Глюконеогенез

# Углеводы - это полиоксикарбонильные соединения и их производные

**Основными углеводами организма человека являются:**

1. **Моносахариды** (глицеральдегид, диоксиацетон, эритроза, рибоза, дезоксирибоза, рибулоза, ксилулоза, глюкоза, галактоза, фруктоза, манноза, арабиноза и др.);
2. **Олигосахариды** (дисахариды: мальтоза, лактоза, сахароза);
3. **Гомополисахариды** (крахмал, гликоген, клетчатка);
4. **Гетерополисахариды** (гиалуроновая кислота, хондроитинсульфат, дерматансульфат, кератансульфат, гепарин).

# БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ УГЛЕВОДОВ:

## 1. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ.

При окислении 1 г углеводов до конечных продуктов ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ) выделяется 4,1-ккал энергии. На долю углеводов приходится около 60-70 % всей суточной калорийности пищи. Суточная потребность в углеводах для взрослого человека в среднем массой 60-70 кг составляет около 400-500 г.

## 2. СТРУКТУРНАЯ.

Углеводы используются как строительный материал для образования структурных компонентов клеток (гликолипиды, гликопротеины, гетерополисахариды межклеточного вещества).

## 3. РЕЗЕРВНАЯ.

Углеводы откладываются в клетках в виде резервного полисахарида гликогена.

## 4. ЗАЩИТНАЯ.

Гиалуроновая кислота, входя в состав соединительной ткани, препятствует проникновению чужеродных веществ. Гетерополисахариды участвуют в образовании вязких секретов покрывающей слизистые оболочки дыхательных путей, мочевыводящих путей, пищеварительного тракта, предохраняя их от повреждений.

# БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ УГЛЕВОДОВ:

## 5. РЕГУЛЯТОРНАЯ.

Некоторые гормоны гипофиза

Участвуют в **процессах узнавания** клеток.

6. Гетерополисахариды входя в состав оболочек эритроцитов, **определяют группы крови.**

7. Участвуют в **процессах свёртывания крови**, входя в состав фибриногена и протромбина.  
**Препятствуют свёртыванию крови**, входя в состав гепарина.

# ПРЕВРАЩЕНИЕ УГЛЕВОДОВ В ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОМ ТРАКТЕ

- **Основными углеводами пищи** для организма человека являются: крахмал, гликоген, сахароза, лактоза.
- Поступивший с пищей **крахмал (гликоген)** в ротовой полости подвергается гидролизу под действием **альфа-амилазы слюны**, которая относится к **эндоамилазам**. Он **расщепляет альфа (1,4)-гликозидные связи** в структуре крахмала
- рН оптимум для альфа-амилазы слюны находится в пределах рН = **6,8-7,2**. Поскольку пища в ротовой полости находится недолго, то крахмал переваривается лишь частично. Его гидролиз завершается образованием **амилодекстринов**.
- Далее пища поступает в желудок. **Слизистой оболочкой желудка гликозидазы не вырабатываются**. В желудке среда резко кислая (рН=1,5-2,5), поэтому действие альфа-амилазы слюны внутри пищевого комка прекращается. Однако в более глубоких слоях действие фермента продолжается, и крахмал успевает пройти следующую стадию гидролиза, с образованием **эритродекстринов**.
- **Основным местом переваривания крахмала служит тонкий отдел кишечника.**

## ПРЕВРАЩЕНИЕ УГЛЕВОДОВ В ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОМ ТРАКТЕ

- В переваривании крахмала принимает участие фермент **альфа-амилаза**, вырабатываемый в поджелудочной железе.
- Выделяющийся панкреатический сок содержит **бикарбонаты**, которые принимают участие в нейтрализации кислого желудочного содержимого, создаётся **слабощелочная среда (pH=8-9)** - оптимальная для гликозидаз.
- Альфа-амилаза завершает разрыв внутренних альфа(1,4)-гликозидных связей с образованием **мальтоз (изомальтоз)**.

**Ферменты, расщепляющие гликозидные связи в дисахаридах, образуют ферментативные комплексы на поверхности энтероцитов:**

### **Сахаразо-изомальтазный**

(гидролиз альфа – 1,6 и альфа – 1,2, альфа 1,4 –гликозидных связей в изомальтозе, сахарозе, мальтозе, соответственно);

### **Гликоамилазный**

(гидролиз альфа 1,4 –гликозидных связей, экзогликозидаза);

### **β-гликозидазный**

(бета 1,4 –гликозидных связей в лактозе)



# ПРЕВРАЩЕНИЕ УГЛЕВОДОВ В ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОМ ТРАКТЕ

- Продукты полного гидролиза - **моносахариды** - всасываются в кровь и на этом завершается начальный этап обмена углеводов - **пищеварение**.

