

# УГЛЕВОДНЫЙ ОБМЕН - I



Зав. кафедрой биохимии  
профессор В.В. Лелевич

Термин **«углеводы»** предложил в 1844 г. профессор Дерптского (ныне Тартуского) университета К. Шмидт, предполагая, что все углеводы имеют общую формулу **С<sub>m</sub>(Н<sub>2</sub>О)<sub>n</sub>**. Однако не все углеводы вписываются в эту формулу.

# КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЕВОДОВ

## I. Моносахариды:

глюкоза  
фруктоза  
галактоза

## II. Олигосахариды – содержат от 2 до 10 остатков моносахаридов

### Дисахариды:

мальтоза  
сахароза  
лактоза

## III. Полисахариды

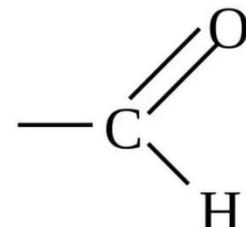
**Гомополисахариды:** крахмал  
гликоген  
целлюлоза

**Гетерополисахариды:** гликозаминоугликаны  
(мукополисахариды)

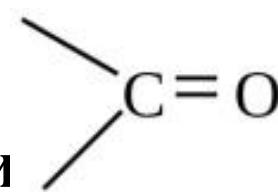
# Моносахариды

- **Моносахари́ды – производные многоатомных спиртов, содержащие карбонильную группу.**
  - **Моносахари́ды подразделяются на альдозы и кетозы.**

**Альдозы** содержат функциональную альдегидную группу

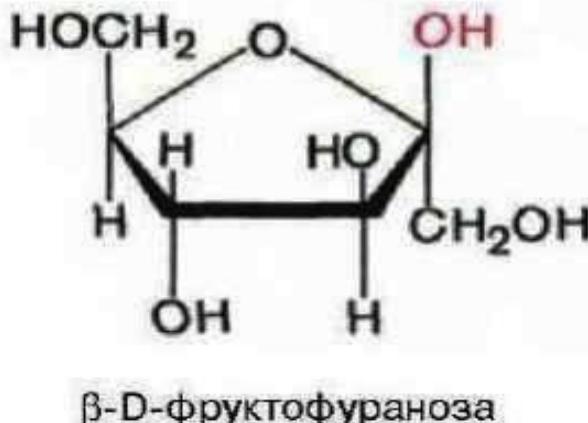
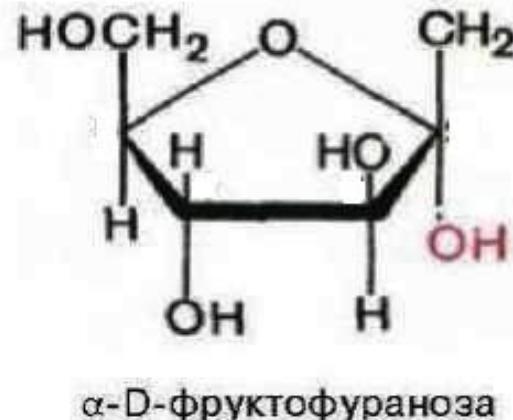
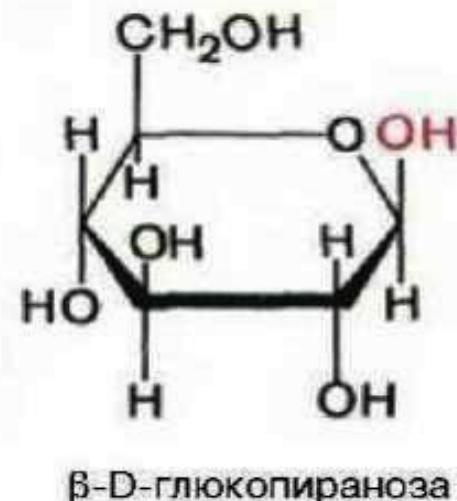
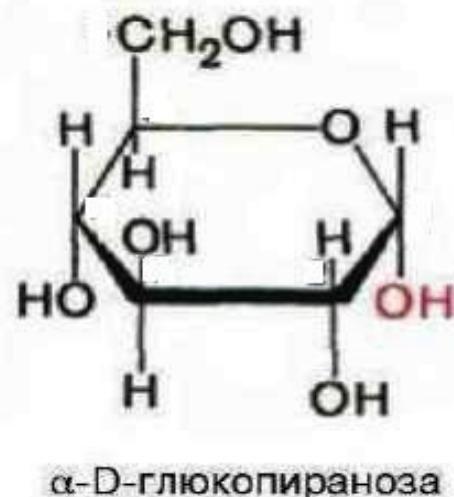
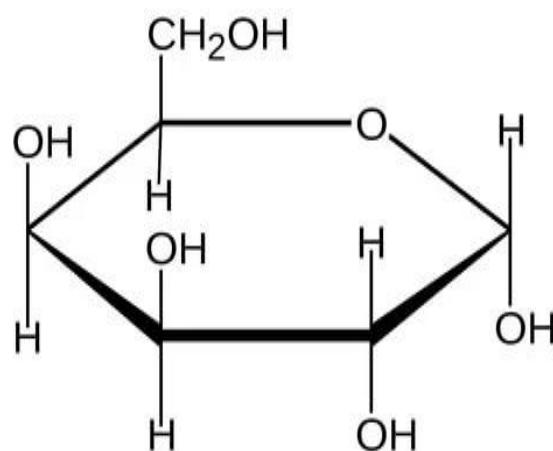


