

ФГБОУ ВО УГМУ Минздрава России  
Кафедра биохимии

**Дисциплина: Биохимия**

## ЛЕКЦИЯ № 7

# Обмен гликогена. Глюконеогенез. Регуляция обмена углеводов

Лектор: Гаврилов И.В.  
Факультет: лечебно-профилактический,  
Курс: 2

Екатеринбург, 2016г

# План лекции

- **Глюконеогенез (ГНГ).**
- Схема, субстраты, локализация ферментов в клетке, тканевая специфичность, значение.
- Реципрокная регуляция глюконеогенеза и гликолиза: механизмы, роль гормонов (адреналина, глюкокортикоидов, глюкагона, инсулина и др.).
- Ключевые (необратимые) реакции глюконеогенеза, номенклатура ферментов, их классификация, регуляция, значение.

- **Уровни и механизмы регуляции обмена углеводов** (центральный, межорганный, метаболический - клеточный). Цикл Кори (глюкозо-лактатный цикл): механизм, значение.
- **Возрастные особенности ПФШ и ГНГ, значение.**

# Гликоген

- Разветвленный гомополисахарид состоящий из остатков глюкозы, соединенных  $\alpha$  1-4 гликозидной связью;
- депонируется в основном в печени и скелетных мышцах, но также имеется в большинстве тканей и клеток, за исключением эритроцитов и нейронов;
- хранится в цитозоле клеток;
- Общая масса гликогена в организме человека может достигать 100-150 грамм.

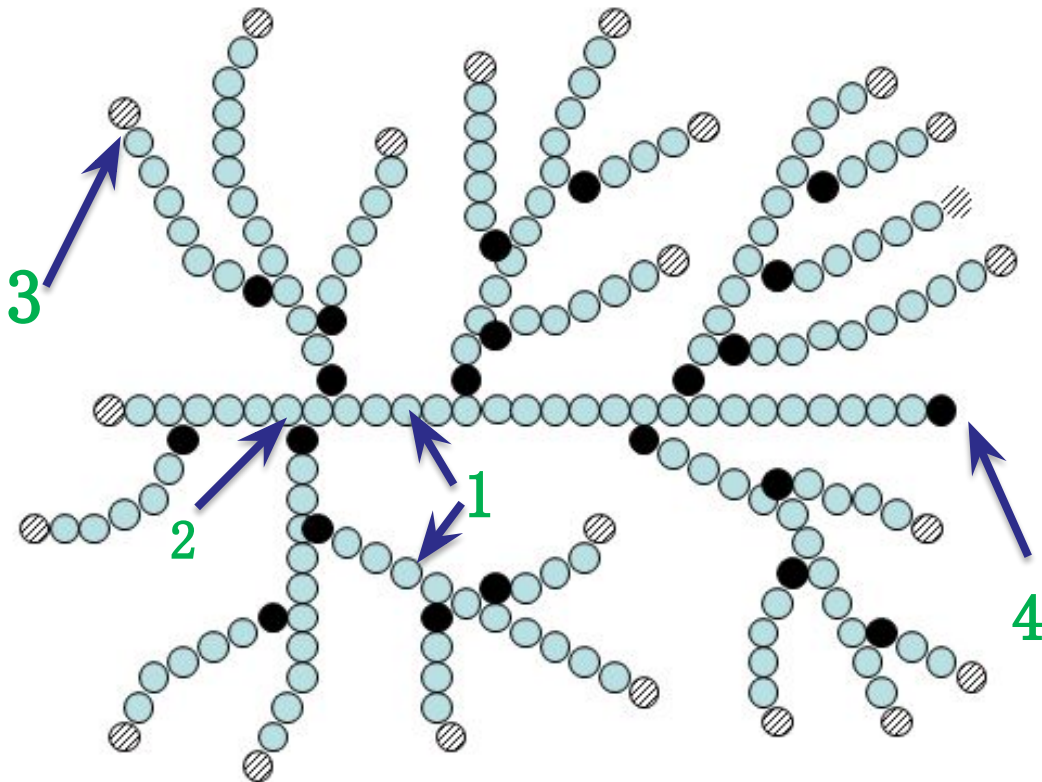
# Гликоген

1 - остатки глюкозы, соединенные  $\alpha$ -1,4-гликозидной связью

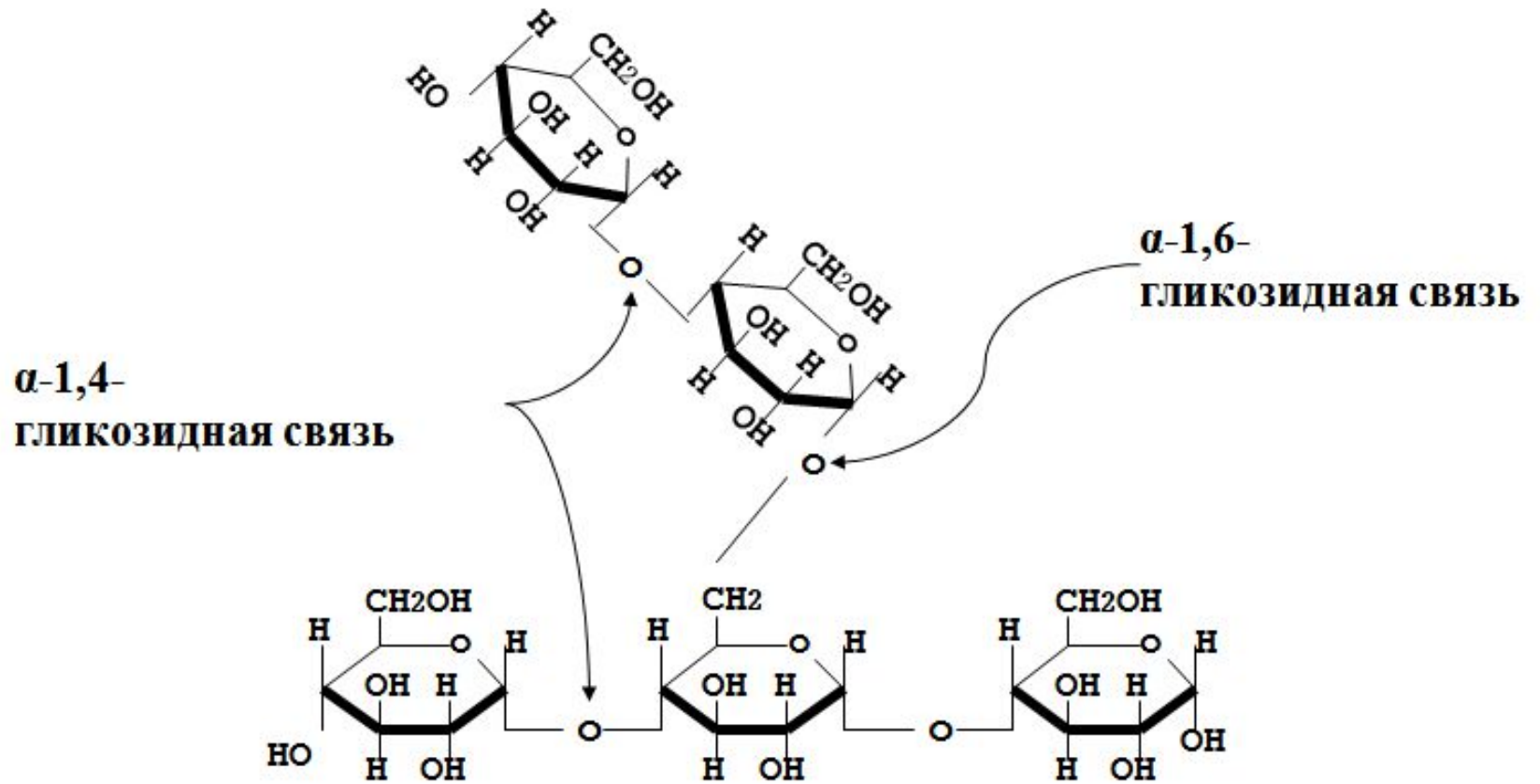
2 - остатки глюкозы, соединенные  $\alpha$ -1,6-гликозидной связью