# Биологическая роль клетчатки

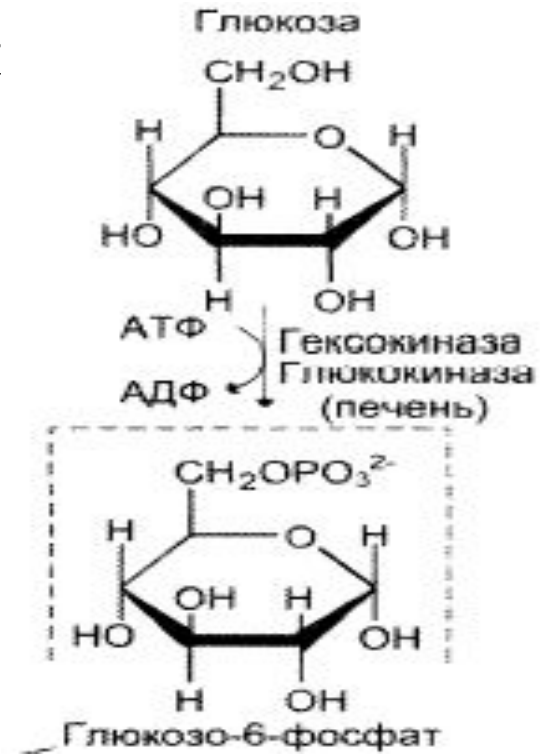
- С пищей в организм человека поступает **клетчатка**, которая в пищеварительном тракте **не переваривается**, поскольку отсутствуют бета - гликозидазы.
- Однако **биологическая роль клетчатки велика**:
  1. она формирует пищевой комок,
  2. продвигаясь по желудочно-кишечному тракту она раздражает слизистые оболочки усиливая сокоотделение,
  3. клетчатка усиливает перистальтику кишечника,
  4. нормализует кишечную микрофлору.
- Достигая толстого отдела кишечника клетчатка под действием ферментов условно-патогенной микрофлоры **подвергается брожению** с образованием глюкозы, лактозы и газообразных веществ.

# БИОСИНТЕЗ И РАСПАД ГЛИКОГЕНА В ТКАНЯХ

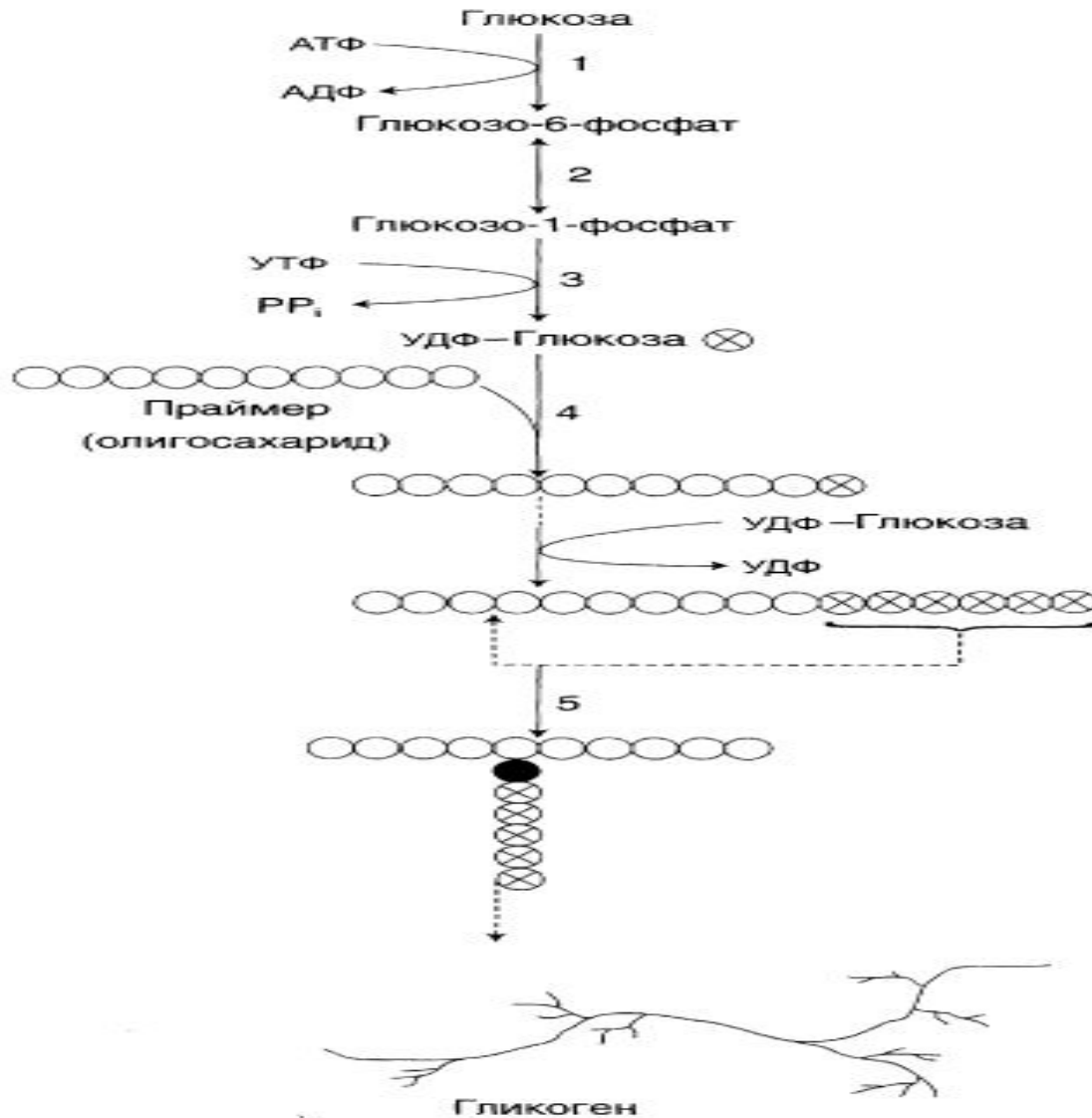
- Было установлено, что гликоген может синтезироваться практически во всех органах и тканях.
- Однако наибольшая его концентрация обнаружена в **печени (2-6%)** и **мышцах (0,5-2%)**.
- Поскольку мышечная масса организма человека велика, то **большая часть гликогена организма содержится в мышцах.**

# БИОСИНТЕЗ И РАСПАД ГЛИКОГЕНА В ТКАНЯХ.

- Глюкоза из крови **проникает в клетки органов и тканей**, проходя через биологические мембраны клеток.
- Как только глюкоза поступает в клетку, она метаболизируется в ней в результате первой химической реакции. **фосфорилирование глюкозы** происходит в присутствии АТФ и фермента - **гексокиназы**. Глюкоза превращается в **глюкозо-6-фосфат**.
- Этот эфир глюкозы теперь будет использоваться в анаболических и катаболических реакциях.