**Кетозы содержат кетонную группу**



- **Название моносахаридов зависит от числа углеродных атомов:**
    - **триозы**
    - **пентозы**
    - **гексозы**

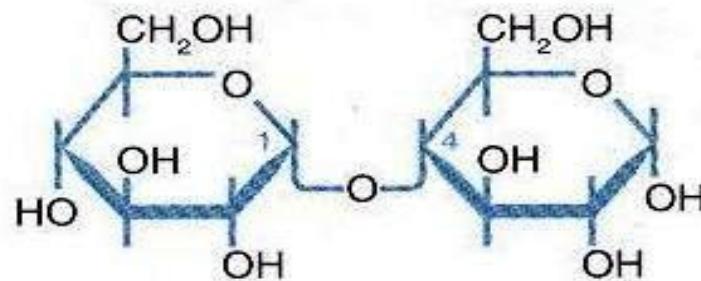
# Моносахариды



# Биологически важные гексозы

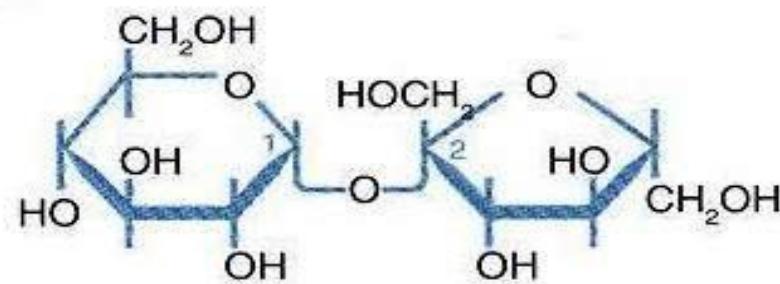
Моносахарид	Источник	Биологическая роль
<b>D-глюкоза</b>	<b>Гидролиз крахмала, тростникового сахара, мальтозы и лактозы.</b> <b>Фруктовые соки.</b>	<b>Основная транспортная форма углеводов.</b> <b>Эффективно используется тканями.</b>
<b>D-фруктоза</b>	<b>Гидролиз тростникового и свекольного сахара.</b> <b>Мед, фруктовые соки.</b>	<b>Может превращаться в глюкозу в печени и кишечнике.</b>
<b>D-галактоза</b>	<b>Гидролиз лактозы.</b> <b>Молоко.</b>	<b>Может превращаться в глюкозу в печени.</b> <b>Входит в состав лактозы молока.</b> <b>Компонент гликолипидов и гликопротеинов.</b>

