

ВУГЛЕВОДИ - НЕОБХІДНІ КОМПОНЕНТИ ПОВНОЦІННИХ ДІЄТ

1. Загальна характеристика вуглеводів.
2. Ізомерія та класифікація вуглеводів.
3. Будова і властивості моносахаридів.
4. Будова і властивості дисахаридів.
5. Будова і властивості полісахаридів.
6. Роль вуглеводів в організмі людини та в підвищенні працездатності спортсменів.



Вуглеводи = вуглець + вода



<http://www.healthchild.net/absolutely-not-feeding-sugar-for-your-kids-335.html>



<http://www.christiantoday.com/article/carbohydrates.in.diet.carbs.are.good.for.the.brain.according.to.study/61532.htm>



http://2012info.com/2012/15_Companies_That_Use_Wood_in_Food/wood_in_food.html

Вуглеводи утворюється в природі в рослинах в результаті фотосинтезу. В цьому складному біохімічному процесі зеленими частинами рослини поглинається вода, вуглекислий газ та енергія Сонця, яка запасається у вигляді відновленого вуглецю та водню хімічно звязаних у молекули **вуглеводів**.

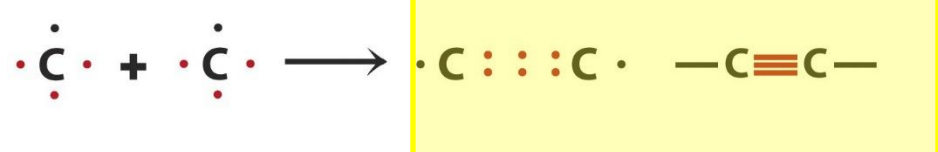
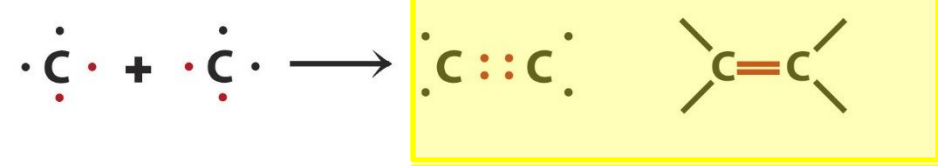
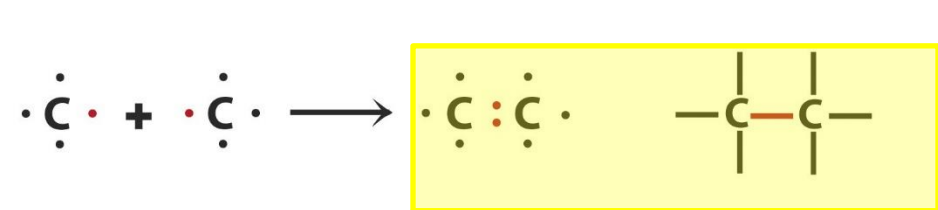
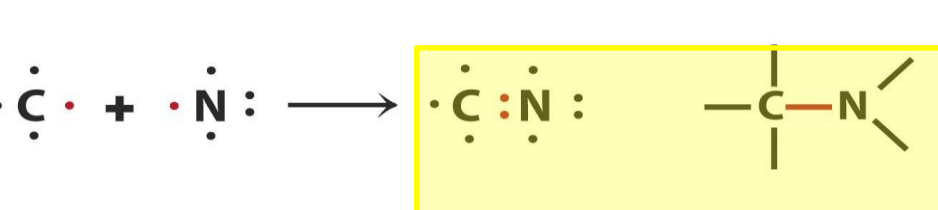
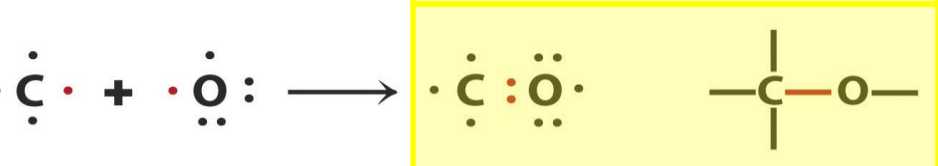
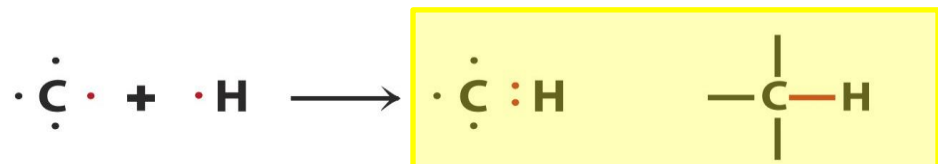
У клітинах живих організмів ці вуглеводи можуть бути використані для синтезу інших сполук , в тому числі і високоенергетичних жирів.

1 моль глюкози (180,16 г) акумулює приблизно 680 Ккал енергії Сонця.

Теоретично, така кількість енергії вивільняється при її окисненні до вуглекислого газу і води.

Вуглеводи містяться в клітинах всіх рослинних і тваринних організмів як у вигляді вільних цукрів - **глюкози** (виноградного цукру), **сахарози** (бурякового цукру), **лактози** (молочного цукру), так і у вигляді **полімерів** - **крохмалю** і **глікогену**, а також входять до складу інших речовин таких як: нуклеотиди, нуклеїнові кислоти, деякі складні білки (глікопротеїни) та ін.

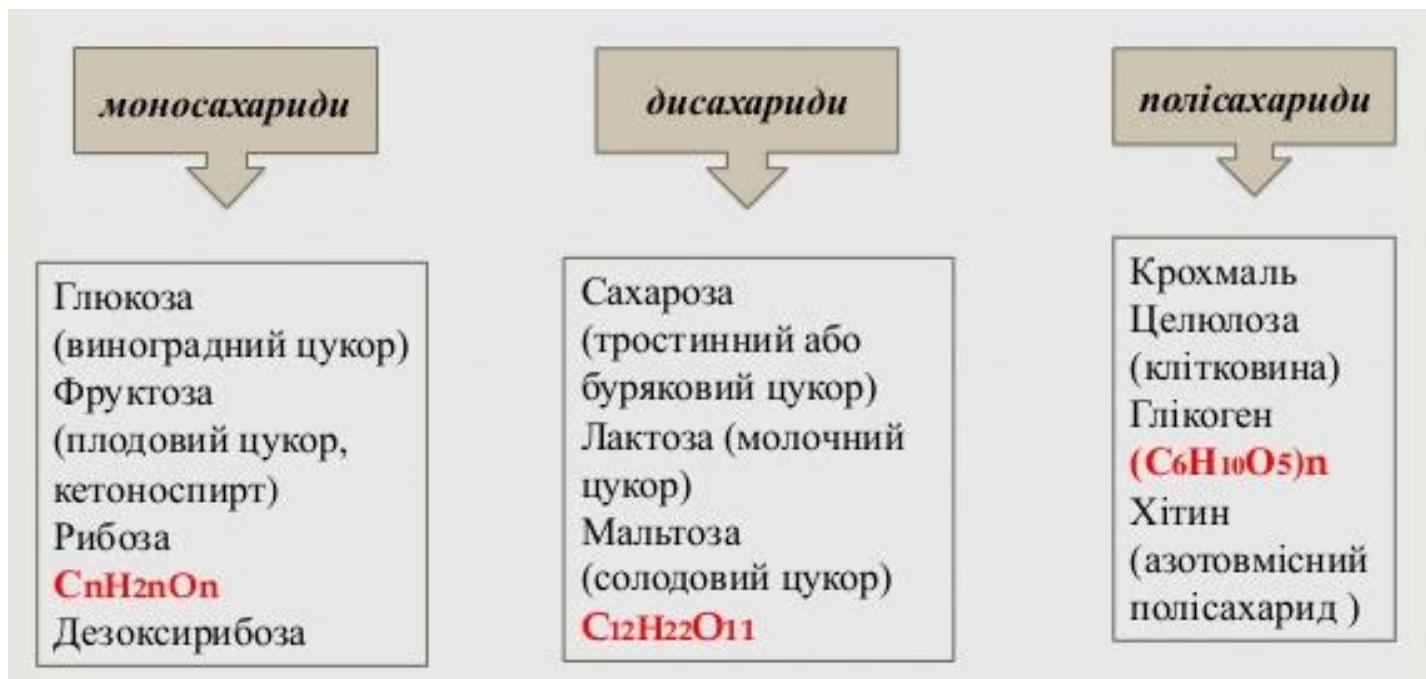
Вуглеводи надходять в організм у складі звичайних харчових продуктів рослинного і тваринного походження. Вуглеводи - основне джерело енергії для організму спортсменів. Їх вклад в утворення енергії повинен складати не менше 55-65% калорій.



Вуглеводи утворюється в природі в рослинах в результаті **фотосинтезу**.

