

# 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  **$C_m(H_2O)_n$** . 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

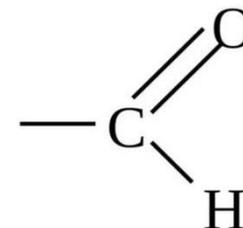
### Гетерополисахариды:

гликозаминогликаны  
(мукополисахариды)

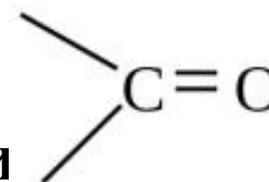
# Моносахариды

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

Альдозы содержат функциональную альдегидную группу

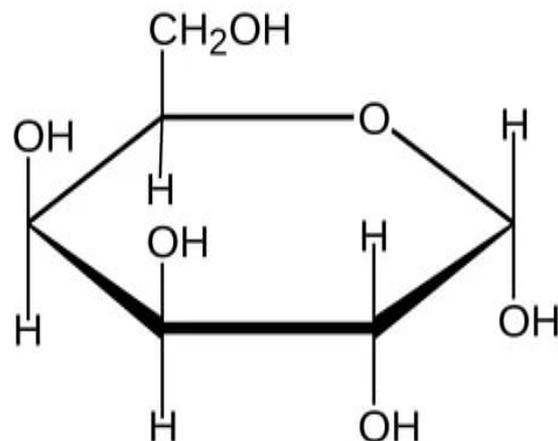


Кетозы содержат кетонную группу

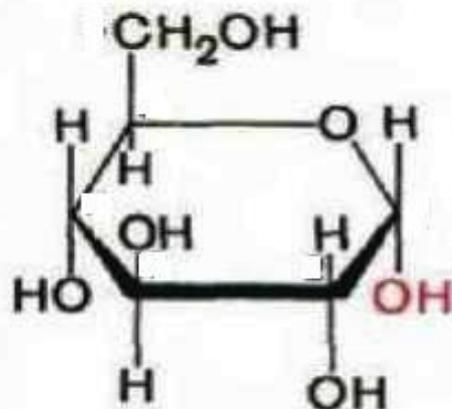


- Название моносахаридов зависит от числа углеродных атомов:
  - триозы
  - пентозы
  - гексозы

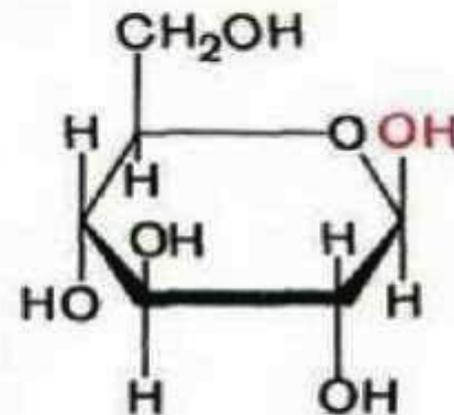
# Моносахариды



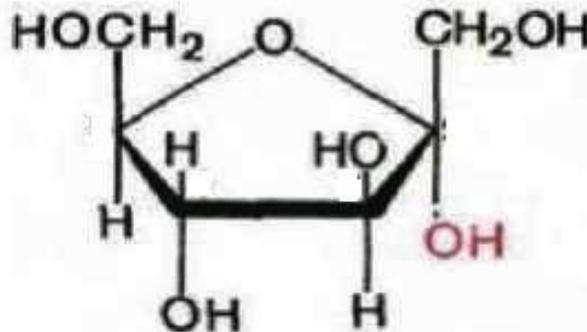
Галактоза  
 $\alpha$ -D-галактопираноза