# Дисахариды пищи



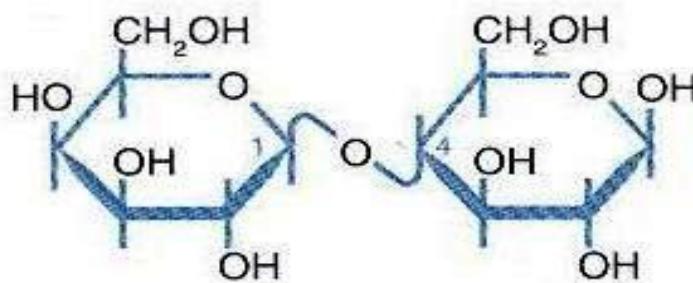
МАЛЬТОЗА

α1-4-гликозидная связь  
α-D-глюкоза + α-D-глюкоза



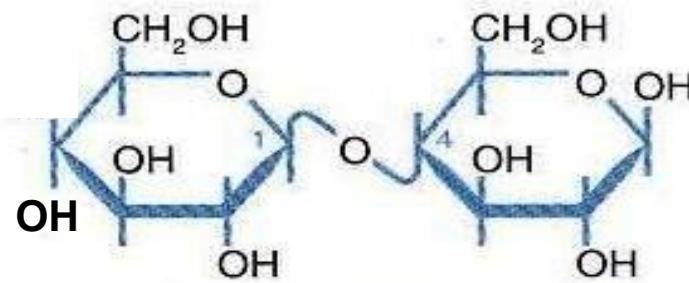
САХАРОЗА

α1-β2-гликозидная связь  
α-D-глюкоза + β-D-фруктоза



ЛАКТОЗА

β1-4-гликозидная связь  
β-D-глюкоза + β-D-галактоза



ЦЕЛЛОБИОЗА

β1-4-гликозидная связь  
β-D-глюкоза + β-D-глюкоза

# Дисахариды

Дисахарид	Источник	Значение
<b>Мальтоза</b>	Продукт распада крахмала.	Один из основных пищевых дисахаридов.
<b>Лактоза</b>	<b>Молоко.</b>	Пищевой дисахарид.
<b>Сахароза</b>	Тростниковый или свекловичный сахар.	Пищевой дисахарид.
<b>Целлобиоза</b>	Продукт гидролиза целлюлозы под действием микрофлоры ЖКТ.	У человека целлюлоза практически не усваивается.