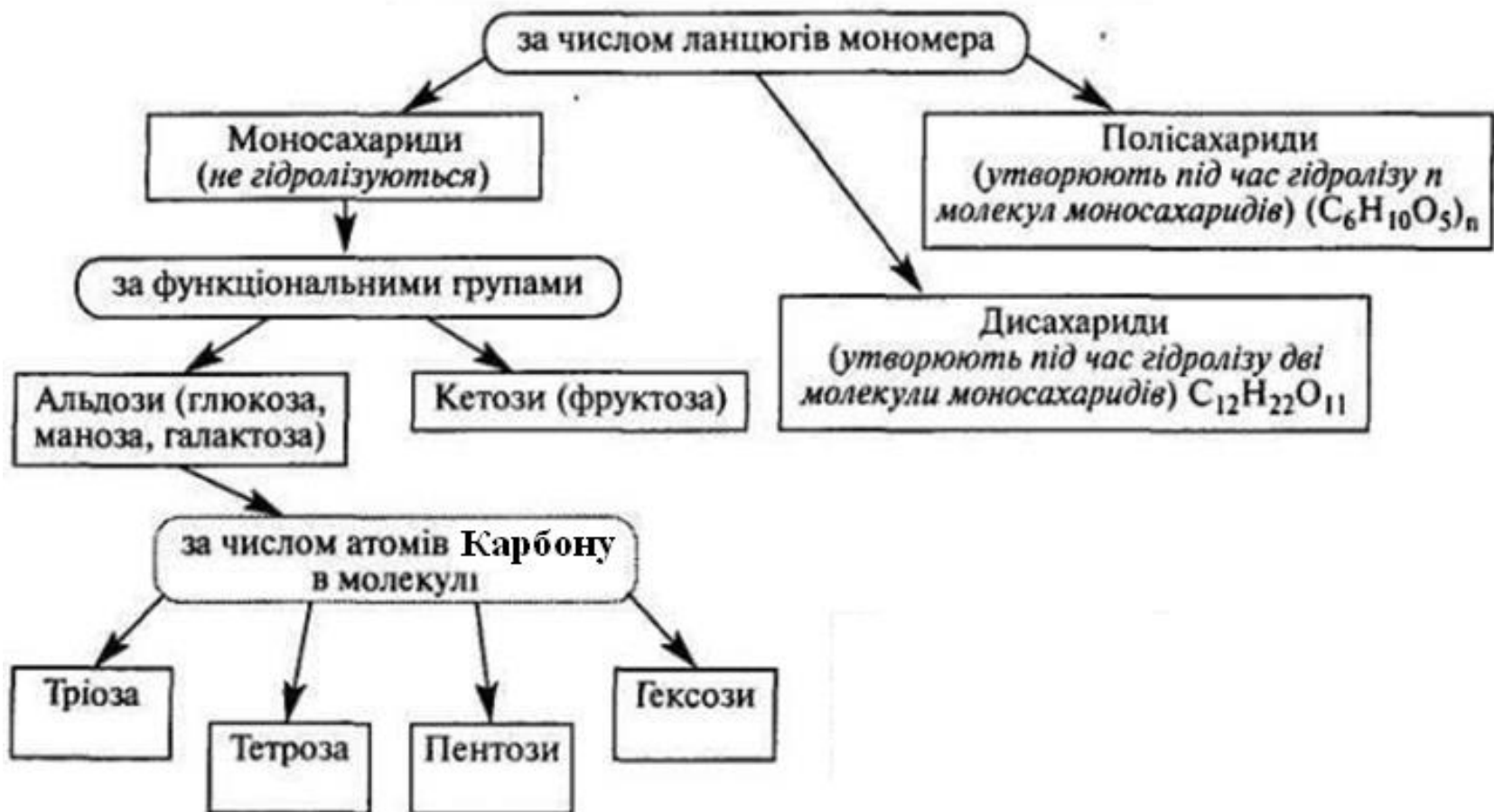
1 моль глюкози (180,16 г) акумулює приблизно 680 Ккал енергії Сонця.

Теоретично, така кількість енергії вивільняється у організмі людини при її окисленні до вуглекислого газу і води.

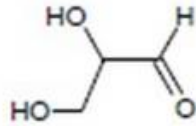


За кількістю атомів вуглецю в молекулі моносахариди класифікують на: біози (2 C), тріози (3 C), тетрози (4 C), пентози (5 C), гексози (6 C), гептози (7 C). Назва походить від грецького числівника.

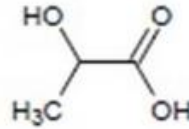
Класифікація вуглеводів



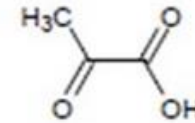
ТРИОЗИ



Гліцеральдегід

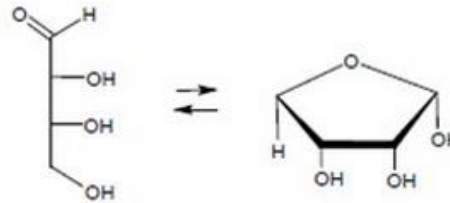


молочна кислота



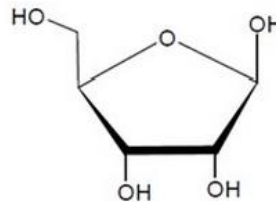
пірвіноградна кислота

ТЕТРОЗИ

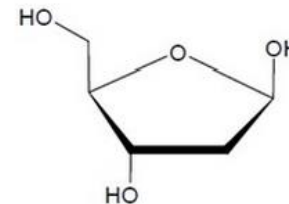


еритроза

ПЕНТОЗИ



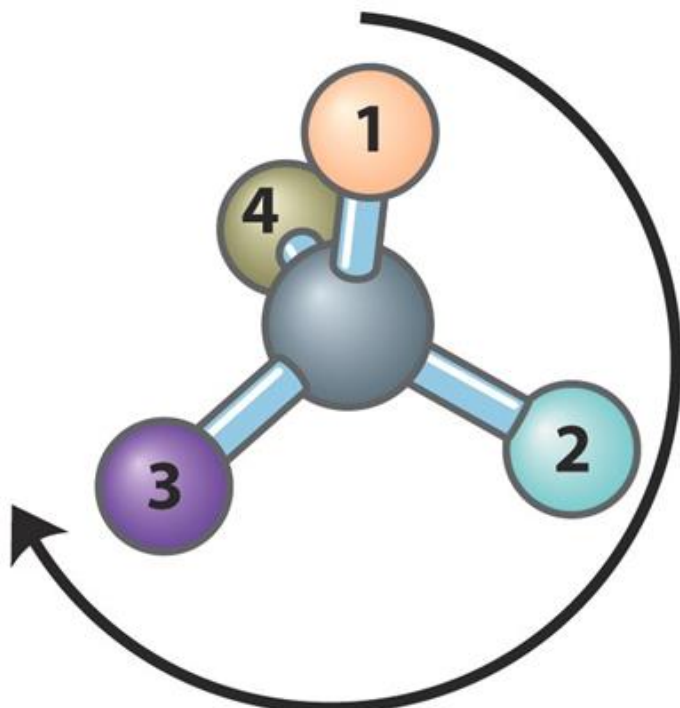
рибоза



дезоксирибоза

За кількістю атомів вуглецю в молекулі моносахариди класифікують на: біози (2 C), тріози (3 C), тетрози (4 C), пентози (5 C), гексози (6 C), гептози (7 C). Назва походить від грецького числівника.

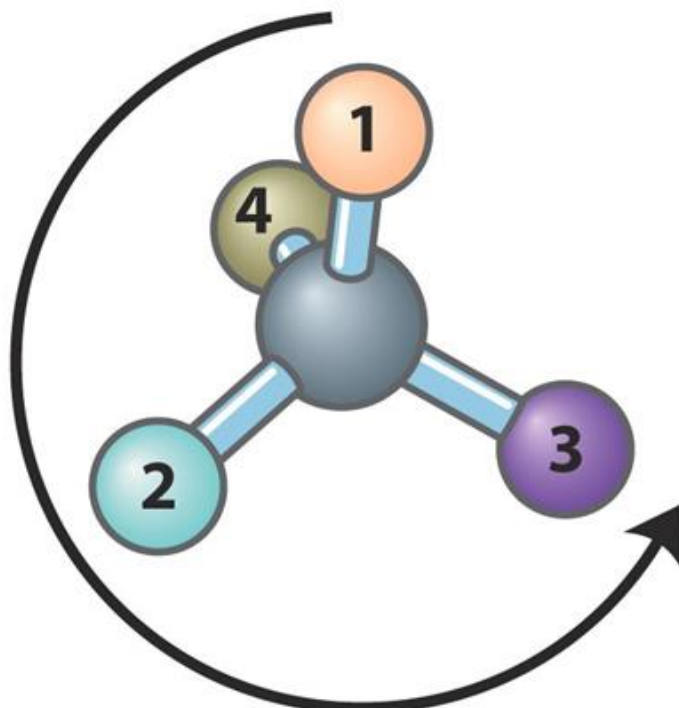
Chiral Rotation



Clockwise

D

Rectus (right)