3 - нередуцирующие концевые мономеры

4 - редуцирующий концевой мономер



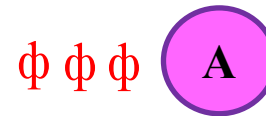
# Фрагмент молекулы гликогена



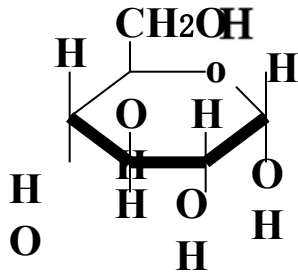
# Биологическое значение

Гликоген является основным резервом глюкозы в постабсорбтивный период и при интенсивных физических нагрузках.

# Синтез гликогена - гликогенеиз



АДФ

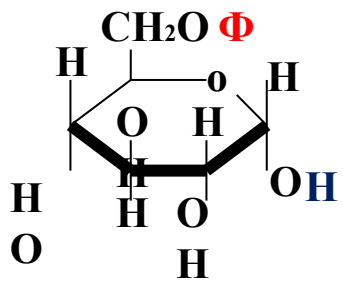


Глюкоза-6ф

Глюкокиназа (в печени)

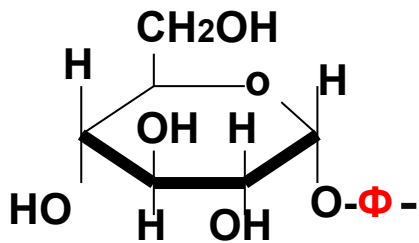
Гексокиназа (во всех тканях)



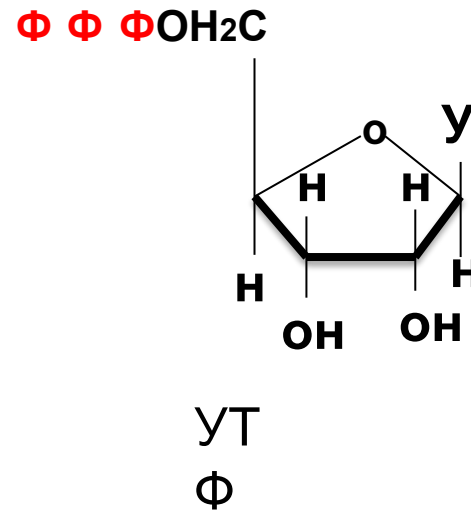


Глюкоза-1-ф

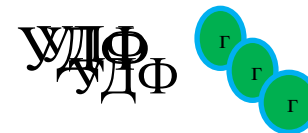
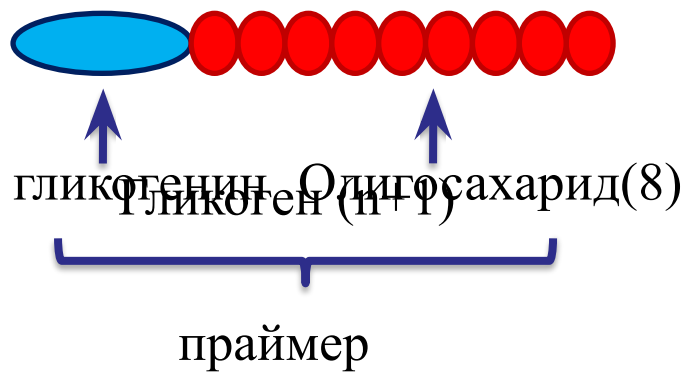
Фосфоглюкомутаза



УДФ-глюкоза



УДФ-глюкопирофосфатаза



**ГЛИКОГЕНСИНТАЗА**

$\alpha(1-6)$

$\alpha(1-4)$

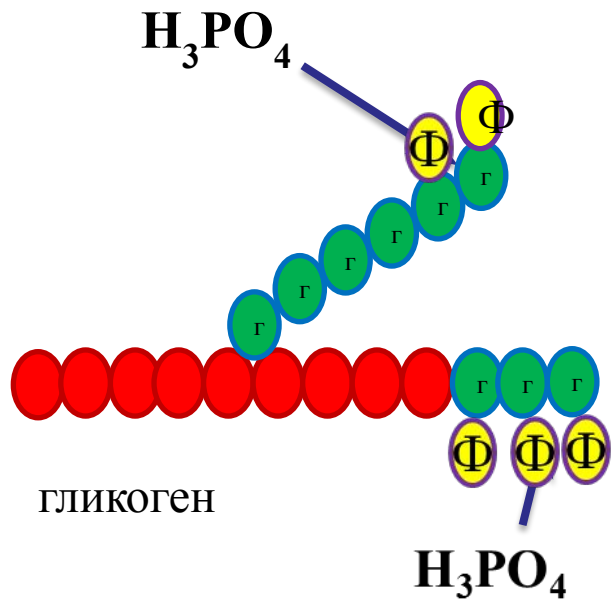


ГЛИКОГЕН



Амило-1,4-глюкозилтрансфераза

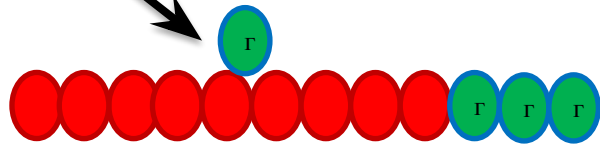
# Распад гликогена – гликогенолиз



ГЛЮКОЗО-1-Ф

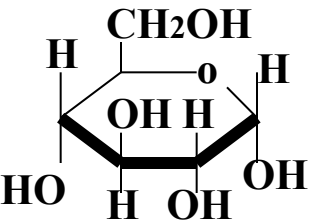
Гликогенфосфорилаза  
Олигосахаридтрансфераза