# БИОСИНТЕЗ ГЛИКОГЕНА В ТКАНЯХ



Гликоген в клетках накапливается во время пищеварения и рассматривается как **резервная форма глюкозы**, которая используется клетками в промежутках между приёмами пищи.

Рис. 7-23. Синтез гликогена. 1 — глюкокиназа или гексокиназа; 2 — фосфоглюкомутаза; 3 — УДФ-глюкопирофосфорилаза; 4 — гликогенсинтаза (глюкозилтрансфераза); 5 — фермент «ветвления» (амило-1,4→1,6-глюкозилтрансфераза), светлые и заштрихованные кружки — глюкозные остатки, закрашенные кружки — глюкозные остатки в точке ветвления.

# РАСПАД ГЛИКОГЕНА

Существуют 2 пути распада гликогена в тканях:

## 1. **фосфоролитический путь (основной путь)**

Протекает в печени, почках, эпителии кишечника.

## 2. **амилолитический путь (неосновной).**

Происходит в печени при участии 3 ферментов: альфа -амилазы, амило-1,6-гликозидазы, гамма -амилазы.

# Основные пути катаболизма

## ГЛЮКОЗЫ

- Анаэробный гликолиз
- Аэробный гликолиз (гексозодифосфатный путь)
- Гексозомонофосфатный путь

## **Основные пути катаболизма глюкозы**

Если катаболизму подвергается глюкоза, то процесс называется **ГЛИКОЛИЗОМ**, если распадается глюкозный остаток гликогена – **ГЛИКОГЕНОЛИЗОМ**.

В зависимости от функционального состояния организма, клетки органов и тканей могут находиться как в условиях достаточного снабжения кислородом, так и испытывать его недостаток, то есть находится в условиях гипоксии.

В связи с этим катаболизм углеводов может рассматриваться с двух позиций:

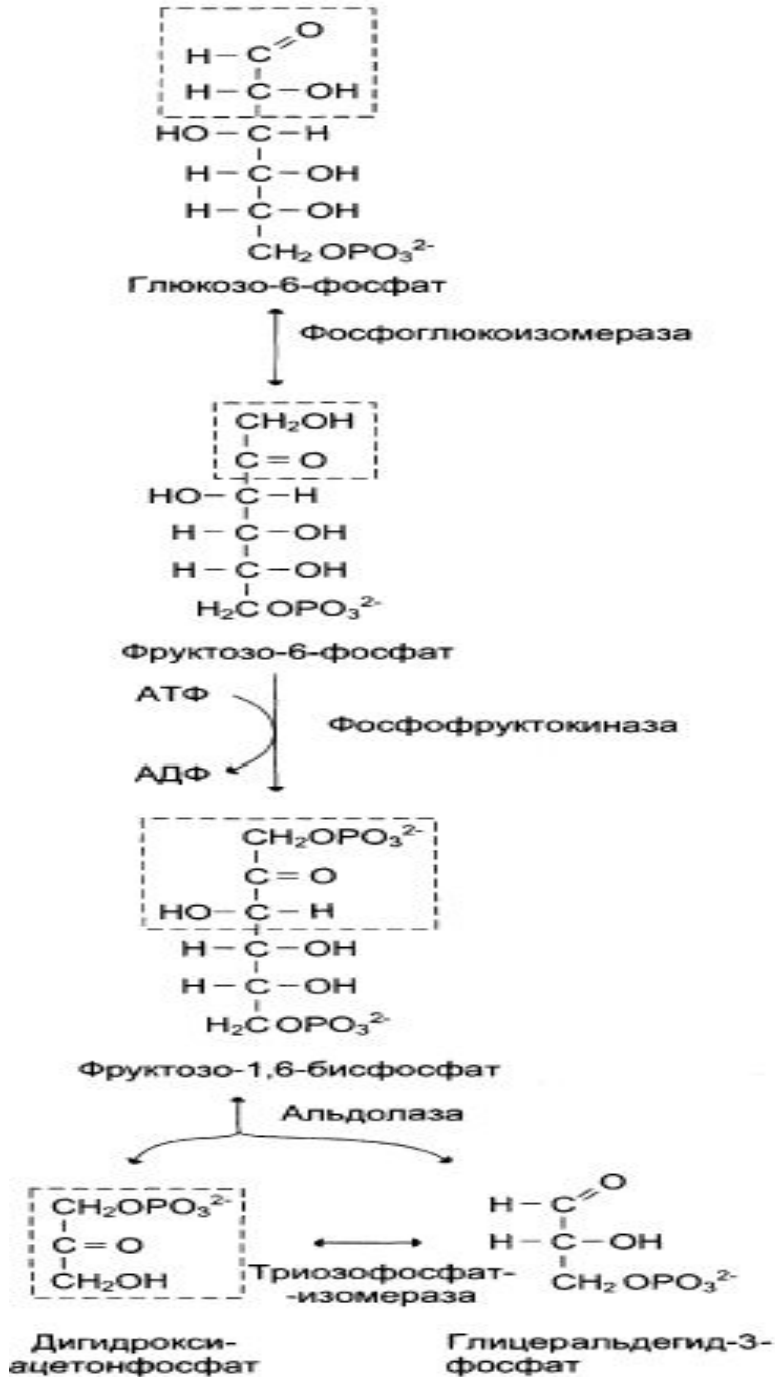
**1.В АНАЭРОБНЫХ УСЛОВИЯХ**

**2.В АЭРОБНЫХ УСЛОВИЯХ.**



# АНАЭРОБНЫЙ ГЛИКОЛИЗ

- протекает в цитоплазме клеток.
- Окисление глюкозы или глюкозного остатка гликогена всегда завершается образованием конечного продукта этого процесса- **молочной кислоты**.
- Окисление глюкозы и глюкозного остатка гликогена в тканях отличается только в начальных стадиях превращения, до образования глюкозо-6-фосфата. Дальнейшее окисление углеводов в тканях, как в ана-, так и в аэробных условиях полностью **совпадает до стадии образования пирувата**.
- Процесс анаэробного гликолиза сложный и многоступенчатый.
- Условно его можно разделить на 2 стадии:



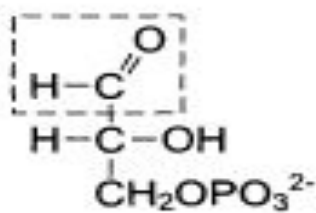
- первая стадия заканчивается образованием из гексозы двух триоз: - диоксиацетонфосфата и глицеральдегид-3-фосфата.

## АНАЭРОБНЫЙ ГЛИКОЛИЗ

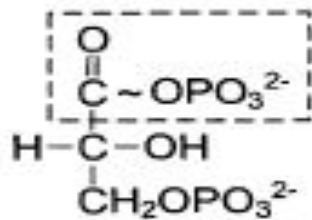
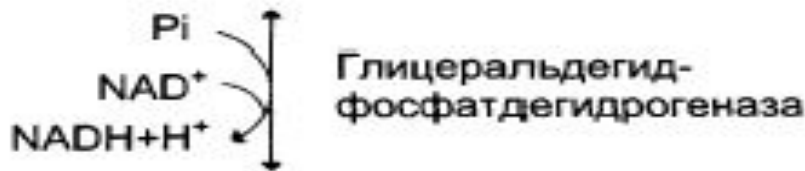
- Вторая стадия называется стадией **гликолитической оксидоредукции.**
- Эта стадия катаболизма наиболее важная, поскольку она сопряжена с образованием АТФ, за счёт **реакций субстратного фосфорилирования,**
- окислением глицеральдегид -3-фосфата,
- восстановлением пирувата до лактата.

## АНАЭРОБНЫЙ ГЛИКОЛИЗ

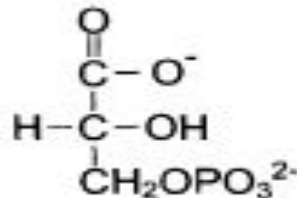
- На этапе гликолитической оксидоредукции идёт **окисление глицеральдегид-3-фосфата** в присутствии  $\text{NAD}^+$  и  $\text{NAD}^+$ -зависимой дегидрогеназы



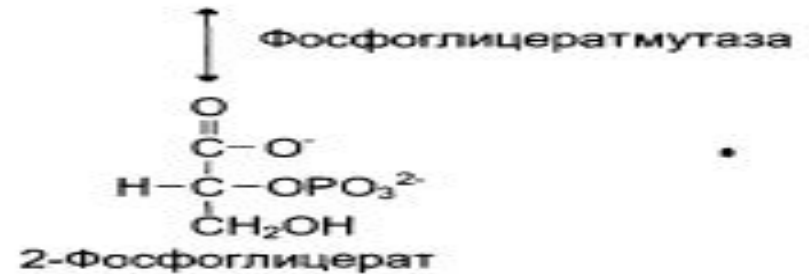
Глицеральдегид-3-фосфат



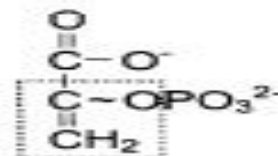
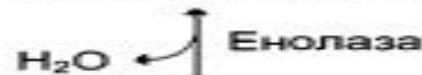
1,3-Бисфосфоглицерат



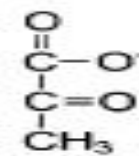
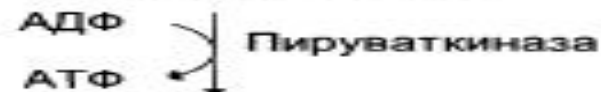
3-Фосфоглицерат



2-Фосфоглицерат



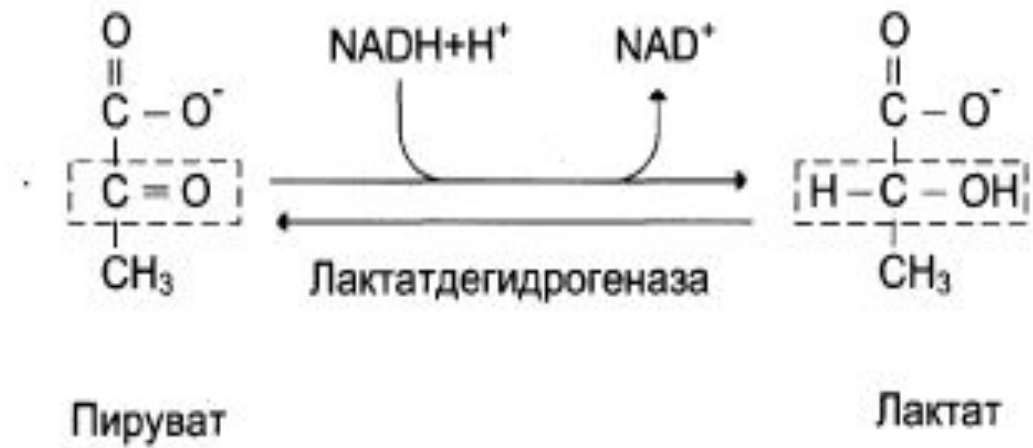
Фосфоенолпируват



Пируват

# АНАЭРОБНЫЙ ГЛИКОЛИЗ

- **Митохондрии в анаэробных условиях блокированы, поэтому выделенные в результате окисления молекулы НАДН<sub>2</sub> находятся в среде до тех пор, пока не образуется субстрат, способный принять их.**
- **Пируват, принимая НАДН<sub>2</sub>, восстанавливается до лактата, завершая тем самым внутренний-окислительно-восстановительный этап гликолиза.**