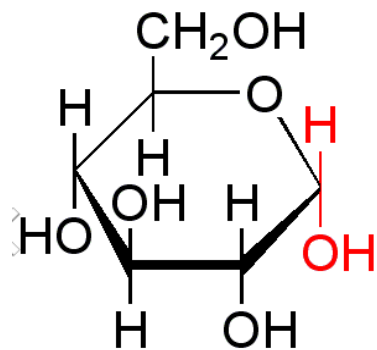
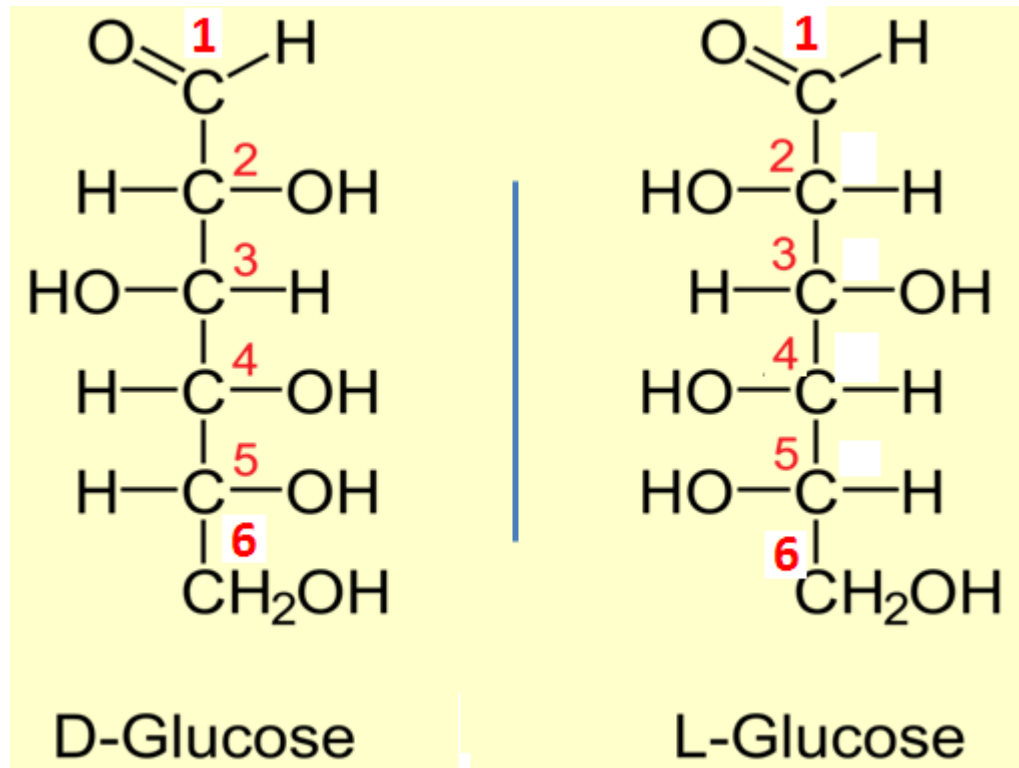


Counterclockwise

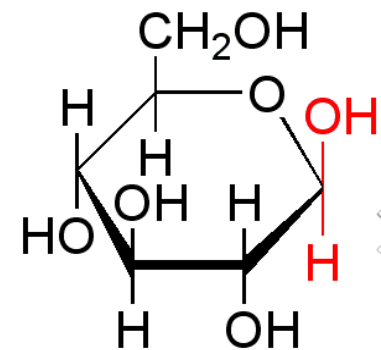
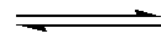
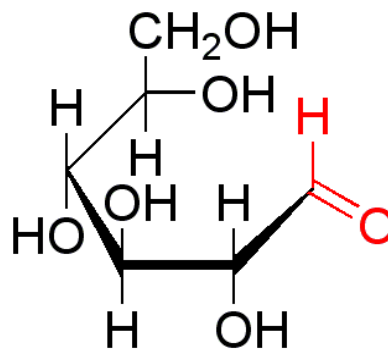
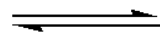
L

Sinister (left)

Структурні формули вуглеводів мають деякі особливості. В їх молекулах знаходяться асиметричні атоми вуглецю. Речовини, які мають асиметричний атом вуглецю, проявляють оптичну активність, їх ізомери утворюють **праві (D)** і **ліві (L)** ряди.

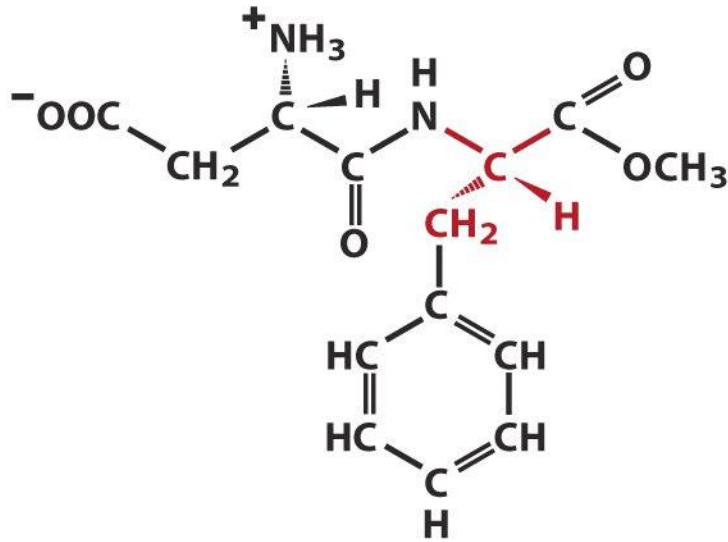


α -glucose

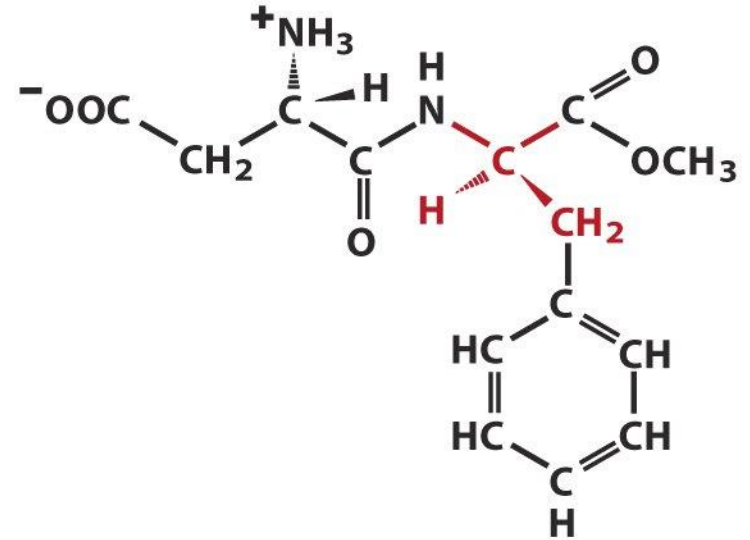


β -glucose

Stereoisomers Have Different Biological Effects



**L-Aspartyl-L-phenylalanine methyl ester
(aspartame) (sweet)**



**L-Aspartyl-D-phenylalanine methyl ester
(bitter)**

Всі моносахариди, крім дигідроксиацетону, містять хіральні атоми карбону, тобто такі, до яких приєднані 4 різні замісники, через це можливе утворення стереоізомерів, кількість яких рівна 2^n , де n — кількість хіральних атомів.

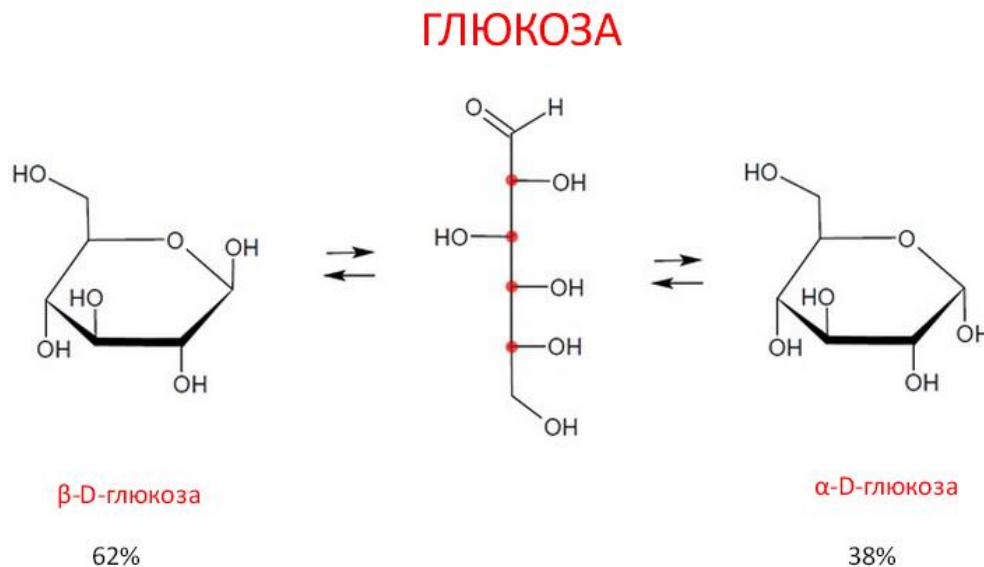
Так, для гліцеральдегіду існує два таких ізомери (2^1), що є точними дзеркальними відображеннями одне одного (енантіомерами) — D-гліцеральдегід і L-гліцеральдегід.

Альдогексози мають 4 хіральні центри, і, відповідно, 16 стереоізомерів. У восьми із них положення гідроксильної групи біля найдальшого від альдегідної групи атома карбону відповідає такому у D-гліцеральдегіду, вони є D-ізомерами, решта 8 — L-ізомерами.

Більшість гексоз живих організмів належать до D-ряду.