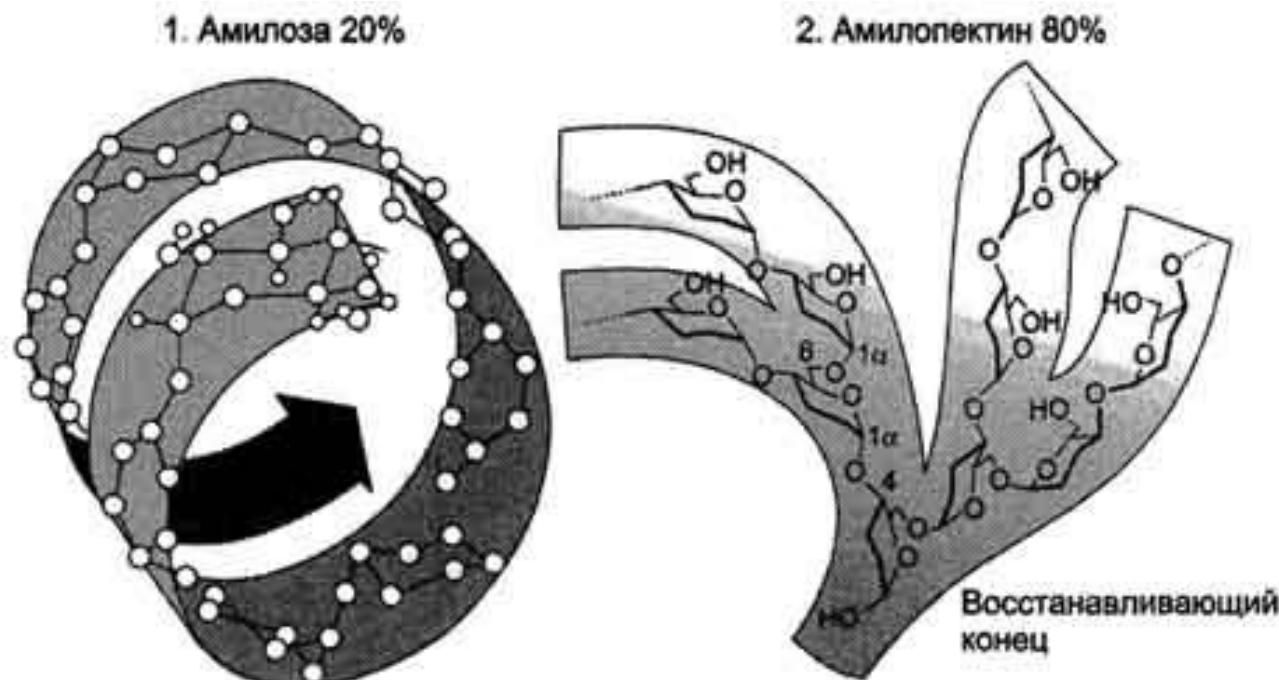
# Полисахариды

Характеристика	Крахмал	Гликоген	Целлюлоза
Источник	Растительный	Животный	Растительный
Мономер	$\alpha$ -глюкоза	$\alpha$ -глюкоза	$\beta$ -глюкоза
Гликозидные связи	1-4 и 1-6	1-4 и 1-6	1-4
Наличие ветвлений	Да (одно ветвление на 20 остатков)	Да (одно ветвление на 10-12 остатков)	Нет

**Крахмал** – наиболее важный углеводный

компонент пищевого рациона. Он находится в клетках растений в виде гранул, практически нерастворим в воде.

У человека в печени и мышцах содержится до **450 г гликогена**.



**Строение крахмала**



## ФУНКЦИИ УГЛЕВОДОВ

1. Энергетическая (глюкоза; гликоген, крахмал – депо энергии).
2. Структурная (целлюлоза, хитин - структурные компоненты клеточных стенок растений и насекомых).
3. Метаболическая.
4. Защитно-механическая – (гликозаминогликаны, гликопротеины – основное вещество соприкасающихся поверхностей суставов).
5. Рецепторная (мембранные гликопротеины).
6. Специфическая (гепарин и др.).

