

# Хімія та обмін вуглеводів

# Функції вуглеводів

## ■ Енергетична

(при окисненні 1 г вуглеводів виділяється  $\approx 16,9$  кДж енергії)

## ■ Структурна

(в комплексі з білками і ліпідами вони входять до складу біомембран всіх клітин)

## ■ Захисна

(кислі гетерополісахариди виконують роль біологічного мастильного матеріалу, вистилаючи поверхні суглобів, які труться, слизової травних шляхів, носу, бронхів, трахеї та ін.)

## ■ Входять до складу НК і коферментів

## ■ Утворюють змішані біополімери

(глікопротеїни слугують маркерами в процесах розпізнавання молекулами і клітинами один одного, визначають антигенну специфічність, обумовлюють відмінності груп крові, виконують рецепторну, каталітичну та інші функції)

**ВУГЛЕВОДИ** залежно від здатності до гідролізу ділять на:

## □ **Моносахариди**

а) від кількості атомів Карбону в ланцюзі

- триози
- тетрози
- пентози
- гексози і т.д.

б) від функціональної групи

- альдозы
- кетозы

## □ **Олігосахариди**

а) дисахариди

- відновлюючі
- невідновлюючі

б) трисахариди та ін.

## □ **Полісахариди**

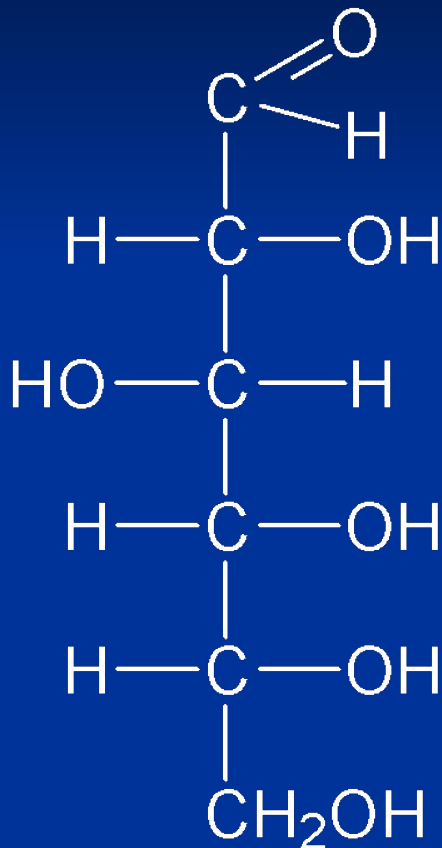
а) гомополісахариди

б) гетерополісахариди

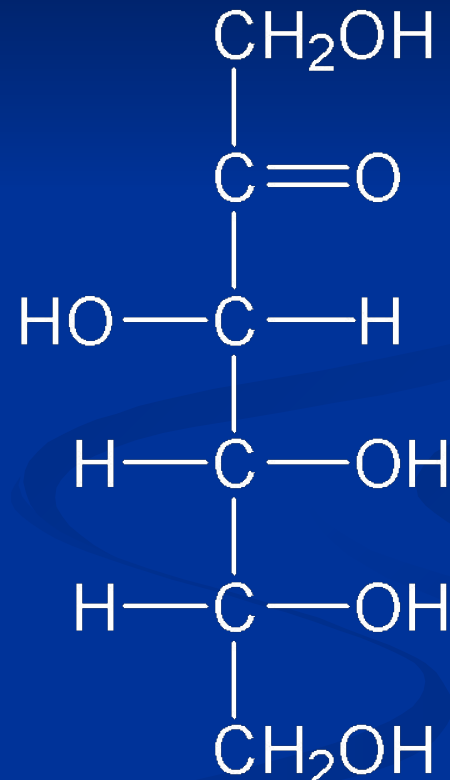
# Моносахариди

- Моносахариди – похідні багатоатомних спиртів, які містять карбонільну групу. В залежності від положення в молекулі карбонільної групи моносахариди ділять на *альдози* і *кетози*.
- *Альдози* містять функціональну альдегідну групу —  $\text{HC}=\text{O}$ , тоді як *кетози* містять *кетонну* групу  $>\text{C}=\text{O}$ . Назва моносахариду залежить від кількості атомів Карбону, наприклад *альдотріози*, *кетотріози*, *альдогексози*, *кетогексози* і т.д.

# Альдозы і кетозы



**Глюкоза (альдоза)**



**Фруктоза (кетоза)**

- Моносахариди зображуються проєкційними формулами Фішера, тобто у вигляді проєкції тетраедричної моделі атомів Карбону на площину креслення. Вуглецевий ланцюг в них записується вертикально.
- У альдоз зверху розташовують альдегідну групу, у кетоз – сусідню з карбонільною первинноспиртову групу. Атом Гідрогену і гідроксильну групу біля асиметричного атому Карбону розташовують на горизонтальній прямій.

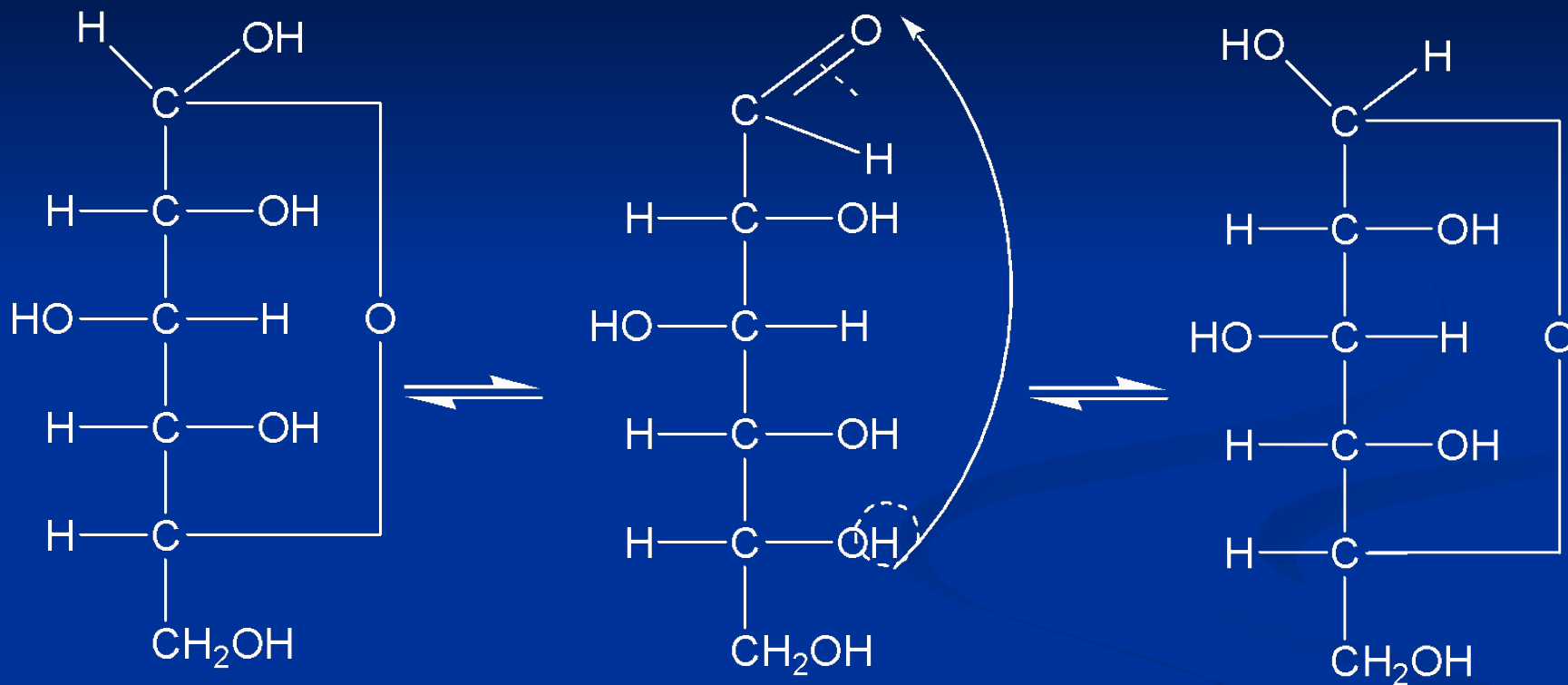
# Ізомерія моносахаридів

- Ізомерія моносахаридів обумовлена:
  - 1) наявністю альдегідної або кетонної групи;
  - 2) наявністю асиметричних атомів Карбону;
  - 3) існуванням таутомерії.
- Моносахариди, як і інші сполуки з асиметричними атомами Карбону, існують у вигляді двох оптичних ізомерів D- і L-форм.

Таутомерія – здатність речовин існувати в декількох формах, які переходять одна в одну і знаходяться в динамічній рівновазі.

- Моносахариди в розчинах можуть утворювати декілька просторових структур: лінійну – вуглеводи з коротким вуглецевим ланцюгом, і циклічну – з довгим вуглецевим ланцюгом.
- Циклізація вуглеводів може відбуватися в сторону утворення кільця піранозної або фуранозної форм.



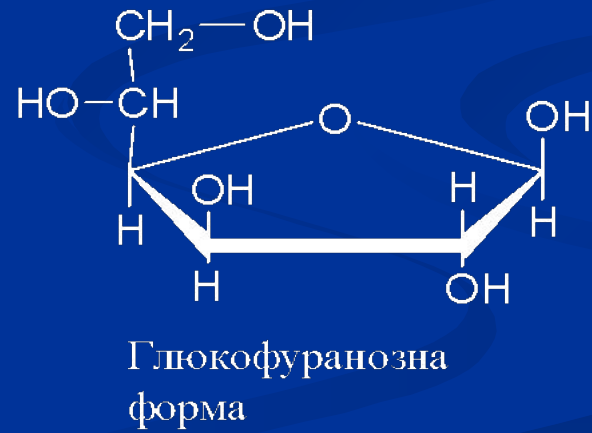
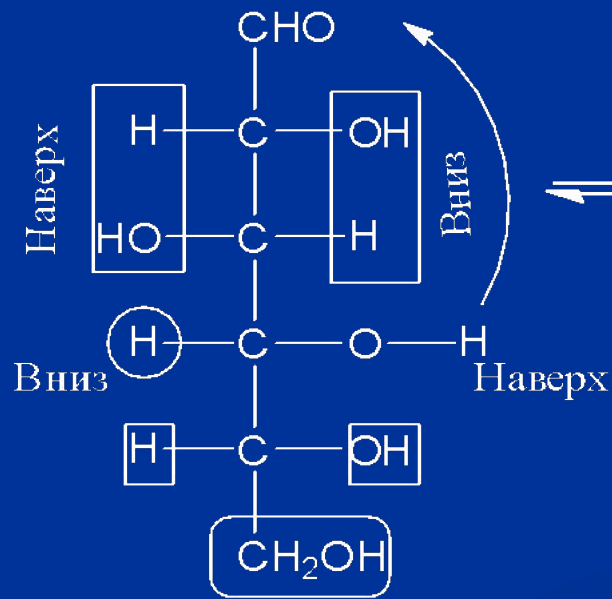
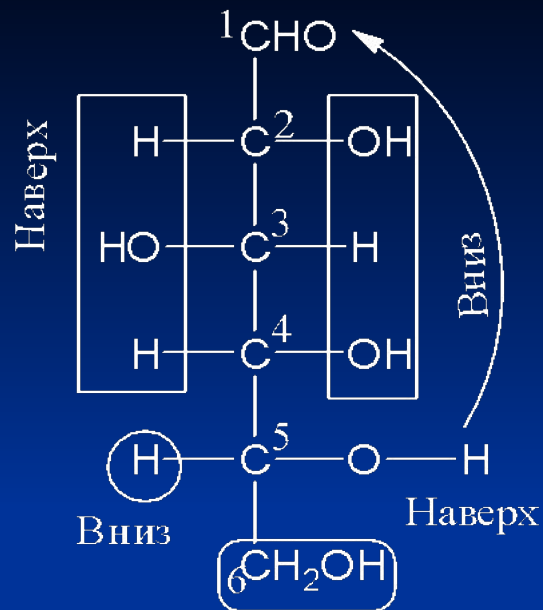


*$\alpha$ -D-глюкопіраноза*

*D-глюкоза*

*$\beta$ -D-глюкопіраноза*

- Моносахариди, які мають циклічну форму, зручно відображати перспективними формулами Хеуорса. Вони представляють собою ідеалізовані п'яти- і шестичленні цикли з атомом Оксигену в циклі, що дає можливість бачити взаємне розташування всіх замісників відносно площини кільця.
- Для побудови формул Хеуорса необхідно в першу чергу пронумерувати атоми Карбону моносахаридів в проекції Фішера і повернути її направо так, щоб ланцюг атомів Карбону зайняв горизонтальне положення.



# Дисахариди

- Це складні вуглеводи, молекула яких складається з двох (однакових або різних) залишків моносахариду.
- Дисахариди ділять на дві групи: відновлюючі та невідновлюючі.

## Невідновлюючі дисахариди (*сахароза, трегалоза*)

- Це дисахариди, утворені в результаті виділення води за рахунок напівацетальних гідроксилів обох моносахаридних молекул.
- Сахароза (буряковий або тростинний цукор), міститься в цукровій тростині, цукровому буряці (до 28% від сухої речовини), соках рослин і плодах. Молекула сахарози побудована з  $\alpha$ , D- глюкопіранози та  $\beta$ , D- фруктофуранози.
- Трегалоза, або мікоза (грибний цукор) міститься в багатьох грибах, в ріжках (хворобливих утвореннях на зернових культурах, що визиваються паразитарним грибком), а також у дріжджах. Представляє собою  $\alpha$ -D-глюкопіранозил- $\alpha$ -D-глюкопіранозид.

# Відновлюючі дисахариди

(мальтоза, целобіоза, лактоза)

- Це дисахариди, утворені в результаті виділення води за рахунок напівацетального гідроксилу однієї з моносахаридних молекул і будь-якого зі спиртових гідроксилів другої молекули (найчастіше біля 4-го атому Карбону).
- Мальтоза (солодовий цукор), є основним продуктом розщеплення крохмалю, під дією ферменту  $\beta$ -амілази, яка виділяється слинною залозою. Також міститься в солоді, тобто пророщених, а потім висушених і подрібнених зернах хлібних злаків, складається з двох залишків  $\alpha$ -глюкопіранози, які зв'язані (1-4)-глікозидним зв'язком.

- Целобіоза утворюється при неповному гідролізі полісахариду целюлози (клітковини). Целобіоза побудована з двох молекул D-глюкози, які зв'язані між собою  $\beta(4-1)$ -глікозидним зв'язком.
- Лактоза (молочний цукор), міститься в молоці (4-5%) і утворюється в сироварній промисловості з молочної сироватки після відокремлення сиру (звідси її назва молочний цукор). Побудована з  $\alpha$ -D-глюкози і  $\beta$ -D-галактози, які зв'язані  $\beta(4-1)$ -глікозидним зв'язком.

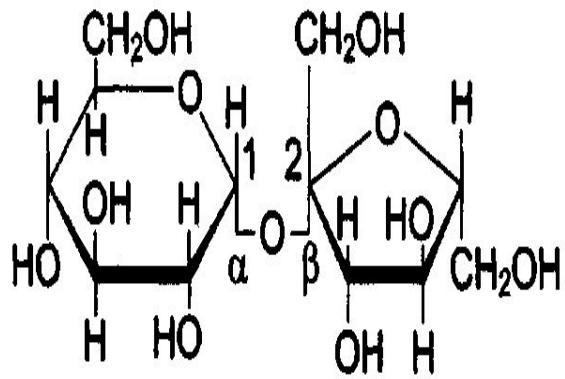
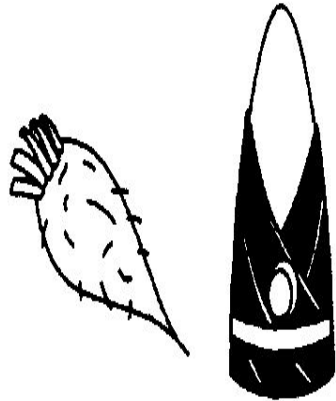
# Дисахариди їжі

Найпоширеніші дисахариди: сахароза (цукор), лактоза, мальтоза

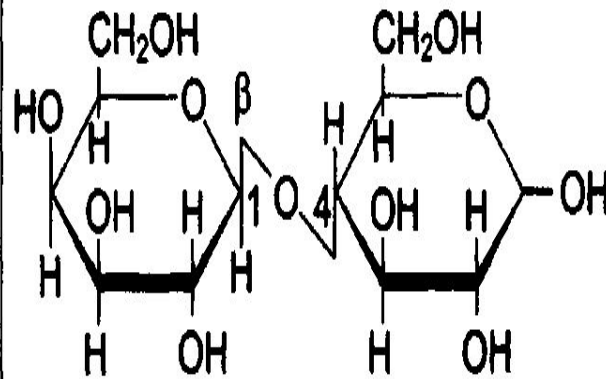
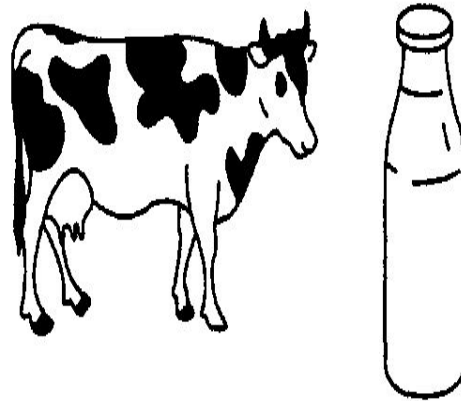




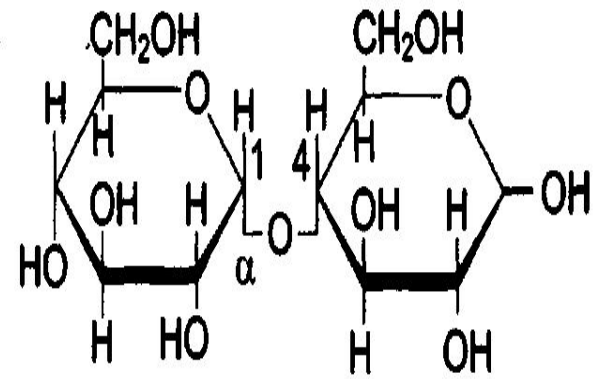
# Дисахариди їжі



Сахароза



Лактоза



Мальтоза

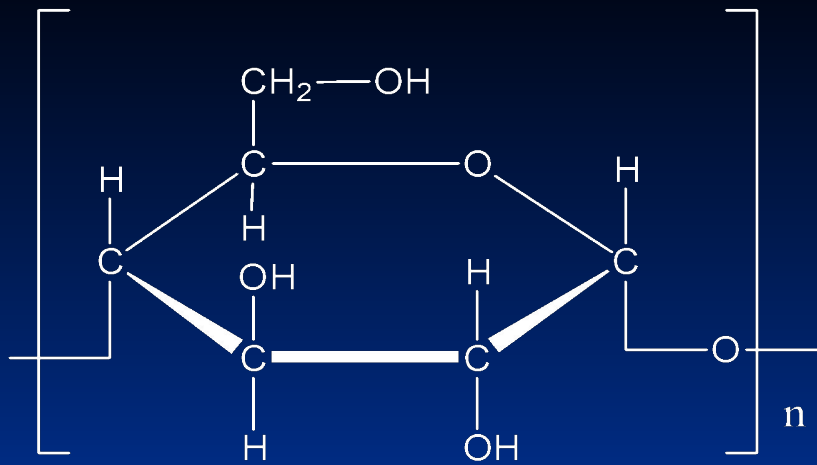
# Полісахариди

- **Полісахариди** – це складні вуглеводи, молекули яких складаються з великої кількості моносахаридів (більше 10).
- За будовою полісахариди ділять на гомополісахариди і гетерополісахариди.
- *Гомополісахариди (крохмаль, клітковина, глікоген)* – складні вуглеводи, в молекулі яких безліч моносахаридних залишків одного виду.
- *Гетерополісахариди (хондроїтинсульфатна кислота, гіалуронова кислота, гепарин)* – складні вуглеводи, побудовані з багатьох різних залишків моносахаридів та їх похідних.