## АНАЭРОБНЫЙ ГЛИКОЛИЗ

- В процессе окисления глюкозы было **израсходовано 2 молекулы АТФ** (гексокиназная и фосфофруктокиназная реакции).
- С этапа образования **триоз** идёт **одновременное их окисление**. В результате этих реакций образуется энергия в виде АТФ за счёт **реакций субстратного фосфорилирования** (глицераткиназная и пируваткиназная реакции).

# АНАЭРОБНЫЙ ГЛИКОЛИЗ

3 реакции гликолиза являются **необратимыми**:

- 1.гексокиназная.
- 2.фосфофруктокиназная.
- 3.пируваткиназная.
  
- **Энергетический эффект окисления 1 молекулы глюкозы составляет 2 АТФ, глюкозного остатка гликогена - 3 АТФ.**
- **Биологическая роль анаэробного гликолиза - энергетическая.**
  
- Анаэробный гликолиз является единственным процессом, продуцирующим энергию в форме АТФ в клетке **в бескислородных условиях.**
- В **эритроцитах** гликолиз является единственным процессом, продуцирующим АТФ и поддерживающим биоэнергетику, для сохранения их функции и целостности.



# Аэробный гликолиз (гексозодифосфатный путь)

- Это классический путь аэробного катаболизма углеводов в тканях протекает в цитоплазме до стадии образования пирувата и завершается в митохондриях образованием конечных продуктов **CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O**
- Когда в клетки начинает поступать кислород- происходит подавление **анаэробного гликолиза**.
- Эффект торможения анаэробного гликолиза дыханием получил название **эффекта Пастера**.
- Окисление углеводов до **стадии образования пирувата происходит в цитоплазме клеток**.

- Затем пируват поступает в **митохондрии**, где в матриксе подвергается дальнейшему окислению.
- В результате реакции окислительного декарбоксилирования образуется **ацетил-КоА** который, в дальнейшем окисляется с участием **ферментов цикла Кребса** и **сопряженных с ним ферментов дыхательной цепи митохондрий (ЦПЭ)**.
- Происходит образование **конечных продуктов** ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ), **выделяется энергия** в форме АТФ.

## **H<sub>2</sub>O образуется на этапе превращения:**

- ГЛИЦЕРАЛЬДЕГИД-3-ФОСФАТА
- 2-ФОСФОГЛИЦЕРИНОВОЙ КИСЛОТЫ
- ПИРУВАТА
- Альфа- КЕТОГЛУТАРОВОЙ КИСЛОТЫ
- СУКЦИНАТА
- ИЗОЦИТРАТА
- МАЛАТА

## **CO<sub>2</sub> образуется на этапе превращения:**

- 1. ПИРУВАТА
- 2. ОКСАЛОСУКЦИНАТА
- 3. Альфа - КЕТОГЛУТАРОВОЙ  
КИСЛОТЫ.

## АТФ образуется:

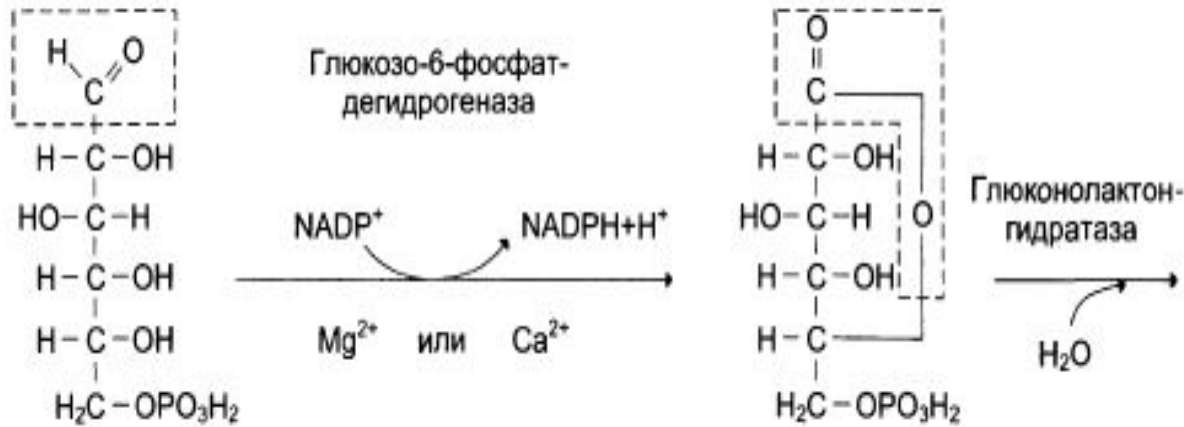
- **За счёт реакций СУБСТРАТНОГО ФОСФОРИЛИРОВАНИЯ на этапе превращения:**
  - 1. 1,3-ДИФОСФОГЛИЦЕРИНОВОЙ К-ТЫ
  - 2. 2-ФОСФОЕНОЛПИРУВАТА
  - 3. СУКЦИНИЛА-КОА
- **За счёт реакций ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ФОСФОРИЛИРОВАНИЯ на этапе превращения:**
  - 1. ГЛИЦЕРАЛЬДЕГИД-3-ФОСФАТА
  - 2. ПИРУВАТА
  - 3. ИЗОЦИТРАТА
  - 4. альфа – КЕТОГЛУТАРОВОЙ КИСЛОТЫ
  - 5. СУКЦИНАТА
  - 6. МАЛАТА.
- **Энергетический эффект окисления глюкозы в аэробных условиях составляет 38 АТФ, глюкозного остатка гликогена 39 АТФ.**