$\alpha(1-6)$



ГЛИКОГЕН

$\alpha$ -1,6-глюкозидаза

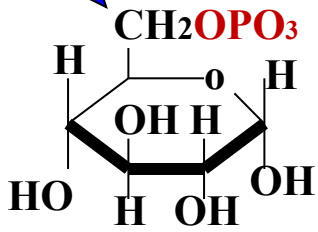


Глюкоза

АТФ

Глюкокиназа,  
Гексокиназа

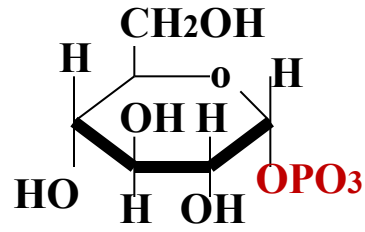
АДФ



Глюкозо-6ф

Фосфоглюкомутаза

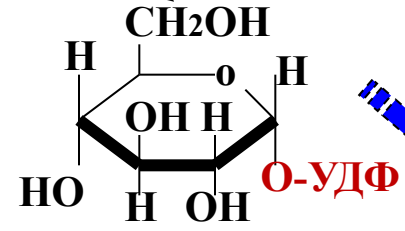
Глюкозо-1ф



УТФ

УДФ-глюкопири  
фосфорилиза

Ф

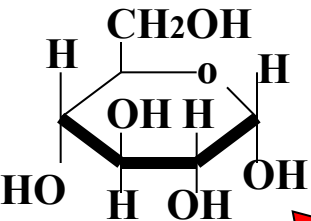


УДФ-глюкоза

Гликоген  
синтаза

Гликоген

Дефект в печени гликогенсинтазы 0 тип. Гликогеноз: Гипогликемия в постабсорбтивном периоде, судороги по утрам

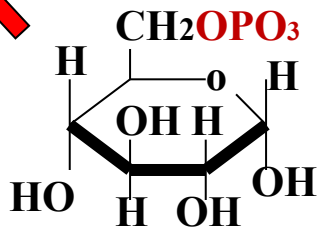
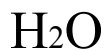


**Глюкоза**

Дефект в печени  
глюкозо-6ф фосфатазы  
**1 тип. Болезнь Гирке:**  
Гипогликемия,  
Гиперацилглицеролемиа,  
ацидоз

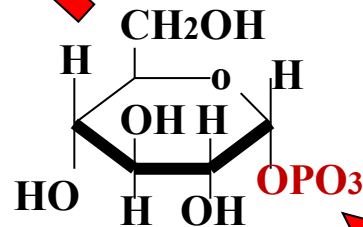


**Глюкозо-6ф фосфатаза**



**Глюкозо-6ф**

**Фосфоглюкомутаза**



**Глюкозо-1ф**

**Гликогенфосфорилаза**



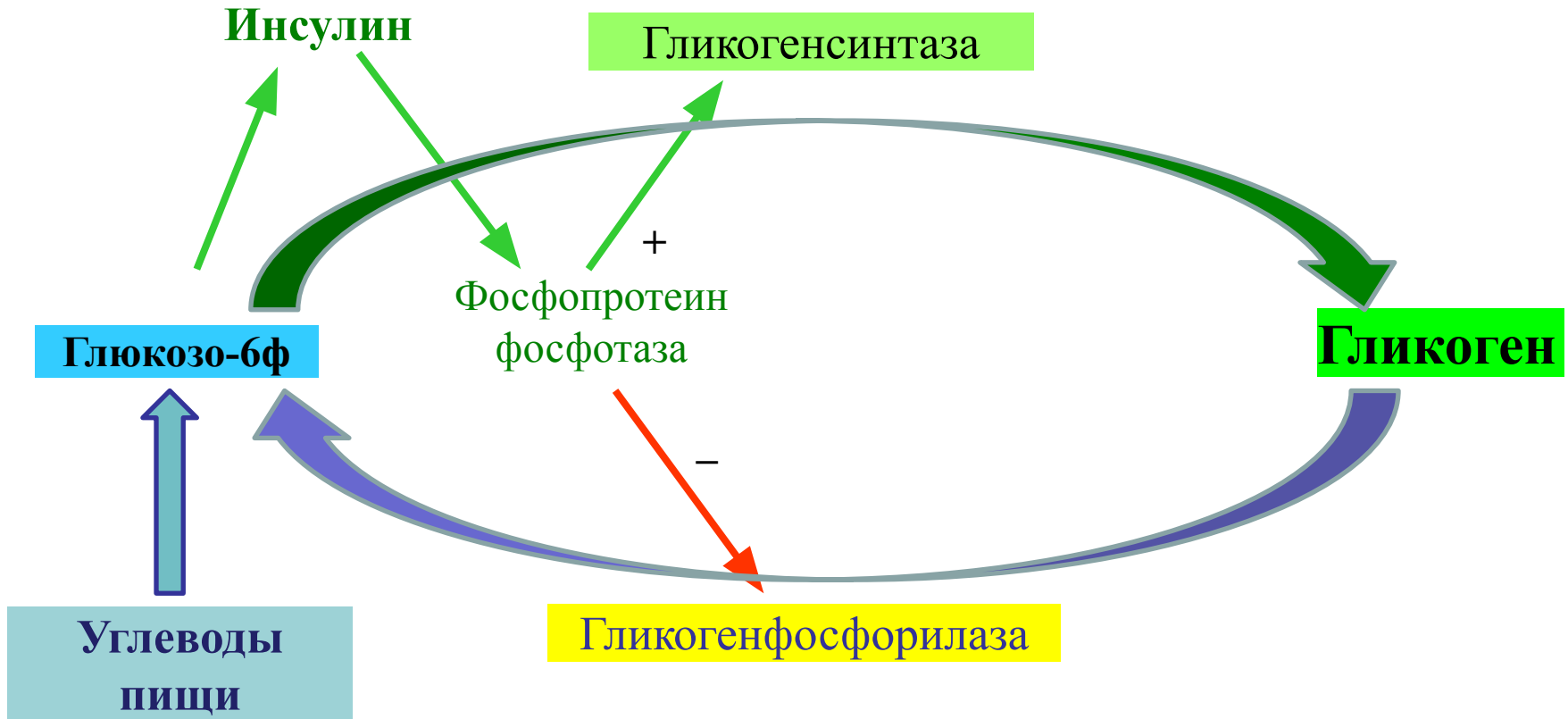
**Гликоген**

Дефект в мышцах  
фосфорилазы  
**5 тип. Болезнь Мак-Ардла:**  
Боли в мышцах, судороги при  
физ.нагрузке,  
Накопление в мышцах  
гликогена норм. структуры