Моносахариди, що відрізняються положенням гідроксильної групи тільки біля одного атома карбону, називаються епімерами, наприклад глюкоза і галактоза (відмінність біля C4)

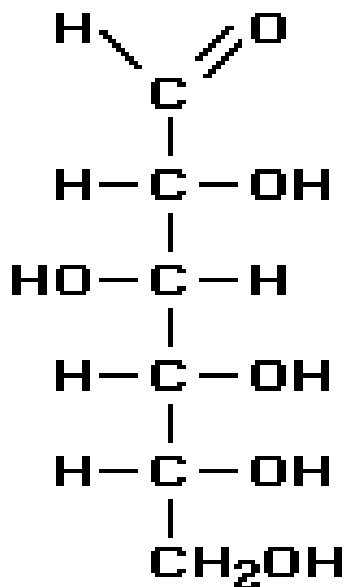
Глюко́за (від [грец.](#) *γλυκύς* — солодкий) (*виноградний цукор, декстроза*), $C_6H_{12}O_6$ — важливий **моносахарид**; білі кристали солодкі на смак, легко розчиняються у воді.



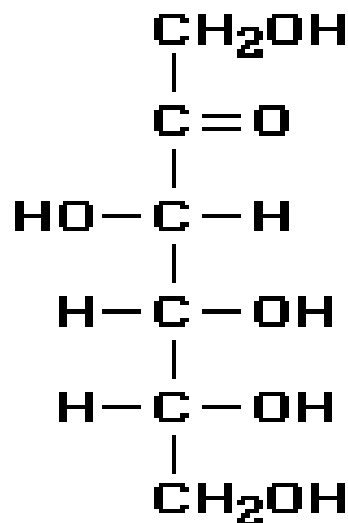
Природна кристалічна глюкоза являє собою циклічну альфа-формулу. При розчиненні в воді встановлюється динамічна рівновага між усіма формами.

Бета-форма також може бути виділена в кристалічному вигляді; у водному розчині вона утворює рівноважну систему з іншими формами.

Ланцюгова форма існує лише в розчинах, причому в дуже невеликій кількості, а в вільному вигляді не виділена. **Таутомерія**



Глюкоза



Фруктоза

В хімічних реакціях глюкоза і фруктоза проявляють ряд однакових характерних властивостей, оскільки в їх молекулах є спиртові групи. **Проте вони є представниками двох різних класів: альдоз та кетоз.**



<http://www.theguardian.com/news/datablog/2012/dec/20/health-survey-england-obesity-trends-data>

Nature За последние 50 лет потребление сахара в мире увеличилось втрое.

Эксперт в области диетологии и организации здравоохранения из Нью-Йоркского университета Мэрион Несле подчеркивает, что среднестатистический американец потребляет около **четверти** калорий именно с сахаром и зачастую не подозревает об этом.

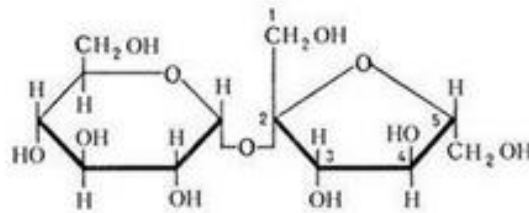
Если раньше производители добавляли в продукты преимущественно сахарозу, то теперь ее все чаще заменяют фруктозой. Фруктоза – самый сладкий из сахаров, в полтора раза слаще сахарозы и в три раза слаще глюкозы, добавлять ее выгоднее.

По оценкам **американских ученых**, сегодня уже три четверти всего бюджета здравоохранения США идет на лечение неинфекционных болезней – **ожирения, сахарного диабета, рака, сердечно-сосудистых заболеваний**, а в их развитии весьма заметную роль играет добавляемая в продукты питания **фруктоза**. По мнению американских ученых, **фруктозу следует прежде всего исключить из перечня безопасных пищевых добавок.**

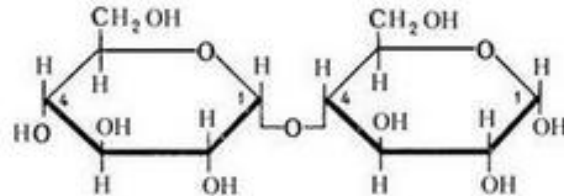
Складні вуглеводи складаються з декількох залишків моносахаридів.

Якщо їх два, то вони називаються дисахаридами.

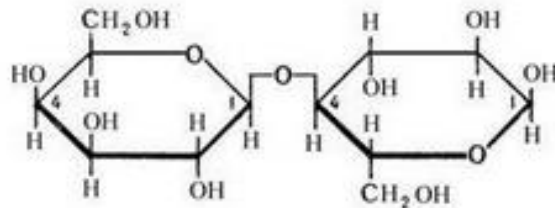
Сахароза



Мальтоза



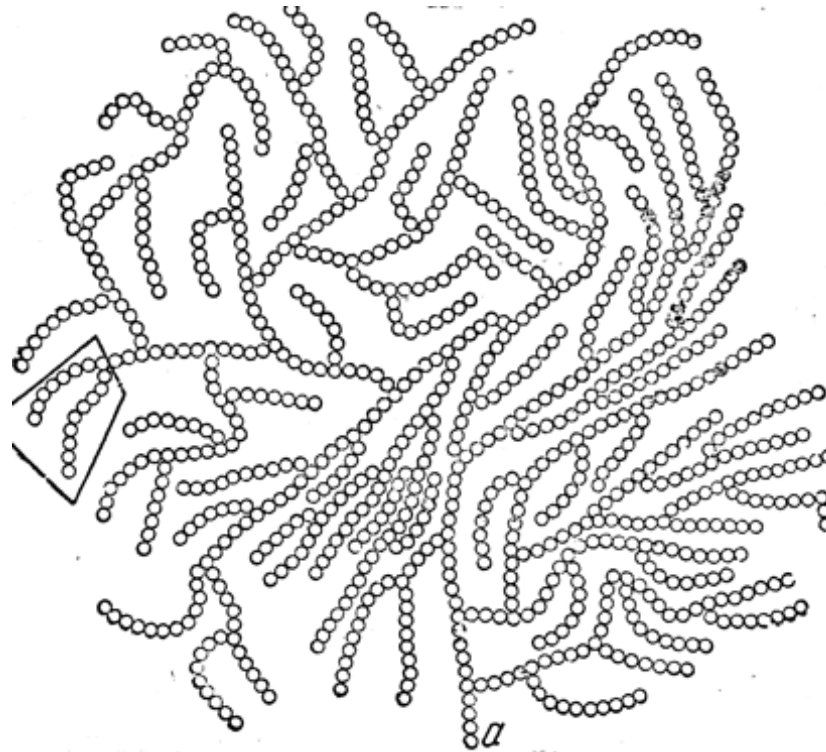
Лактоза



Як видно з рисунку сахароза складається з глюкози та фруктози, мальтоза – із двох молекул глюкози, а лактоза – із глюкози та галактози.

Дисахариди піддаються гідролізу, в результаті чого утворюються їх складові – моносахариди.

Глікогén (також відомий як «тваринний крохмаль», попри неточність цієї назви) — полісахарид, **гомополімер α -глюкози**, основна форма її зберігання в клітинах тварин. В людському організмі головними місцями накопичення глікогену є печінка та скелетні м'язи.



Глікоген є гомополімером α -глюкози, залишки якої з'єднані між собою ($\alpha 1 \rightarrow 4$)-глікозидними зв'язками. Кожні 8-10 мономерних залишків відбувається галуження, бічні гілки приєднані ($\alpha 1 \rightarrow 6$)-зв'язками. Таким чином молекула глікогену значно більш компактна і розгалужена ніж **крохмалю**.

У хребетних тварин найбільші кількості глікогену запасуються печінкою, де він може становити 7—10 % загальної маси (100 —120 г у дорослої людини), та скелетними м'язами (1-2 % від загальної маси).

Глікоген у м'язах слугує джерелом швидкої енергії як за аеробного, так і за анаеробного метаболізму. Його запаси можуть бути вичерпані за одну годину інтенсивного фізичного навантаження.

Печінковий запас глікогену під час голодування вичерпується за 12-24 годин.

Крохмаль в основному являє собою полімери α -D-глюкози, які з хімічної точки зору можна розділити як мінімум на два типи: [амілозу](#) (в цілому лінійний полімер) і [амілопектин](#) (сильно розгалужений полімер). Тобто, молекула крохмалю складається з двох хімічно-незалежних частин (полісахариди): [амілози](#) (20-30%) і [амілопектину](#) (70-80%), співвідношення яких залежить від природи рослин:

— у [кукурудзяному крохмалі](#) амілоза становить 25% всієї маси речовини, а амілопектин — 75%.

— у [картопляному крохмалі](#) амілози — 20%, а амілопектину — 80%, що надає йому специфічних властивостей.

— [крохмаль яблук](#) — із 100% амілози.^[6]

Найбагатше крохмалем [зерно злакових](#) рослин: [рису](#) (до 86%), [пшениці](#) (до 75%), [кукурудзи](#) (до 72%), а також бульби [картоплі](#) (до 24%) та зерно ячменю.

Для організму людини крохмаль поряд з [сахарозою](#) служить основним постачальником вуглеводів — одного з найважливіших компонентів [їжі](#). Під дією [ферментів](#) крохмаль [гідролізується](#) до [глюкози](#), яка окислюється в клітинах до [вуглекислого газу](#) і води з виділенням енергії, необхідної для функціонування живого організму.