# ГЕКСОЗОМОНОФОСФАТНЫЙ ПУТЬ ПРЕВРАЩЕНИЯ ГЛЮКОЗЫ В ТКАНЯХ

- Окисление глюкозы по этому пути протекает в цитоплазме клеток и представлено двумя **последовательными ветвями: окислительной и неокислительной.** Особенно активно этот путь протекает в тех органах и тканях, в которых **активно синтезируются липиды** (печень, почки, жировая и эмбриональная ткань, молочные железы).

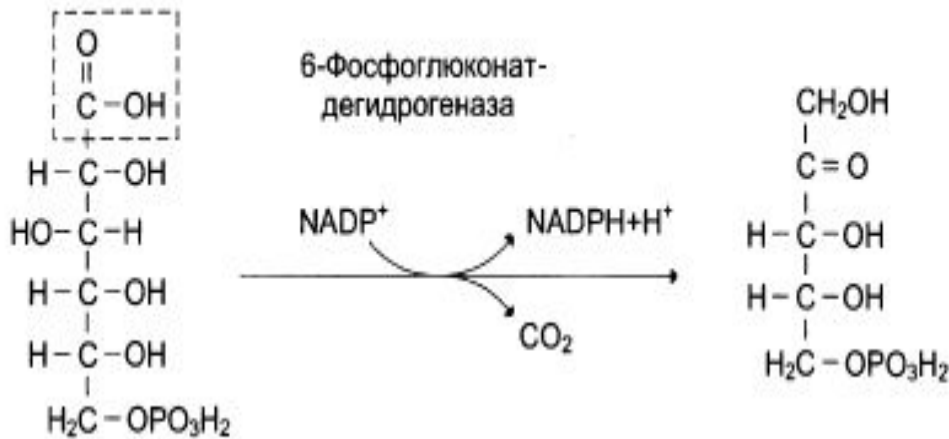
- Биологическая роль этого пути окисления глюкозы связывается прежде всего с производством **двух веществ**:
- **НАДФ\*Н<sub>2</sub>**, который в отличие от НАДН<sub>2</sub>, не окисляется в дыхательной цепи митохондрий, а **используется в клетках в реакциях синтеза и восстановления и гидроксилирования веществ.**
- **РИБОЗО-5-ФОСФАТ** и его производные, которые используются в клетке для **синтеза важнейших биологических молекул**: нуклеиновых кислот (ДНК, РНК), нуклеозидтрифосфатов(НТФ) коферментов (, НАД, ФАД, Н5КOA).