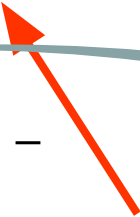
# Гормональная регуляция

## Абсорбтивный период



# Постабсорбтивный период

Гликогенсинтаза



Киназа  
фосфорилазы

+

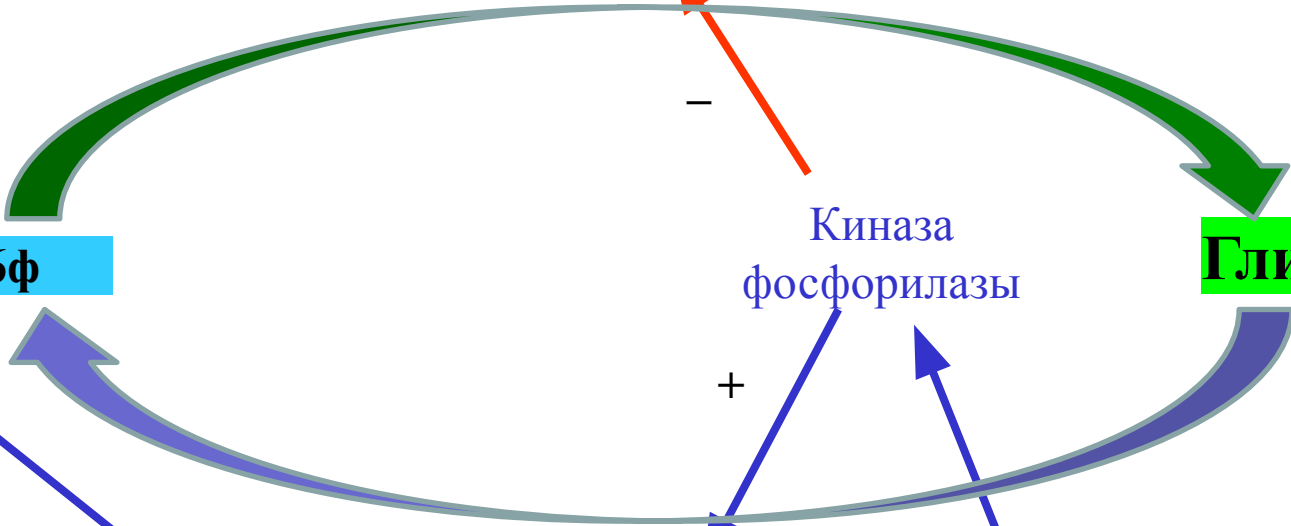
Гликогенфосфорилаза

цАМФ

Глюкагон  
Адреналин

Глюкозо-6ф

Гликоген



# Нарушения обмена гликогена

## Гликогеновые болезни



```
graph TD; A[Гликогеновые болезни] --> B[Гликогенозы]; A --> C[Агликогенозы]; B --> D[Печеночные]; B --> E[Мышечные]; D --- D_desc[Нарушение использования гликогена для поддержания уровня глюкозы в крови]; E --- E_desc[Нарушение энергоснабжения скелетных мышц]; C --- C_desc[дефект гликогенсинтазы]
```

### Гликогенозы

дефект ферментов распада  
гликогена

#### Печеночные

Нарушение  
использования  
гликогена для  
поддержания уровня  
глюкозы в крови

#### Мышечные

Нарушение  
энергоснабжения  
скелетных мышц

### Агликогенозы

дефект  
гликогенсинтазы

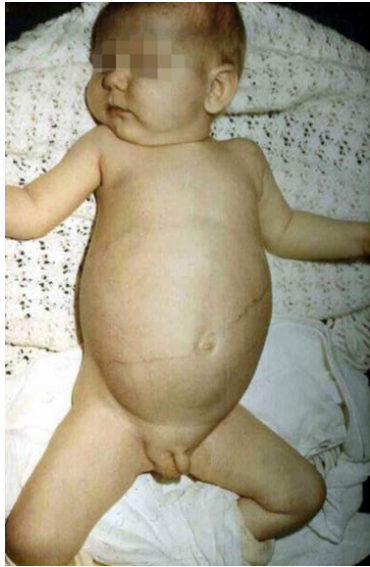
0 (агликогеноз)	Гликогенсинтетаза	Печень
I (болезнь Гирке)	Глюкозо-6-фосфатаза	Печень, почки
II (болезнь Помпе)	Кислая α-1,4-глюкозидаза	Печень, почки, селезенка, мышцы, нервная ткань, лейкоциты
III (болезнь Кори)	Амилο-1,6-глюкозидаза (деветвящий фермент)	Печень, мышцы, лейкоциты
IV (болезнь Андерсена)	Амилο-1,4 <sup>α</sup> 1,6-трансглюкозидаза (ветвящий фермент)	Печень, мышцы, почки, лейкоциты
V (болезнь Мак-Ардла)	Фосфорилаза (миофосфорилаза)	Мышцы
VI (болезнь Герса)	Фосфорилаза	Печень
VII (болезнь Таруи)	Фосфофруктокиназа	Мышцы
VIII (болезнь Томсона)	Фосфорилаза	мышцы
IX (болезнь Хага)	Киназа фосфорилазы	Печень
X	ц-АМФ-зависимая киназа фосфорилазы	Печень, мышцы

# СИМПТОМЫ

**Каждый вид имеет свои особенные признаки, но есть и общие симптомы:**

- «кукольное лицо»;
- гепатоспленомегалия (одновременное увеличение селезенки и печени);
- цирроз;
- желтуха;
- кахексия (крайнее истощение организма);
- судороги;
- кома;
- пониженный уровень глюкозы в крови, гиперлипидемия;
- повышение в крови уровня жирных кислот, холестерина, мочевой кислоты

# Гликогеноз



Гепатоспленомегалия

Цирроз

желтуха

Постабсорбтивный период:

Глюкоза  
(Абсорбтивный период)