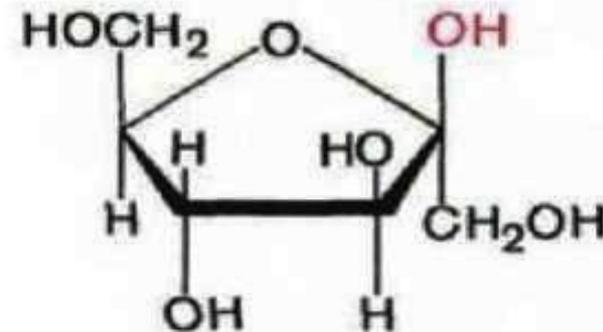
$\alpha$ -D-глюкопираноза



$\beta$ -D-глюкопираноза



$\alpha$ -D-фруктофураноза

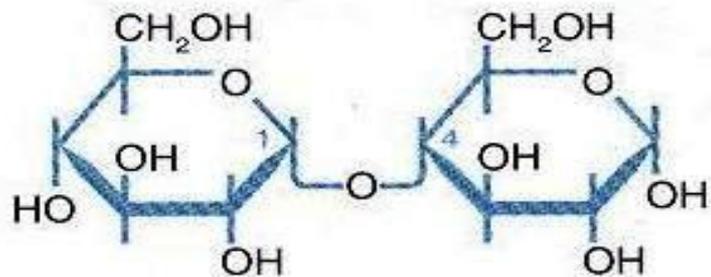


$\beta$ -D-фруктофураноза

# Биологически важные гексозы

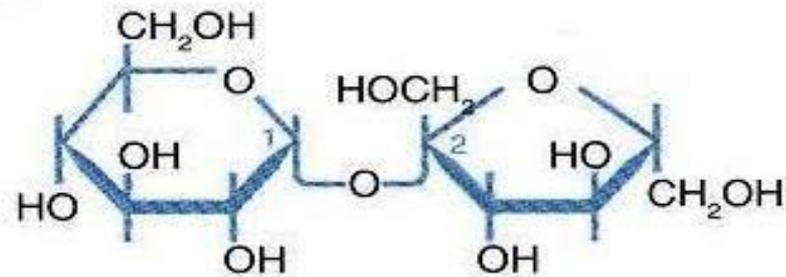
Моносахарид	Источник	Биологическая роль
<b>D-глюкоза</b>	Гидролиз крахмала, тростникового сахара, мальтозы и лактозы. Фруктовые соки.	Основная транспортная форма углеводов. Эффективно используется тканями.
<b>D-фруктоза</b>	Гидролиз тростникового и свекольного сахара. Мед, фруктовые соки.	Может превращаться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

# Дисахариды пищи



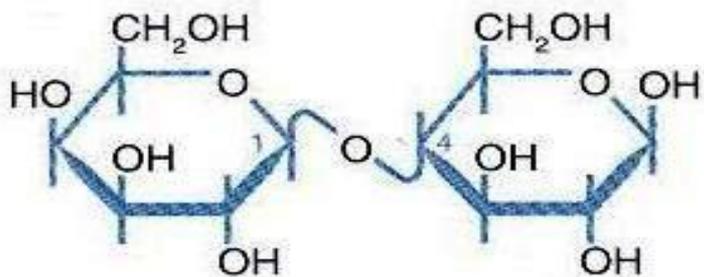
**МАЛЬТОЗА**

$\alpha$ 1-4-гликозидная связь  
 $\alpha$ -D-глюкоза +  $\alpha$ -D-глюкоза



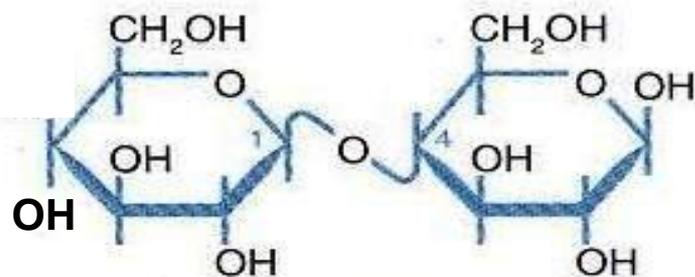
**САХАРОЗА**

$\alpha$ 1- $\beta$ 2-гликозидная связь  
 $\alpha$ -D-глюкоза +  $\beta$ -D-фруктоза