# Окислительная стадия гексозомонофосфатного пути распада глюкозы



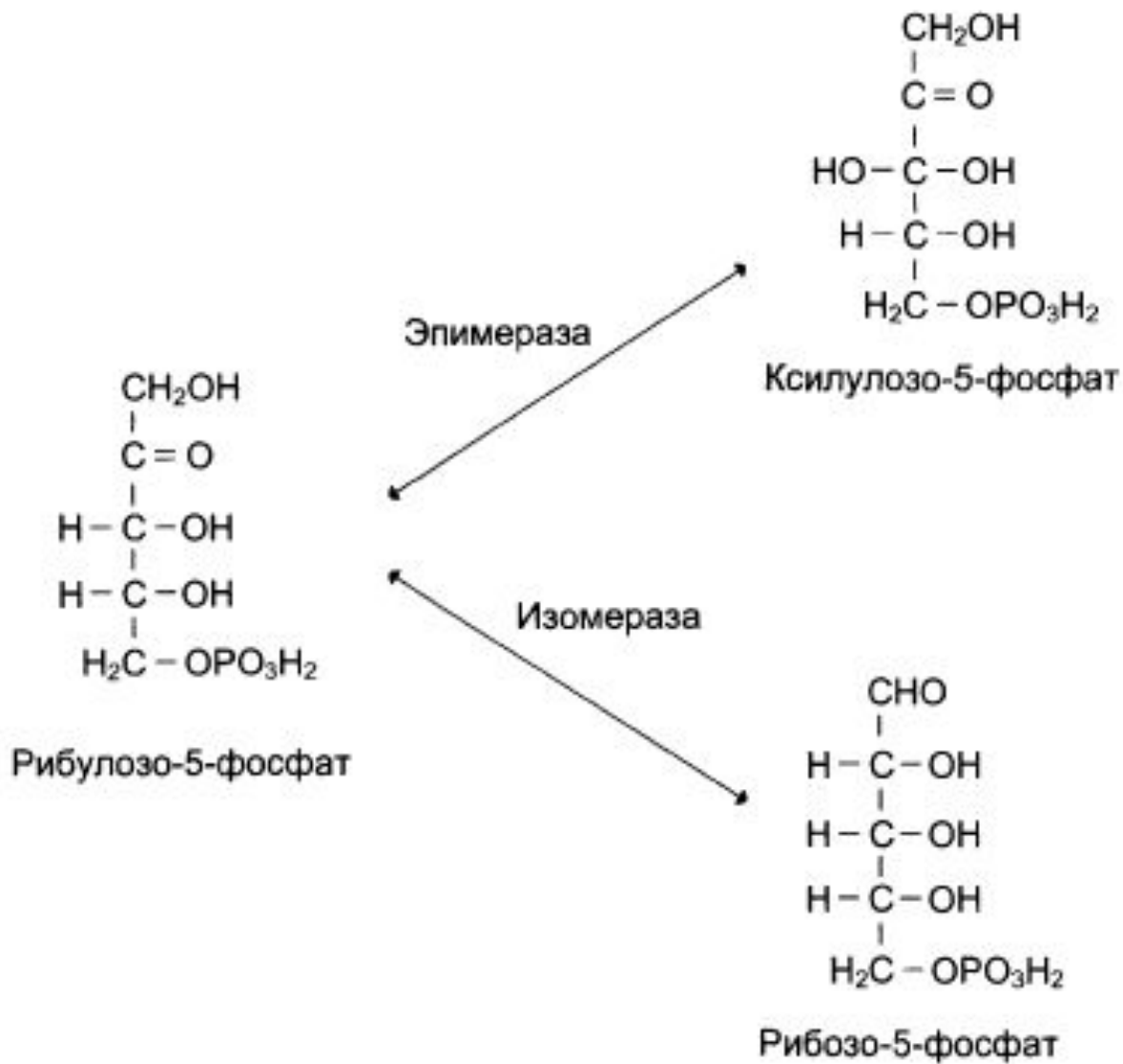
Глюкозо-6-фосфат

Глюконолактон-6-фосфат



6-Фосфоглюконат

Рибулозо-5-фосфат

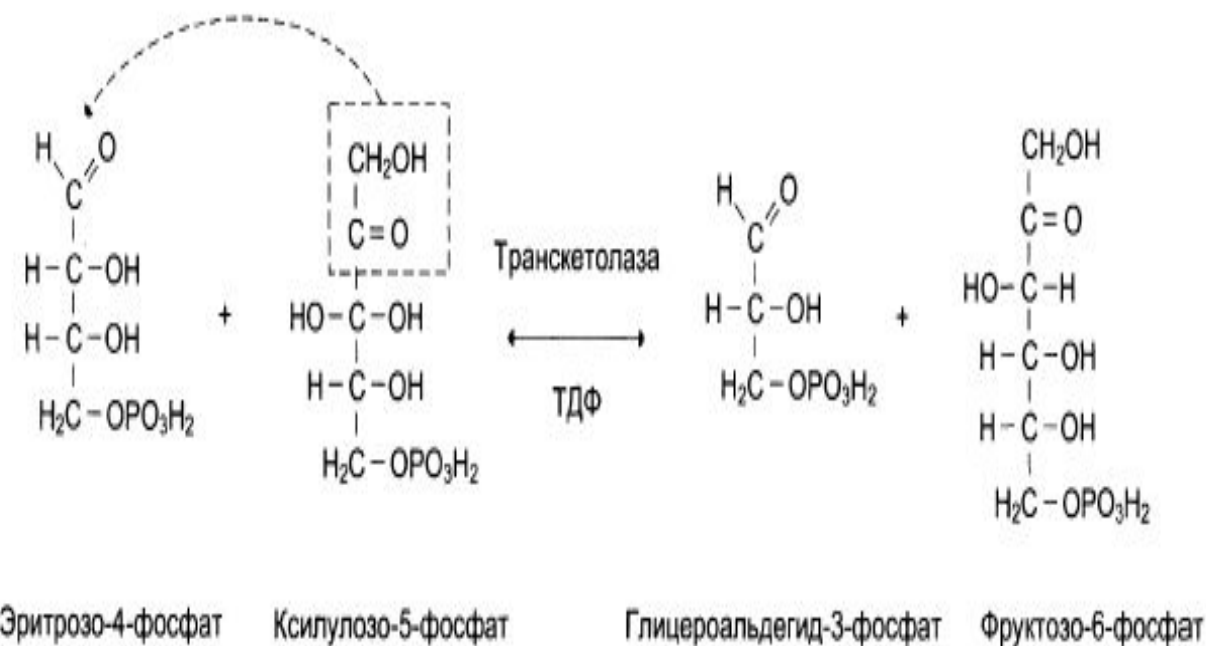
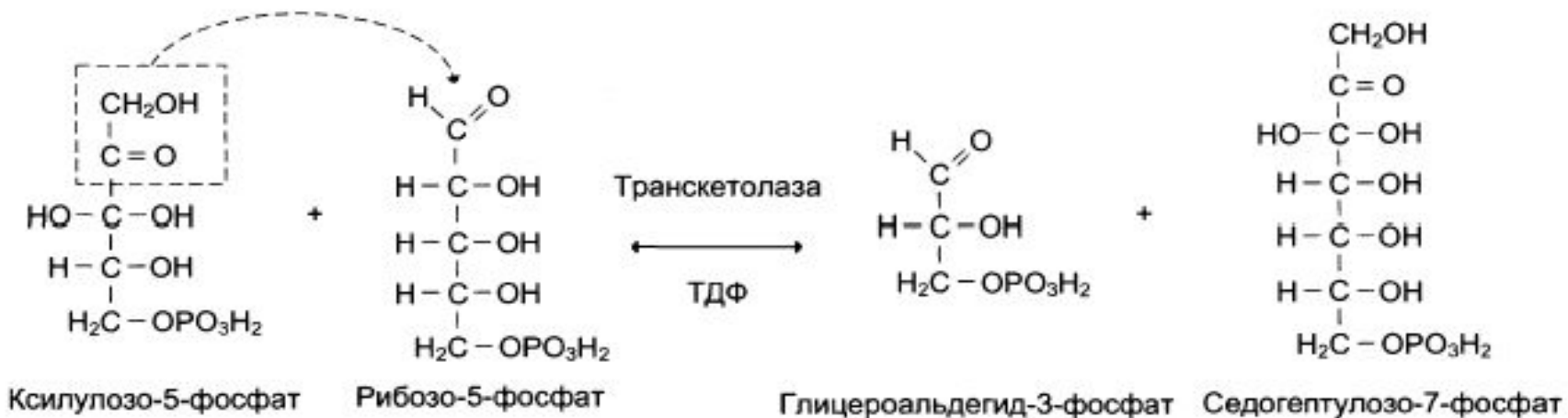