↓ глюкоза

↑ Кортизол

кома

судороги

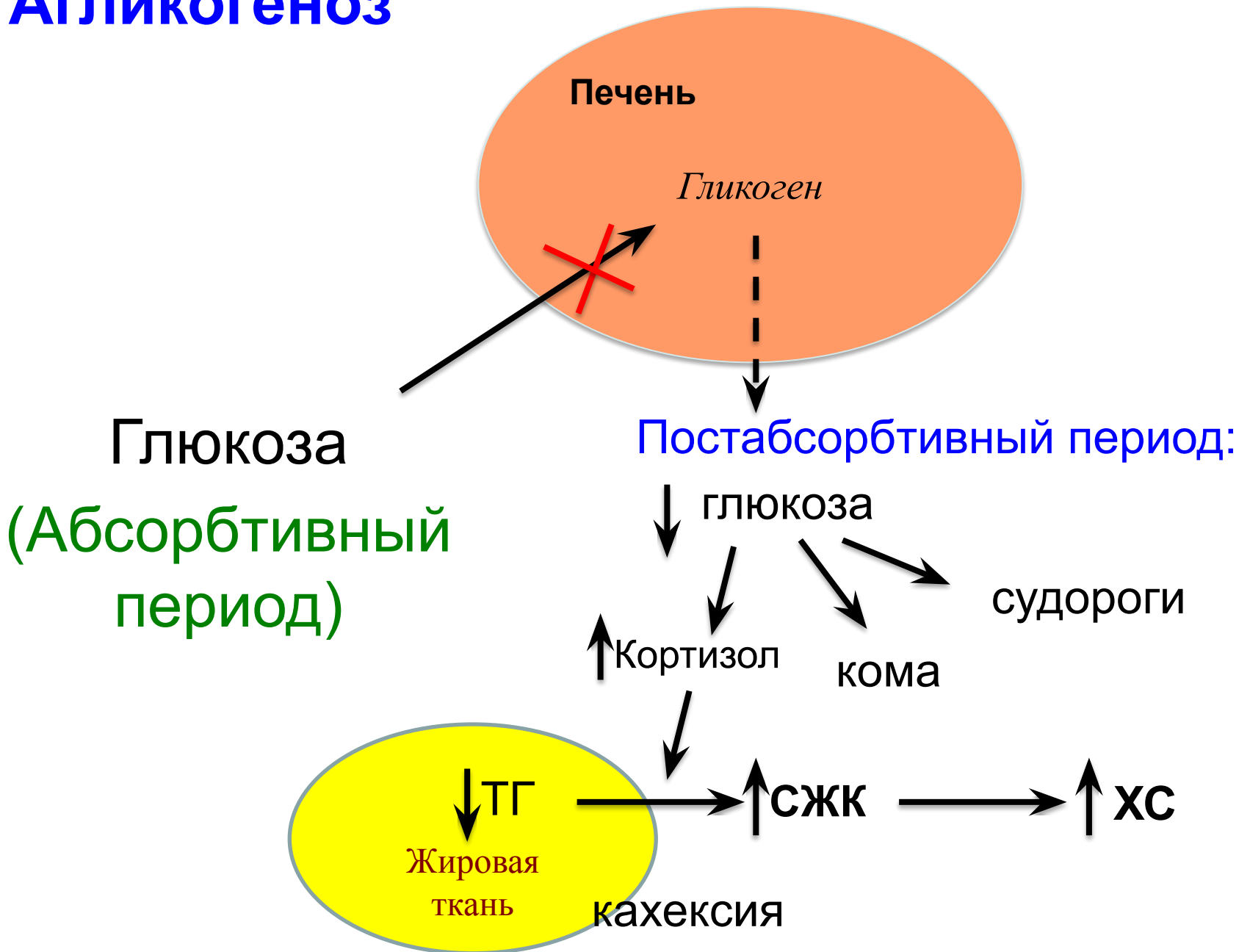


↑ сжк

↑ хс

кахексия

# Агликогеноз



# ГЛЮКОНЕОГЕНЕЗ

- процесс синтеза глюкозы из органических веществ неуглеводной природы
- Локализация в организме – печень (80%), корковое вещество почек (20%)
- Локализация в клетке – цитоплазма, матрикс митохондрий
- **Функция** – поддержание уровня глюкозы в крови в период голодания и физических нагрузок
- **Производительность** - до 80-100г / сут



# Субстраты:

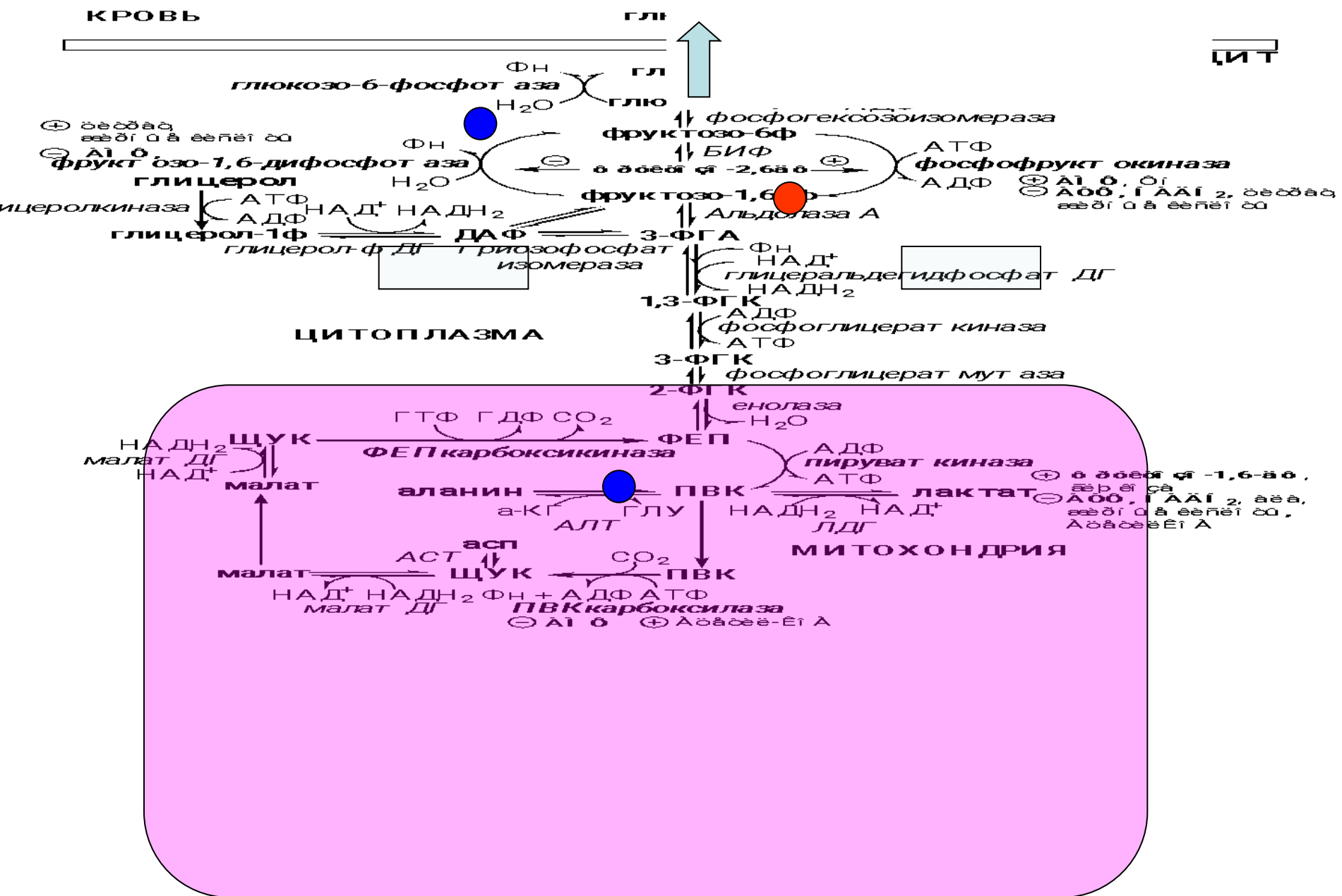
- **Лактат** – продукт анаэробного гликолиза, образуется в эритроцитах и работающих мышцах
- **Глицерол** – высвобождается при гидролизе триглицеридов в жировой ткани (голодание, стресс, физическая нагрузка)
- **Аминокислоты** – образуются в результате распада белков мышц; включаются в ГНГ при голодании, мышечной работе