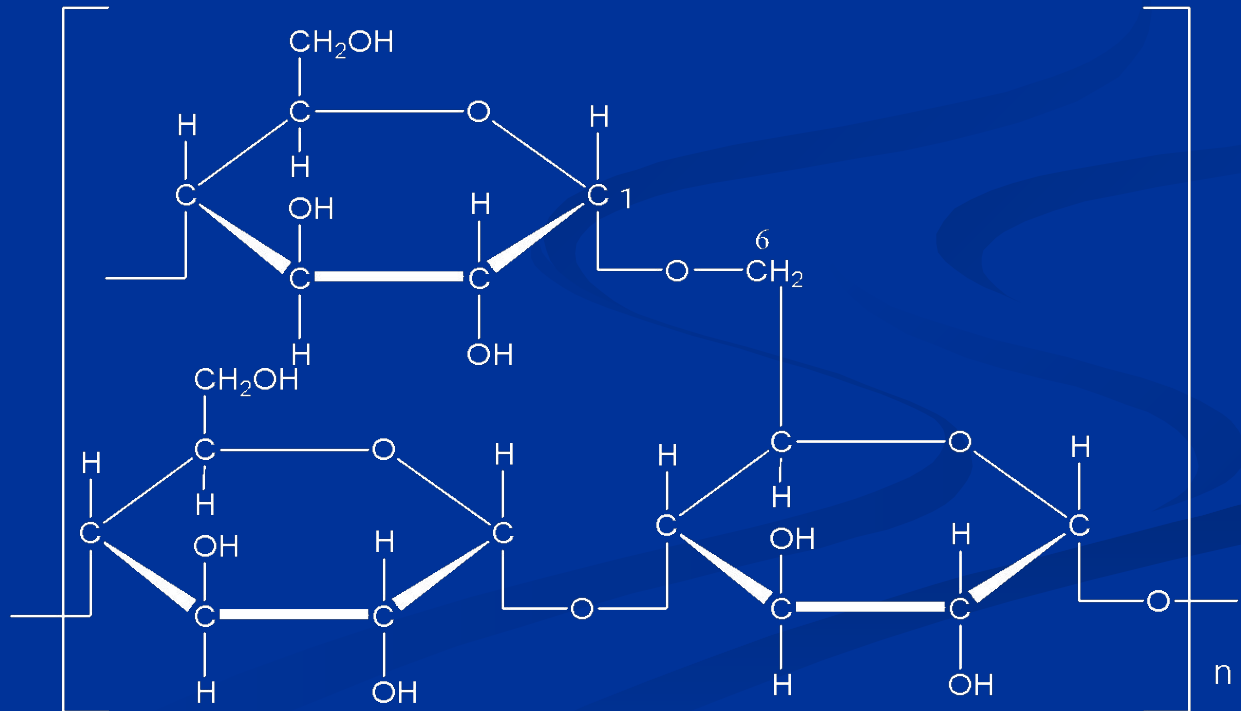
# Крохмаль

- представляє собою суміш двох полісахаридів, побудованих з  $\alpha$ , D-глюкопіранозних ланок: амілози (10-20%) і амілопектину (80-90%).
- Крохмаль утворюється в рослинах в період фотосинтезу та відкладається у вигляді "резервного" вуглеводу в коренях, бульбах та зернах.
- Крохмаль – це білий порошок, що складається з дрібних зерен, не розчинний в холодній воді. При обробці крохмалю теплою водою можна виділити дві фракції: фракцію, яка розчинна в теплій воді та складається з полісахариду амілози, і фракцію, що лише набухає в теплій воді з утворенням клейстеру та складається з полісахариду амілопектину.

■ Амілоза:

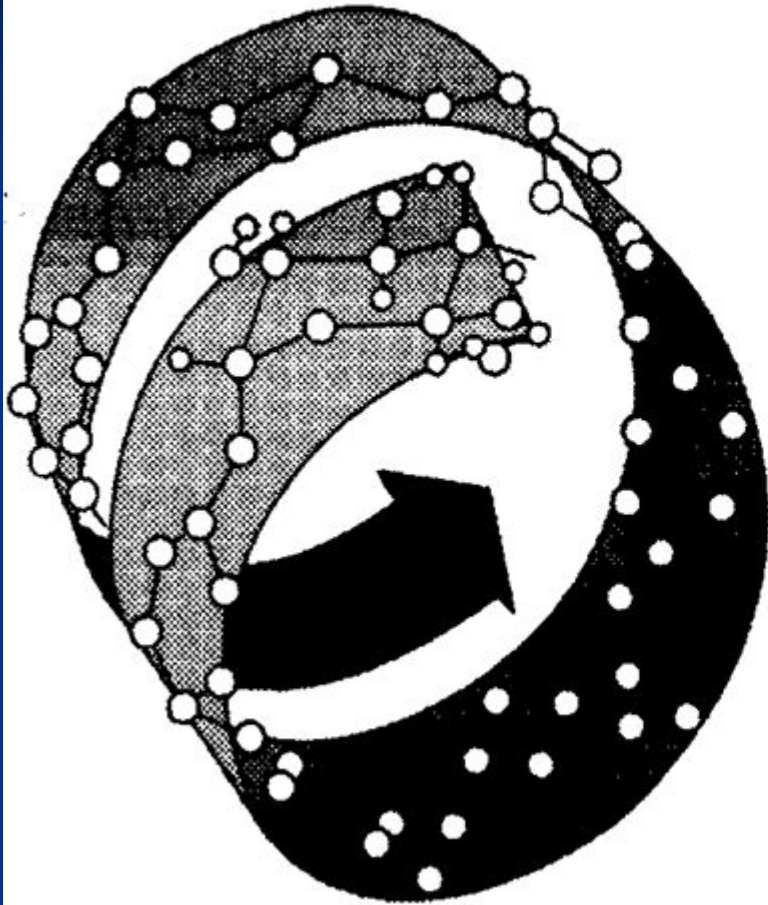


Амілопектин:

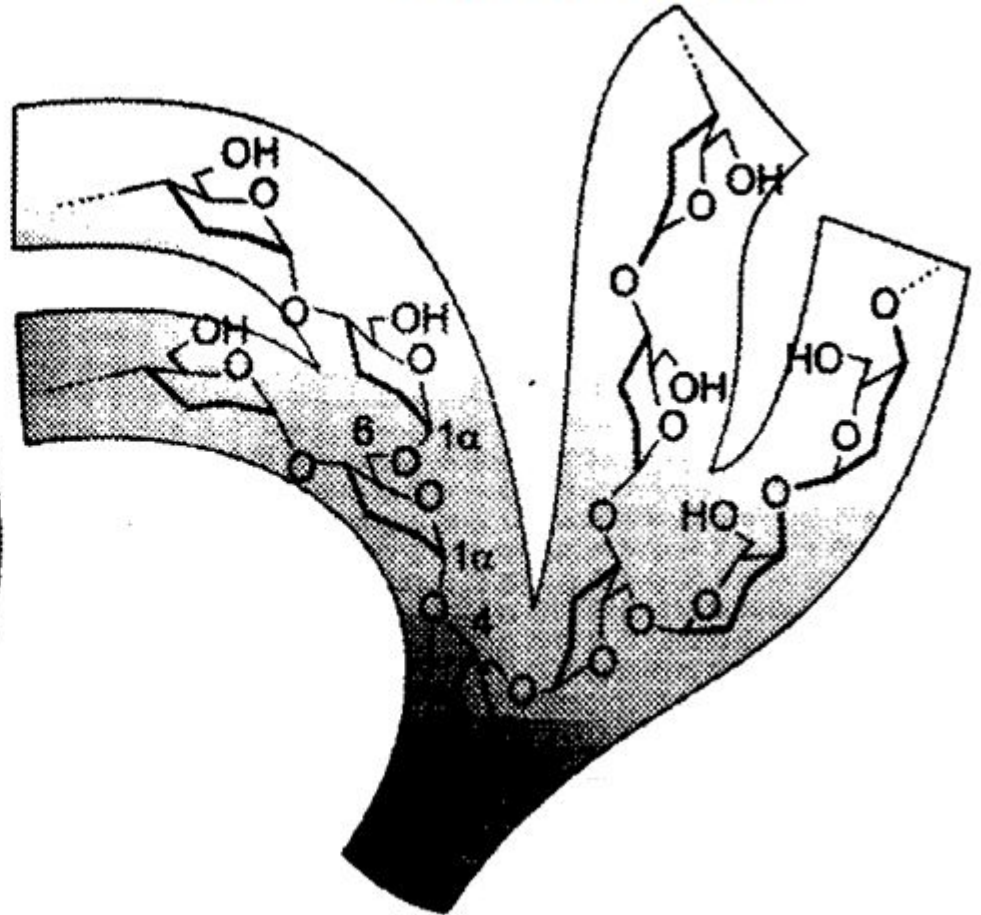


# Будова крохмалю

1. АМІЛОЗА 20%

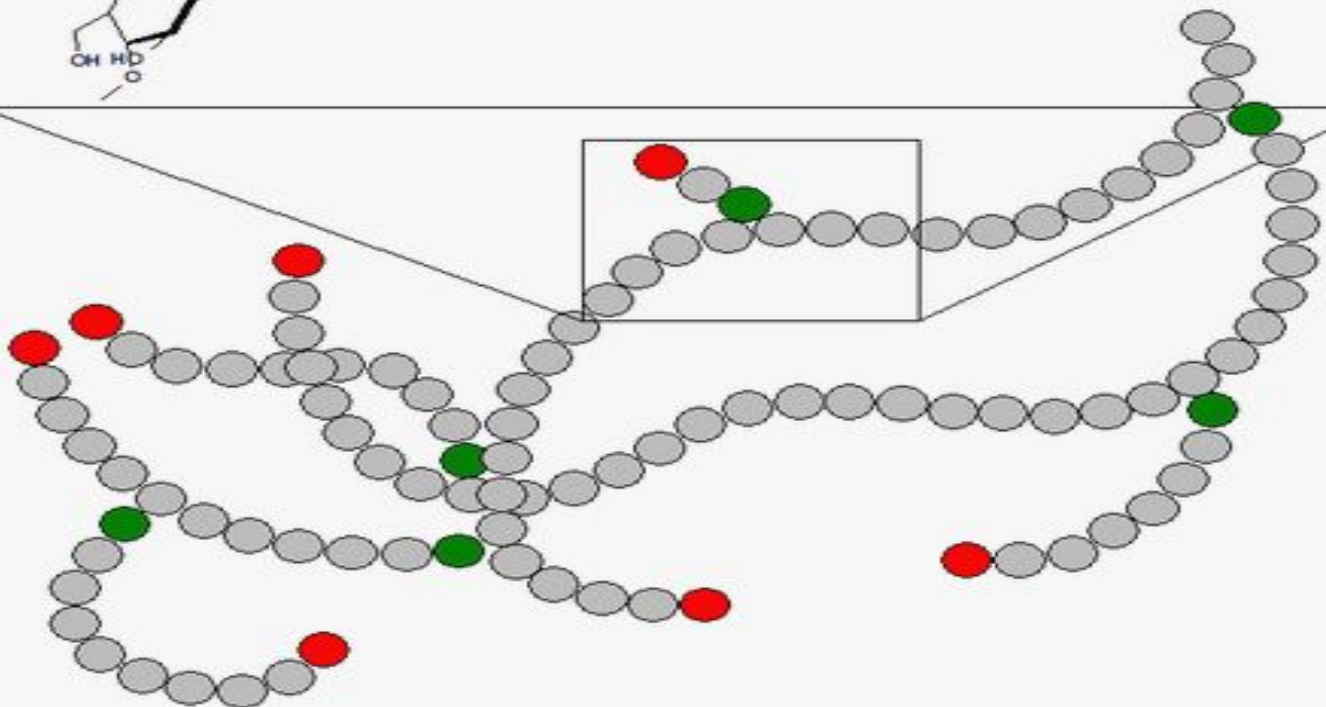
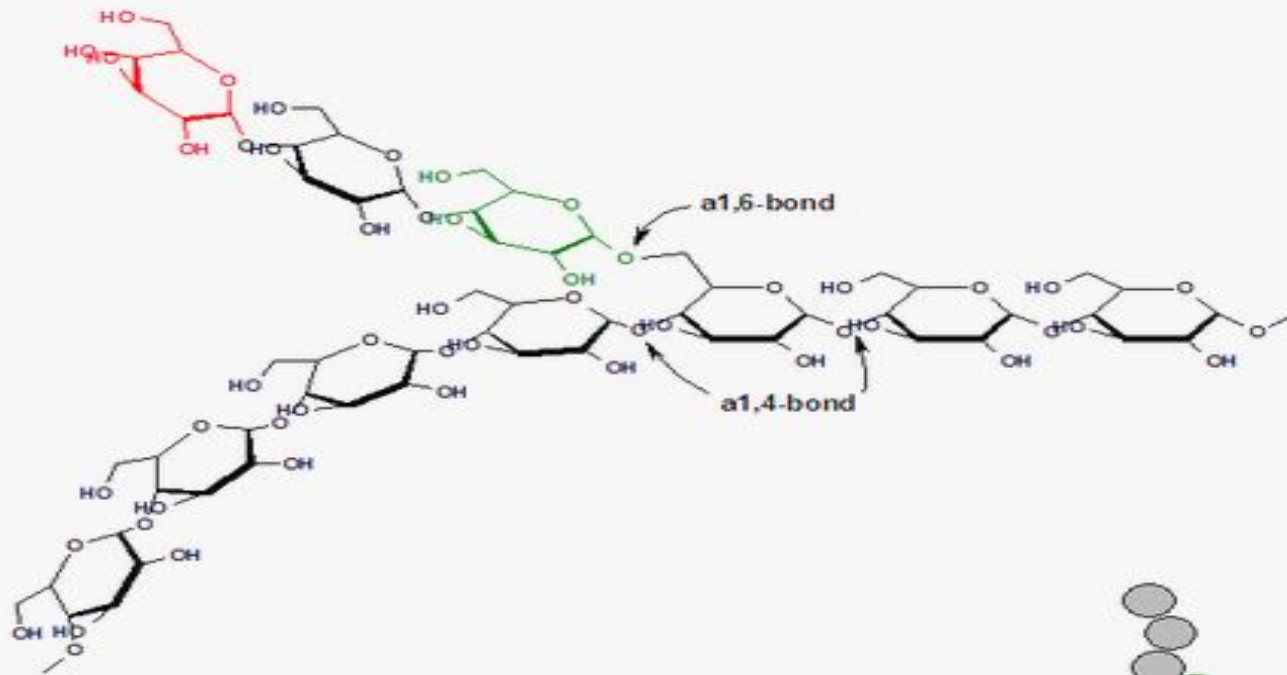


2. АМІЛОПЕКТИН 80%



# Глікоген

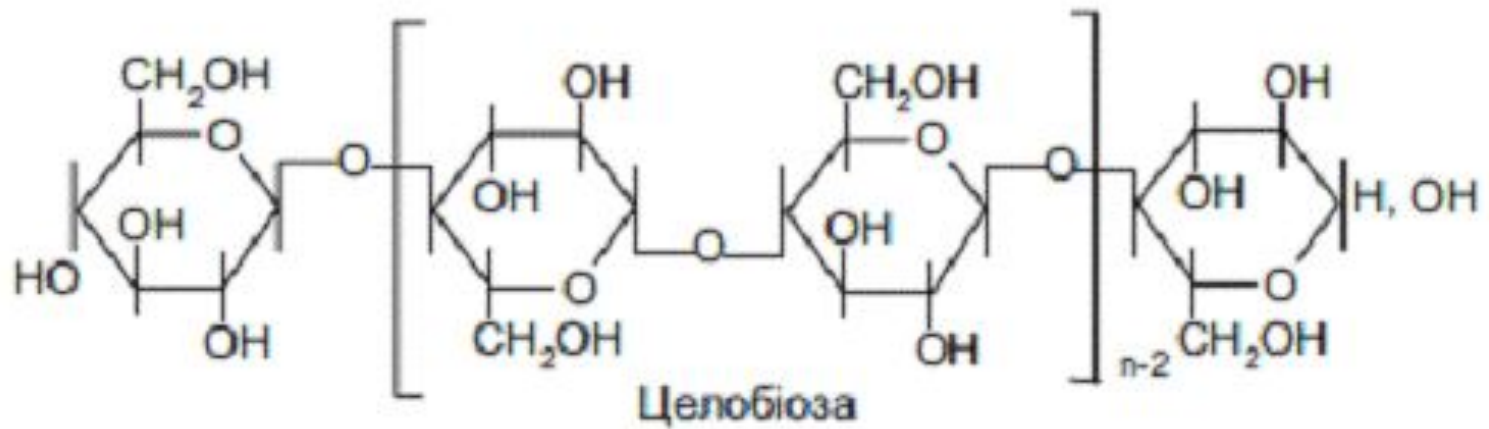
- полісахарид, утворений залишками глюкози; основний запасний вуглевод людини і тварин.
- Глікоген (також іноді його називають тваринним крохмалем, не дивлячись на неточність цього терміну) є основною формою зберігання глюкози в клітинах тварин. Відкладається у вигляді гранул у цитоплазмі в багатьох типах клітин (головним чином печінки та м'язів). Глікоген утворює енергетичний резерв, який може бути швидко мобілізовано, за необхідності відновити раптову нестачу глюкози.



# Целюлоза (клітковина)

- найбільш розповсюджений рослинний полісахарид. Він має велику механічну міцність і виконує роль опорного матеріалу рослин. Деревина містить 50-70% целюлози, бавовна представляє собою майже чисту целюлозу.
- Як і в крохмалю, структурною одиницею целюлози є D-глюкопіраноза, ланки якої зв'язані (1-4)-глікозидними зв'язками. Однак від крохмалю целюлоза відрізняється  $\beta$ -конфігурацією глікозидних зв'язків між циклами і строго лінійною будовою.





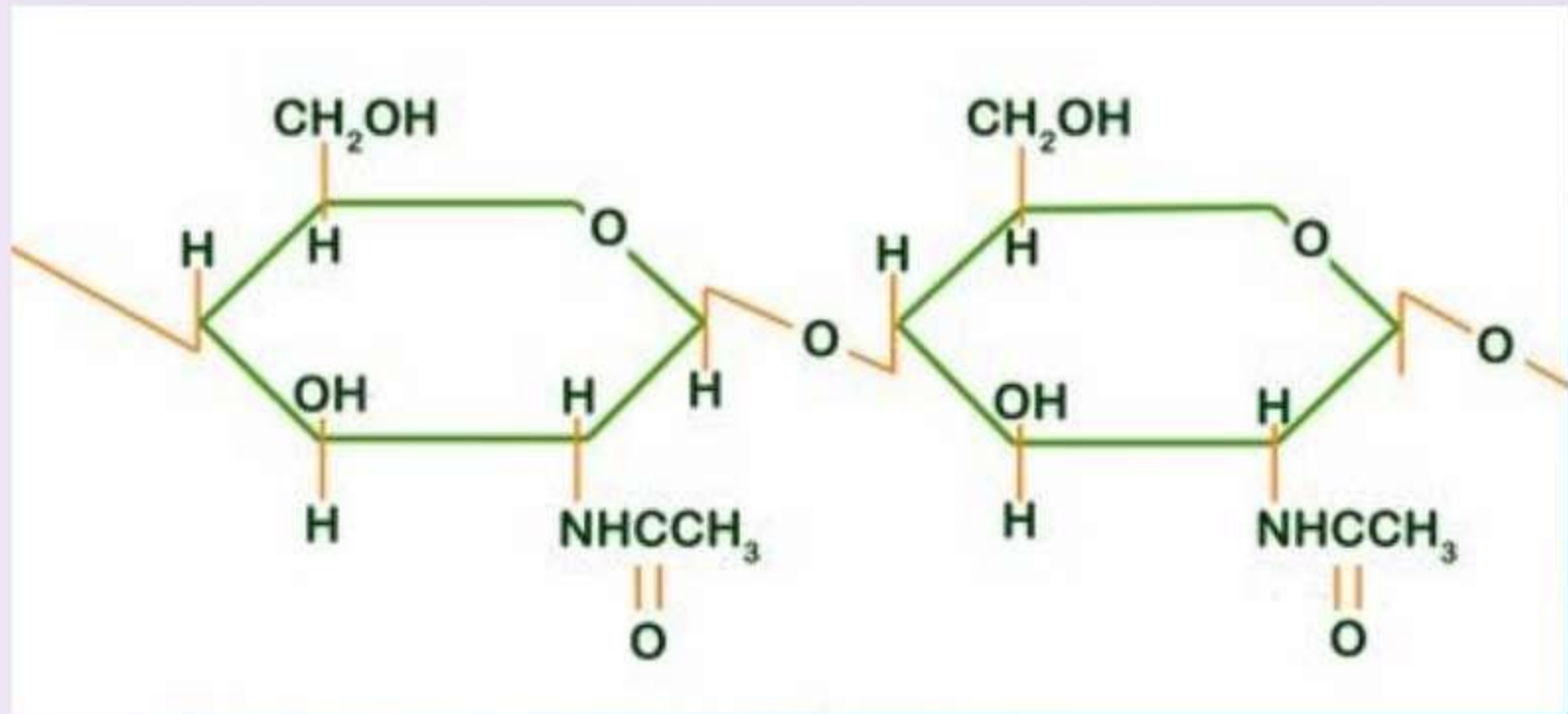
Будова целюлози



# Хітин

- (фр. *chitine*, від грец. *chiton*: хітон - одяг, шкіра, оболонка) – природна сполука з групи нітрогенвмісних полісахаридів.  
Хімічна назва: полі-N-ацетил-D-глюкозо-2-амін, полімер із залишків N-ацетилглюкозаміну, зв'язаних між собою  $\beta$ -(1,4)-глікозидними зв'язками.

# ХІТИН



Основний структурний полісахарид клітинних стінок більшості грибів; основа зовнішнього скелета членистоногих

- Хітозан застосовують в якості корму для тварин, для виготовлення продуктів харчування і косметики, використовують в продуктах біомедицини, в сільському господарстві та для захисту оточуючого середовища. Хітозан зв'язує вільні радіонукліди і виводить їх з організму людини.
- Хітозан має антибактеріальні, протигрибкові та антивірусні властивості.
- На основі волокноутворюючої здатності хітину і хітозану були створені хірургічні шовні матеріали, які саморозсмоктуються. Їх використовують як замітники кровоносних судин, катетерів, шлангів. Хітозанові матеріали не викликають алергічних реакцій і не втрачають своєї міцності.