# I. Углеводы с преимущественно энергетической функцией:

глюкоза

гликоген

крахмал

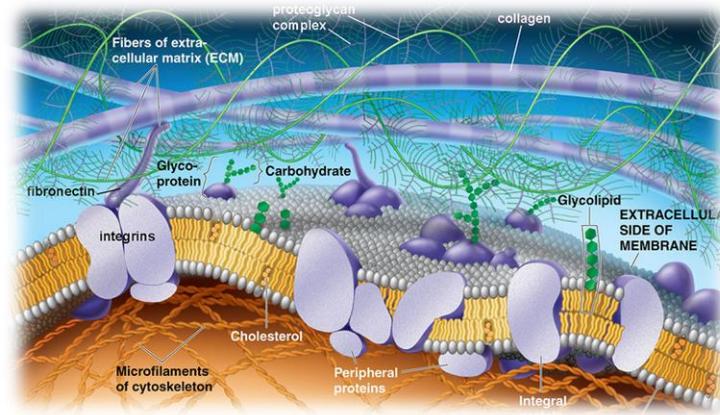


# II. Углеводы с преимущественно структурной функцией:

гликопротеины

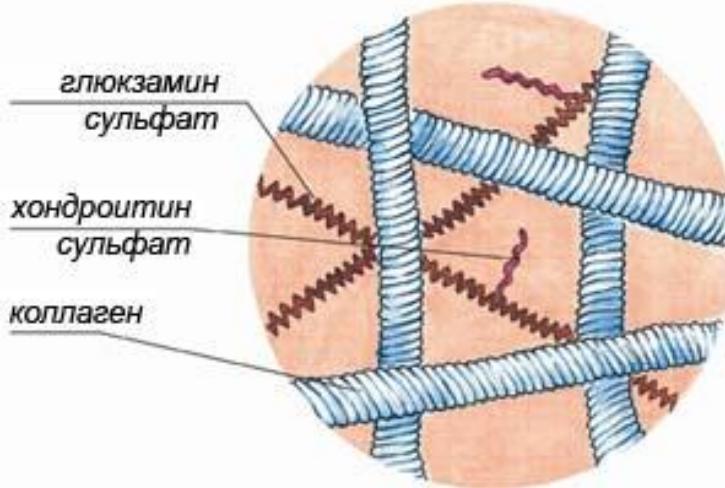
гликолипиды

гликозаминогликаны



**Гликозаминонгликаны** (раньше их называли мукополисахариды) – линейные, отрицательно заряженные гетерополисахариды. Они могут связывать большие количества воды, в результате чего межклеточное вещество приобретает желеобразный характер.

Молекулярная структура хряща



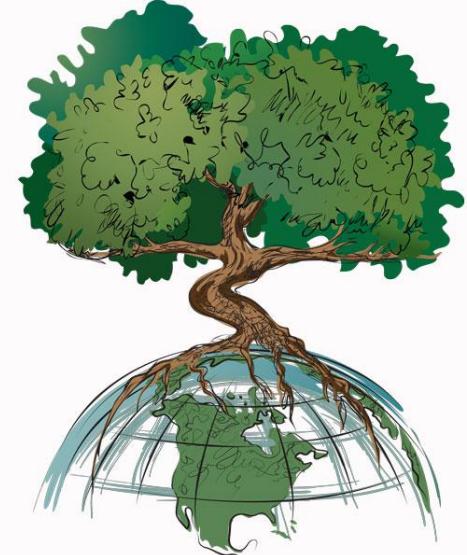
**Протеогликаны** – высокомолекулярные соединения, состоящие из белка (5 – 10%) и гликозаминогликанов (90 – 95 %). Они образуют основное вещество межклеточного матрикса соединительной ткани и могут составлять до 30% сухой массы ткани.

**Протеогликаны** отличаются от большой группы белков, которые называются **гликопротеинами**. У гликопротеинов углеводный компонент составляет 40% от общей массы.

# УГЛЕВОДЫ В ПРИРОДЕ

Углеводы – наиболее распространенные органические вещества на Земле.

Образуются в результате **фотосинтеза** в зеленых растениях.



## Содержание углеводов (в % от сухой массы)



**Семена злаков** - 65-70 %

**Картофель** - 14-25 %

**Свекла** - 20-30 %

**Плоды, ягоды** - до 15 %



# УГЛЕВОДЫ ПИЩИ

**300 – 500 г в сутки**



Углеводы	Пищевые продукты	г/сутки
Полисахариды	Хлеб Крупа, рис Картофель Мучные изделия	<b>250-400</b>
Дисахариды	Сахар, Кондитерские изделия, Молоко	<b>50-100</b>
Моносахариды	Фрукты, Ягоды, Соки	<b>0-50</b>

**Пищевые волокна (целлюлоза или клетчатка) – компоненты растительных клеток, которые не расщепляются ферментами животного происхождения (т.е. не расщепляются в ЖКТ человека).**

Однако целлюлоза является незаменимым компонентом пищи человека.