# Ключевые ферменты ГНГ

1. **Пируваткарбоксилаза** (в митохондриях, содержит биотин, превращает ПВК в ЩУК. Индуктор: глюкагон, адреналин, кортизол. **Репрессор: инсулин**. Ингибитор: АМФ, активатор АцетилКоА.)
2. **Фосфоенолпируваткарбоксикиназа** (в цитоплазме, превращает ЩУК в ФЕП. Индуктор: глюкагон, адреналин, кортизол. **Репрессор: инсулин**)
3. **Фруктозо-1,6-фосфатаза** (дефосфорилирует фруктозо-1,6дф. Индуктор: глюкагон, адреналин, кортизол. Репрессор: инсулин. Ингибирует АМФ, фруктозо-2,6дф. Активатор: цитрат, жирные кислоты)
4. **Гл-6-фосфатаза** (дефосфорилирует глюкозо-6ф. Индуктор: глюкагон, адреналин, кортизол. **Репрессор: инсулин** )

## Участвующие ферменты:

- 1 фермент ЦТК (малат ДГ),
- 8 ферментов обратимых реакций гликолиза





# Гормональная регуляция глюконеогенеза

Осуществляется реципрокно с реакциями гликолиза:

## Инсулин:

индуцирует синтез ключ. ферментов гликолиза  
репрессировывает синтез ключ. ферментов ГНГ

## Глюкагон, кортизол

индуцирует синтез ключ. ферментов ГНГ

репрессировывает синтез ключ. ферментов гликолиза

## Адреналин

активирует гликолиз в мышцах

# аллостерический механизм регуляции на клеточном уровне

- + АМФ, фруктозо-2,6ДФ
- АТФ, НАДН<sub>2</sub>, цитрат, жир. кислоты, аланин, Ацетил-КоА

**ГЛИКОЛИЗ**



**ГЛЮКОНЕОГЕНЕЗ**

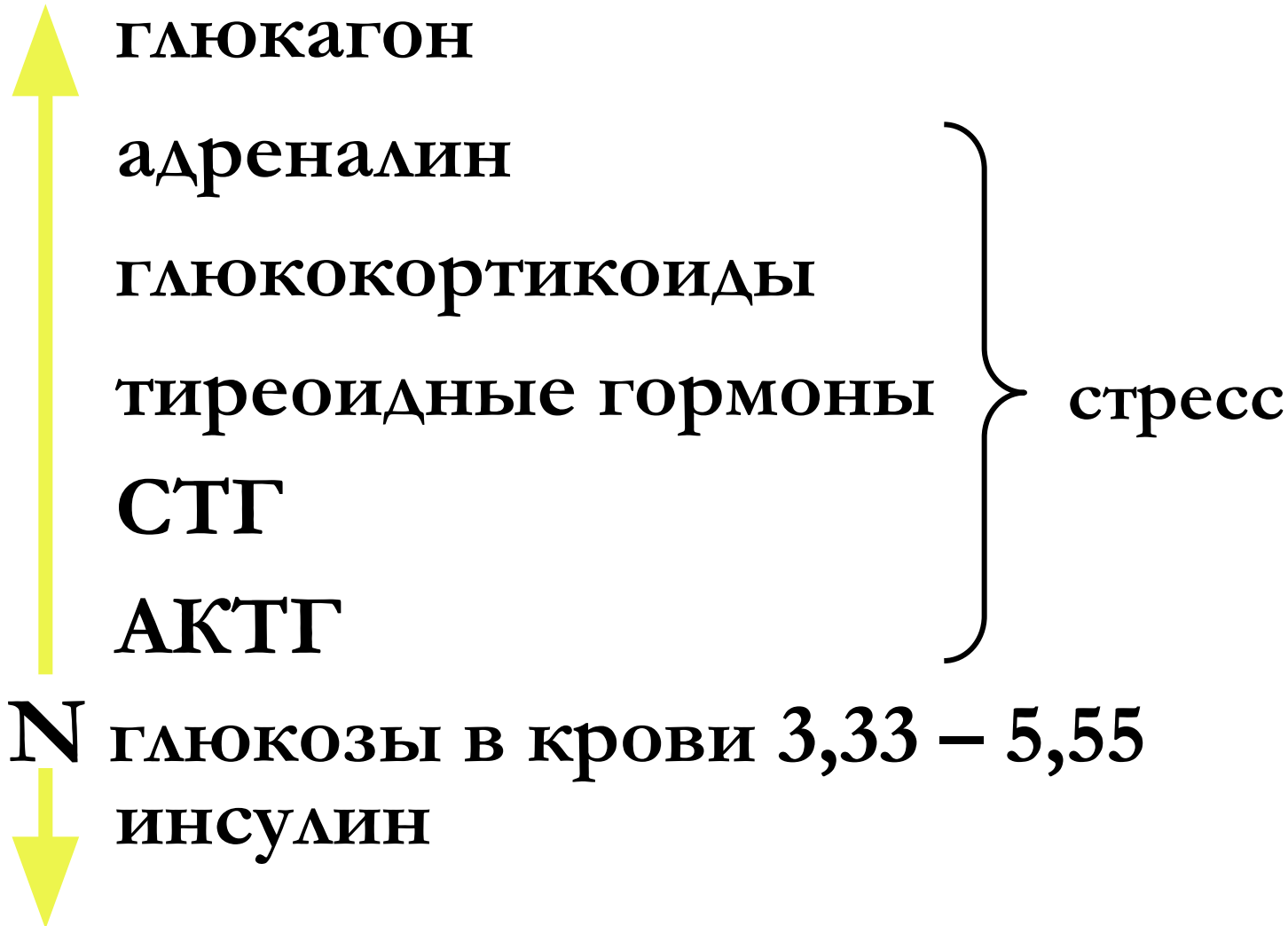
- + ацетил-КоА
- АМФ, фруктозо-2,6ДФ

# Регуляция обмена углеводов

## Уровни

- **Центральный** (нейроэндокринный)  
[адреналин, глюкагон, глюкокортикоиды, инсулин]
- **Межорганный** (цикл Кори, глюкозо-аланиновый цикл)
- **Клеточный = метаболический**  
(аллостерическая регуляция, ковалентная модификация, индукция-репрессия)