За даними М.М. Яковлева, робітник, зайнятий фізичною працею протягом 8-годинного робочого дня, витрачає під час роботи 0,03-0,05 ккал/с, бігун-марафонець під час бігу - 0,3 ккал/с, а спринтер - 3 ккал/с.

Тобто при виконанні більшості фізичних вправ джерелом енергії є анаеробні процеси, в той час як трудова діяльність забезпечується аеробним способом отримання АТФ. Тому раціон спортсмена повинен мати не тільки необхідну енергетичну цінність, а й містити підвищену кількість вуглеводів, оскільки, тільки вуглеводи можуть піддаватися анаеробному розпаду і давати багато енергії в одиницю часу.

Реакция Майяра (реакция сахароаминной [конденсации](#)^[1], [англ.](#) *Maillard reaction*) — [химическая реакция](#) между [аминокислотой](#) и [сахаром](#), которая, как правило, происходит при нагревании. Примером такой реакции является [жарка](#) мяса или [выпечка](#) хлеба, когда в процессе нагревания пищевого продукта возникает типичный запах, цвет и вкус приготовленной пищи. Эти изменения вызваны образованием продуктов реакции Майяра. Вместе с [карамелизацией](#) реакция Майяра является формой неферментативного потемнения (побурения). Названа в честь французского химика и врача [Луи Камилла Майяра](#), который одним из первых исследовал реакцию в 1910-х годах.



Румяная корочка на пироге — это последствие реакции Майяра 

https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%9C%D0%B0%D0%B9%D1%8F%D1%80%D0%B0

ОБМІН ВУГЛЕВОДІВ

Із вуглеводів їжі в організмі людини засвоюються **полісахариди** крохмаль і глікоген, **дисахариди** сахароза, лактоза і мальтоза, **моносахариди** глюкоза і фруктоза, рибоза.

Розщеплення крохмалю і глікогену починається у роті під час жування їжі завдяки дії амілази, ферменту який виділяється слинними залозами. Залежно від часу знаходження їжі в роті, розщеплюється різна кількість зв'язків і утворюється суміш **декстринів** (олігосахаридів), мальтози та ізомальтози — дисахаридів, в яких залишки глюкози з'єднані, відповідно, α -1,4- і α -1,6-глікозидними зв'язками, та незначної кількості вільної глюкози.

Більша частина рослинних вуглеводів (целюлоза, пектини, тощо) не може засвоюватись організмом людини внаслідок відсутності ферментів, які б розщеплювали їх до моносахаридів. Проте вони частково утилізуються мікроорганізмами кишківника.

Перетравлення вуглеводів у шлунку різко сповільнюється, оскільки в шлунковому соку немає глюкозидаз, а амілаза слини інактивується при низьких значеннях рН. Проте при низьких значеннях рН може відбуватись частковий хімічний гідроліз полісахаридів. За таких умов краще розщеплюються білки, а розвиток гнильних мікроорганізмів є значно пригнічений.

Далі позаклітинне розщеплення вуглеводів продовжується і завершується у дванадцятипалій кишці, де є відповідні ферменти. Мальтаза гідролізує мальтозу до двох молекул глюкози, лактаза — лактозу до глюкози і галактози, сахараза — сахарозу до глюкози і фруктози.

Основні функції слюни у травленні:

- Змочування подрібненої їжі
- Початковий гідроліз глікогену та крахмалу
- Запобігання розвитку патогенних мікроорганізмів

За добу в середньому виділяється 1,5 -2,0 Л слюни.

Основні компоненти слюни

- Мінеральні:

Вода (99%) , **бікарбонати та хлориди натрію, калію, амонію, магнію, кальцію.** рН=5,5 - 7,5

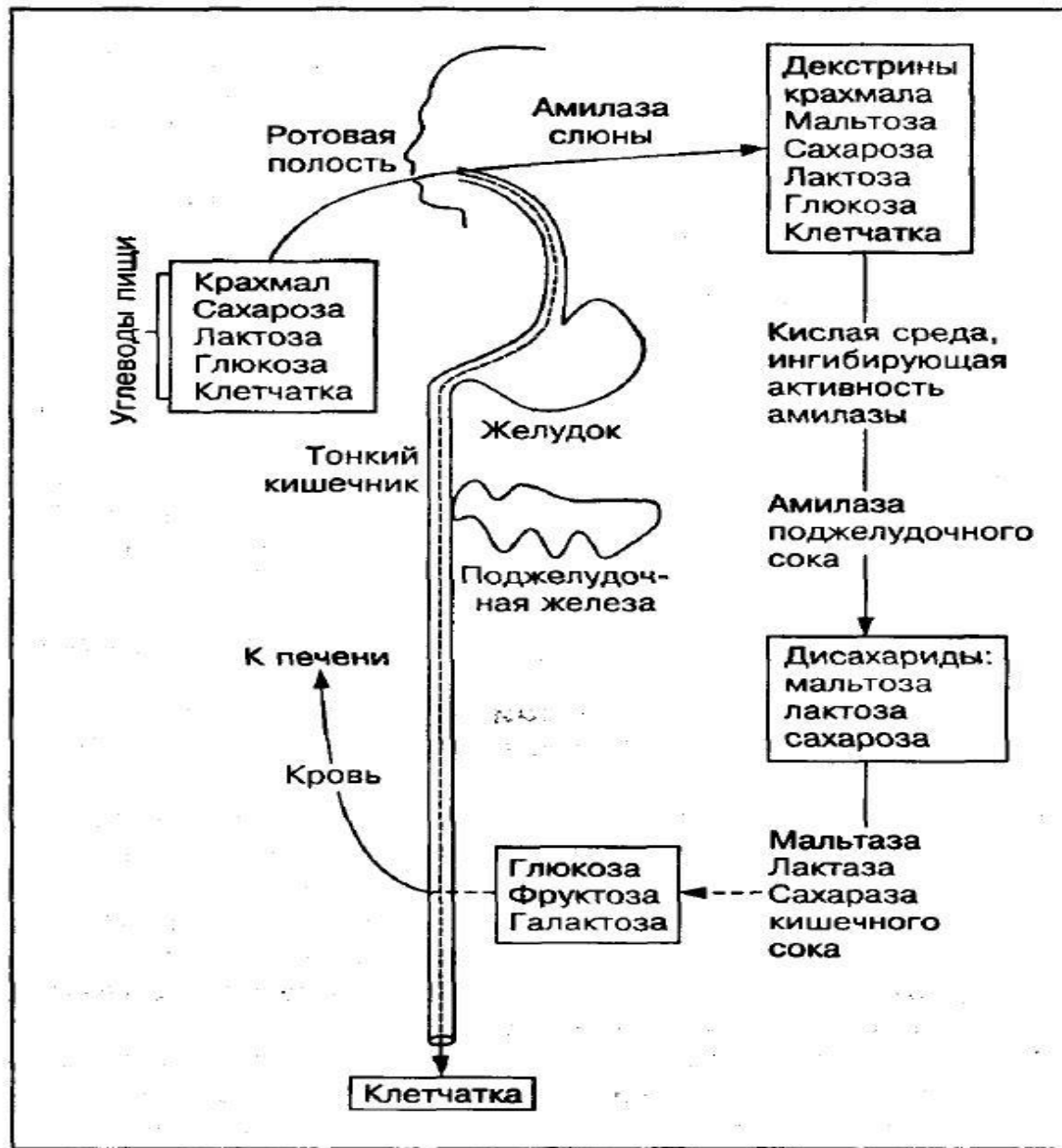
-Білкові:

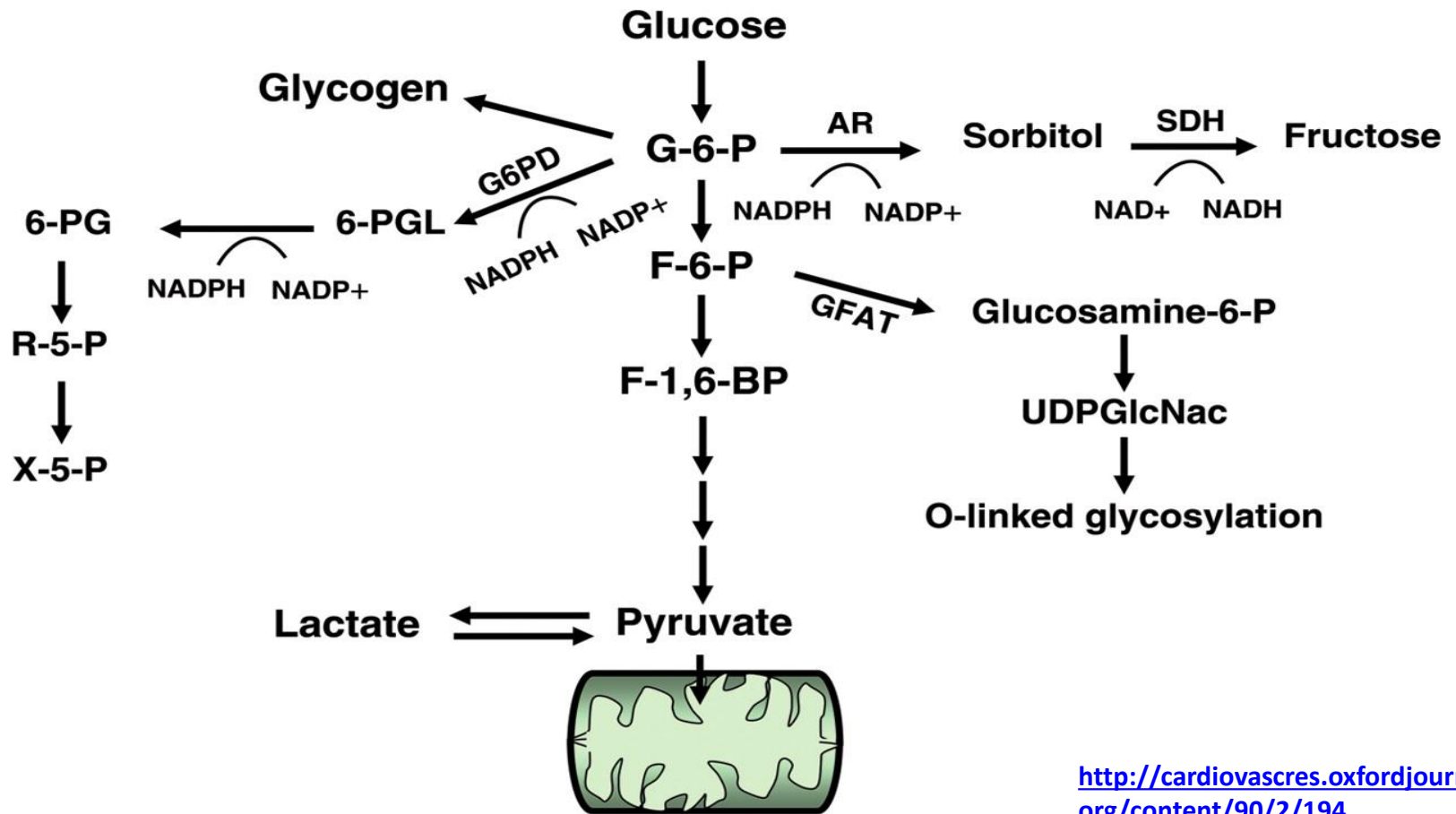
Амілаза, мальтаза, муцини, лізоцим.

Амілаза каталізує гідроліз α -1,4-глікозидних зв'язків глікогену та крахмалу . Основним продуктом є мальтоза.

Прості цукри (моносахариди) всмоктуються клітинами слизової оболонки і разносяться кровотоком по всьому організму. Всмоктання глюкози відбувається із затратами енергії АТФ необхідної для роботи спеціального білка переносника. Інтенсивне фізичне навантаження сповільнює цей процес, а легке – навпаки стимулює.

Рис. 60
 Схема расщепления углеводов пищи в процессе пищеварения





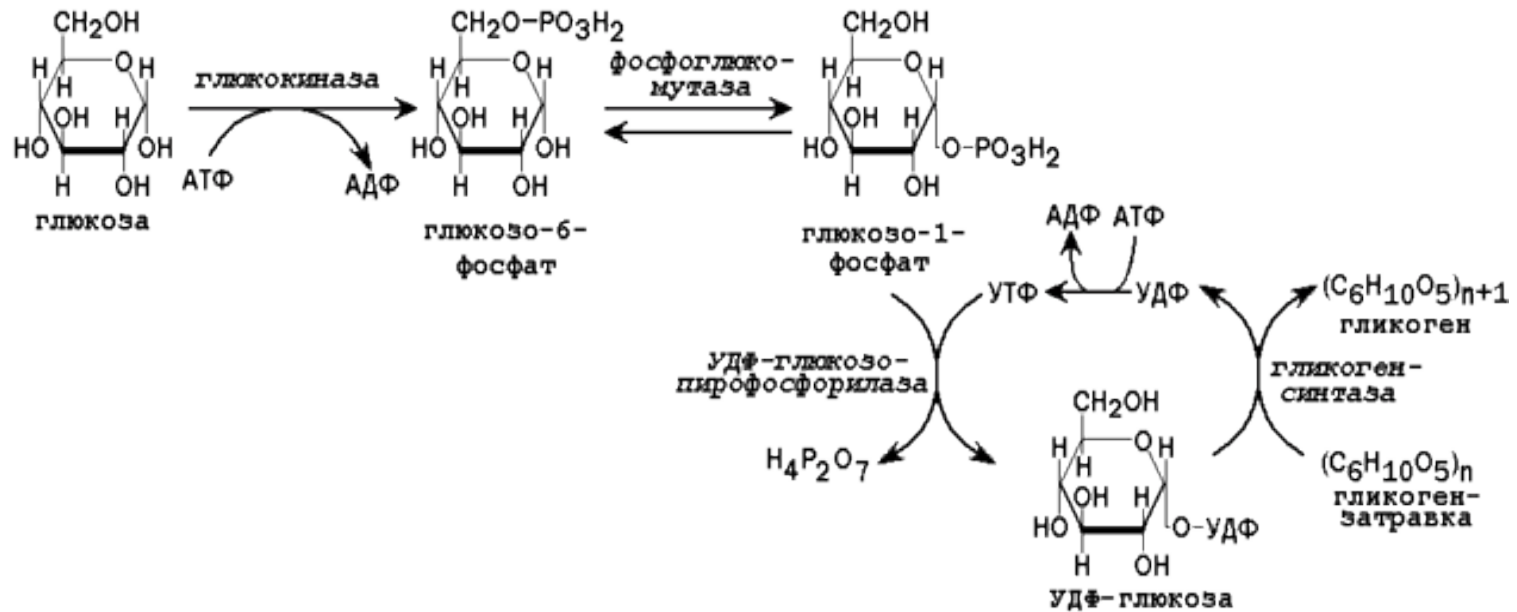
<http://cardiovascres.oxfordjournals.org/content/90/2/194>

Glucose metabolism pathways. 6-PG, 6-phosphogluconate; 6-PGL, 6-phosphoglucono- δ -lactone; AR, aldose reductase; F-6-P, fructose-6-phosphate; F-1,6,-BP, fructose-1,6-bisphosphate; G-6-P, glucose-6-phosphate; GFAT, glutamine fructose-6-phosphate amidotransferase; G6PD: glucose-6-phosphate dehydrogenase; NAD⁺, nicotinamide adenine dinucleotide; NADH, reduced nicotinamide adenine dinucleotide; NADP⁺, nicotinamide adenine dinucleotide phosphate; NADPH, reduced nicotinamide adenine dinucleotide phosphate; R-5-P, ribose-5-phosphate; SDH, sorbitol dehydrogenase; UDPGlcNac, uridine diphosphate-N-acetylglucosamine; X-5-P, xylose-5-phosphate.

Stephen C. Kolwicz, Jr, and Rong Tian *Cardiovasc Res* 2011;90:194-201

Published on behalf of the European Society of Cardiology. All rights reserved. © The Author 2011. For permissions please email: journals.permissions@oup.com





На включення одного залишку глюкози в глікоген використовується одна молекула АТФ.

Сумарне рівняння процесу має такий вигляд:



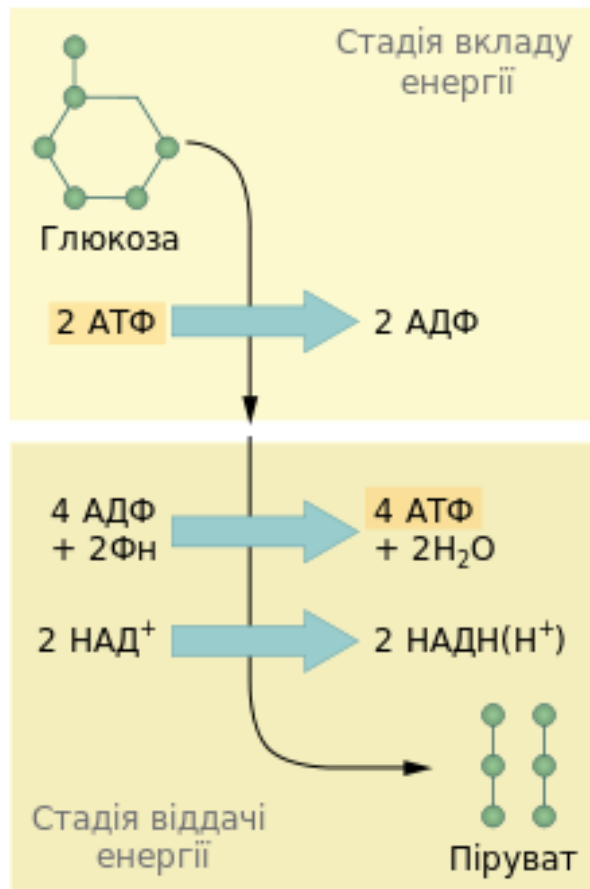
Гліколіз — послідовність з десяти реакцій, які призводять до перетворення глюкози, $C_6H_{12}O_6$, в піруват, C_3H_3O-3 з утворенням АТФ (аденозинтрифосфат) та НАДН (відновлений нікотинамідаденіндинуклеотид).

У аеробних організмів гліколіз йде перед циклом трикарбонних кислот та ланцюгом переносу електронів, які разом добувають більшу частину енергії, яка міститься в глюкозі.