**Рекомендуемое суточное потребление 25 – 30 г.**



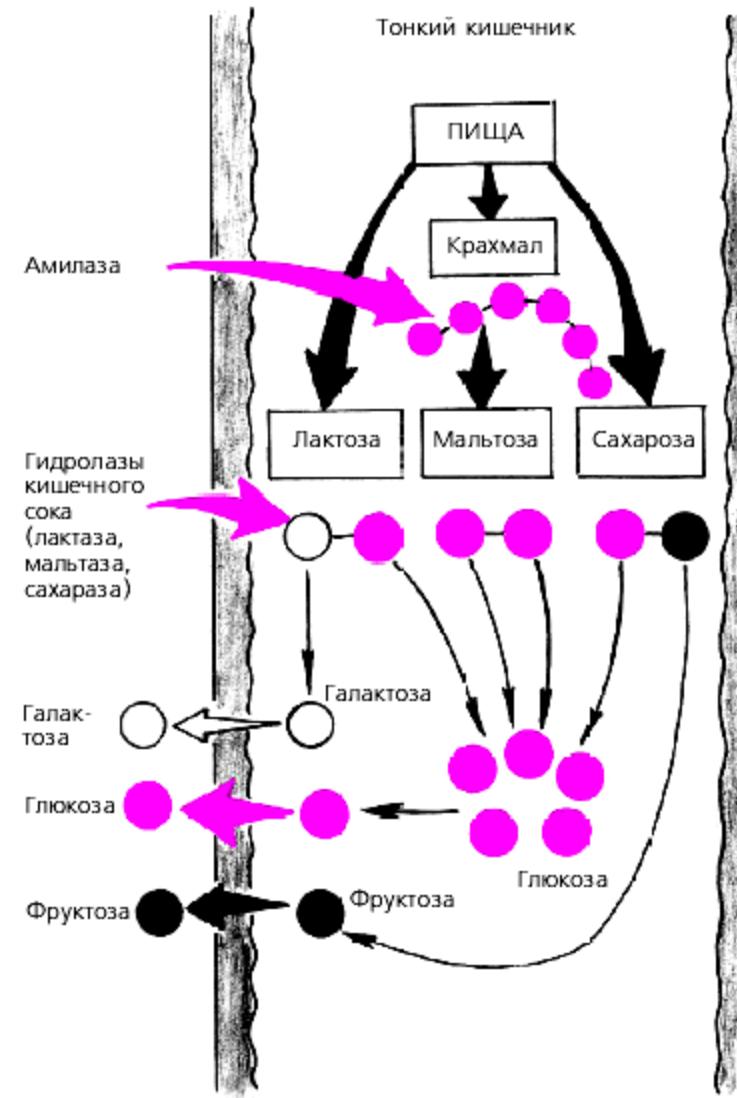
# БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ КЛЕТЧАТКИ

1. Утилизируется микрофлорой кишечника и поддерживает ее нормальный состав.
2. Адсорбирует воду и удерживает ее в полости кишечника.
3. Увеличивает объем каловых масс.
4. Нормализует давление на стенки кишечника.
5. Связывает некоторые токсические вещества и радионуклиды.



# ПЕРЕВАРИВАНИЕ УГЛЕВОДОВ

Эпителиальные клетки кишечника способны всасывать только моносахариды. Поэтому процесс переваривания углеводов заключается в ферментативном гидролизе связей в олиго- или полисахаридах.



# ПЕРЕВАРИВАНИЕ УГЛЕВОДОВ

**Слюна:**  $\alpha$ -амилаза

**Панкреатический сок:**

$\alpha$ -амилаза  
амило-1,6-глюкозидаза  
олиго-1,6-глюкозидаза

**Тонкий кишечник:**

мальтаза  
сахараза  
сахаразо-изомальтазный комплекс  
лактаза ( $\beta$ -гликозидазный комплекс)  
гликоамилазный комплекс