**ЛАКТОЗА**

$\beta$ 1-4-гликозидная связь  
 $\beta$ -D-глюкоза +  $\beta$ -D-галактоза



**ЦЕЛЛОБИОЗА**

$\beta$ 1-4-гликозидная связь  
 $\beta$ -D-глюкоза +  $\beta$ -D-глюкоза

# Дисахариды

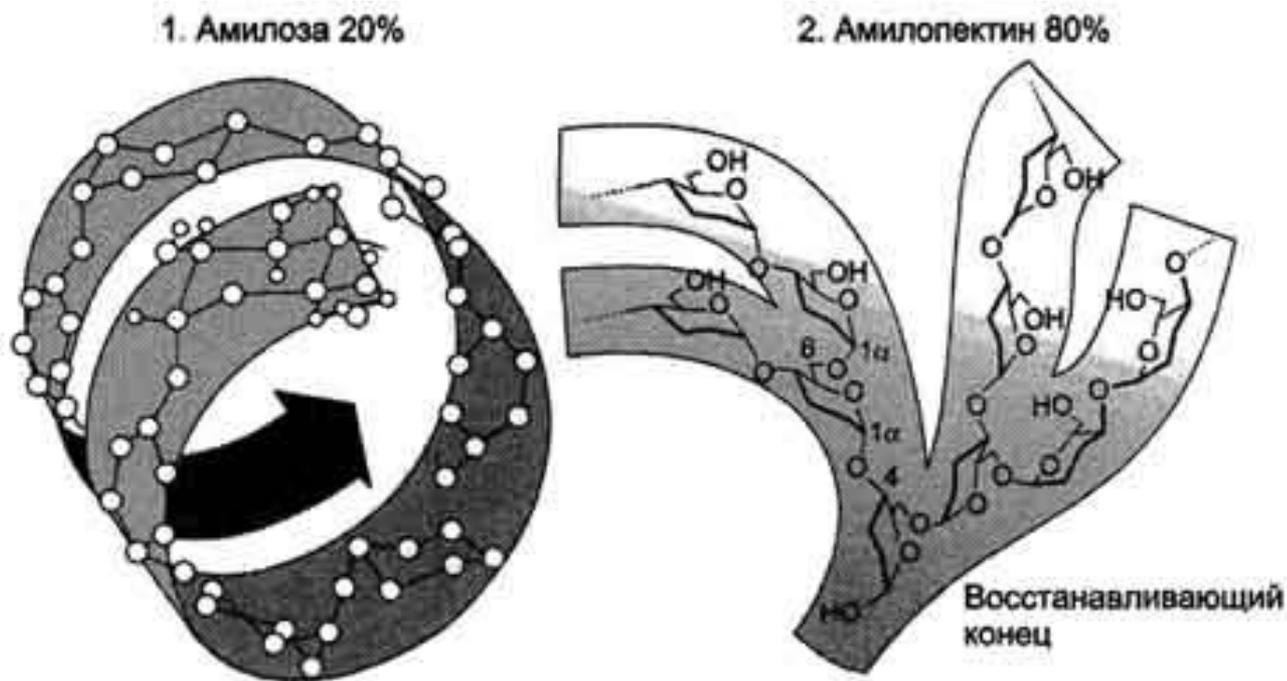
Дисахарид	Источник	Значение
<b>Мальтоза</b>	Продукт распада крахмала.	Один из основных пищевых дисахаридов.
<b>Лактоза</b>	Молоко.	Пищевой дисахарид.
<b>Сахароза</b>	Тростниковый или свекловичный сахар.	Пищевой дисахарид.
<b>Целлобиоза</b>	Продукт гидролиза целлюлозы под действием микрофлоры ЖКТ.	У человека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

# Полисахариды

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

**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.).**

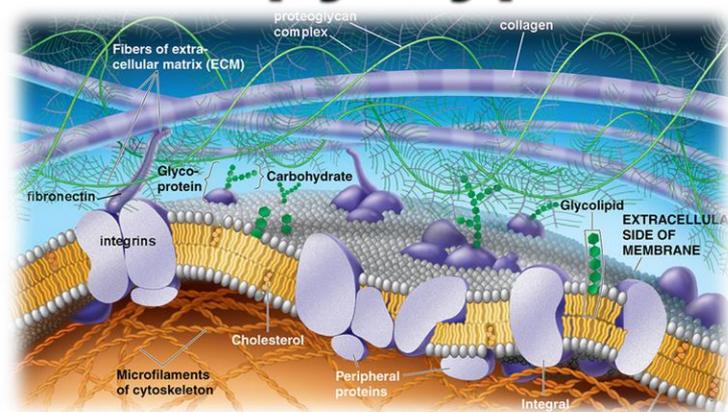
# I. Углеводы с преимущественно энергетической функцией:

ГЛЮКОЗА  
ГЛИКОГЕН  
КРАХМАЛ



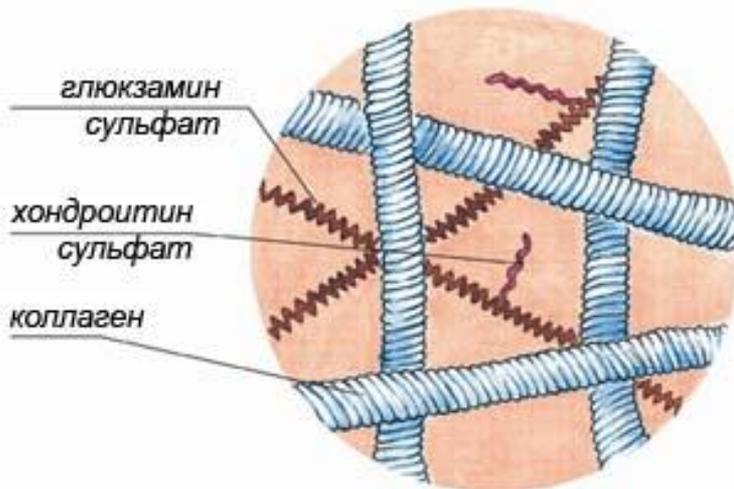
# II. Углеводы с преимущественно структурной функцией:

ГЛИКОПРОТЕИНЫ  
ГЛИКОЛИПИДЫ  
ГЛИКОЗАМИНОГЛИКАНЫ



**Гликозаминогликаны** (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.**



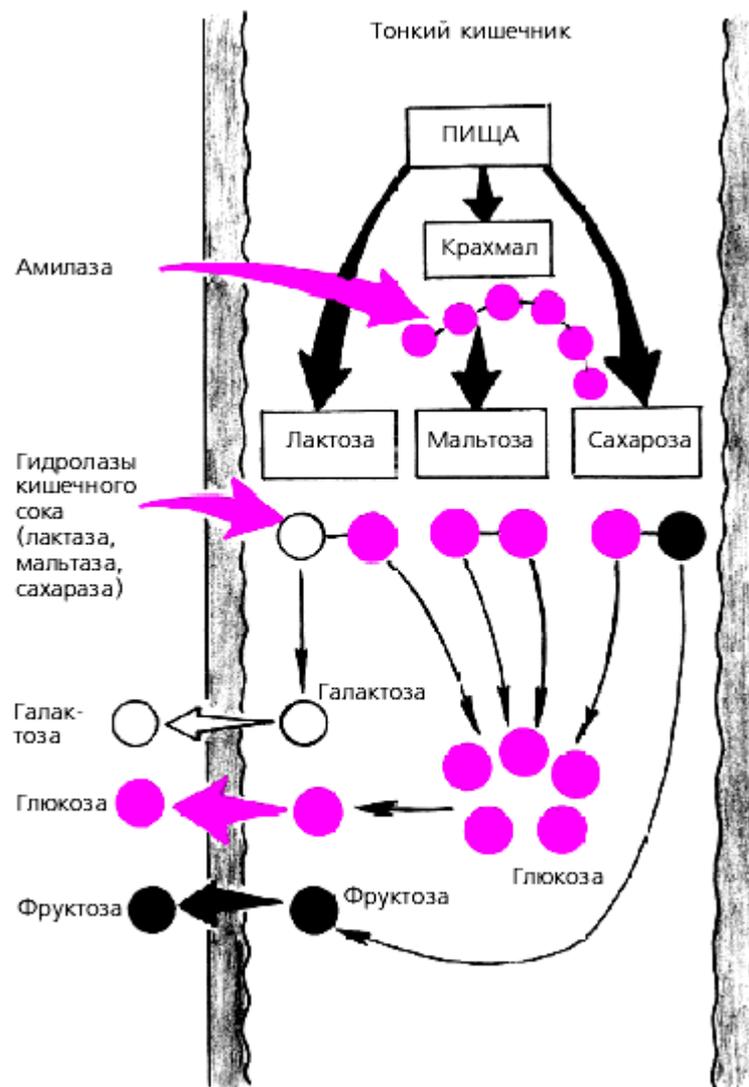
# БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ КЛЕТЧАТКИ

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

сахарозо-изомальтазный комплекс

лактаза ( $\beta$ -гликозидазный комплекс)