За аеробних умов піруват проникає в мітохондрії, де повністю окиснюється до CO_2 та H_2O .

При недостатньому вмісті кисню, як це буває в м'язах, які активно скорочуються, піруват перетворюється на лактат.

СХЕМА БАЛАНСА ГЛІКОЛІЗУ



Загальне рівняння гліколізу має такий вигляд:



Ефективність процесу становить 40%.

СХЕМА ГЛІКОГЕНОЛІЗУ



Каталізує реакцію глікогенфосфорилаза.

Фермент фосфоглюкоізомераза каталізує перетворення глюкозо-1-фосфат у глюкозо-6-фосфат.

За умов глікогенолізу АТФ затрачається тільки **один** раз для утворення фруктозо-1,6-дифосфату. **Тому** при розпаді одного глюкозного залишку глікогену **вихід АТФ складає $4-1=3$ молекули:**



Дерозгалужуючий фермент.

Якщо б глікофосфорилаза діяла сама, то розщеплення глікогену завершувалось би після вивільнення близько шести залишків глюкози на гілку. Для того, щоб деполімеризувати цілу молекулу потрібні дві додаткові ферментативні активності: трансферазна та α -1,6-глікозидазна, у клітинах еукаріот обидвома активностями володіє один так званий дерозгалужуючий фермент. Спершу він каталізує перенесення фрагменту із трьох глюкозних залишків із зовнішньої гілки на внутрішню. Після цього залишається один глюкозний мономер приєднаний (α 1 \rightarrow 6)-глікозидним зв'язком, який гідролізується завдяки α -1,6-глікозидазній активності^[6]

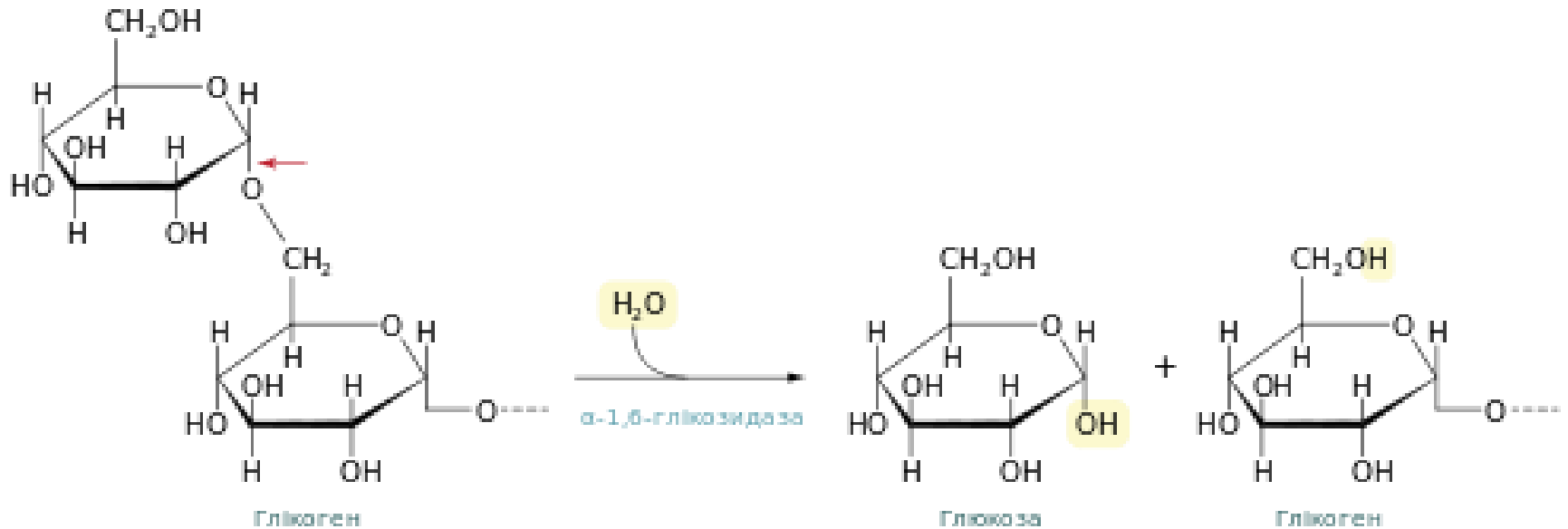
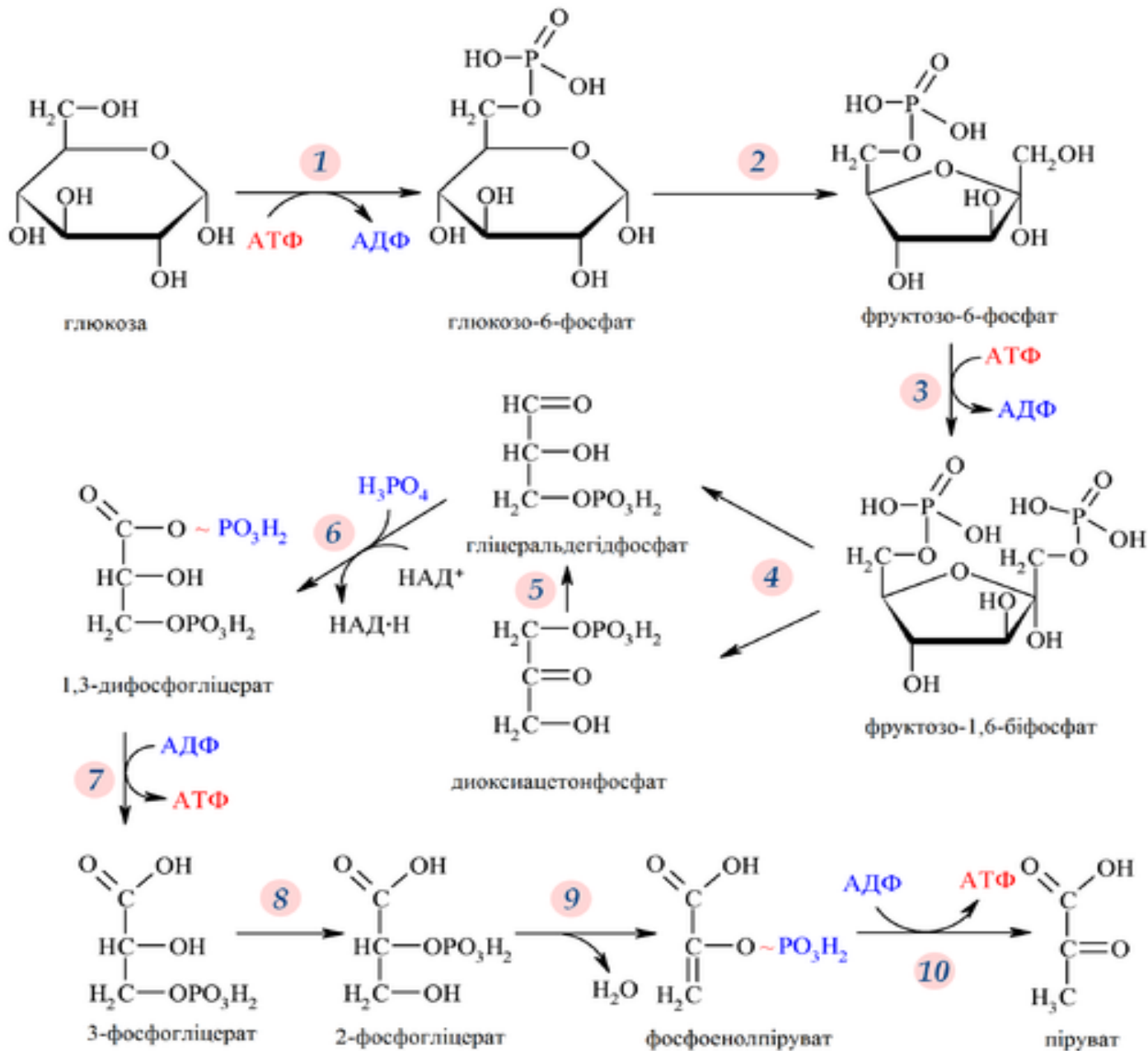


СХЕМА ГЛІКОЛІЗУ



Оскільки в клітині обмежена кількість НАД⁺, відновлений НАД, який утворюється в цій реакції, для участі в гліколітичному розпаді нових молекул глюкози повинен перейти назад в окиснену форму (НАД⁺). В аеробних умовах НАД окиснюється у процесі роботи дихального ланцюга за рахунок молекулярного кисню.

В анаеробних умовах відновлений НАДН, який утворюється під час окиснення гліцеральдегід-3-фосфату (шоста реакція), переходить у НАД⁺ шляхом перетворення пірувату в лактат.



Різниця у вільній енергії для глюкози і молочної кислоти становить приблизно 210 кДж/моль. У двох молях АТФ нагромаджується 70-100 кДж, тому загальна ефективність анаеробного гліколізу складає 35-45 %. При гліколізі виділяється приблизно 7% усієї енергії, яка може вивільнитись при повному окисненні глюкози до CO_2 і H_2O (2880кДж/моль). Основна частина вільної енергії зберігається в продукті гліколізу — молочній кислоті.

В аеробних умовах вуглеводи окиснюються повністю до CO_2 і H_2O .