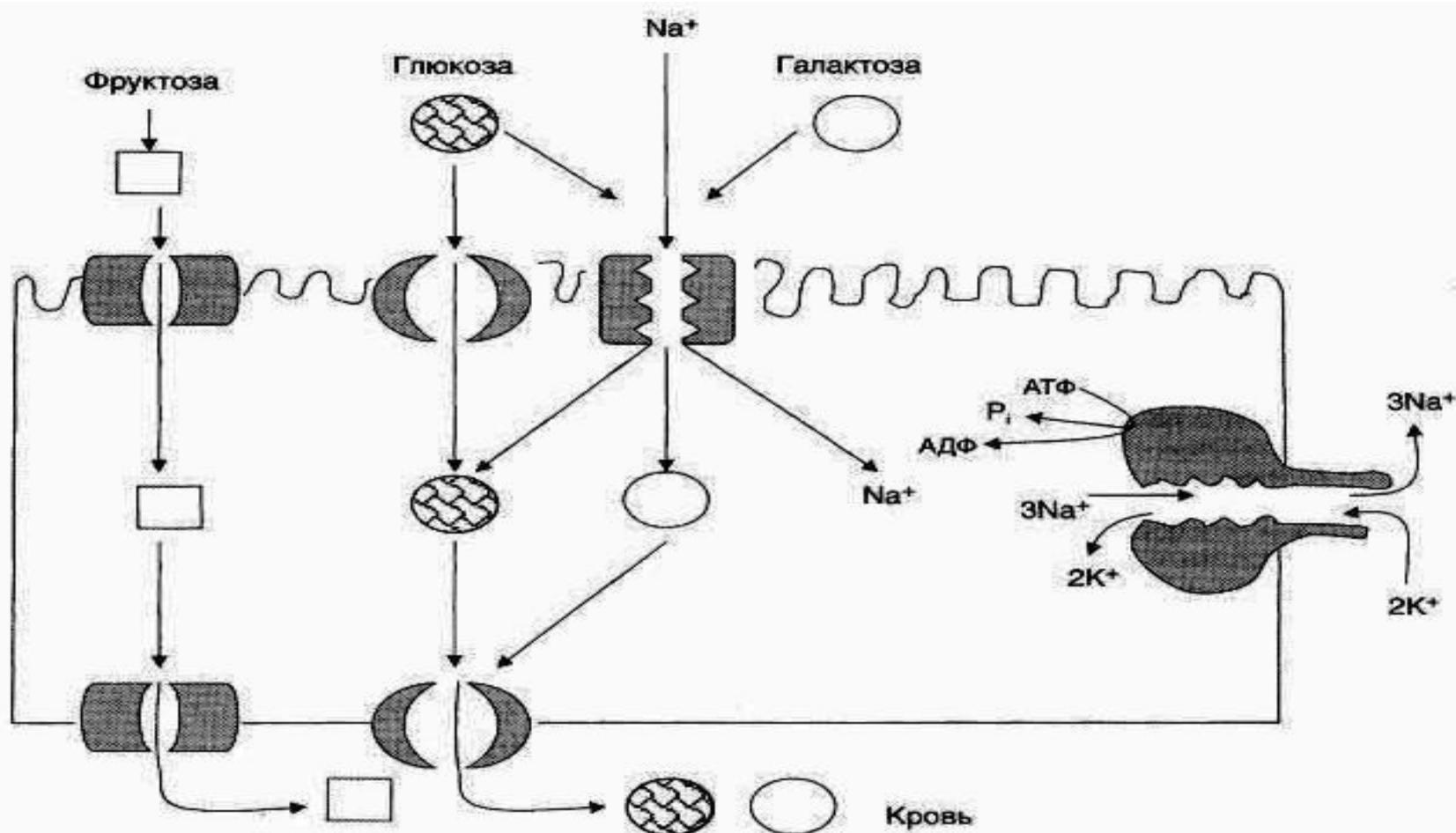
# САХАРАЗА – ИЗОМАЛЬТАЗНЫЙ КОМПЛЕКС

- состоит из 2 полипептидных цепей, прикреплен к мембране микроворсинок кишечника, каталитический центр выступает в просвет кишечника.
- Сахараза – изомальтазный комплекс гидролизует **сахарозу** и **изомальтозу**, расщепляя  $\alpha - 1,2$  – и  $\alpha - 1,6$  – гликозидные связи.
- На долю этого комплекса приходится 80% от всей мальтазной активности кишечника.
- В тонкой кишке активность этого комплекса высокая, но снижается в дистальной части кишечника.

# Гликоамилазный комплекс

- Этот комплекс катализирует гидролиз  $\alpha$ -1,4-связи между остатками глюкозы в олигосахаридах, действуя с восстанавливающего конца.
- Этот фермент относится к экзогликозидазам.
- Комплекс расщепляет также связи в мальтозе, действуя как мальтаза.
- Гликоамилазная активность наибольшая в нижних отделах тонкого кишечника

# Всасывание углеводов в кишечнике



— белки-переносчики (транспортеры) фруктозы;

— белки-переносчики (транспортеры) глюкозы;

—  $Na^+$ -зависимый белок-переносчик;

—  $Na^+,K^+$ -АТФ-аза.