гликоамилазный комплекс

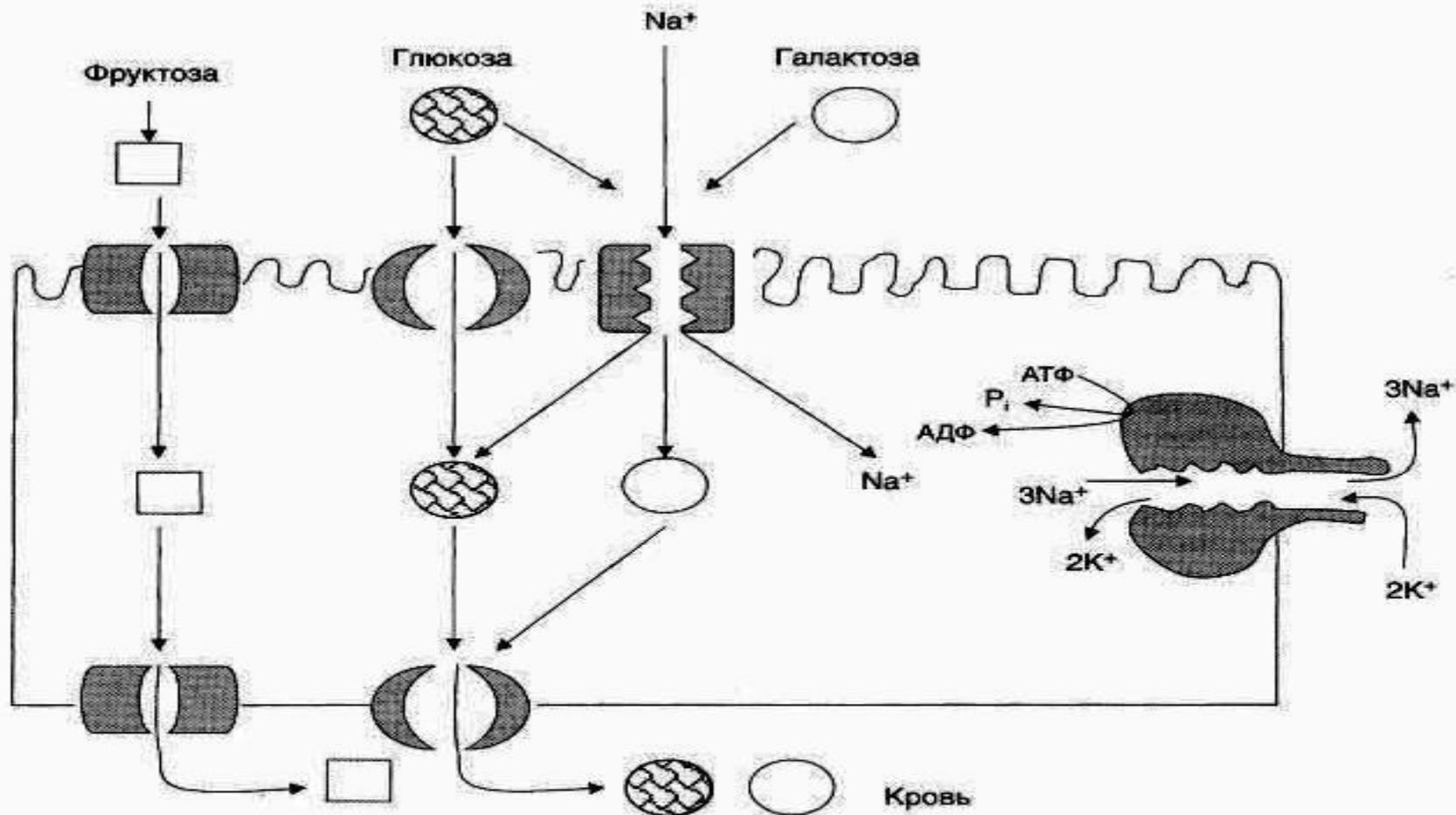
# САХАРАЗА – ИЗОМАЛЬТАЗНЫЙ КОМПЛЕКС

- 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 тощей 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 (транспортёры) фруктозы;
-  — белки-переносчики (транспортёры) глюкозы;
-  — Na<sup>+</sup>-зависимый белок-переносчик;
-  — Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>-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
<b>ГЛЮТ-1</b>	Преимущественно в мозге, плаценте, почки, толстый кишечник, энтероциты.
<b>ГЛЮТ-2</b>	Печень, почки, $\beta$ -клетки островков Лангенгарса, энтероциты.
<b>ГЛЮТ-3</b>	Головной мозг, плацента.
<b>ГЛЮТ-4</b>	Скелетные мышцы, миокард, жировая ткань.
<b>ГЛЮТ-5</b>	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 сахарозо-  
изомальтазного комплекса.**
- **Приобретенная недостаточность сахарозо-  
изомальтазного комплекса.**

# МЕТАБОЛИЗМ ГАЛАКТОЗЫ

## МЕТАБОЛИЗМ ГАЛАКТОЗЫ



1-галактокиназа

2-галактозо-1-ф-уридилтрансфераза

3-уридилфосфат-4-эпимераза

4-фосфоглюкомутаза

**ГАЛАКТОЗЕМИЯ – обусловлена недостаточностью галактозо-1-фосфатуридилтрансферазы (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
- гепатоспленомегалия

# МЕТАБОЛИЗМ ФРУКТОЗЫ

## МЕТАБОЛИЗМ ФРУКТОЗЫ

### Второстепенный путь



1-ФРУКТОКИНАЗА

2-АЛЬДОЛАЗА 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.

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

# СИНТЕЗ ЛАКТОЗЫ



УДФ-глюкозо-эпимераза



лактозосинтетаза



# **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!**