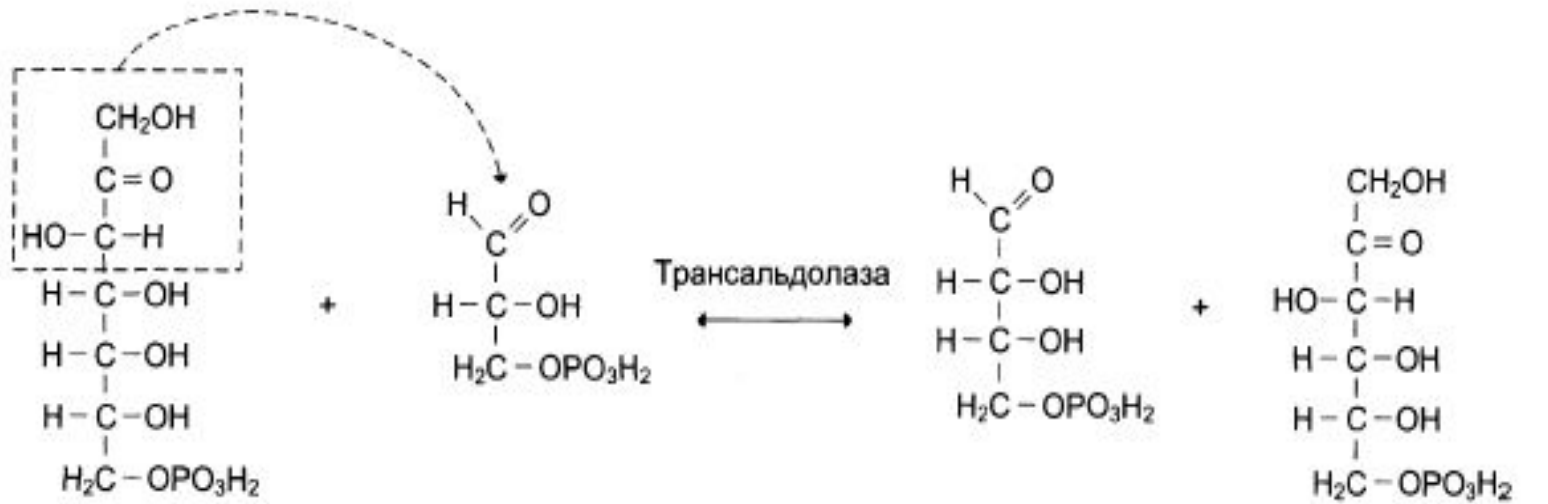
# Неокислительная стадия гексозомонофосфатного пути катаболизма глюкозы

- представлена двумя  
ТРАНСКЕТОЛАЗНЫМИ  
реакциями и одной  
ТРАНСАЛЬДОЛАЗНОЙ.
- В результате этих реакций образуются субстраты для ГЛИКОЛИЗА

# Транскетолазные реакции



# Трансальдозная реакция



Седогеулозо-7-фосфат

Глицеральдегид-3-фосфат

Эритрозо-4-фосфат

Фруктозо-6-фосфат

# ГЛЮКОНЕОГЕНЕЗ

- Основными источниками глюкозы для организма человека являются:
  1. углеводы пищи;
  2. гликоген тканей;
  3. глюконеогенез.
- ГЛЮКОНЕОГЕНЕЗ - это биосинтез глюкозы из неуглеводных предшественников, главными из которых являются ПИРУВАТ, ЛАКТАТ, ГЛИЦЕРИН, МЕТАБОЛИТЫ ЦТК, АМИНОКИСЛОТЫ.
- ГЛЮКОНЕОГЕНЕЗ возможен не во всех тканях. Главным местом синтеза глюкозы является печень, в меньшей степени процесс идёт в почках и слизистой кишечника.

- **Биологическая роль глюконеогенеза** заключается не только в синтезе глюкозы, но и в возвращении лактата, образованного в реакциях анаэробного ГЛИКОЛИЗА, в клеточный фонд углеводов.
- За счет этого процесса поддерживается уровень глюкозы в тканях в кризисных ситуациях (при углеводном голодании, сахарном диабете, тканевой гипоксии).
- Большинство реакций ГЛЮКОНЕОГЕНЕЗА представляют собой обратные реакции ГЛИКОЛИЗА, за исключением трёх термодинамически необратимых: ПИРУВАТКИНАЗНОЙ, ФОСФОФРУКТОКИНАЗНОЙ, ГЕКСОКИНАЗНОЙ. Эти реакции при ГЛЮКОНЕОГЕНЕЗЕ имеют обходные пути и связаны с образованием 2-фосфоенолпирувата, фруктозо-6-фосфата и глюкозы.

# • Образование глюкозы из пирувата