# ТРАНСПОРТ ГЛЮКОЗЫ ИЗ КРОВИ В КЛЕТКИ



Потребление глюкозы клетками из кровотока происходит также путем **ОБЛЕГЧЕННОЙ ДИФФУЗИИ**. В клетках мышц и жировой ткани облегченная диффузия регулируется инсулином. В отсутствии инсулина плазматическая мембрана этих клеток непроницаема для глюкозы.

Белки – транспортеры глюкозы (ГЛЮТ) обнаружены во всех тканях. Они пронумерованы в соответствии с порядком их обнаружения.

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ФУНКЦИИ ГЛЮТ

Типы ГЛЮТ	ЛОКАЛИЗАЦИЯ В ОРГАНАХ
ГЛЮТ-1	Преимущественно в мозге, плаценте, почки, толстый кишечник, энteroциты.
ГЛЮТ-2	Печень, почки, $\beta$ -клетки островков Лангенгарса, энteroциты.
ГЛЮТ-3	Головной мозг, плацента.
ГЛЮТ-4	Скелетные мышцы, миокард, жировая ткань.
ГЛЮТ-5	Тонкий кишечник, яички, почки.

# **НАРУШЕНИЯ ПЕРЕВАРИВАНИЯ ДИСАХАРИДОВ**

- Наследственный дефицит лактазы симптомы – сразу после рождения.
- Недостаточность лактазы из-за снижения экспрессии гена фермента в онтогенезе.
- Недостаточность лактазы вторичного характера (приобретенная).
- Наследственная недостаточность сахаразо-изомальтазного комплекса.
- Приобретенная недостаточность сахаразо-изомальтазного комплекса.

# МЕТАБОЛИЗМ ГАЛАКТОЗЫ

## МЕТАБОЛИЗМ ГАЛАКТОЗЫ



1-галактокиназа

2-галактозо-1-ф-уридилтрансфераза

3-уридилфосфат-4-эпимераза

4-фосфоглюкомутаза

**ГАЛАКТОЗЕМИЯ – обусловлена недостаточностью галактозо-1-фосфатуридилилтрансферазы (реже галактокиназы).**

### **Ранние симптомы галактоземии**

- рвота
- диарея
- дегидратация
- уменьшение массы тела
- желтуха
- накопление в крови галактозы и гал-1-фосфата

### **Последствия галактоземии**

- поражение головного мозга
- катаракта
- гепатосplenомегалия

# МЕТАБОЛИЗМ ФРУКТОЗЫ



## 1-ФРУКТОКИНАЗА

## 2-АЛЬДОАЗА Фр-1-Ф

### 3-ГЛИЦЕРАЛЬДЕГИД-ф-киназа

#### 4-АЛЬДОЛАЗА Фр-1,6-ди-Ф

## 5-ГЕКСОКИНАЗА

## 6-ФОСФОФРУКТОКИНАЗА

# НАРУШЕНИЯ МЕТАБОЛИЗМА ФРУКТОЗЫ

**Эссенциальная фруктозурия** – при врожденной недостаточности фруктокиназы в печени.

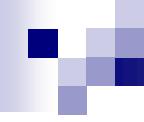
Фруктоза накапливается в крови и выделяется с мочой.

**ПРОТЕКАЕТ БЕССИМПТОМНО**

**Наследственная непереносимость фруктозы** – при генетическом дефекте фруктозо-1-фосфатальдолазы.

**СИМПТОМЫ** - рвота, боли в животе, диарея, гипогликемия, судороги.

**ПОСЛЕДСТИЯ**: поражения головного мозга и печени.



# СИНТЕЗ ЛАКТОЗЫ



**УДФ-глюкоза  $\rightleftharpoons$  УДФ-галактоза**

УДФ-глюкозо-эпимераза

**УДФ-галактоза+глюкоза**



лактозосинтетаза

**лактоза + УДФ**

## **СИНТЕЗ ЛАКТОЗЫ**

**Лактоза синтезируется только  
секреторными клетками желез  
млекопитающих в период лактации.**

**Содержание лактозы в молоке 2 – 6 % в  
зависимости от вида млекопитающих.**

**Интолерантность к молоку у взрослых**



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