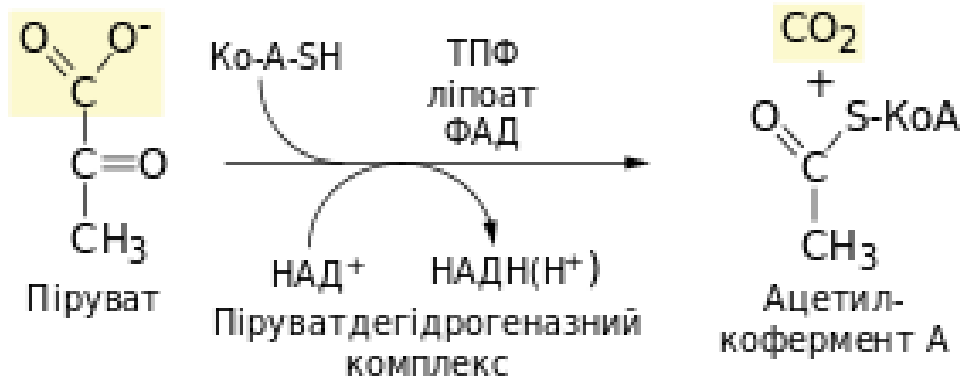
Гліколіз становить першу стадію окиснення вуглеводів і закінчується утворенням піровиноградної кислоти, яка не відновлюється до молочної кислоти, як в анаеробних умовах, а окиснюється до CO_2 і H_2O в ході циклічної послідовності реакцій, що називаються циклом лимонної кислоти.

При окисненні глюкози до CO_2 і H_2O вивільнюється значно більше енергії, ніж при гліколізі (38 моль АТФ на 1 моль глюкози).

Процес окиснювального декарбоксилювання пірувату включає реакції дегідрування і декарбоксилювання, коли карбоксильна група пірувату вивільняється у вигляді CO_2 , а ацетильний залишок, тобто залишок оцтової кислоти, переноситься на коензим А.

Каталізує цю сукупність реакцій складний піруватдегідрогеназний комплекс, локалізований у мітохондріях.

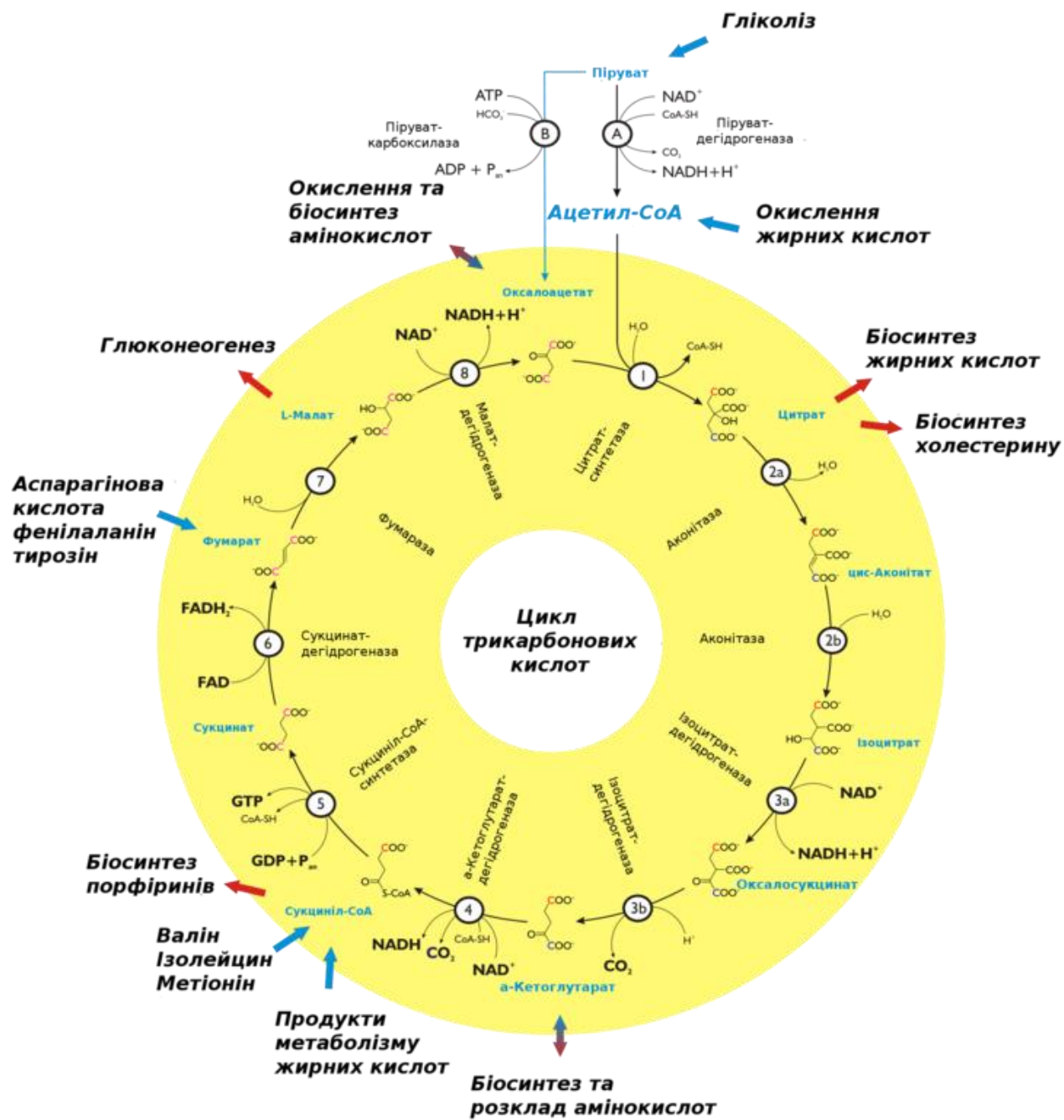
Піруватдегідрогеназний комплекс складається з 3 різних ферментів.



Цикл трикарбóнових кислóт (*цикл Крѐбса, цитрáтний цикл*) — центральна частина загального шляху катаболізму, циклічний біохімічний процес аеробних організмів, в ході якого відбувається перетворення двох- і трьохвуглецевих сполук, що утворюються як проміжні продукти в живих організмах при розпаді вуглеводів, жирів і білків, до CO₂. При цьому звільнений водень прямує в ланцюг тканинного дихання, де надалі окислюється до води, беручи безпосередню участь в синтезі універсального джерела енергії — АТФ.

Цикл Кребса — це ключовий етап дихання всіх клітин, що використовують кисень (аеробне дихання), центр перетину безлічі метаболічних шляхів в організмі. Окрім значної енергетичної ролі циклу відводиться також і істотна пластична функція, тобто це важливе джерело молекул-попередників, з яких в ході інших біохімічних перетворень синтезуються такі важливі для життєдіяльності клітини з'єднання як амінокислоти, вуглеводи, жирні кислоти та ін.

Цикл перетворення лимонної кислоти в живих клітинах був відкритий і вивчений німецьким біохіміком Гансом Кребсом, за цю свою роботу він (спільно з Фріцем Ліпманом) був удостоєний Нобелівської премії з фізіології та медицини 1953 року. У еукаріотів всі реакції циклу Кребса протікають усередині мітохондрій, причому ферменти, що їх каталізують, окрім одного, знаходяться у вільному стані в мітохондріальному матриксі, виняток складає сукцинатдегідрогеназа, яка локалізується на внутрішній мітохондріальній мембрані, вбудовуючись в ліпідний бішар. У прокаріотів реакції циклу протікають в цитоплазмі.



Враховуючи, що окиснення однієї молекули НАДН призводить до утворення 3 молекул АТФ, окиснення однієї молекули ФАДН₂ — 2 АТФ, загальний вихід АТФ при окисненні однієї молекули ацетил-КоА складає:



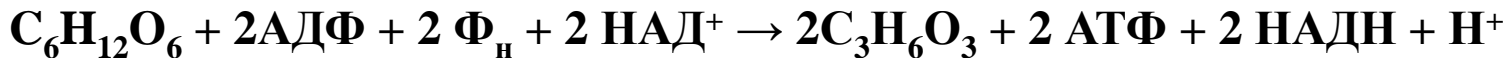
Разом: 12 АТФ

Енергетичний баланс аеробного розпаду глюкози

Для з'ясування кількості АТФ, яка синтезується при повному окисненні глюкози до CO_2 і H_2O , необхідно сумувати вихід АТФ у кожній стадії процесу:

- 1) гліколізу в аеробних умовах;
- 2) окиснювального декарбоксилювання пірувату;
- 3) циклу лимонної кислоти;
- 4) дихального ланцюга.

При гліколітичному розпаді однієї молекули глюкози в аеробних умовах утворюються 2 молекули пірвіноградної кислоти, 2 АТФ і 2 НАДН:



Окиснювальне декарбоксилювання двох молекул пірувату дає 2 ацетил-КоА і 2 НАДН.

При окисненні 1 молекули ацетил-КоА, як розглянуто вище, утворюється 12 молекул АТФ. Окиснення в дихальному ланцюгу молекул НАДН, які утворюються при гліколізі й окиснювальному декарбоксилюванні пірувату, дає по 3 АТФ на 1 НАДН.

Сумуємо:



ефективність акумуляції енергії при окисненні глюкози становить 65%.