# Центральный уровень





**Переутомление  
Голодание**

*инсулин*



5,5 ммоль/л.

*Гипергликемия*

6,1 ммоль/л.

*Адреналин*



**Стресс**



3,3 ммоль/л.

*Гипогликемия*



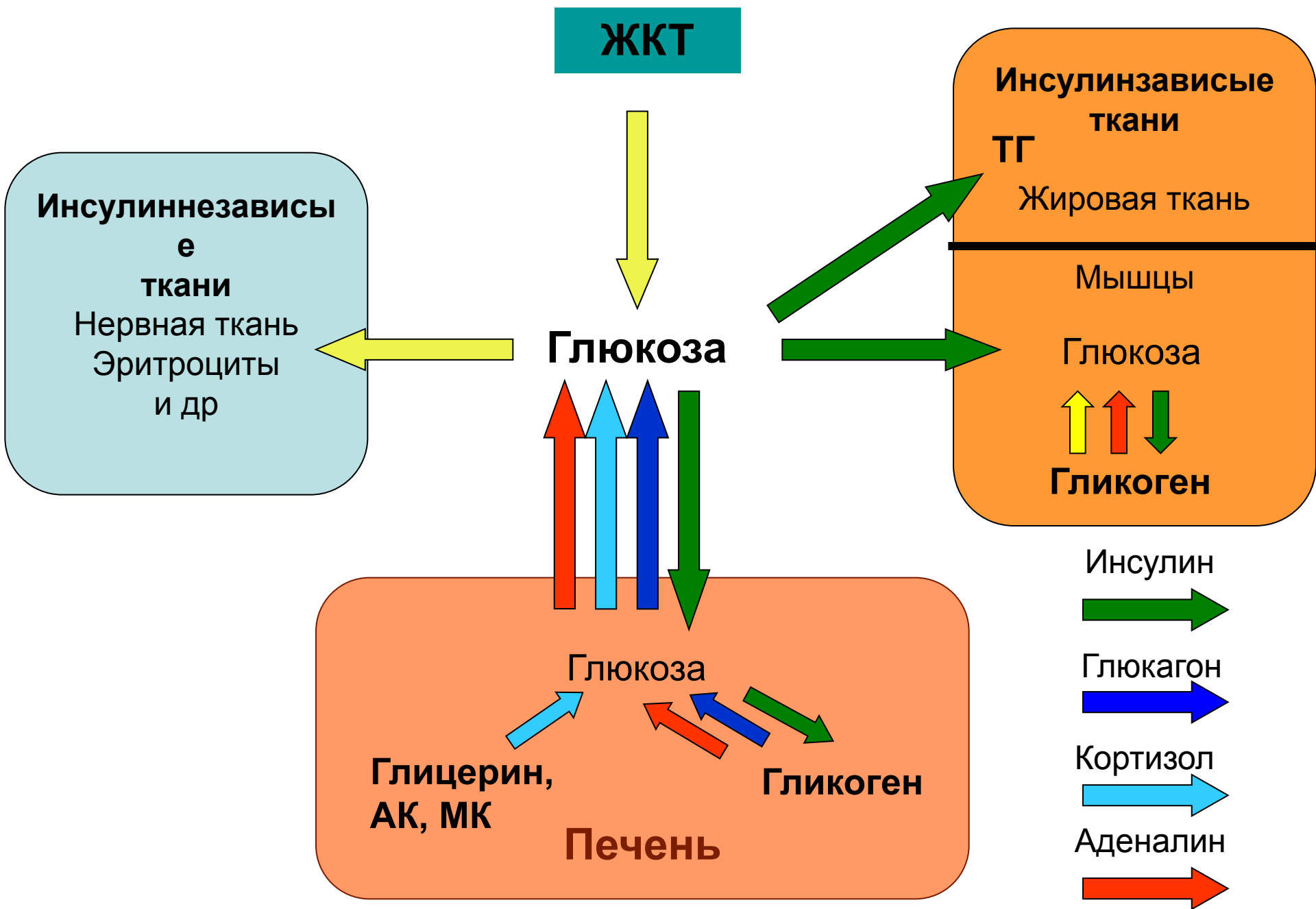
*Глюкагон*

**Глюкоза  
в норме**

3,3 ммоль/л.