# Інулін

- $(C_6H_{10}O_5)_n$  — органічна речовина з групи полісахаридів, полімер D-фруктози.
- Інулін — білий порошок, який легко розчиняється в гарячій воді і важко в холодній. Молекулярна маса 5000—6000. Має солодкий смак. При гідролізі під дією кислот і ферменту інулази утворює D-фруктозу та невелику кількість глюкози.
- Використовується як замітник крохмалю і цукру при цукровому діабеті.

## Вміст інуліну в продуктах



Топінамбур - 14-18%



Часник - 9-16%



Цибуля - 2-6%



Корінь цикорію - 15-20%



Жито - 0,5-1,5%



Ячмінь - 0,5-1%



Банан - 0,3-0,7%



# Гетерополісахариди

- Це складні вуглеводи, молекули яких побудовані із залишків різних моносахаридів, їх похідних та інших сполук.

# Гіалурино́ва кислота

■ Це гетерополісахарид, побудований із залишків молекул глюкуронової та оцтової кислот, глюкозаміну. Структурною одиницею вуглеводу є  $\alpha$ -глюкуронідо-*N*-ацетилглюкозамін.

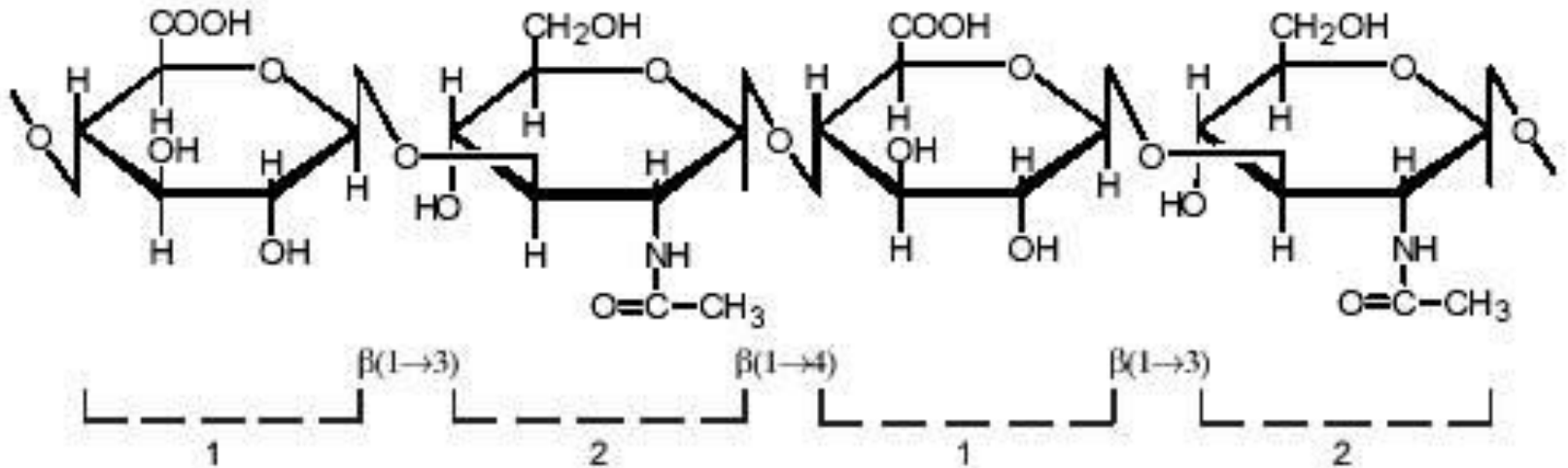


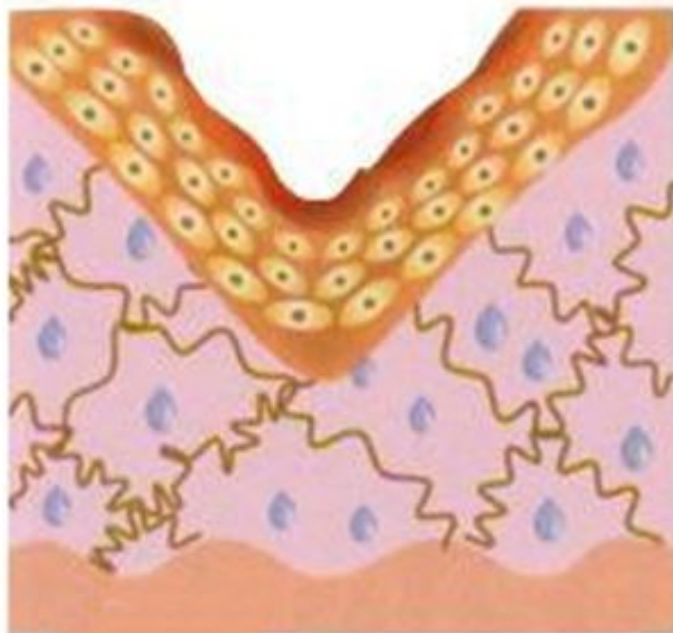
Рис. 21.5. Дисахаридні одиниці в молекулі гіалуринової кислоти:

1 — залишок *D*-глюкуронової кислоти; 2 — залишок *N*-ацетилглюкозаміну.

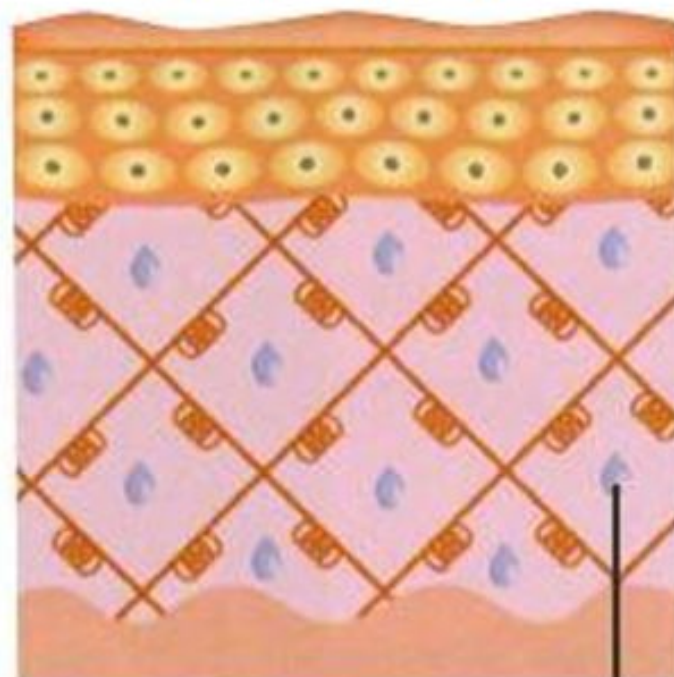
- Гіалуронова кислота є хімічною основою склоподібного тіла ока, пупкового канатику, синовії, блискучої оболонки яйцеклітини, капсул деяких мікробів, її багато в клітинах деяких пухлин. Розчини гіалуронової кислоти дуже в'язкі.
- В тканинах виконує роль сполуки, що «склеює, цементує», слугує бар'єром, який оберігає клітини від проникнення в них мікробів та отруйних речовин, приймає участь в регуляції надходження в клітини води та інших сполук, як поліелектроліт регулює обмін іонів. Обмін гіалуронової кислоти порушується при багатьох патологічних станах: мікседемі, ревматизмі, бактеріальних інфекціях.

# ВМІСТ ВОЛОГИ У ШКІРІ

Шкіра з низьким вмістом  
гіалуронової кислоти



Шкіра з високим вмістом  
гіалуронової кислоти



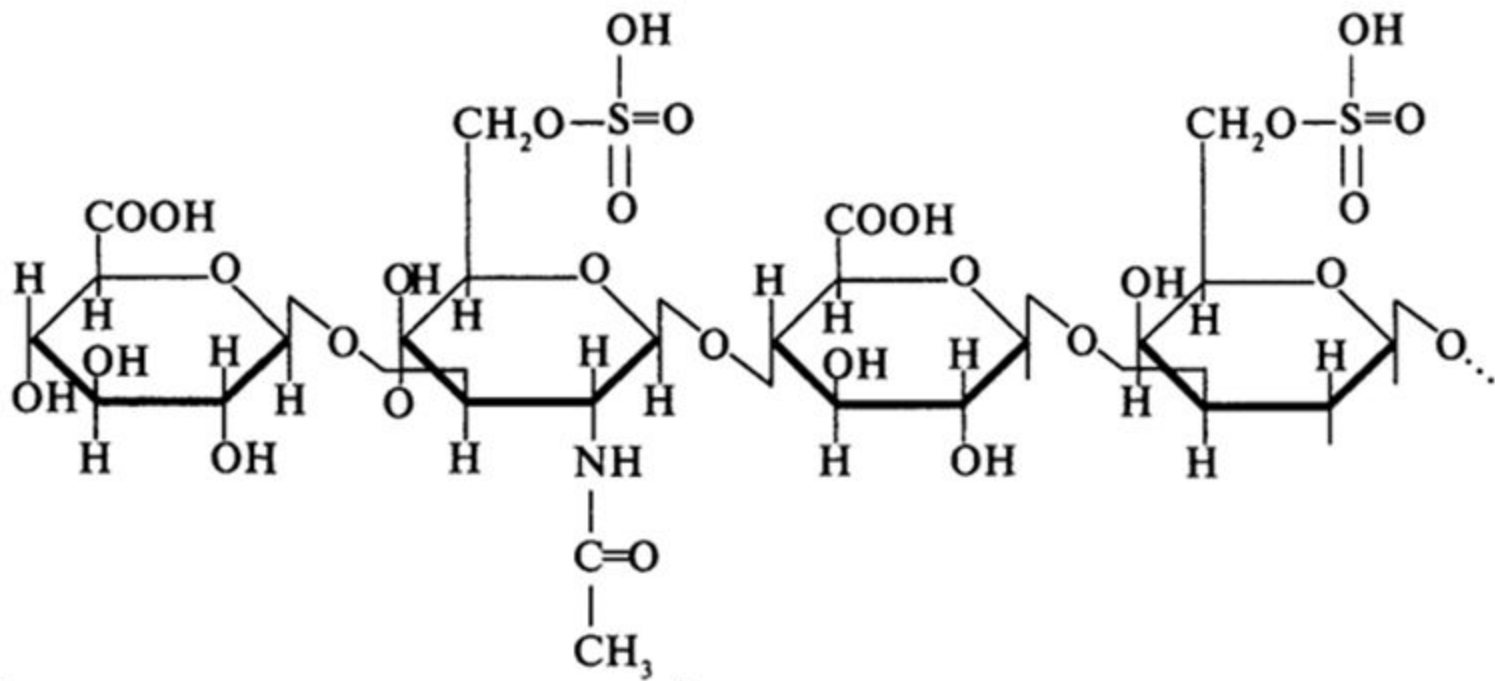
Гіалуронова кислота

епідерміс

дерма

# Хондроїтинсульфатна кислота

- Є продуктом полімеризації N-ацетилгалактозамінсульфату і глюкуронової кислоти, з'єднаних між собою  $\beta$ -1,3- і  $\beta$ -1,4-глікозидними зв'язками.



дисахаридна ланка, що повторюється

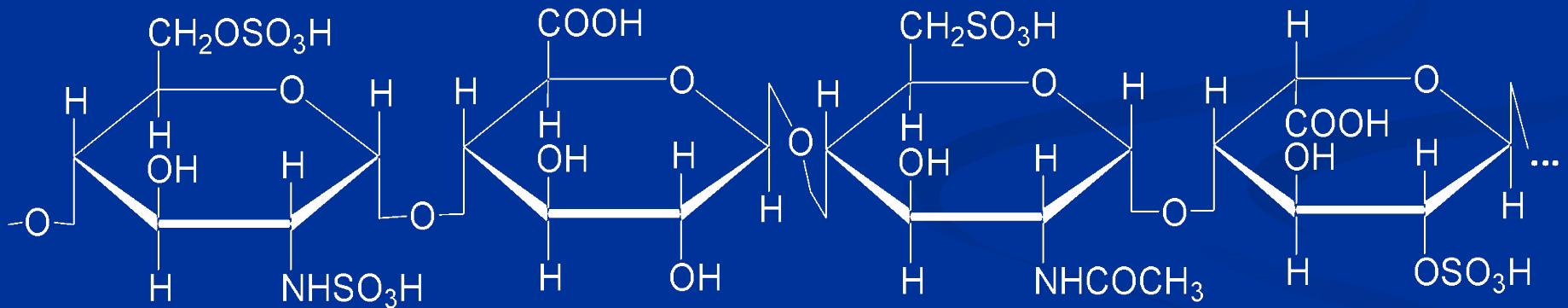
- Хондроїтинсульфатна кислота – обов'язкова складова частина хрящів (до 40% сухої маси), кісток, основної речовини сполучної тканини, серцевих клапанів, стінок кровоносних судин, шкіри та ін. В організмі виконує опорні функції. Приймає участь в обміні іонів і регуляції надходження поживних речовин в клітини.



АПТЕКА 9:1:1

# Гепарин

- Молекула цієї речовини утворена залишками  $\alpha$ -Д-глюкозаміну, глюкуронової та сульфатної кислот.





- Гепарин – білий аморфний порошок, розчинний у воді, стійкий до нагрівання. В організмі виробляється тучними клітинами і частково базофілами. Пригнічує утворення тромбокінази та інактивує тромбін, зменшує вміст у крові холестерину, знижує артеріальний тиск.
- Багато гепарину міститься в тканинах печінки (до 100 мг на 1 кг маси), трохи менше – в тканинах легень, селезінки, щитоподібної залози, м'язів. Натрієва сіль гепарину застосовується як антикоагулянт під час переливання крові і тромбозах. З тканин легень і аорти виділено гепаринсульфат.



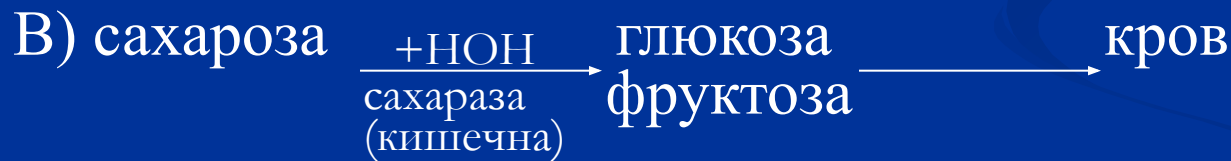
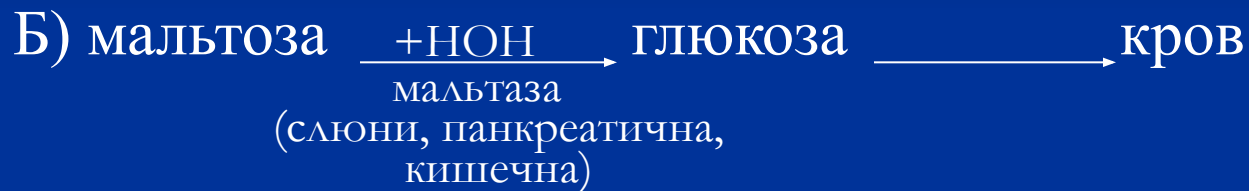
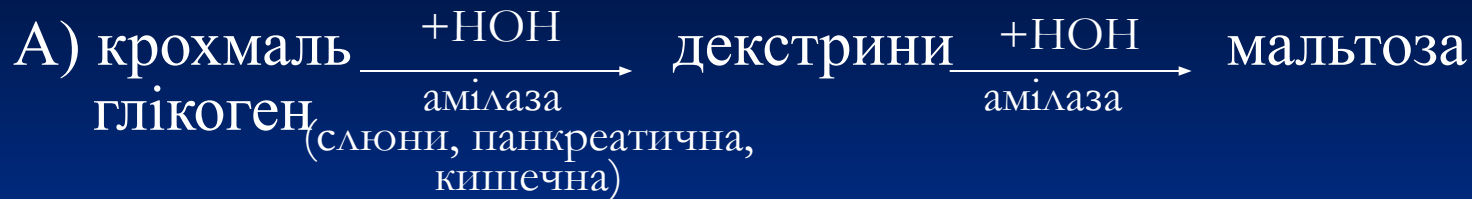
# Переварювання вуглеводів у ротовій порожнині



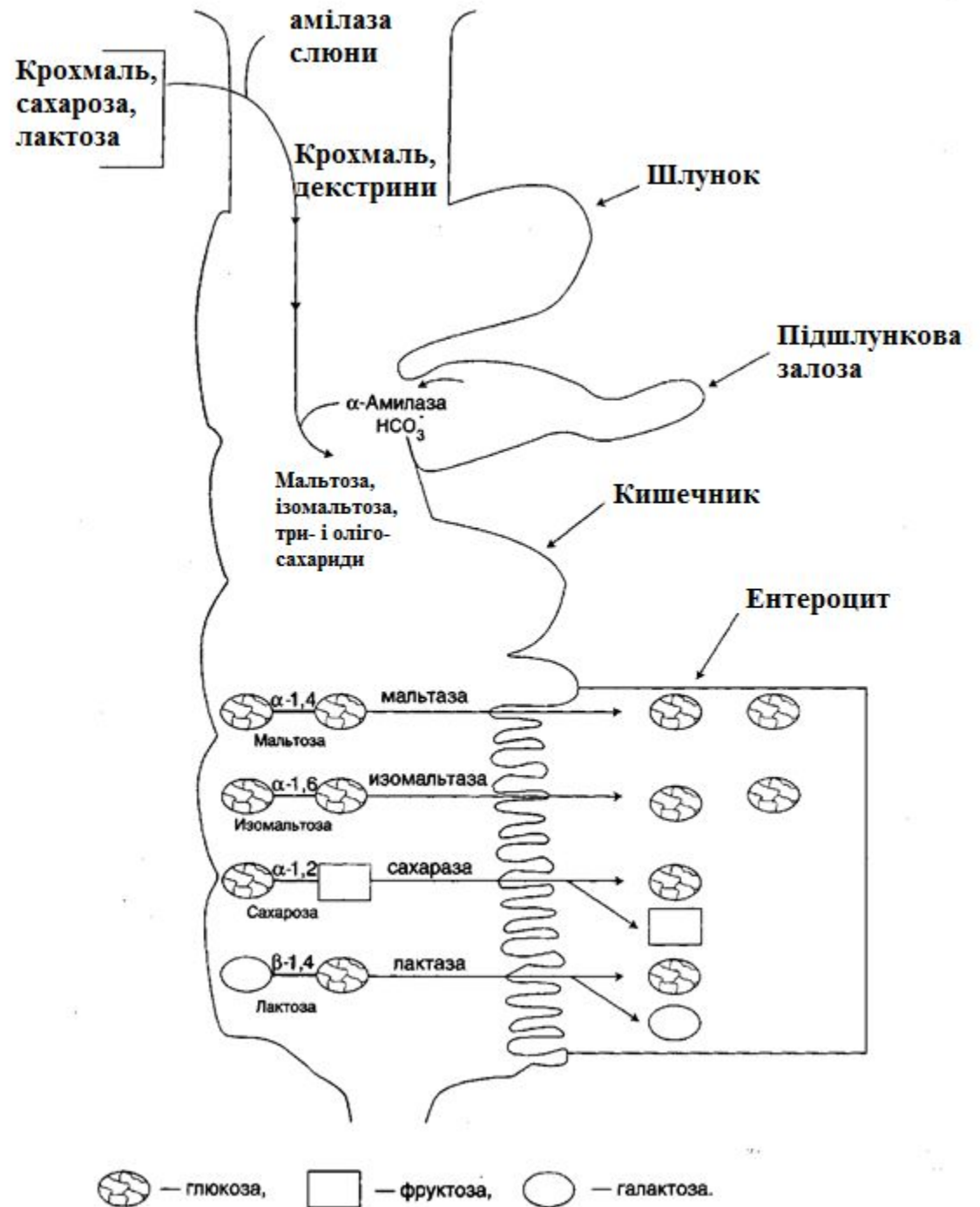
# Переварювання вуглеводів у кишечнику

- У дванадцятипалій кишці рН середовища шлункового вмісту нейтралізується, так як секрет підшлункової залози має рН 7,5—8,0 і містить бікарбонати ( $\text{HCO}_3^-$ ). Разом із секретом підшлункової залози в кишечник надходить **панкреатична  $\alpha$ -амілаза**. Цей фермент гідролізує  $\alpha$ -1,4-глікозидні зв'язки в крохмалі і декстринах.
- Продукти переварювання крохмалю на цьому етапі – дисахарид мальтоза, що містить 2 залишки глюкози, зв'язані  $\alpha$ -1,4-зв'язком.

# Переварювання вуглеводів

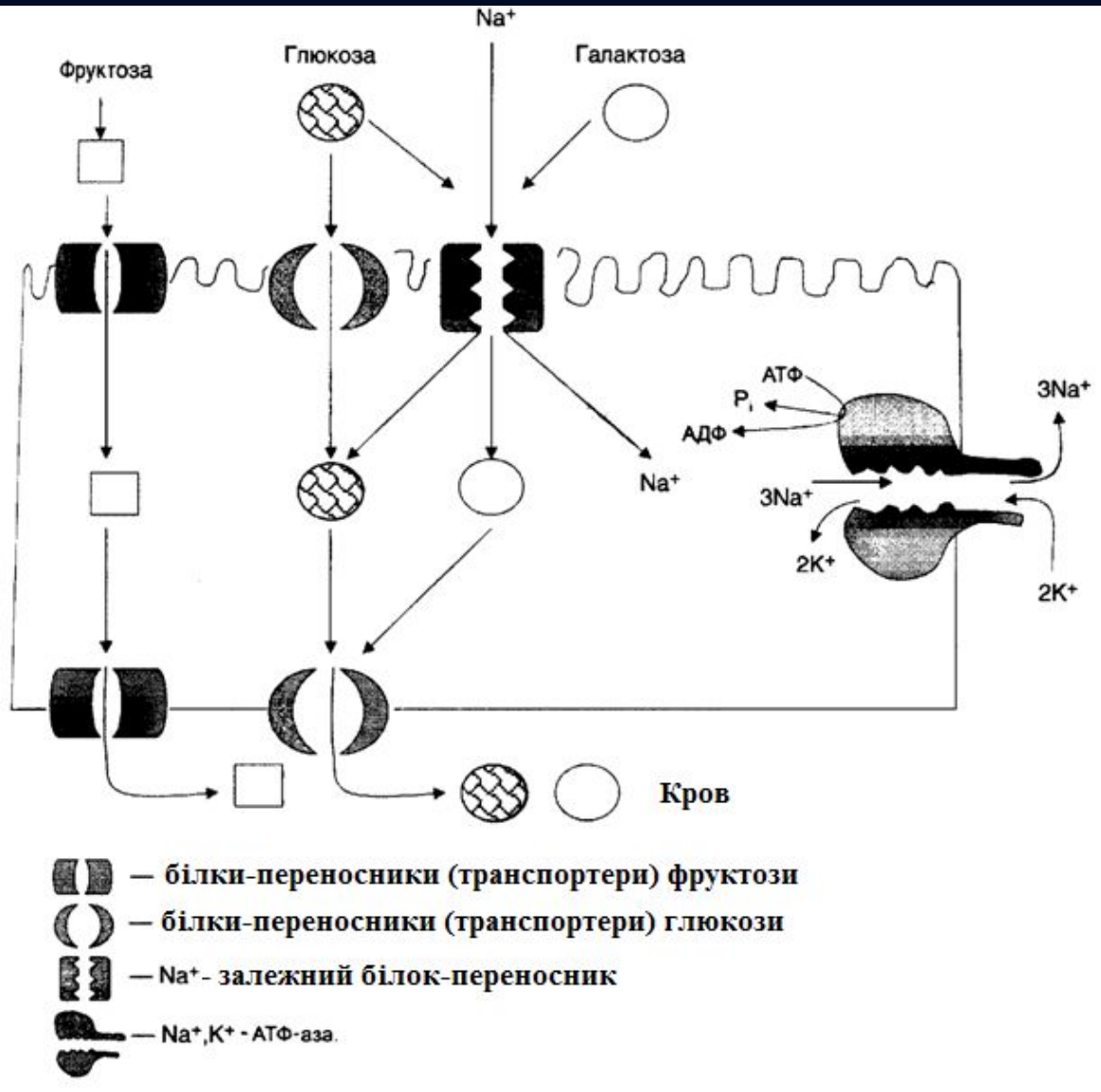


# Переварювання вуглеводів



# Всмоктування моносахаридів у кишечнику

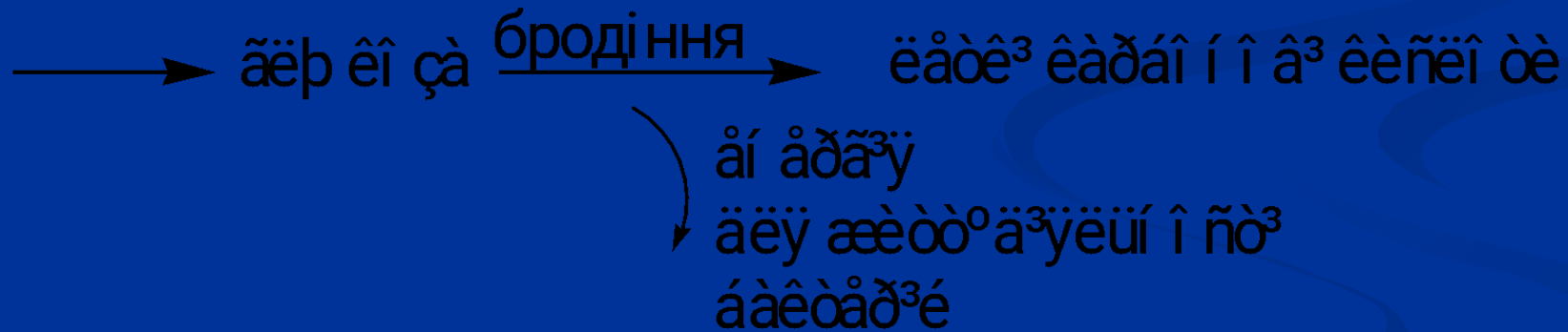
- Транспорт моносахаридів у клітини слизової оболонки кишечника може здійснюватися різними способами: шляхом простої дифузії та активного транспорту. У випадку активного транспорту глюкоза і  $\text{Na}^+$  проходять через мембрани з люмінальної сторони, зв'язуючись з різними ділянками білка-переносника. При цьому  $\text{Na}^+$  надходить у клітину за градієнтом концентрації, та одночасно глюкоза транспортується проти градієнту концентрації.



Всмоктування моносахаридів з кишечника відбувається шляхом простої дифузії за допомогою спеціальних білків-переносників (транспортерів). Окрім того, глюкоза і галактоза транспортуються в ентероцит шляхом вторинно-активного транспорту, який залежить від градієнту концентрації іонів натрію. Білки-транспортери, які залежать від градієнту Na<sup>+</sup>, забезпечують всмоктування глюкози з просвіту кишечника в ентероцит проти градієнту концентрації. Концентрація Na<sup>+</sup>, необхідна для цього транспорту, забезпечується Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-АТФ-азою, яка працює як насос, відкачуючи з клітини Na<sup>+</sup> в обмін на K<sup>+</sup>. На відміну від глюкози, фруктоза транспортується системою, що не залежить від градієнту натрію.



# Переварювання вуглеводів у жуйних



За добу утворюється 3 – 5 кг летких карбонових кислот, серед яких:

Оцтова – 70 - 75%

Пропіонова – 15 - 20%

Масляна – 5 - 10%

Молочна – 3 - 5%

Інші – 0,1- 1%

# КОНЦЕНТРАЦІЯ ГЛЮКОЗИ В КРОВІ

ДРХ – 30-40 мг% (1,7 – 2,2 ммоль/л)

ВРХ – 60-80 мг% (3,3 – 4,4 ммоль/л)

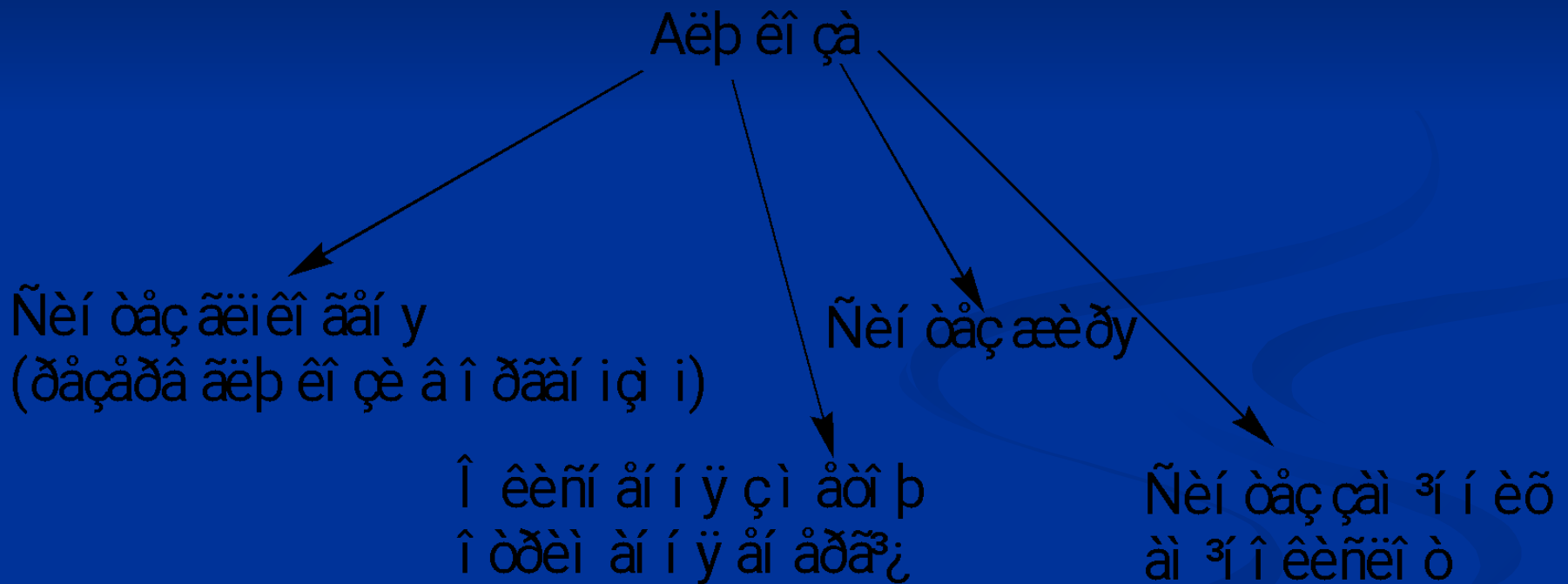
Свині – 90-110 мг% (5,0 – 5,5 ммоль/л)

Людина – 80-120 мг% (4,4 – 6,7 ммоль/л)

Птиця – 180-230 мг% (9,9 – 12,8 ммоль/л)

Коні – 75-95 мг% (4,2 – 5,3 ммоль/л)

# Шляхи використання глюкози в тканинах



# Шляхи окиснення глюкози

## I Анаеробне окиснення:

1. Гліколіз
2. Глікогеноліз

## II Аеробне окиснення:

1. Через цикл трикарбонових кислот (ЦТК)
2. Пентозо-фосфатний шлях
3. Глюкуронідний шлях

# Основні шляхи використання вуглеводів

1. Синтез глікогену.

2. Окиснення

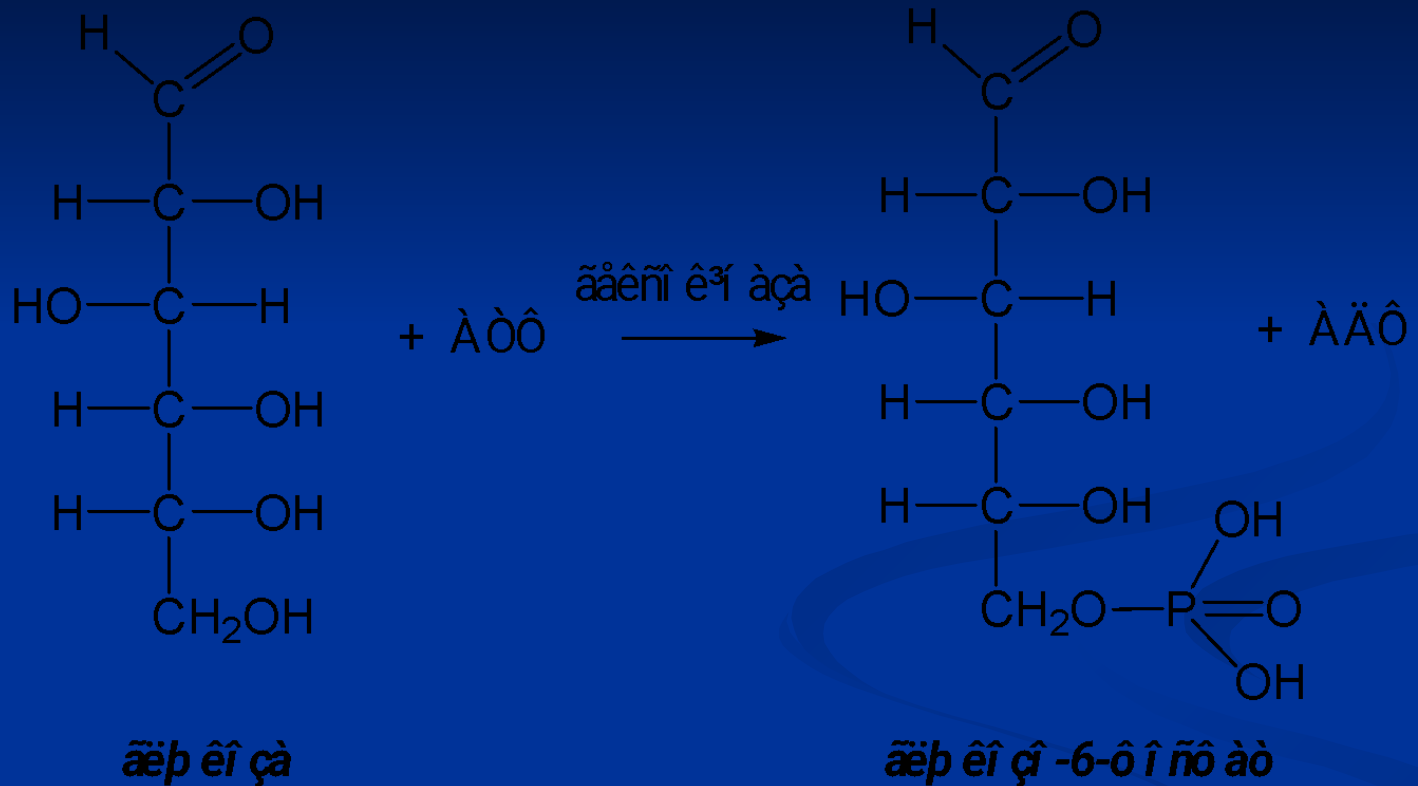
а) анаеробні – гліколіз і глікогеноліз

б) аеробні – через Ц.Т.К. , пентозний шлях, глюкуронідний шлях

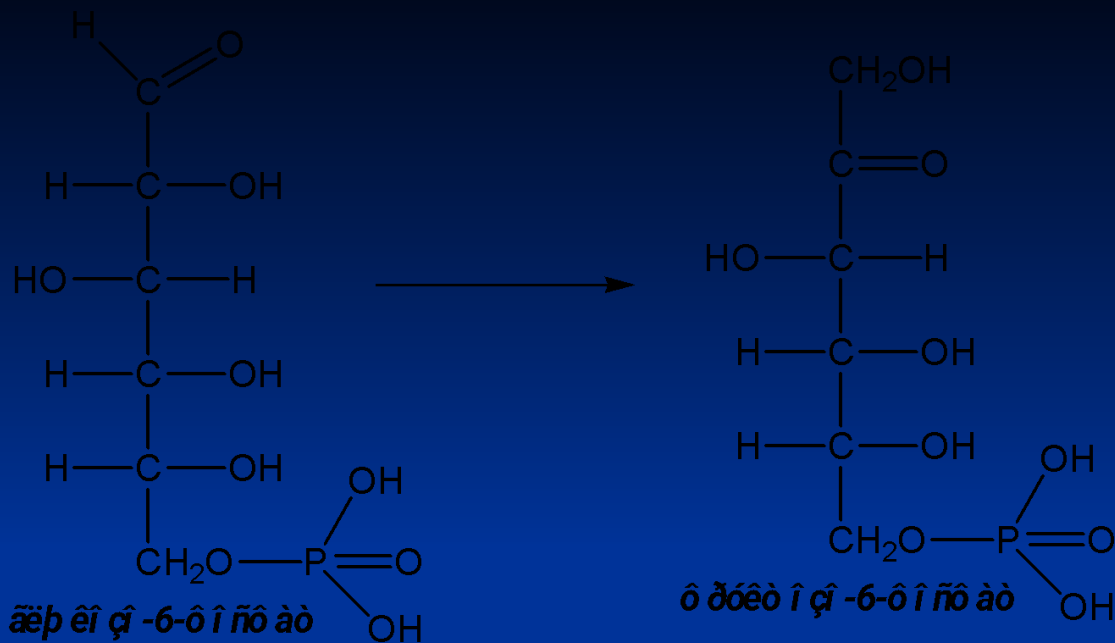
3. Синтез інших речовин

# Реакції гліколізу

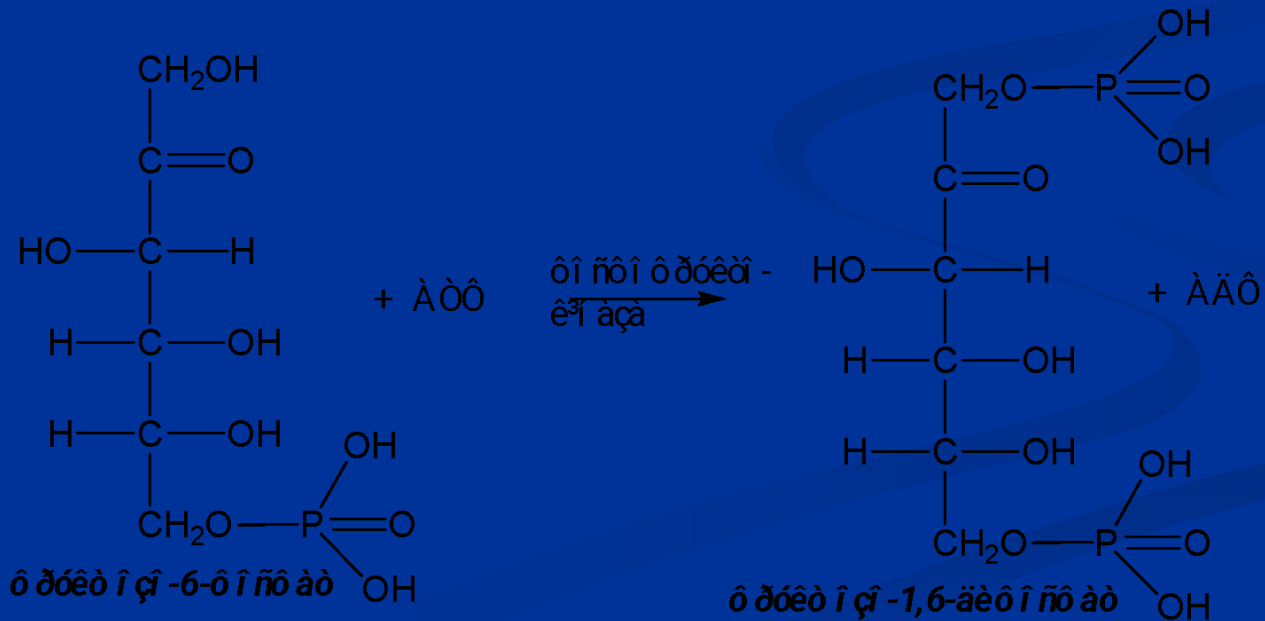
1.



2.

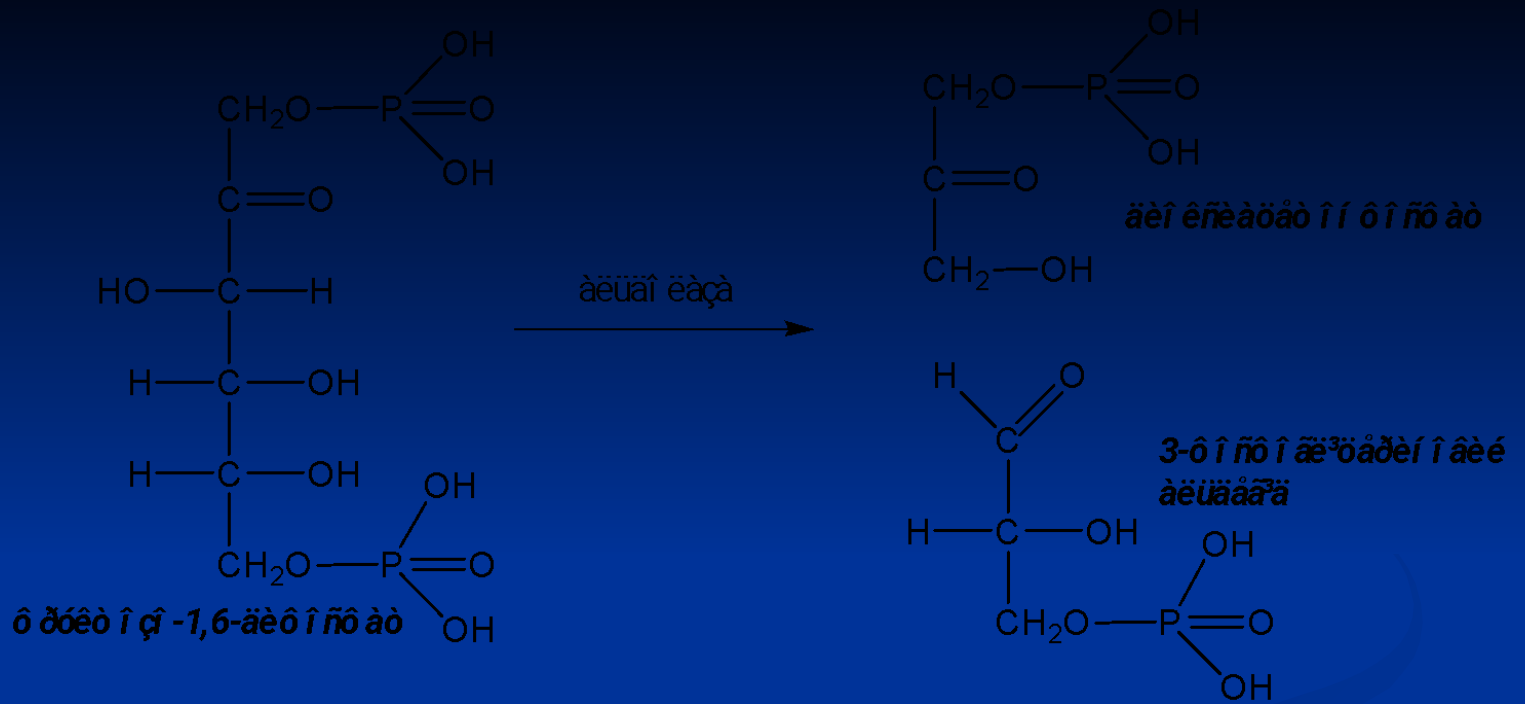


3.

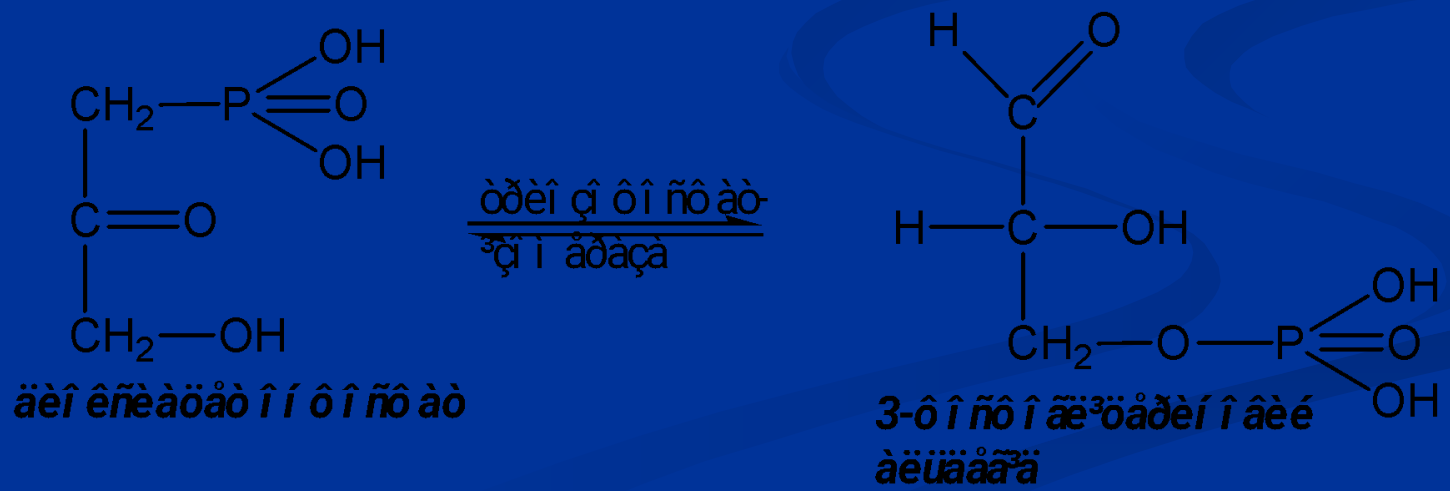




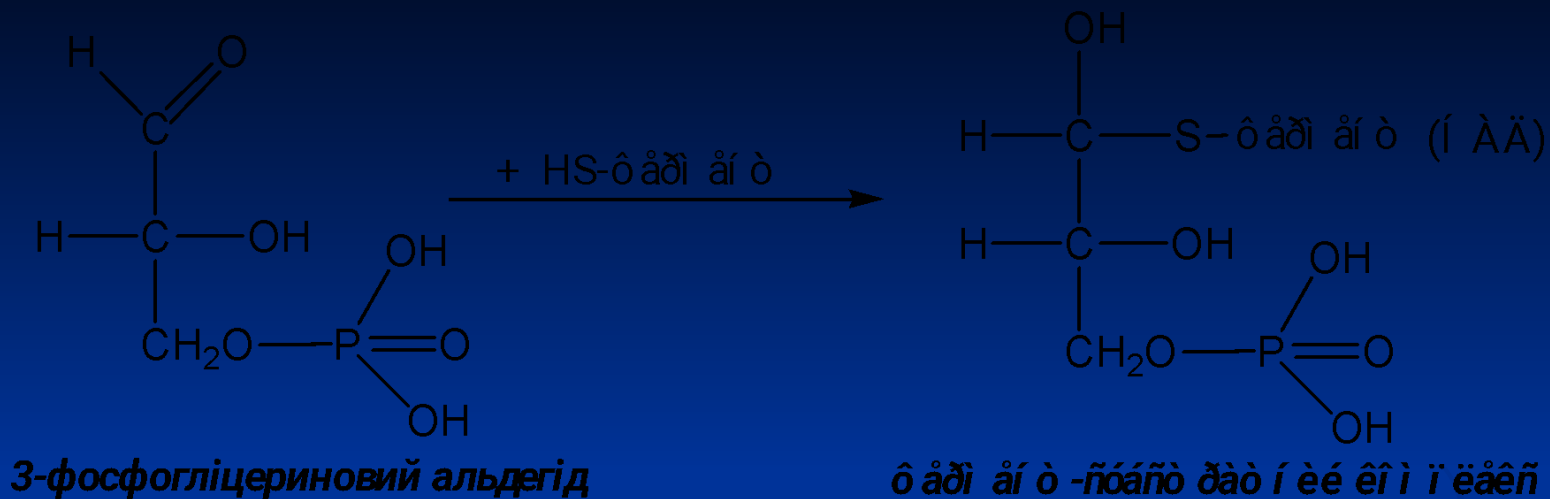
4.



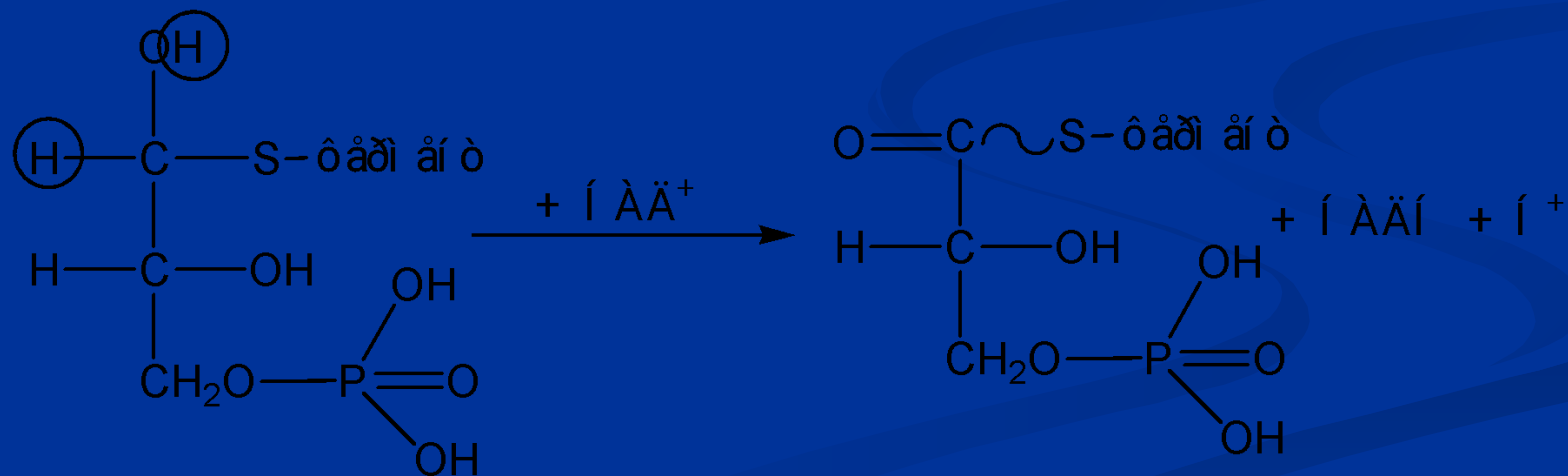
5.



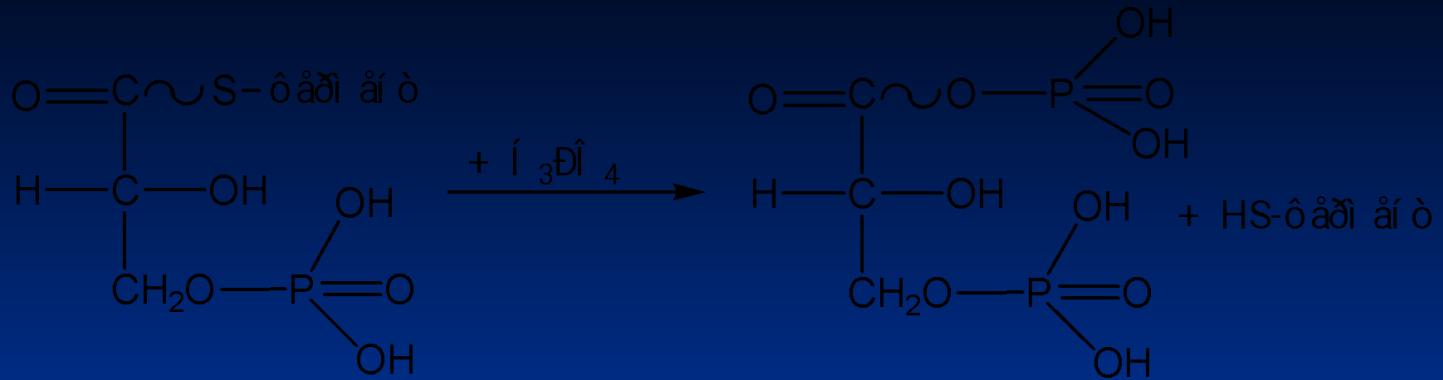
## 6.1.



## 6.2.



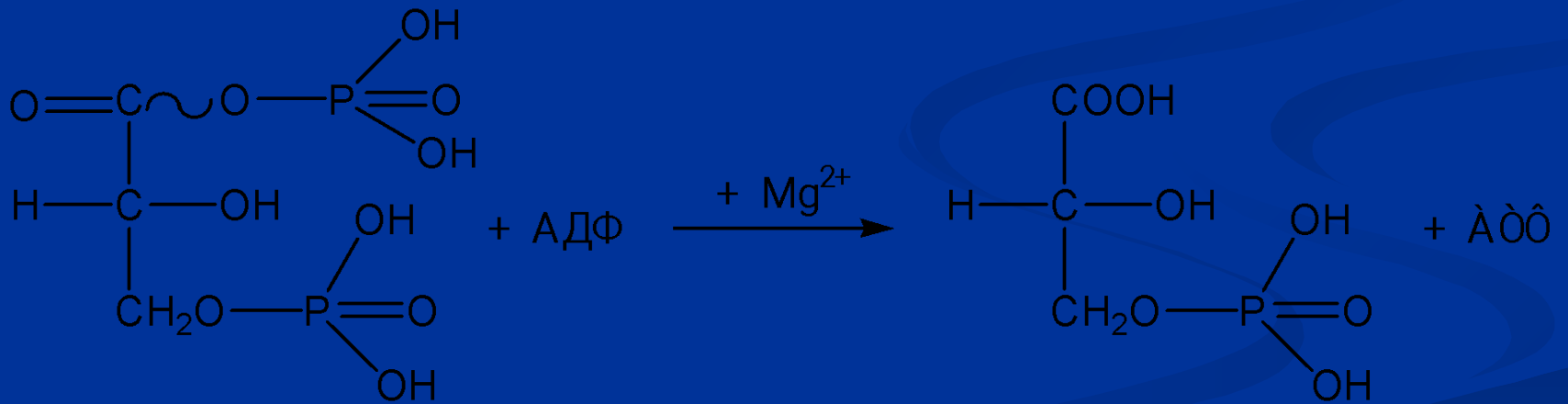
### 6.3.



ô âđi áí ò -ñóáñò ðàò í èé êî ì ï èâêñ

1,3-äèô î ñô î äë³öäðéí î àà èèñêî ò à (1,3-ÄÔ ÄË)

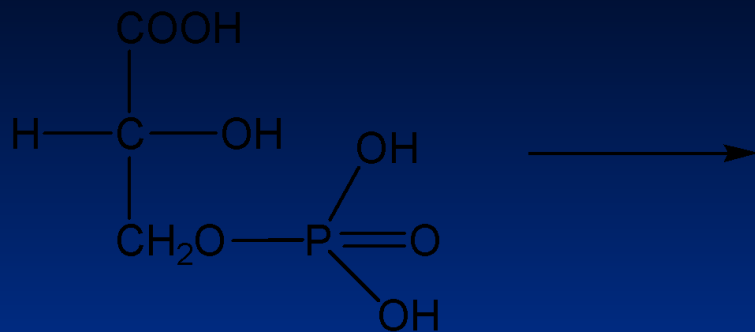
### 7.



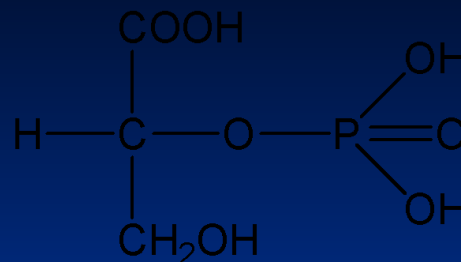
1,3-äèô î ñô î äë³öäðéí î àà èèñêî ò à

3-ô î ñô î äë³öäðéí î àà èèñêî ò à

8.

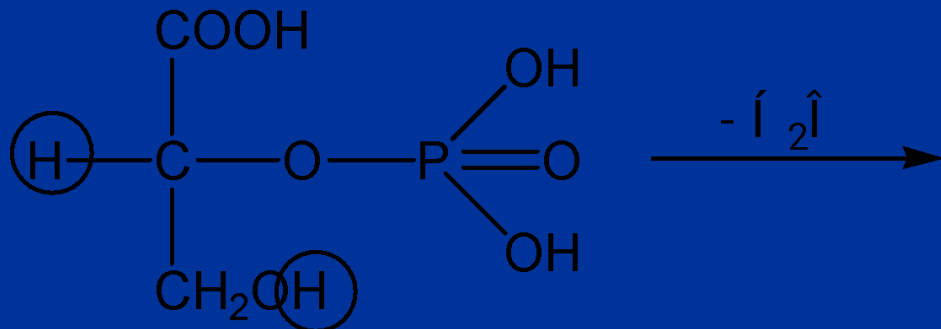


3-ô î ñô î ãë³õðèí î àà èèñèí ò à (3-Ô ÃÊ)

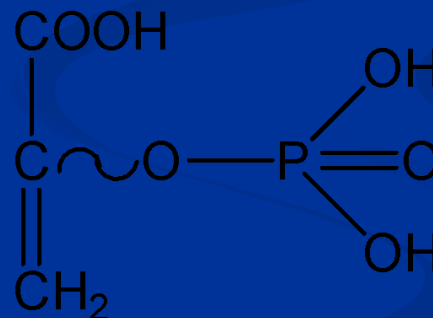


2-ô î ñô î ãë³õðèí î àà èèñèí ò à (2-Ô ÃÊ)

9.

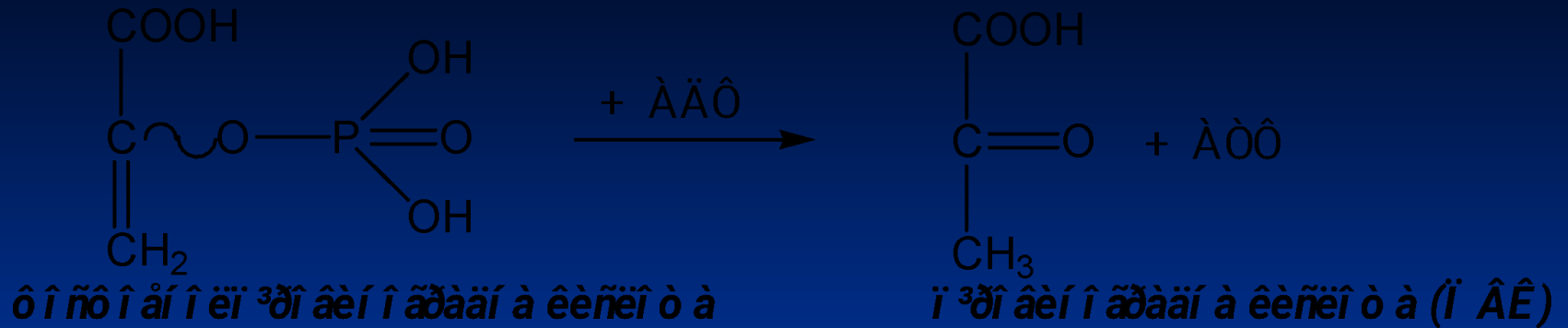


2-ô î ñô î ãë³õðèí î àà èèñèí ò à

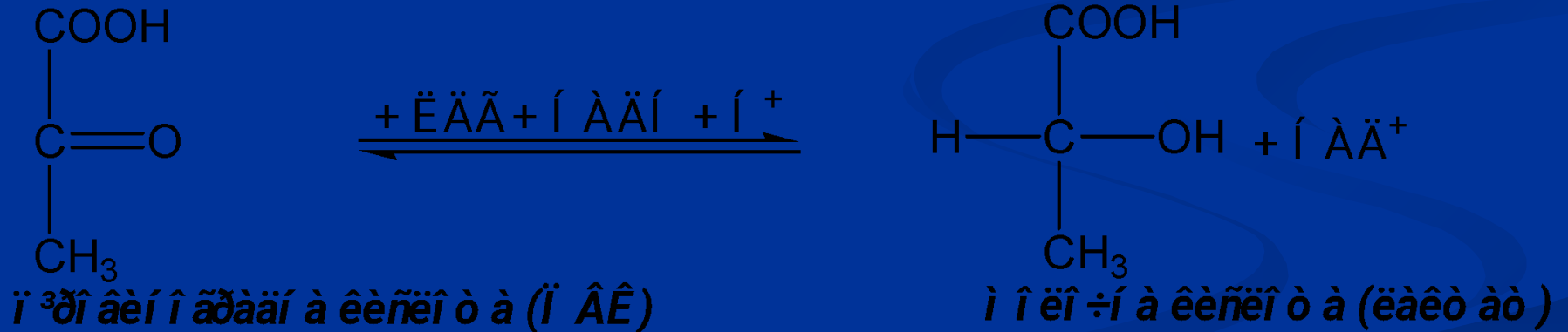


ô î ñô î áí î èí³ðí ãèí î ãðàáí à èèñèí ò à

10.



11.

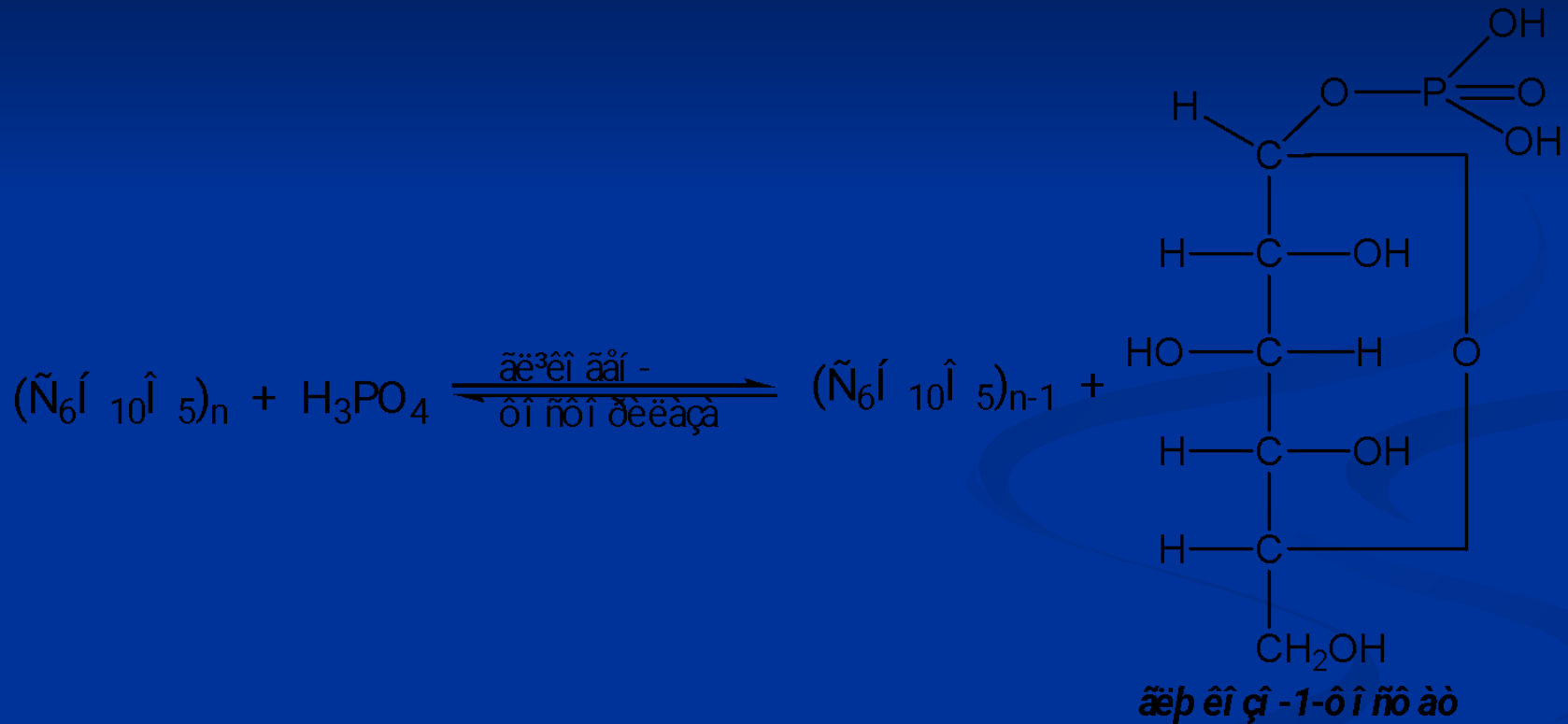


# Анаеробний гліколіз

Анаеробним гліколізом називають процес розщеплення глюкози з утворенням в якості кінцевого продукту лактату. Цей процес відбувається без використання кисню і тому не залежить від роботи мітохондріального дихального ланцюга. АТФ утворюється за рахунок реакцій субстратного фосфорилування. Сумарне рівняння процесу:



# Глікогеноліз



# Енергетичний баланс гліколізу і глікогенолізу

Номер реакції	Реакція	Зміни АТФ на одну молекулу глюкози	
		Гліколіз	Глікогеноліз
1	Глюкоза → Глюкозо-6-фосфат	- 1	-
3	Фруктозо-6-фосфат → Фруктозо-1,6-дифосфат	- 1	- 1
7	2 молекули 1,3-дифосфогліцерату → → 2 молекули 3-фосфогліцерату	+ 2	+ 2
10	2 молекули фосфоенопірувату → → 2 молекули пірувату	+ 2	+ 2
	<b>Всього</b>	<b>2 молекули АТФ</b>	<b>3 молекули АТФ</b>



# Катаболізм глюкози

**Окиснення глюкози до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  (аеробний розпад).**

Аеробний розпад глюкози можна виразити сумарним рівнянням:



**Цей процес включає декілька стадій.**

1. Процес окиснення глюкози з утворенням двох молекул пірувату;
2. Загальний шлях катаболізму, що включає перетворення пірувату в ацетил-КоА, його подальше окиснення (дегідрування) в цитратному циклі;
3. Перенесення протонів і електронів по дихальному ланцюгу мітохондрій на кисень, утворення води і спряжений синтез АТФ.

# Етапи аеробного гліколізу

**В аеробному гліколізі можна виділити 2 етапи.**

1. Підготовчий етап, в ході якого глюкоза фосфорилується і розщеплюється на дві молекули фосфотриоз. Ця серія реакцій відбувається з використанням 2 молекул АТФ.
2. Етап, сполучений з синтезом АТФ. В результаті цієї серії реакцій фосфотріози перетворюються в піруват. Енергія, що вивільнюється на цьому етапі, використовується для синтезу 10 моль АТФ.

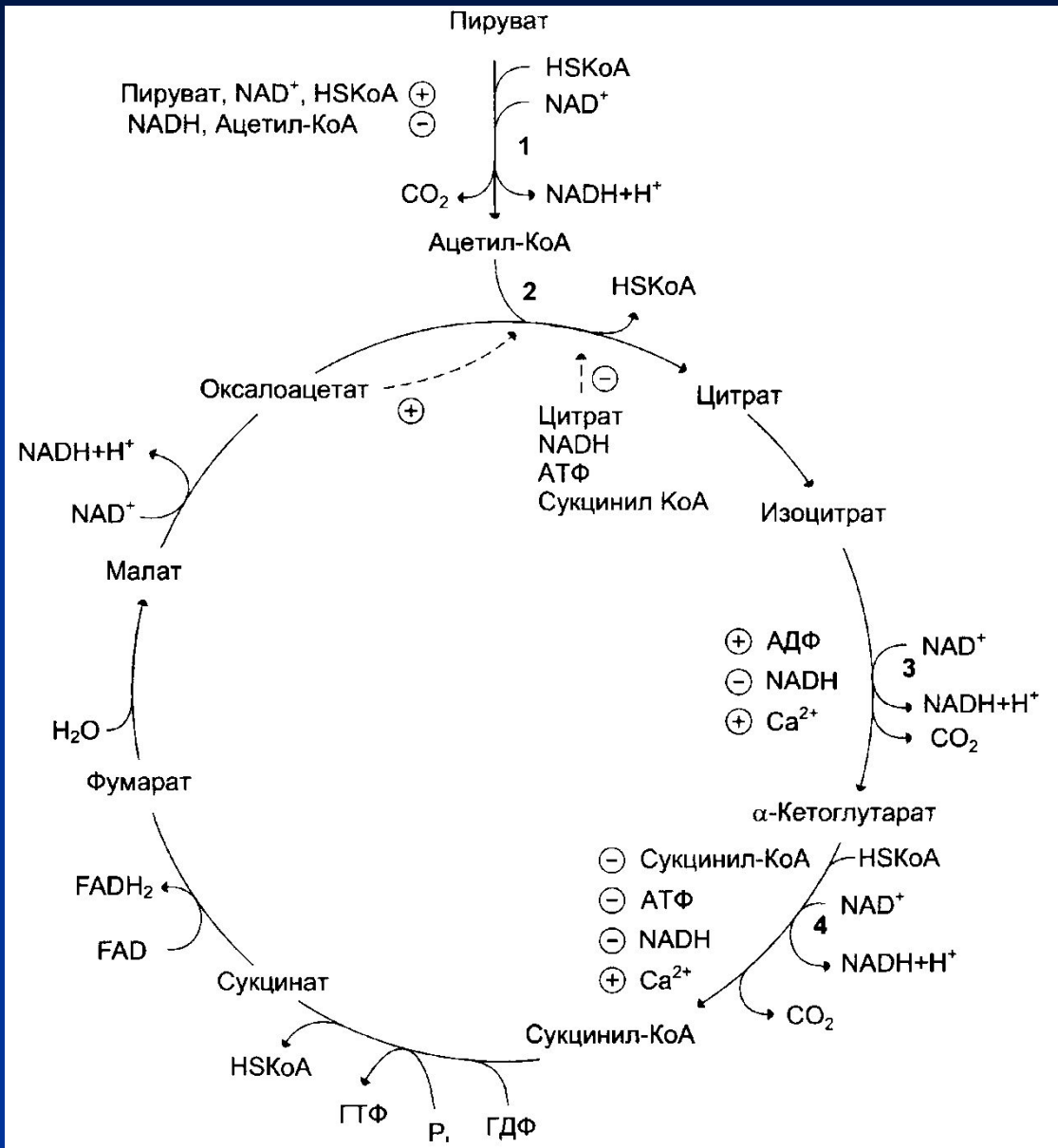
# Центральним процесом катаболізму є цикл лимонної кислоти

Головна функція циклу лимонної кислоти - окиснення ацетогрупи, яка включається в цей цикл у формі молекул ацетил-КоА. Процес цей носить циклічний характер, оскільки ацетогрупа окиснюється не одразу, а лише після того, як вона ковалентно приєднується до більшої молекули - *оксалоацетату*, яка регенерується після кожного оберту циклу.

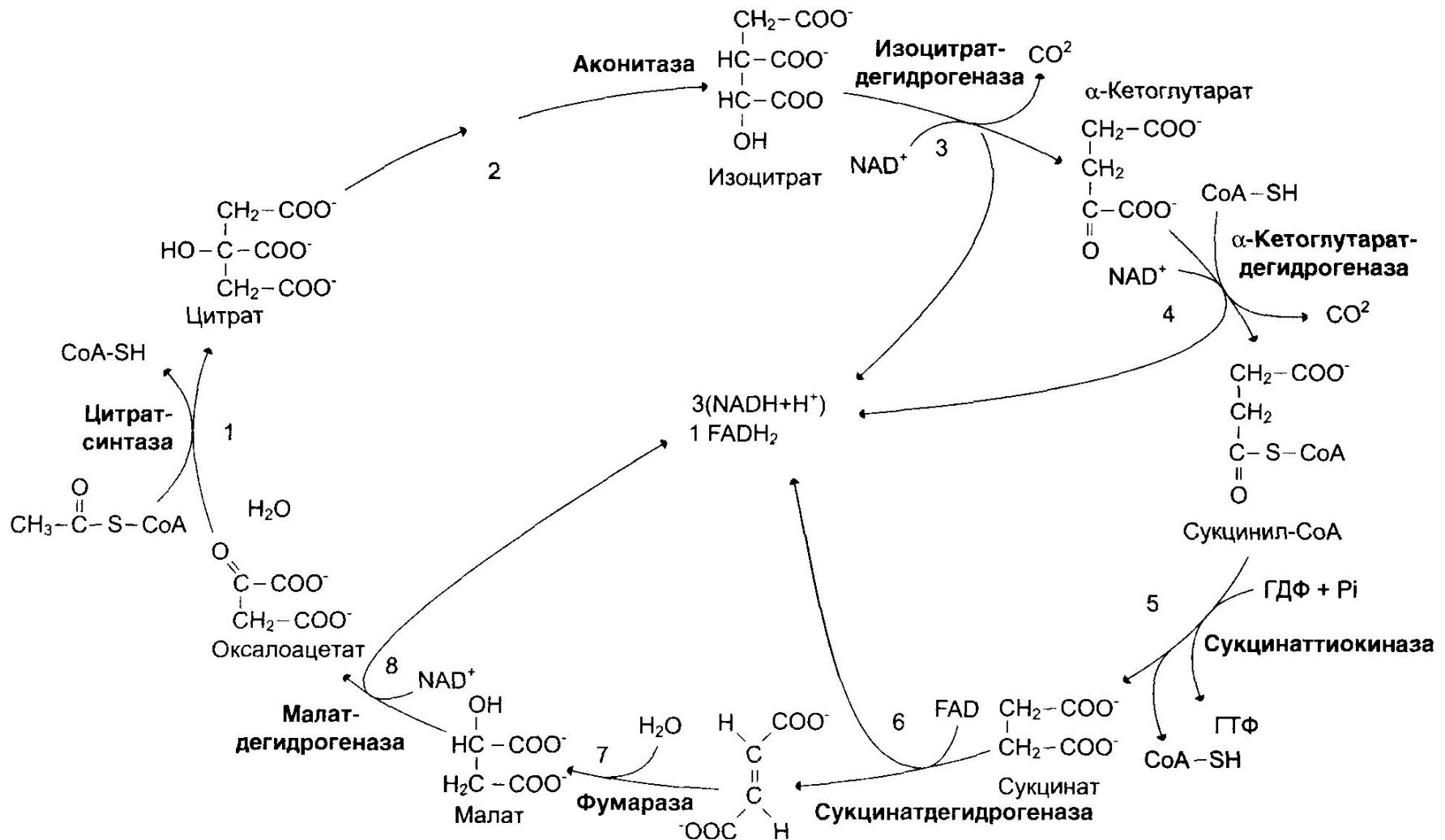
**Ц.Т.К.** – послідовні перетворення ди- і трикарбонних кислот, в ході яких оцтова кислота, що включається в цей цикл окиснюється до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  з виділенням 12 АТФ/М окисненої кислоти.

**Ц.Т.К.** – універсальний заключний етап окиснення вуглеводів, жирних кислот, гліцерину, амінокислот.

# Цикл лимонної кислоти (трикарбонових кислот, Кребса)



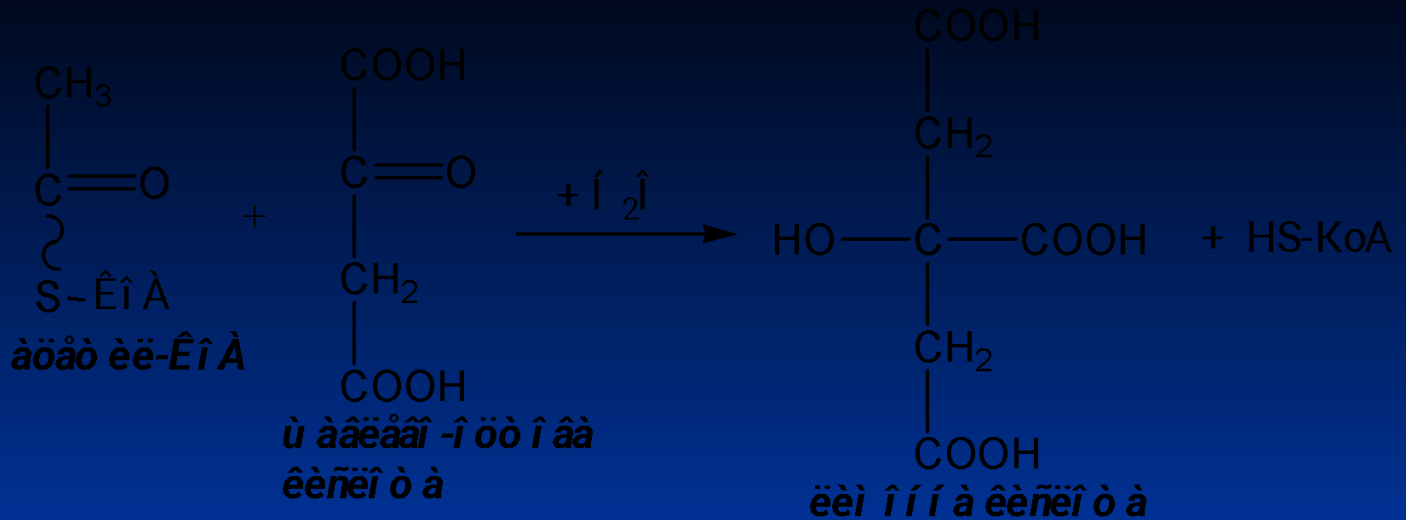
# Загальна схема цитратного циклу



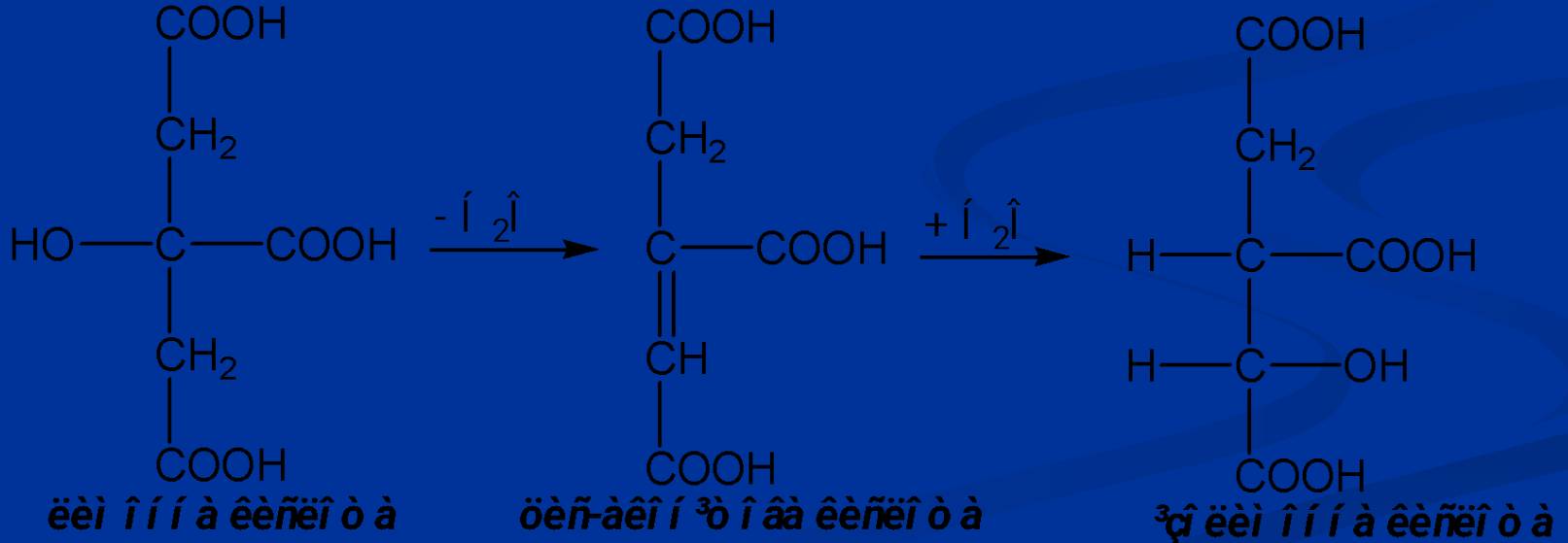
## Цикл Кребса складається з 8 послідовних ферментативних реакцій:

1. Синтез лимонної кислоти або цитрату (фермент - цитратсинтетаза);
2. Синтез ізоцитрату;
3. Синтез  $\alpha$ -кетоглутарату (НАД-залежна дегідрогеназа);
4. Синтез сукциніл-КоА (НАД-залежна дегідрогеназа);
5. Синтез сукцинату (субстратне фосфорилування, синтез ГТФ $\rightarrow$ АТФ);
6. Синтез фумарату (ФАД-залежна дегідрогеназа);
7. Синтез малату;
8. Синтез оксалоацетату (НАД-залежна дегідрогеназа).

1.

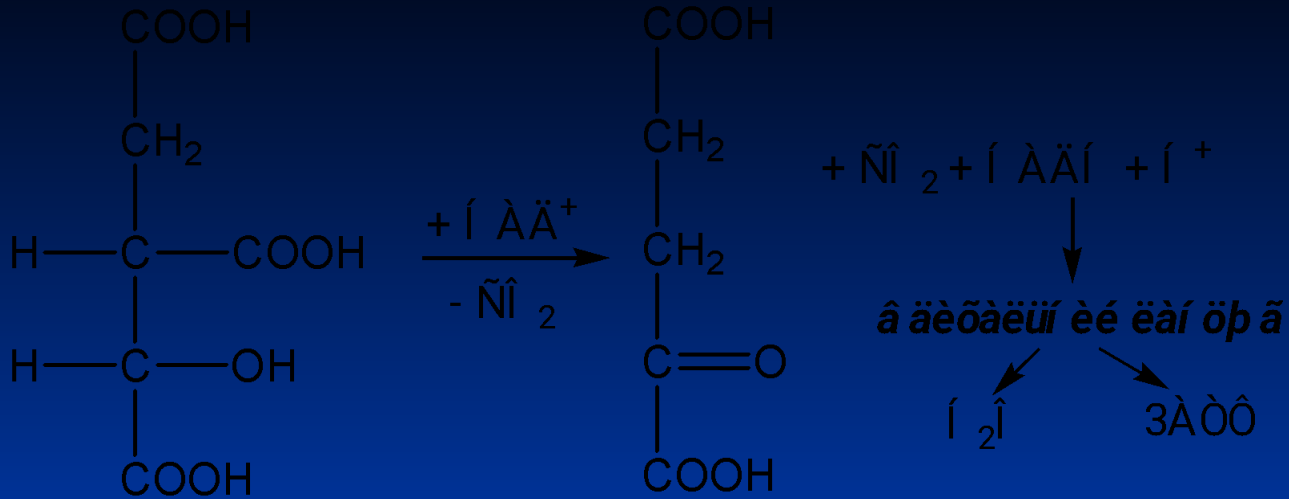


2.





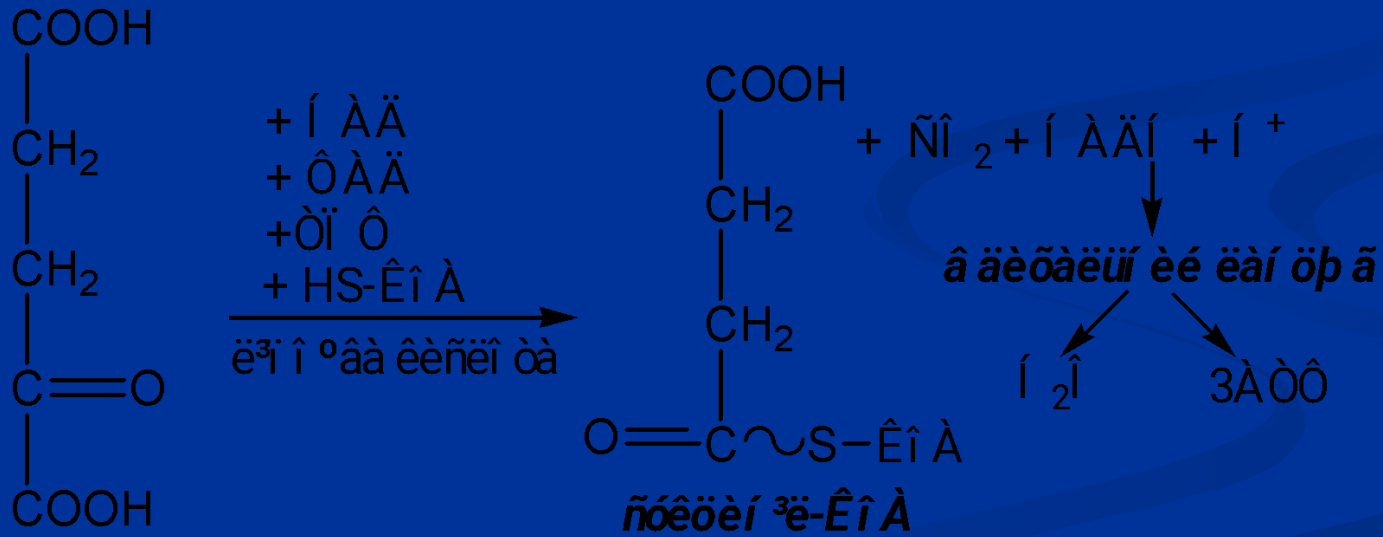
3.



*ізолимонна кислота*

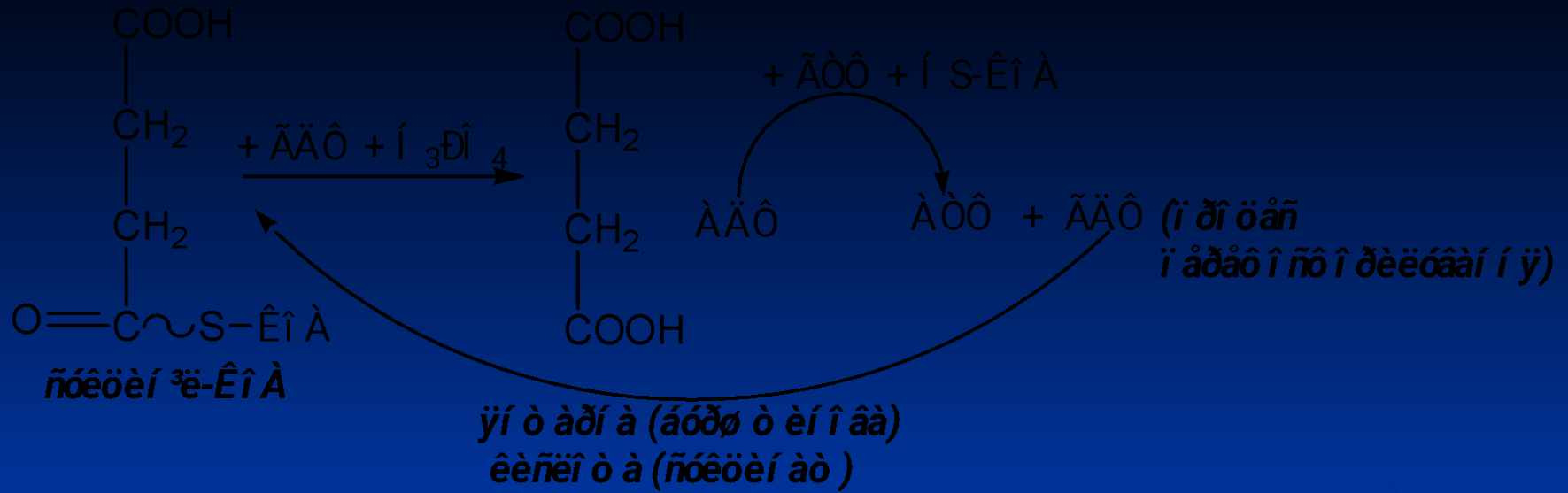
*α-кетоглутарова кислота*

4.

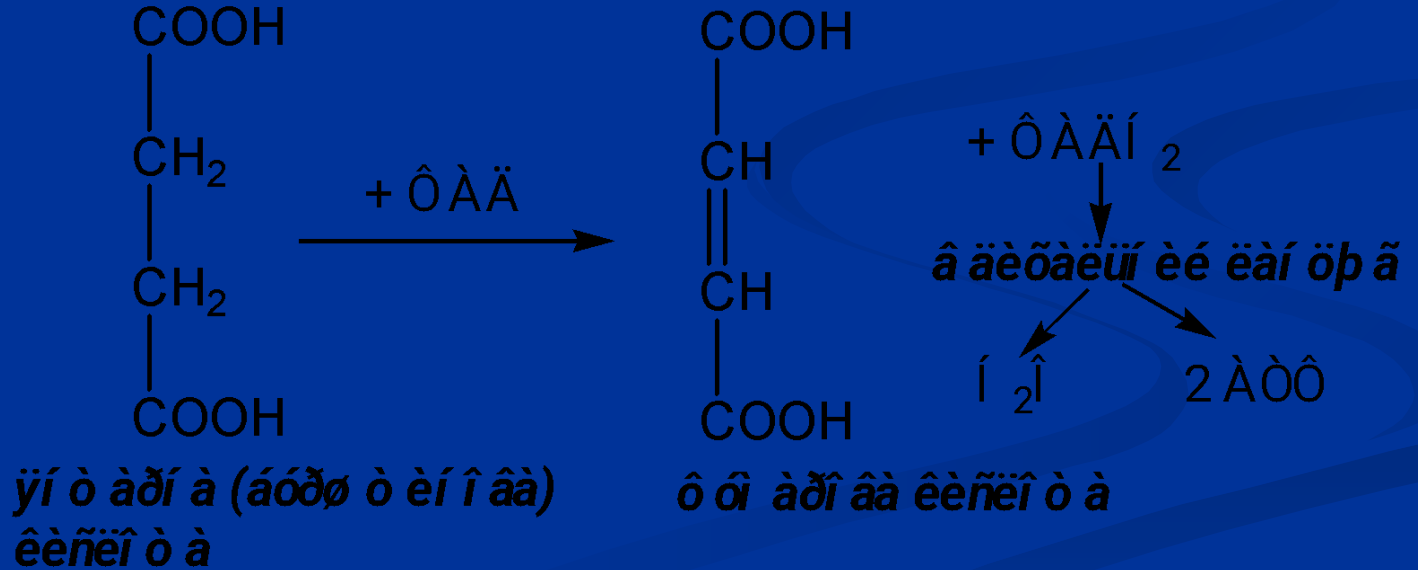


*α-кетоглутарова  
кислота*

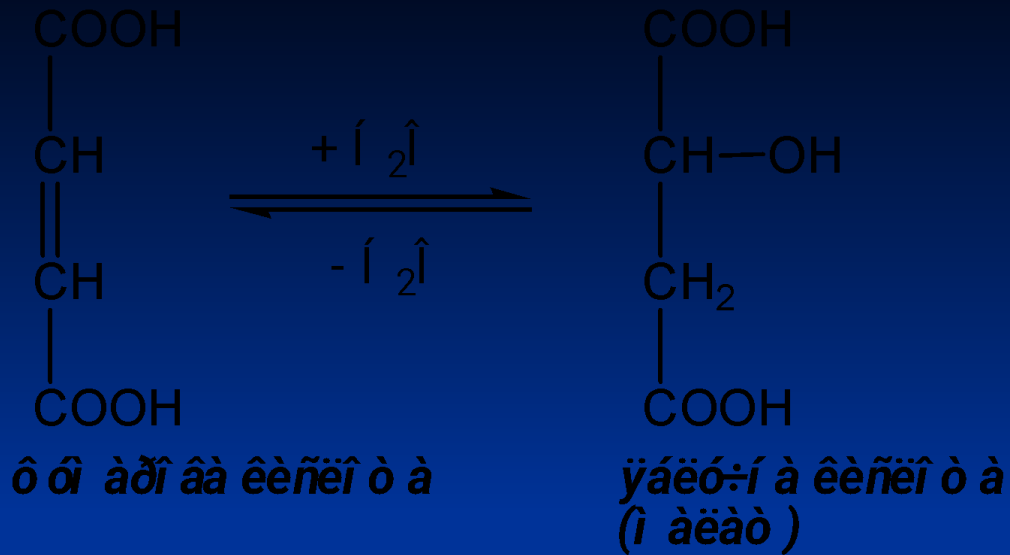
5.



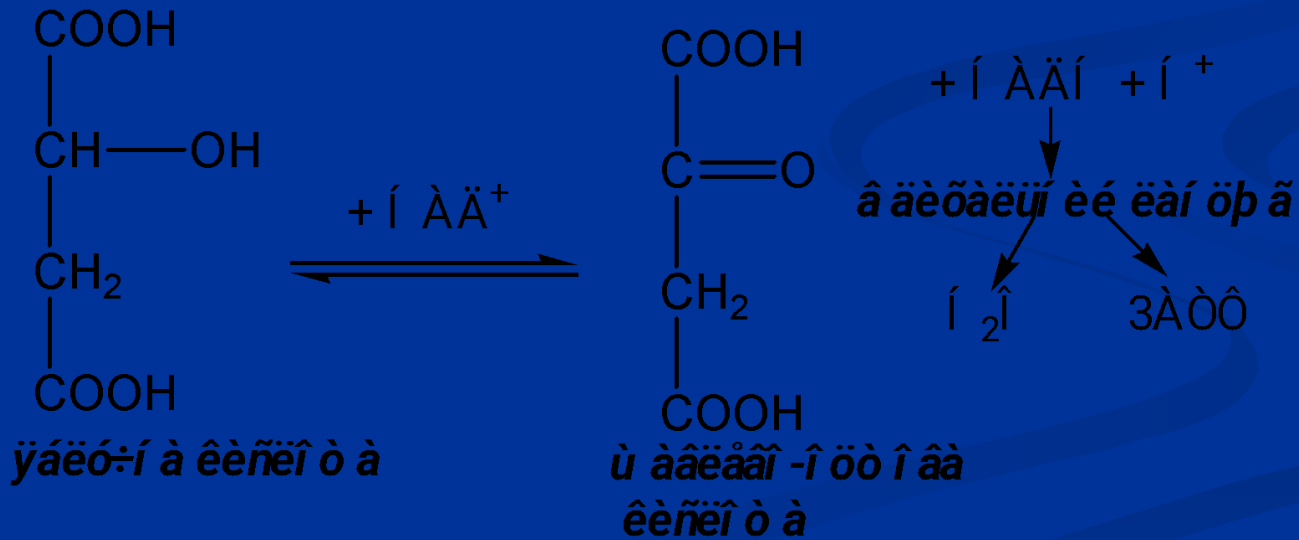
6.



7.



8.



- В результаті 1 витку циклу Кребса енергія виділяється у вигляді тепла і **12 молекул АТФ**

1 – за рахунок субстратного + 11 – за рахунок окисного фосфорилування в дихальному ланцюзі:

3 НАД-залежні реакції  $\times$  3 АТФ = 9 АТФ

1 ФАД-залежна реакція  $\times$  2 АТФ = 2 АТФ.

**Сумарно:  $9 + 2 = 11$  АТФ + 1 АТФ = 12 АТФ**

# Регуляція ЦТК

- Алостерична регуляція – здійснюється за рахунок 3 регуляторних ферментів:
  - цитратсинтази (інгібується АТФ і НАДН, активується інсуліном),
  - ізоцитратдегідрогенази (інгібується АТФ і НАДН),
  - сукцинатдегідрогенази (інгібується ЩОК, активується  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ).

# Біологічна роль ЦТК:

1. **Інтегративна** – він є метаболічним колектором, що об'єднує шляхи катаболізму вуглеводів, ліпідів та білків.
2. **Енергетична** – в ході циклу утворюється 1 молекула АТФ на рівні субстрату.
3. **Гідрогенгенеруюча** – ЦТК основний постачальник Гідрогену для дихального ланцюгу.
4. **Амфіболічна** – виконує подвійну функцію: катаболічну (розпад ацетильних залишків) і анаболічну (його субстрати використовуються для синтезу інших речовин).

Енергетична ефективність  
аеробного окиснення глюкози

1М глюкози  $\longrightarrow$  38 АТФ

в тому числі:

А) гліколіз  $\longrightarrow$  2 МК + 2 АТФ

Б) 2 МК  $\xrightarrow{O_2}$  2 ПВК + 6 АТФ

В) 2 ПВК  $\xrightarrow{O_2}$  2CH<sub>3</sub>CO.SK<sub>o</sub>A + 6 АТФ

Г) 2CH<sub>3</sub>CO.SK<sub>o</sub>A  $\xrightarrow{ЦТК}$  H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub> + 24 АТФ  
 $\xrightarrow{\hspace{10em}}$  38 АТФ

# ПЕНТОЗОФОСФАТНИЙ ШЛЯХ ПЕРЕТВОРЕННЯ ГЛЮКОЗИ

- Пентозофосфатний шлях, який називається також гексомонофосфатним шунтом, слугує альтернативним шляхом окиснення глюкозо-6-фосфату. Пентозофосфатний шлях складається з 2 фаз (частин) — окисної та неокисної.
- В окисній фазі глюкозо-6-фосфат необернено окиснюється в пентозу — рибулозо-5-фосфат, і утворюється відновлений НАДФН.
- В неокисній фазі рибулозо-5-фосфат обернено перетворюється в рибозо-5-фосфат і метаболіти гліколізу.

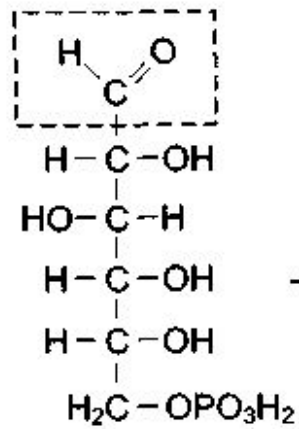


- Пентозофосфатний шлях забезпечує клітини рибозою для синтезу пуринових та піримідинових нуклеотидів і гідрованим коферментом НАДФН, який використовується у відновних процесах.
- Сумарне рівняння пентозофосфатного шляху відображується наступним чином:  
$$3 \text{ Глюкозо-6-фосфат} + 6 \text{ НАДФ}^+ \rightarrow 3 \text{ CO}_2 + 6 (\text{НАДФН} + \text{H}^+) + 2 \text{ Фруктозо-6-фосфат} + \text{Гліцеральдегід-3-фосфат}.$$
- Ферменти пентозофосфатного шляху, як і ферменти гліколізу, локалізовані в цитозолі.

# Окисний етап

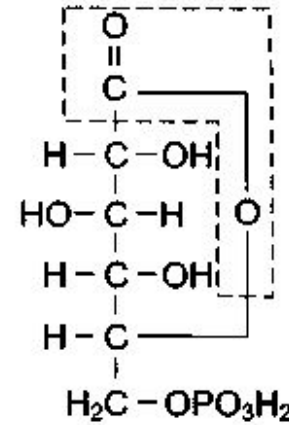
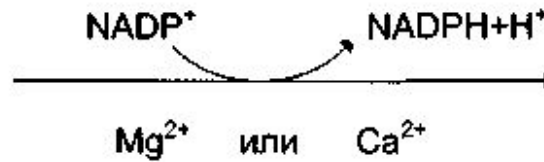
- В окисній частині пентозофосфатного шляху глюкозо-6-фосфат підлягає окисному декарбоксилюванню, в результаті якого утворюються пентози. Цей етап складається з 2 реакцій дегідрування.

# Окисный этап пентозофосфатного шляху



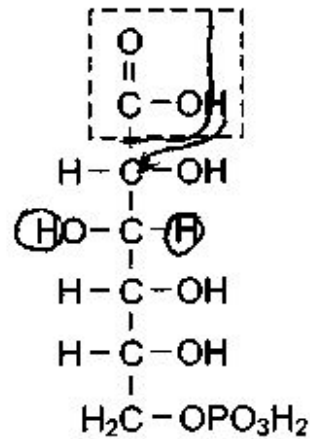
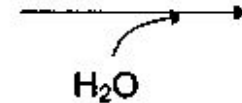
Глюкозо-6-фосфат

Глюкозо-6-фосфат-дегидрогеназа



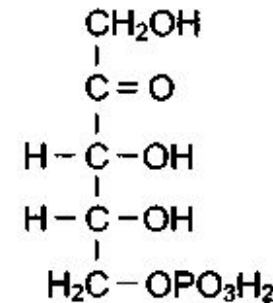
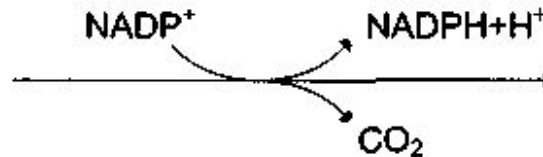
Глюконолактон-6-фосфат

Глюконолактон-гидратаза



6-Фосфоглюконат

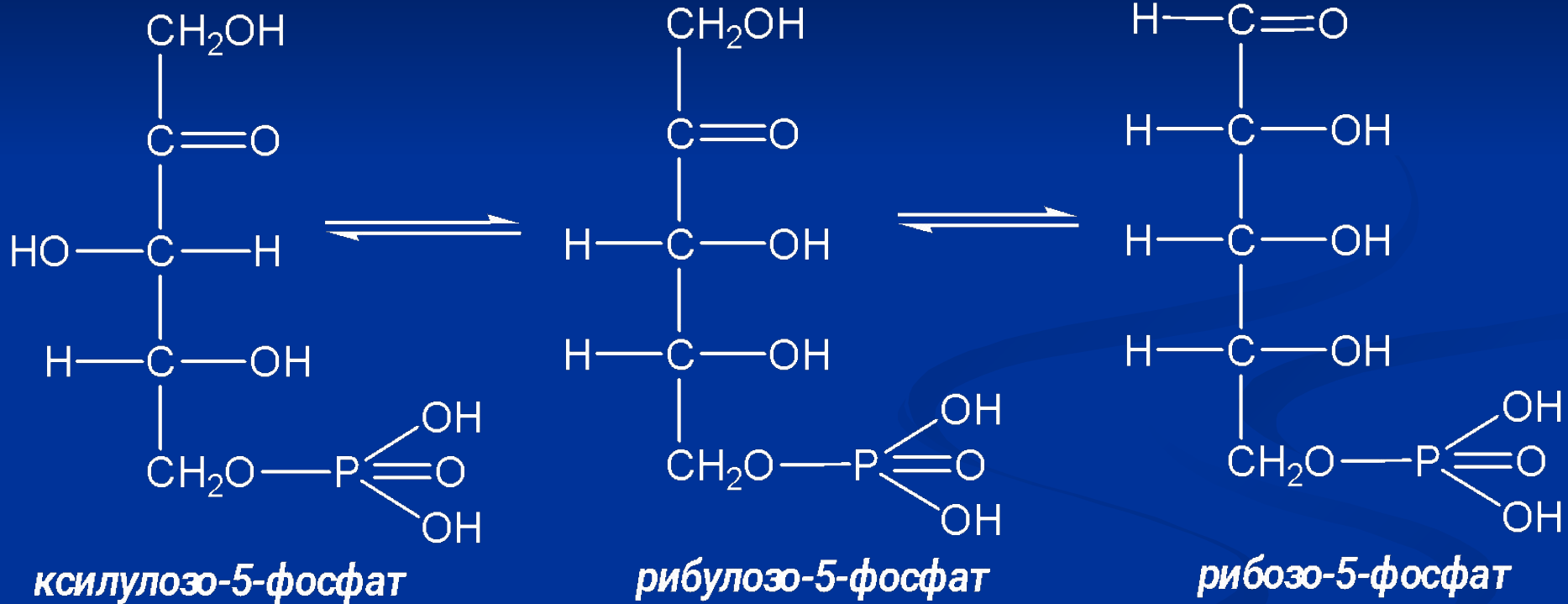
6-Фосфоглюконат-дегидрогеназа



Рибулозо-5-фосфат

- Реакції окисного етапу є основним джерелом НАДФН в клітинах. Гідровані коферменти забезпечують Гідрогеном біосинтетичні процеси, окисно-відновні реакції, що забезпечують захист клітин від активних форм кисню.
- НАДФН як донор Гідрогену приймає участь в анаболічних процесах, наприклад у синтезі холестерину. Це джерело відновлювальних еквівалентів для цитохрому  $P_{450}$ , який каталізує утворення гідроксильних груп під час синтезу стероїдних гормонів, жовчних кислот, під час катаболізму лікарських речовин та інших чужорідних сполук.

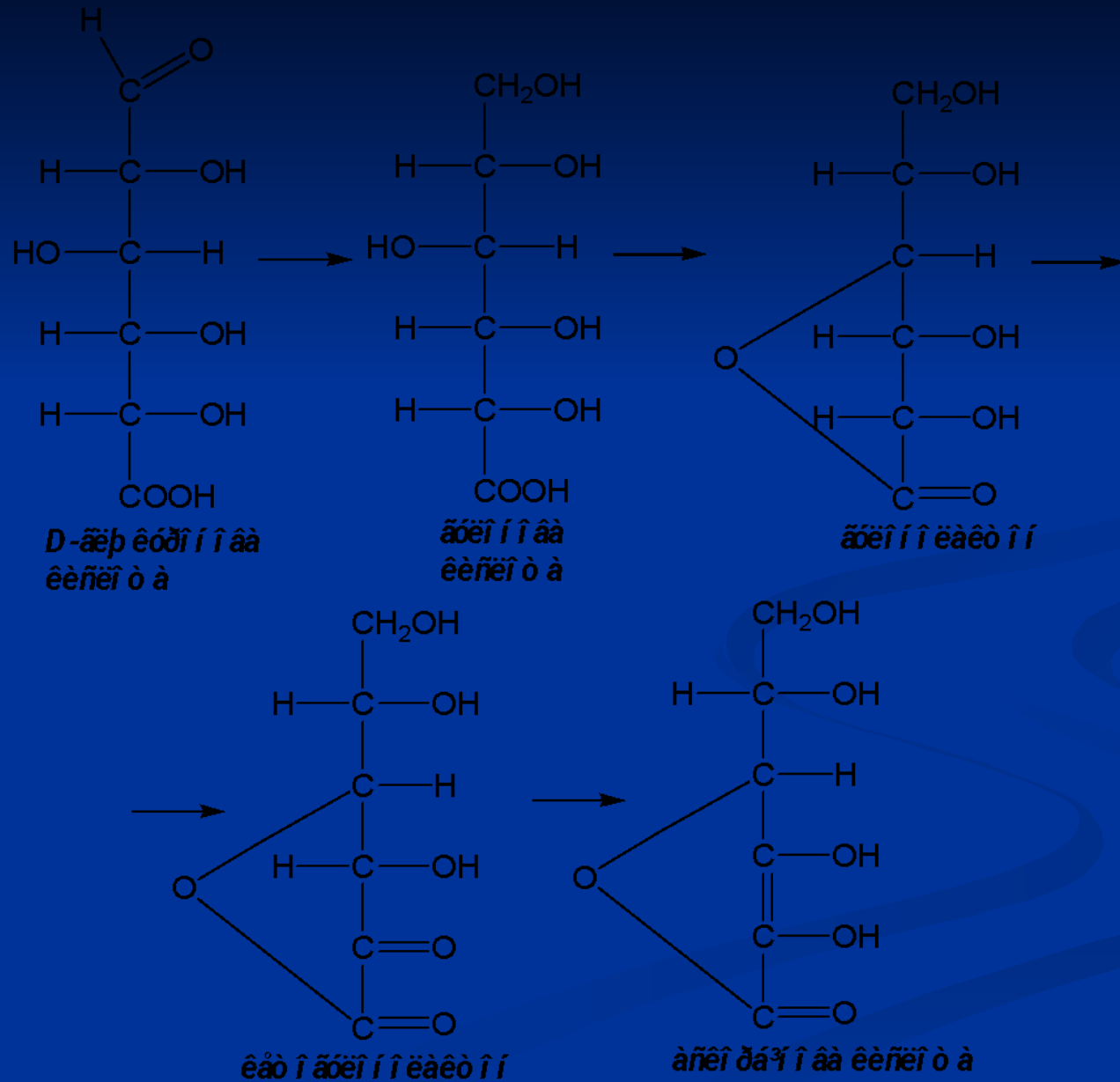
# Перетворення рибулозо-5-фосфату



# МЕТАБОЛІЗМ ГЛЮКУРОНОВОЇ КИСЛОТИ

- Окрім гліколізу і пентозофосфатного шляху, що забезпечують засвоєння глюкози, в організмі тварин є незначний в кількісному плані, але важливий для екскреції багатьох продуктів метаболізму процес утворення глюкуронової кислоти з глюкози.
- Глюкуронова кислота є попередником аскорбінової кислоти (вітаміну С) у більшості видів тварин (за винятком людини, мавп, морської свинки)

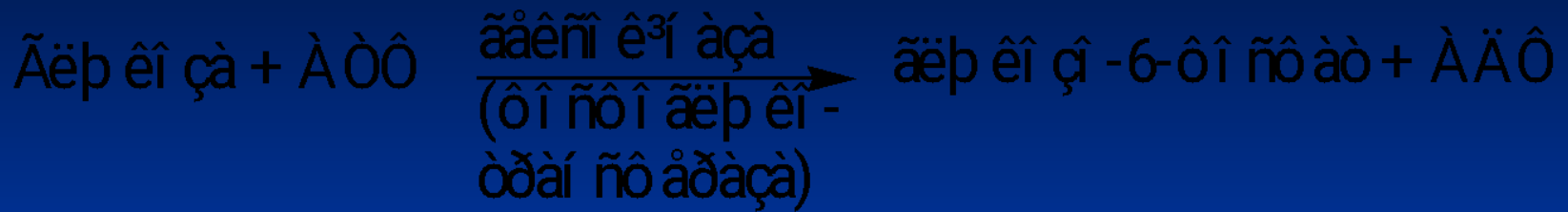
# Схема синтезу вітаміну С



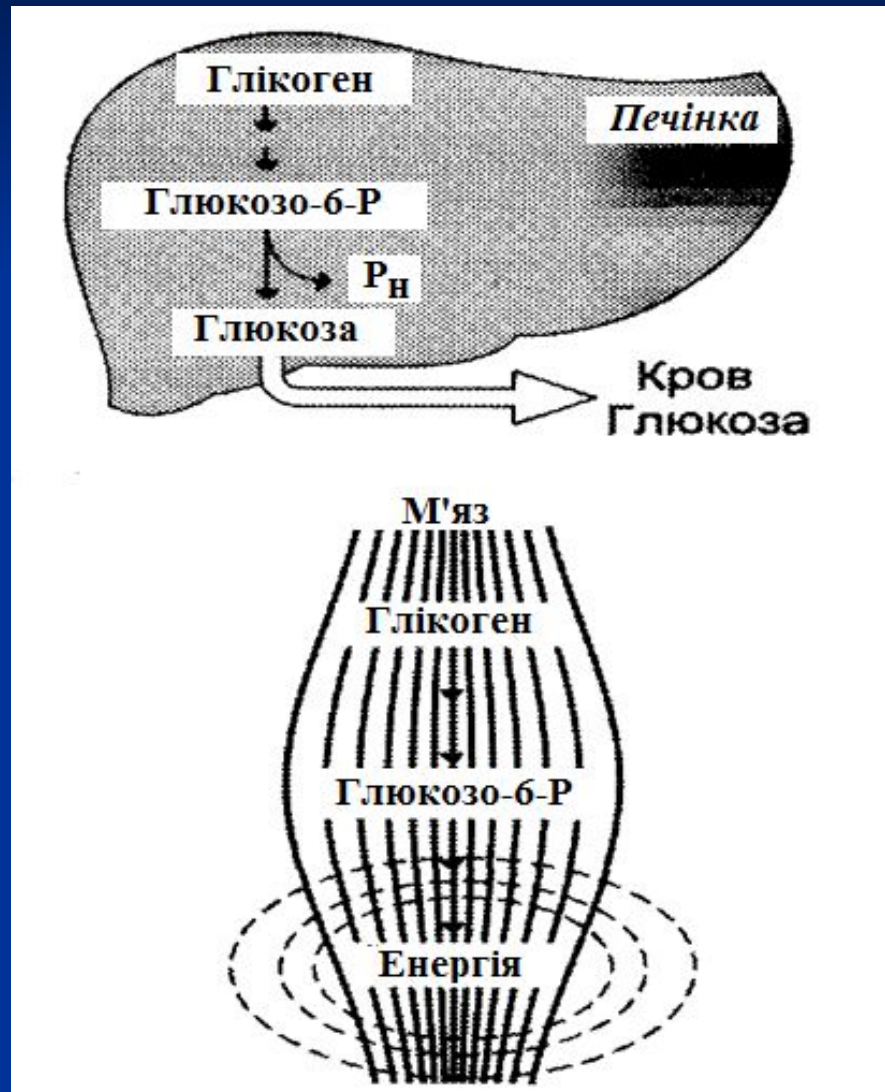
- **Біологічне значення** глюкуронової кислоти проявляється в тому, що вона здатна зв'язуватися з певними ендогенними і екзогенними речовинами в реакціях, що каталізуються глюкуронід-трансферазою. Зокрема, зв'язування «глюкуронідів» з кислотою приводить до утворення більш сильних «кислих» продуктів, які є водорозчинними при фізіологічному значенні рН, ніж попередники, і, таким чином, можуть змінювати їх метаболізм, транспорт, екскрецію.
- Утворення комплексів глюкуронової кислоти є важливим в ряді процесів, включаючи детоксикацію медикаментів, екскрецію стероїдів, в метаболізмі білірубину.



# Синтез глікогену (глікогенез)



# Функції глікогену в печінці і м'язах



# Регуляція глікогенезу

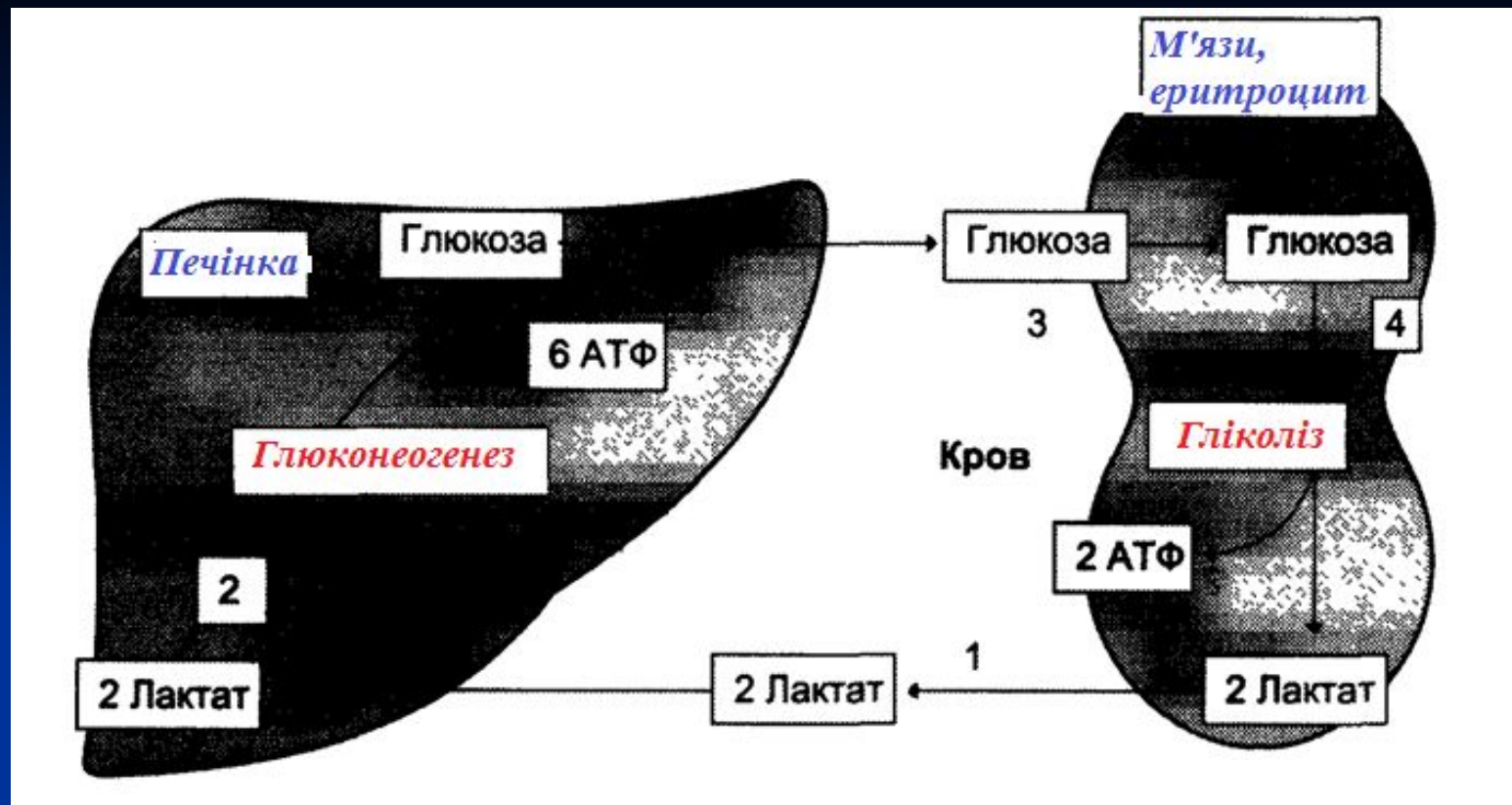
- Активує цей процес інсулін.
- Інгібують цей процес:  
глюкагон,  
адреналін.

# Глюконеогенез

- це синтез глюкози з неуглеводних метаболітів (молочної кислоти, карбонових кислот, гліцерину, залишків амінокислот), тобто тих, які утворюються в результаті метаболізму вуглеводів, ліпідів та білків.

# Включення субстратів у глюконеогенез





### Цикл Корі (глюкозо-лактатний цикл).

1. Надходження лактату з м'язу, що скорочується, з током крові в печінку;
2. Синтез глюкози з лактату в печінці;
3. Надходження глюкози з печінки з током крові до м'язу, що працює;
4. Використання глюкози як енергетичного субстрату м'язом, що скорочується, і утворення лактату.

- Лактат, що утворився в м'язах, які інтенсивно працюють або в клітинах з переважаючим анаеробним шляхом катаболізму глюкози, надходить в кров, а потім в печінку. В печінці відношення НАДН/НАД<sup>+</sup> нижче, ніж у м'язі, що скорочується, тому лактат-дегідрогеназна реакція відбувається у зворотному напрямку, тобто в сторону утворення пірувату з лактату. В подальшому піруват включається в глюконеогенез, а утворена глюкоза надходить в кров і поглинається скелетними м'язами.

## *Цикл Корі виконує 2 важливі функції:*

- 1 — забезпечує утилізацію лактату;
- 2 — запобігає накопиченню лактату і, як наслідок цього, небезпечне зниження рН (лактоацидоз). Частина пірувату, утвореного з лактату, окиснюється печінкою до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ . Енергія окиснення може бути використана для синтезу АТФ, необхідного для реакцій глюконеогенезу.



# Синтез глюкози з амінокислот

- В умовах голодування частина білків м'язової тканини розпадається до амінокислот, які далі включаються в процес катаболізму. Амінокислоти, які в результаті катаболізму перетворюються в піруват або метаболіти цитратного циклу, можуть бути розглянуті як потенціальні попередники глюкози і глікогену і називаються глікогенними. Наприклад, оксалоацетат, який утворився з аспарагінової кислоти, є проміжним продуктом як цитратного циклу, так і глюконеогенезу.

# Синтез глюкози з гліцеролу

- Гліцерол утворюється в результаті гідролізу триацил-гліцеролів, головним чином в жировій тканині. Використовувати його можуть тільки ті тканини, в яких є фермент гліцеролкіназа, наприклад печінка, нирки. Цей АТФ-залежний фермент каталізує перетворення гліцеролу в  $\alpha$ -гліцeroфосфат (гліцерол-3-фосфат). При включенні гліцерин-3-фосфату в глюконеогенез відбувається його дегідрування НАД-залежною дегідрогеназою з утворенням дигідроксиацетонфосфату, який далі перетворюється в глюкозу.

# Гормони, регулятори рівня глюкози

а) *гіпоглікемічної дії*: інсулін

б) *гіперглікемічної дії*:

Основні: 

[	адреналін — у всіх тканинах,	}	через фосфорилазу
	ГЛЮКАГОН — тільки в печінці.		

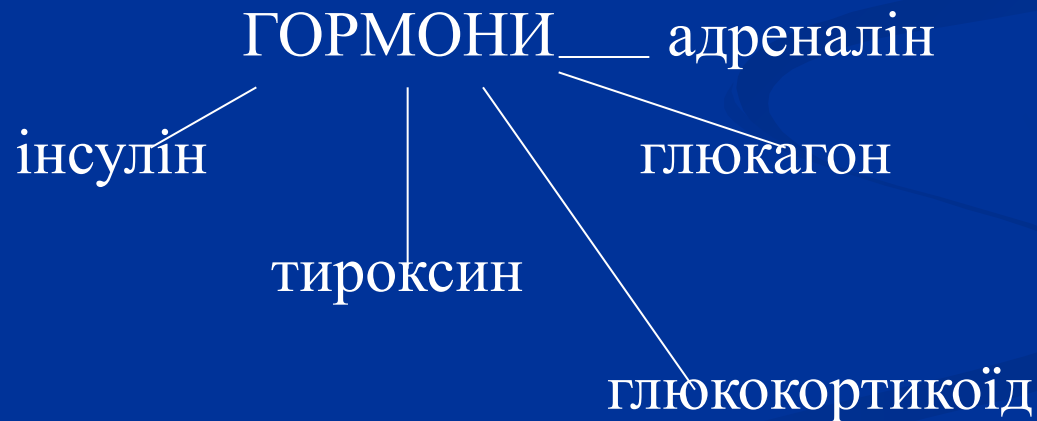
А також: тироксин і  
глюкокортикоїди.

# Регуляція рівня цукру в крові

Центр вуглеводного обміну гіпоталамусу

↓  
гіпофіз  
АКТГ, ТТГ

Залози внутрішньої секреції



# Біохімічні функції інсуліну

- Це головний анаболічний гормон.
- Підвищує проникність клітин печінки, нирок, жирової тканини та інших органів для глюкози, амінокислот, іонів та інших метаболітів.
- Стимулює використання глюкози різними метаболічними шляхами, в результаті чого рівень її в крові зменшується (гіпоглікемічна дія).

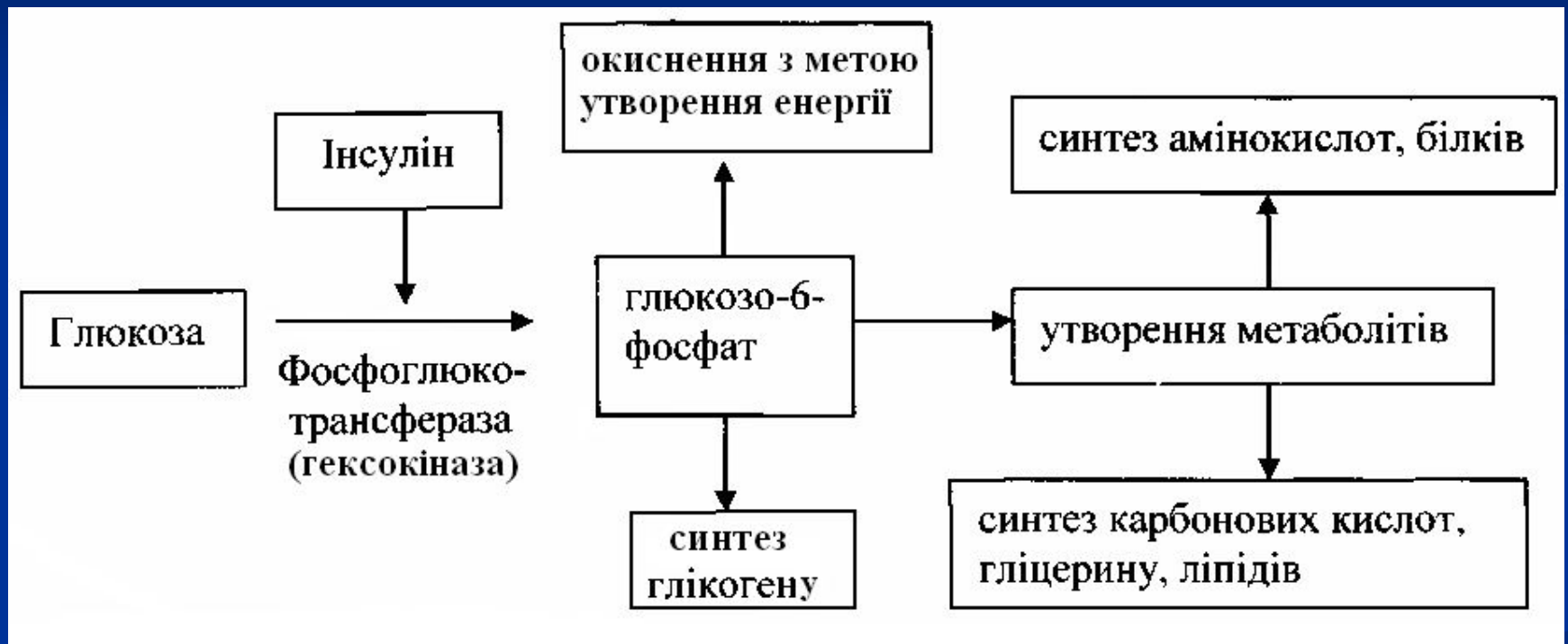
- Активує ключовий фермент обміну глюкози – глюкокіназу (гексокіназу):



- Глюкозо-6-фосфат в залежності від потреби організму може:

- а) окиснюватися з метою отримання енергії (~50%),
- б) перетворюватися в жири (~30 – 40%),
- в) накопичуватися в формі глікогену (~10%).

# Гіпоглікемічна дія інсуліну



# Гіпофункція по інсуліну

- Захворювання цукровий діабет.

- Основні його ознаки:

- 1) гіперглікемія;

- 2) глюкозурія;

- 3) кетонемія;

- 4) кетонурія;

- 5) ацидоз;

- 6) азотемія;

- 7) азотурія;

- 8) поліурія;

- 9) полідипсія (постійна спрага).



# Біохімічна дія глюкокортикоїдів

- Переважно діють на вуглеводний обмін.
- Підвищують концентрацію глюкози в крові (гіперглікемічна дія).
- Активують процеси глюконеогенезу в печінці.
- Підсилюють розпад білків, вивільнення амінокислот для глюконеогенезу.