

Лекція 7, 8

Тема: Обмін вуглеводів

План

1. Травлення вуглеводів в шлунково-кишковому тракті.
2. Всмоктування моносахаридів.
3. Гомеостаз глюкози крові.
4. Нервова та ендокринна регуляція вуглеводного обміну.
5. Синтез та розщеплення глікогену.
6. Анаеробна фаза окиснення вуглеводів. Гліколіз.
7. Аеробне окиснення вуглеводів.
8. Пентозофосфатний шлях окиснення вуглеводів та його біологічне значення.
9. Гліконеогенез.

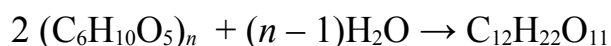
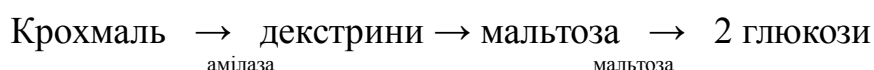
1. Травлення вуглеводів в шлунково-кишковому тракті

Потреба людини в вуглеводах 450-800 г на добу.

З них 35% випадає на долю моносахаридів, та 65% на долю ди- та полісахаридів.

Ферменти, які каталізують гідроліз крохмалю в ротовій порожнині – **амілази**, а ферменти, які гідролізують дисахариди мають назву з двох частин: назва дисахариду + суфікс «аза» – сахароза → **сахараза**, лактоза → **лактаза**. Всі вони мають оптимум дії в слабо лужному середовищі, за винятком амілази слини (в неї оптимум дії при рН = 6,8).

Ці ферменти, які діють на всі вуглеводи, знаходяться у слині та підшлунковій залозі, а також в кишковому соці.



Гідроліз сахарози та лактози проходить таким же чином, тільки ці реакції каталізують інші ферменти: сахараза та лактаза відповідно.



2. Всмоктування моносахаридів

З кишечника в кров всмоктуються тільки моносахариди, тож усі полісахариди та дисахариди повинні гідролізуватися до відповідних моносахаридів. Всмокткування проходить згідно законів осмосу.

Тільки **глюкоза, галактоза, фруктоза** мають деякі відмінності від загального шляху. Спочатку вони фосфорилуються, утворюють гексозофосфорні ефіри, потім останні при переході в кров розщеплюються і цукор поступає в кров'яний потік.

Фосфорилування йде з втратою молекули АТФ, а фермент, який каталізує цей процес – **гексокіназа**.

При всмоктванні фруктози відбувається її фосфорилування, утворюється фруктозофосфат, останній переходить в глюкозо-6-фосфат.

Тому **в кров потрапляє не фруктоза, а глюкоза**.

3. Гомеостаз глюкози крові

Моносахариди, які всмокталися в кров, по системі воротної вени потрапляють у печінку.

Частина глюкози затримується та відкладається в печінці у вигляді глікогену, а інша частина поступає в велике коло кровообігу (кількість глюкози в печінці залежить від кількості стану організму та її кількості в крові). Наприклад, якщо їжа містить багато крохмалю, то глюкоза йде в кров поступово, її більшість накопичується.

Взагалі, глюкоза дуже швидко потрапляє в кров.

Підвищений рівень цукру в крові – **аліментарна гіперглікемія**.

Первинна потреба в глюкозі у головному мозку. Якщо рівень цукру в крові дуже високий, частина його виводиться з сечею – **аліментарна глікозурія**.

4. Нервова та ендокринна регуляція вуглеводного обміну

Нервова регуляція вуглеводного обміну здійснюється підкорковими утвореннями (гіпоталамус) та корою головного мозку.

Зниження цукру в крові миттєво збуджує нервовий імпульс, він поступає до відповідних центрів мозку, які по симпатичним нервам передаються в печінку і визивають в ній розщеплення глікогену. В результаті рівень цукру підвищується.

Ендокринна регуляція вуглеводного обміну:

- **гормони підшлункової залози** (інсулін, глюкагон);
- **гормони наднирників: корковий шар** (кортикостероїди) та **мозковий шар** (адреналін, норадреналін);
- **гормони щитовидної залози** (при гіперфункції щитовидної залози розвивається мікседема – порушення обміну вуглеводів);
- **гормони гіпофізу** (вазопресин).

5. Синтез глікогену

Синтез глікогену в печінці і саме тут він відкладається.

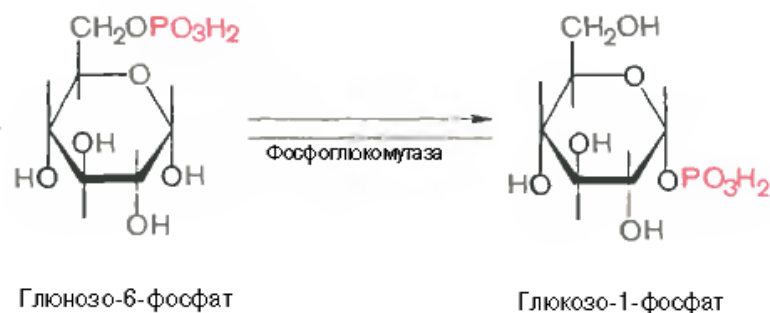
Глюкоза з крові фосфорилуються (каталізує цей процес гексокіназа), витрачається молекула АТФ, утворюється глюкозо-6-фосфат.



Далі процес йде за двома шляхами:

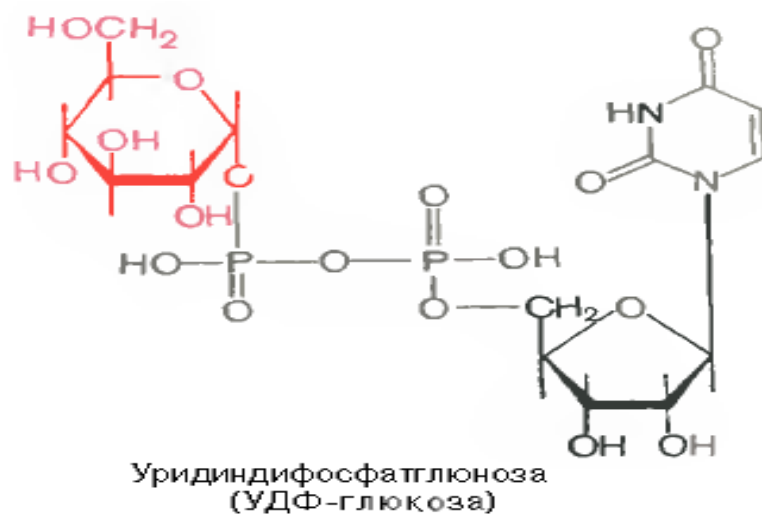
- 1) перетворення в глікоген;
- 2) окиснення в якості джерела енергії.

Глюкозо-6-фосфат переходить в глюкозо-1-фосфат за участю ферменту фосфоглюкомутази.

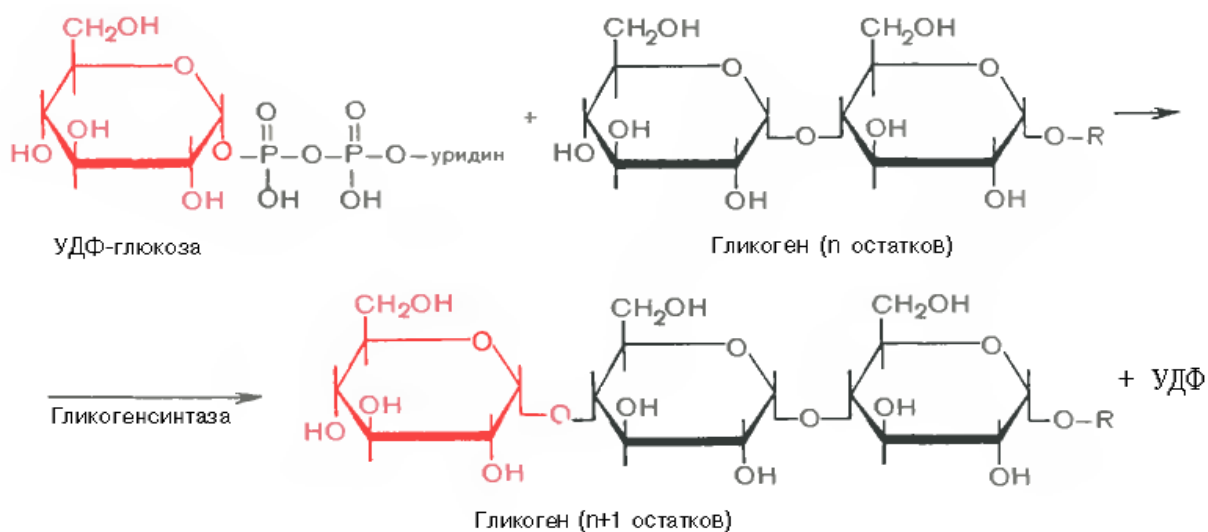


Далі глюкозо-1-фосфат вступає в взаємодію з уридинтрифосфатом.

Глюкозо-1-фосфат + УТФ \rightleftharpoons УДФ-глюкоза + Пирофосфат.



На уридиндифосфатглюкозу діє фермент уридиндифосфатглікогенсинтетаза, при наявності глікогену в печінці.



УДФ перетворюється в УТФ за допомогою фосфорилування.

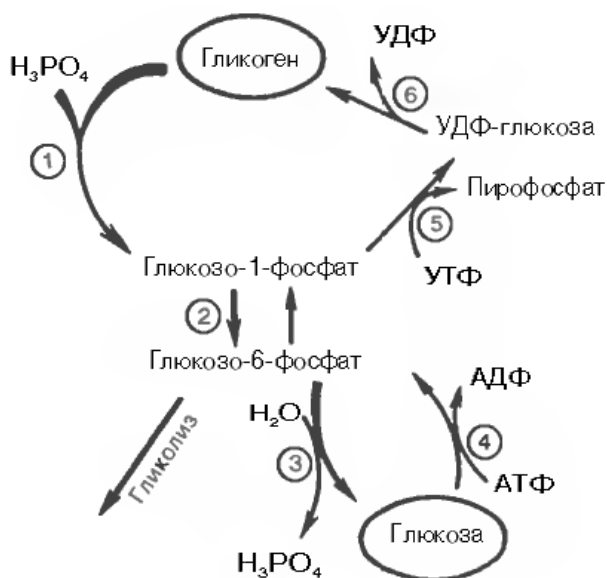


УТФ з новою молекулою глікогену вступає заново в реакції.

Таким чином, збільшення глікогену на один глікозидний залишок відбувається з поглинанням енергії та потребує затрати однієї молекули АТФ.

Розщеплення глікогену (глікогеноліз) – здійснюється ферментом **фосфорилазою** за участю глюкозо-1-фосфату.

Останній перетворюється в глюкозо-6-фосфат, який розщеплюється **глюкозо-6-фосфатазою** на глюкозу, яка йде в кров, та ортофосфору кислоту, яка залишається в печінці.



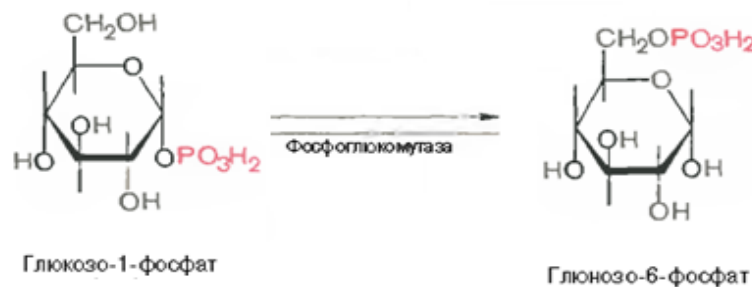
Взаємозв'язок розпаду та синтезу глікогену:

товсті стрілки – розпад глікогену;
тонкі стрілки – синтез глікогену.

6. Анаеробна фаза окиснення вуглеводів. Гліколіз

Окиснення вуглеводів до пірвіноградної або молочної кислоти, яке протікає анаеробно має назву **гліколізу**.

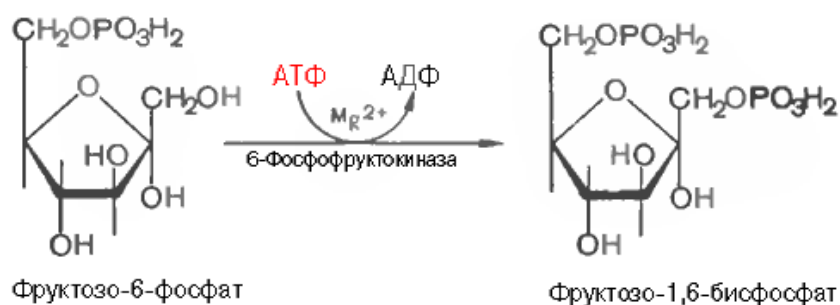
Гліколіз може починатися або з фосфоролізу глікогену, або з фосфорилювання вільної глюкози.



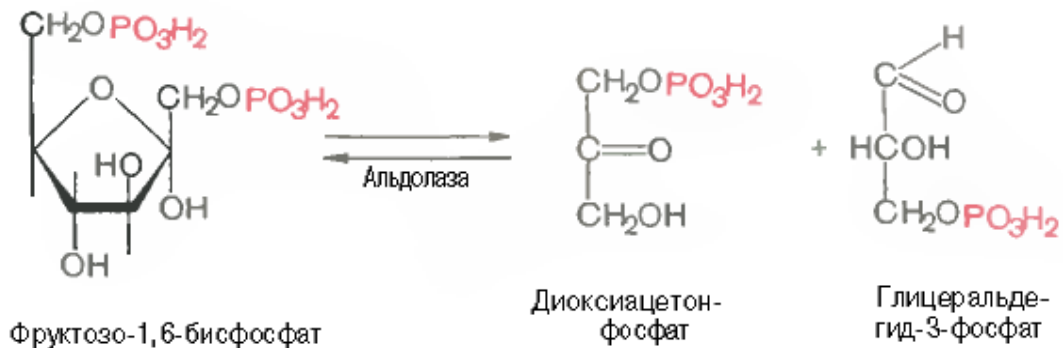
В обох випадках вони переходять в фруктозо-6-фосфат під дією ферменту **глюкозо-6-фосфатізомерази**.



Фруктозо-6-фосфат під дією ферменту **фосфофруктокінази** та при участі АТФ утворює фруктозо-1,6-біфосфат.



Молекула фруктозо-1,6-дифосфату не електростатична, більш окиснена її частина, яка має в своєму складі кето-групу, є електропозитивною. Це призводить до перетягування електронів та атому водню від С³-глюкози, а в кінцевому результаті до розриву ланцюга ферментом **альдолазою**.



Диоксиацетонфосфат під дією ферменту **ізомерази** переходить у фосфогліцериновий альдегід (в подальшому викладенні треба **враховувати 2** в рівнянні реакцій перед трьох карбоновими ланцюгами).



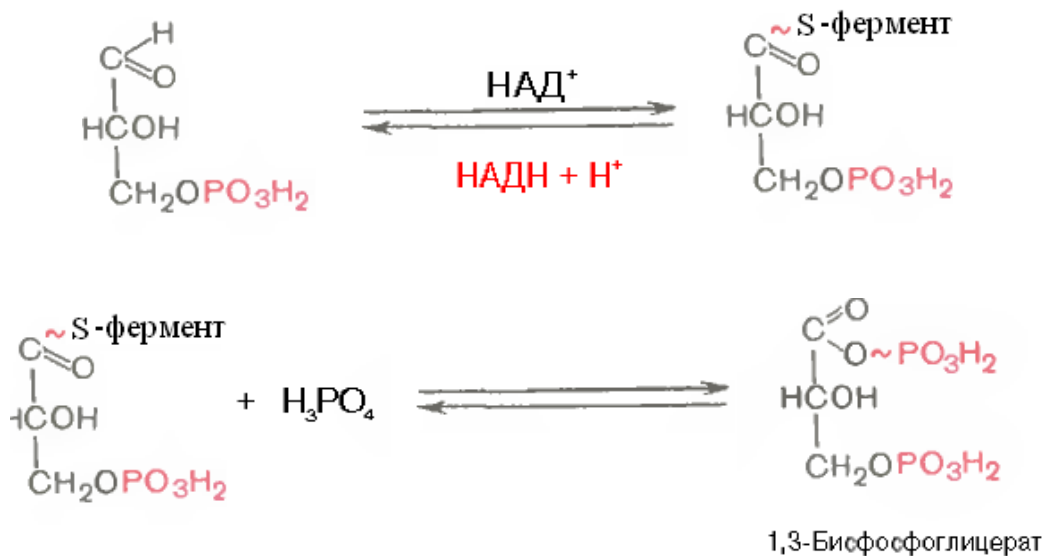
Окиснення починається зі стадії утворення двох молекул фосфогліцеринового альдегіду. Він вступає в реакцію оксидоредукції, яка відбувається при участі ферменту **дегідрогенази фосфогліцеринового альдегіду** та НАД.

Фермент, активна група якого має цистеїн приєднується своєю тіогрупою (-HS) до карбонільної групи фосфогліцеринового альдегіду.

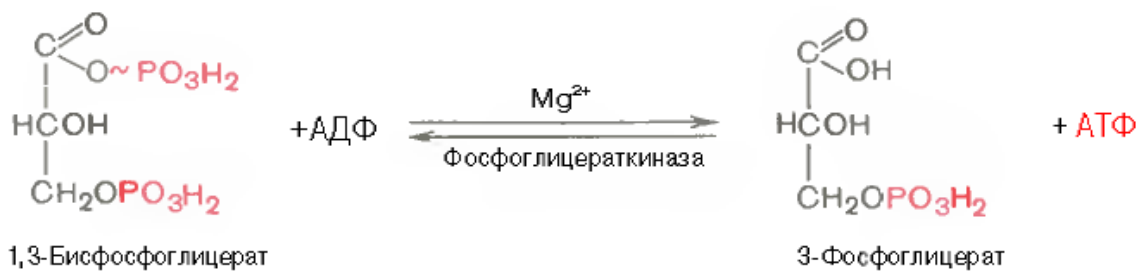
Проміжна сполука, яка утворюється, віднімає 2 атоми водню, завдяки чому відновлює НАД.

В результаті відщеплення водню, вуглець альдегідної групи окислюється до стадії карбоксилу і зв'язок між ним та сіркою ферменту становиться **макроергічним**.





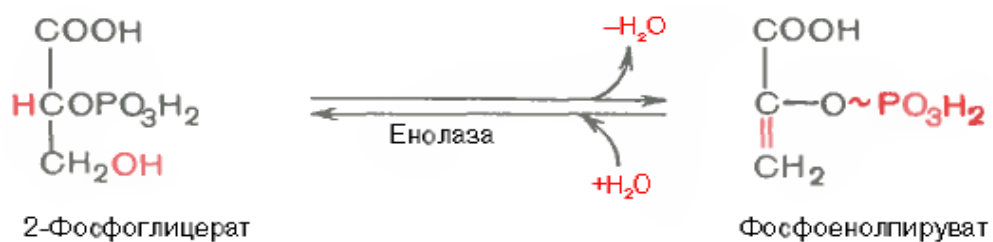
Сполука, що утворилась в результаті гліколітичної оксидоредукції, вступає далі в реакцію перефосфорилування з АДФ при участі ферменту **фосфоглицераткінази**.

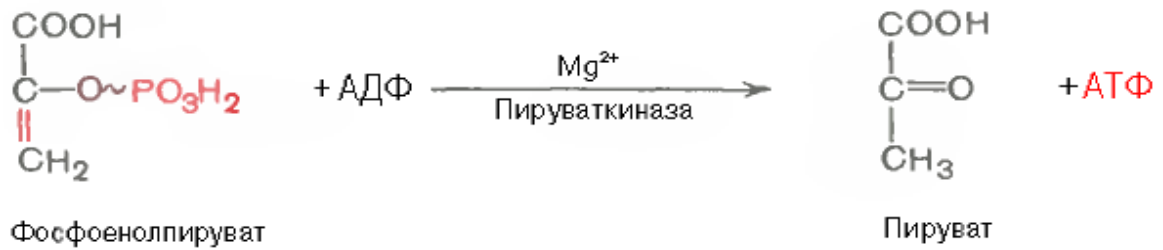


Реакція ізомеризації під дією ферменту **ізомерази** для утворення 2-фосфоглицеринової кислоти.



Під дією ферменту **дегідрогенази** утворюється:

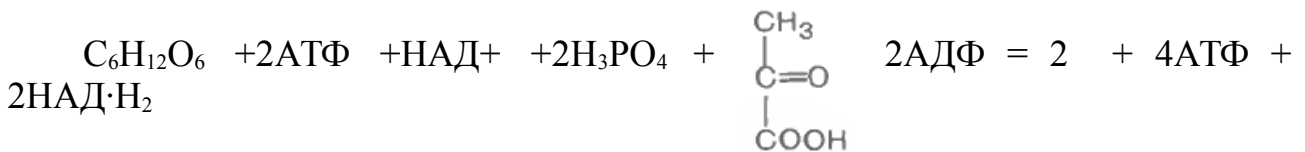




Ця реакція каталізується ферментом **піруваткіназою** і називається реакцією перифосфорилування з АДФ.

Таким чином, гліколітичне розщеплення глюкози призводить до утворення 4 молекул АТФ; одночасно частина цих молекул була витрачена для здійснення перетворень: 1 молекула затрачена на утворення фруктозо-1,6-дифосфату, крім цього, якщо гліколіз починається з фосфорилування глюкози, то витрачається ще одна молекула АТФ. Тому чистий вихід складає 2 або 3 молекули АТФ.

Сумарна реакція гліколізу:



Якщо ж пірвіноградна кислота окислюється до **МОЛОЧНОЇ КИСЛОТИ**:



Сумарна реакція гліколізу:



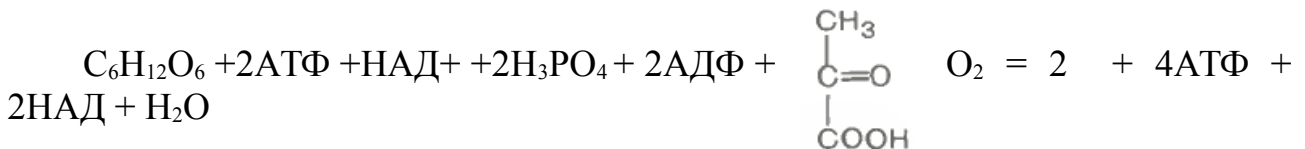
7. Аеробне окиснення вуглеводів

Якщо організм достатньо отримує кисень, то утворення молочної кислоти не відбувається, так як НАД·Н₂ буде передавати всі свої протони водню на кисень.

Піровіноградна кислота далі аеробно окислюється вже в циклі Кребса.

Процес запобігання утворення молочної кислоти і направлення окиснення піровіноградної кислоти по аеробному шляху є – **реакції Пастера**.

В цьому випадку сумарна реакція матиме вигляд:



Піровіноградна кислота в результаті складних процесів окиснення перетворюється в ацетил-КоА, який вступає в нову фазу, у фазу аеробного окиснення ацетилю, яка відбувається в циклі Кребса.

Таким чином, при повному окисненні в циклі Кребса одна молекула глюкози утворює 38 молекул АТФ, але 2 молекули витрачається, тому чистий вихід складає **36 молекул АТФ**.

8. Пентозофосфатний шлях окиснення вуглеводів та його біологічне значення

Був відкритий Енгельгардом, є суцільно **аеробним**.

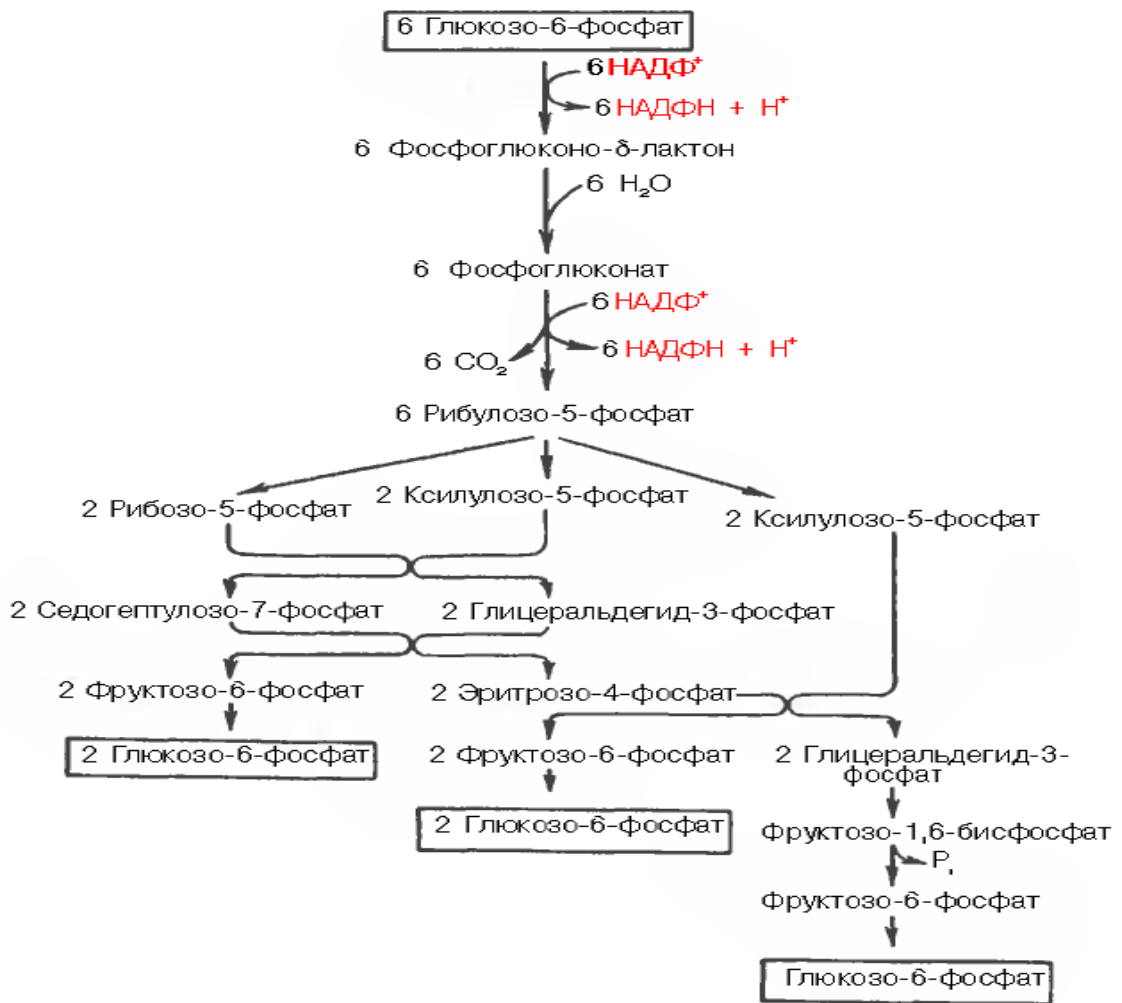
Сутність його полягає в тому, що 6 молекул глюкозо-6-фосфату вступають в реакції; виділяються 6 молекул вуглекислого газу.

В ланцюгу складних перетворень та хімічних реакцій, глюкоза скорочує свій ланцюг на 1 атом карбону.

Фосфогліцеринний альдегід окислюється до піровіноградної кислоти з наступним окисненням її в циклі Кребса.

Цей процес відбувається в органах з постійними функціями. При окисненні глюкози утворюється **36 молекул АТФ**.

Крім того при окисненні за цим шляхом, в якості одного з проміжних продуктів утворюється **рибозо-5-фосфат**, який використовується для утворення РНК (пластична функція).

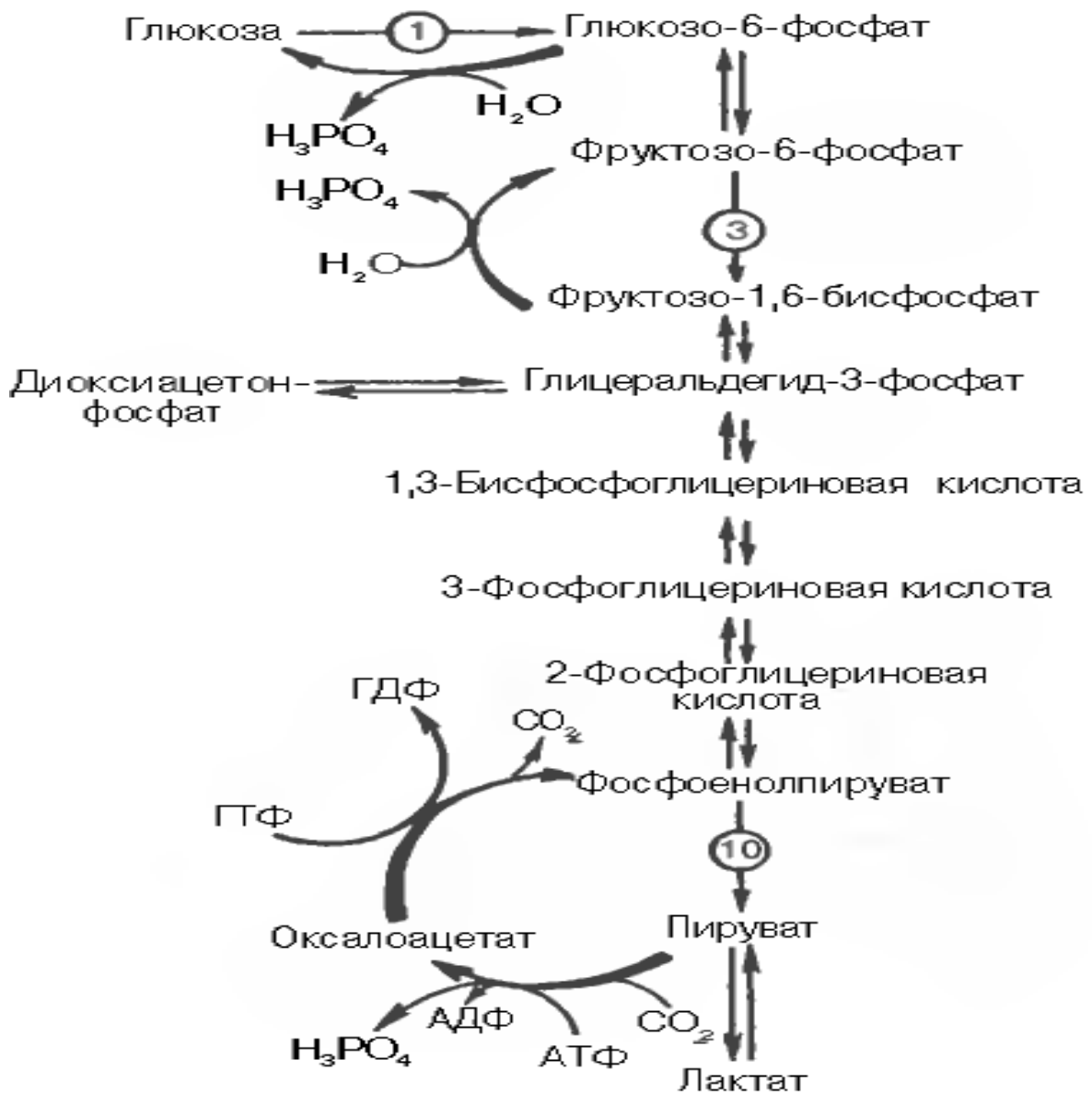


Пентозофосфатний шлях окиснення глюкози

9. Гліконеогенез

Утворення глюкози, а також глікогену в організмі може відбуватися не тільки з молочної кислоти та з пірвіноградної кислоти, а також з інших речовин, які можуть бути перетворені в пірвіноградну кислоту – ряд амінокислот, після NH_2 -групи, з ацетилу.

Якщо утворення глюкози відбувається з **ацетилу**: спочатку протікає карбоксилювання ацетилу за рахунок АТФ та CO_2 , потім утворюється фосфоенолпірвіноградна кислота і далі (див. гліколіз в зворотньому порядку) до глюкозо-6-фосфату, а далі глікоген, при його розщепленні до глюкози. Цей процес називається **гліконеогенезом** (на рис. зворотні стрілки).



Гліконеогенез