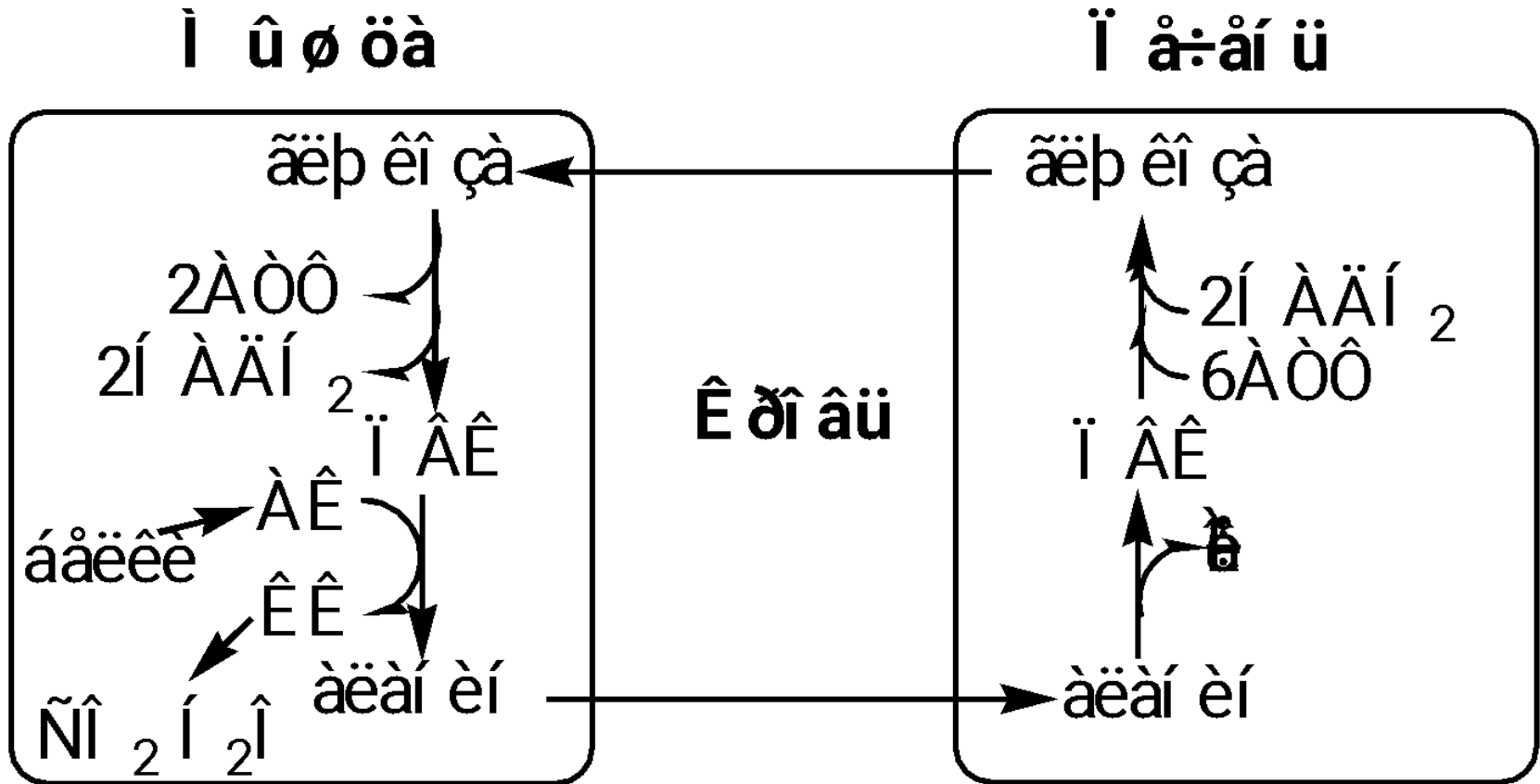
*Кортизол  
Глюкагон*





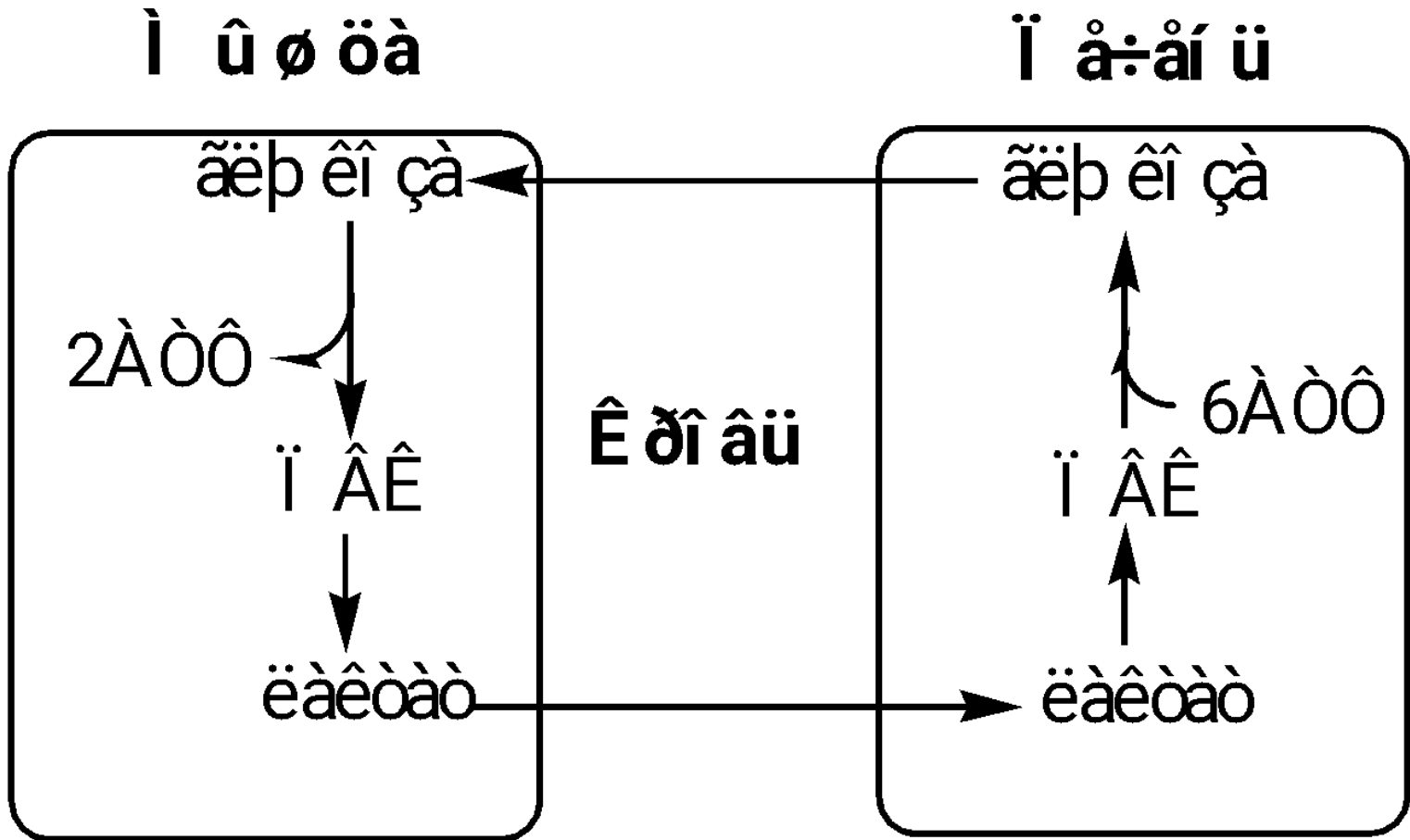
# Межорганный уровень

## Глюкозо-аланиновый цикл



Работает при голодании

# Глюкозо-лактатный цикл



Работает при гипоксии

# Клеточный (метаболический)

Пример аллостерического механизма регуляции на клеточном уровне

+ АМФ, фр-2,6дф, фр-1,6дф

- АТФ, НАДН<sub>2</sub>, цитрат, ЖК, аланин, ац-КоА

ГЛИКОЛИЗ



ГЛЮКОНЕОГЕНЕЗ

+ ац-КоА

- АМФ, фр-2,6дф

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !**