

Обмін речовин та енергії

План

1. Обмін речовин необхідна умова існування живого організму.
2. Анаболічна і катаболічна реакції – дві сторони обміну речовин.
3. Види обміну речовин.
4. Джерела енергії.
5. АТФ- універсальне джерело енергії в організмі.
6. Біологічне окислення – основний шлях енергоутворення в клітинах організму.
7. Дихальний ланцюг.
8. Окисне фосфорилування – основний механізм синтезу АТФ.



Обмін речовин. Метаболізм.

- Складний біологічний процес, пов'язаний з надходженням у організм із навколишнього середовища поживних речовин і кисню, перетворенням їх у клітинах організму, засвоєнням та виділенням з клітин організму кінцевих продуктів розпаду, називається **обміном речовин**, або **метаболізмом** (від грец. *metabole* — перетворення).
- При цьому відбувається безперервне перетворення енергії: потенціальна енергія складних органічних сполук, що надійшли з їжею, перетворюється на теплову, Механічну та електричну. В організмі вивільняється переважно тепла енергія, яка витрачається на підтримання температури тіла, виконання роботи, відтворення структурних елементів і життєдіяльності клітин, процесів, пов'язаних з ростом і розвитком організму.

Поживні речовини

①

Метаболіти

②

⑤

Енергія

⑥

③

④

Утворення
кінцевих продуктів
(CO₂, H₂O, сечовина)

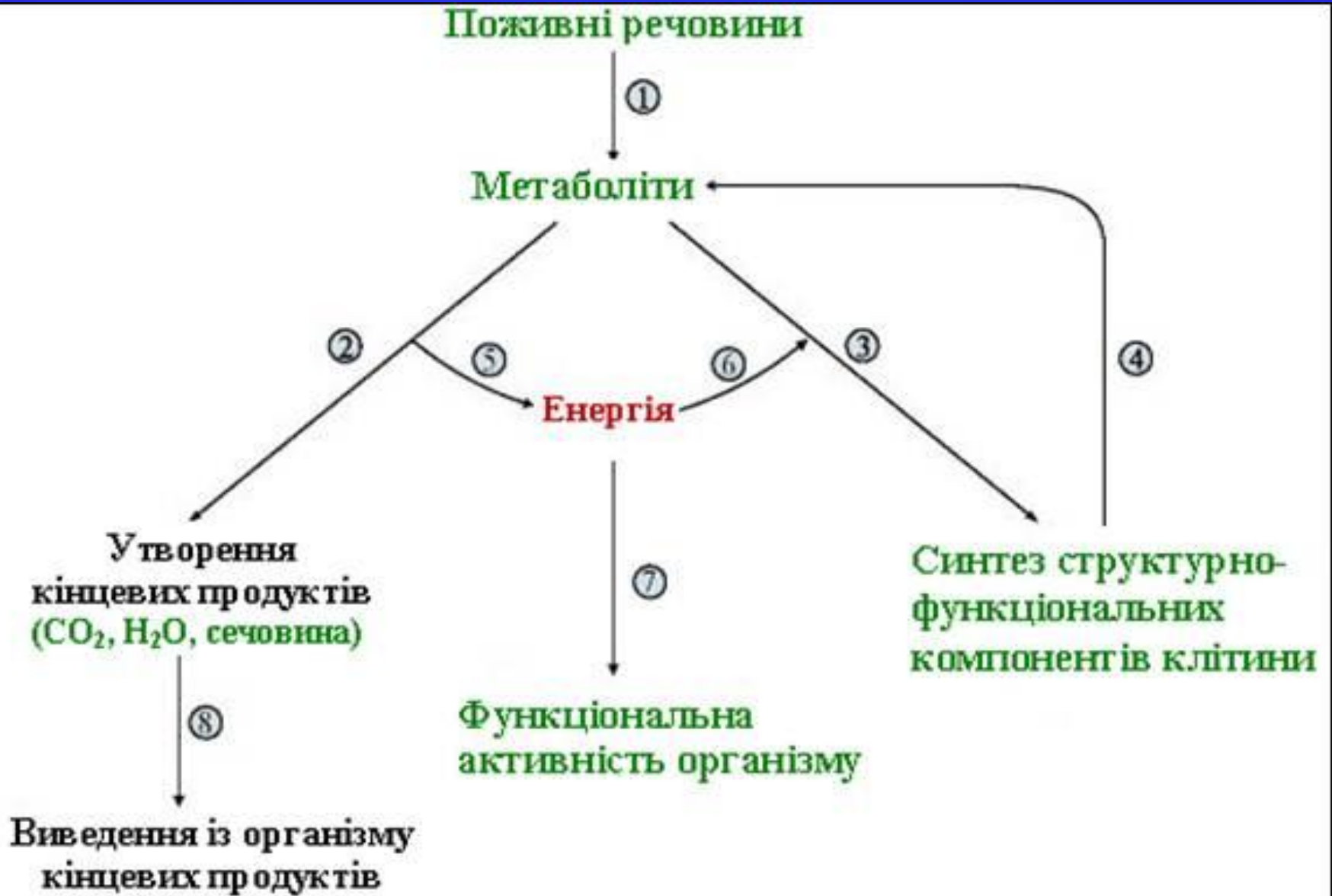
Синтез структурно-
функціональних
компонентів клітини

⑦

Функціональна
активність організму

⑧

Виведення із організму
кінцевих продуктів



Види метаболічних реакцій

Лінійний шлях.

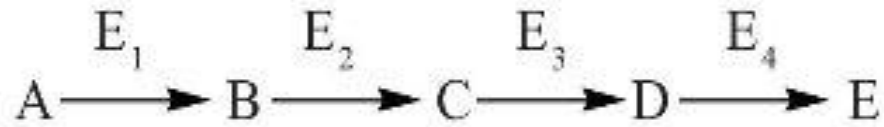
Циклічний шлях.

Основний метаболічний в організмі людини представлений аеробним шляхом окислення глюкози.

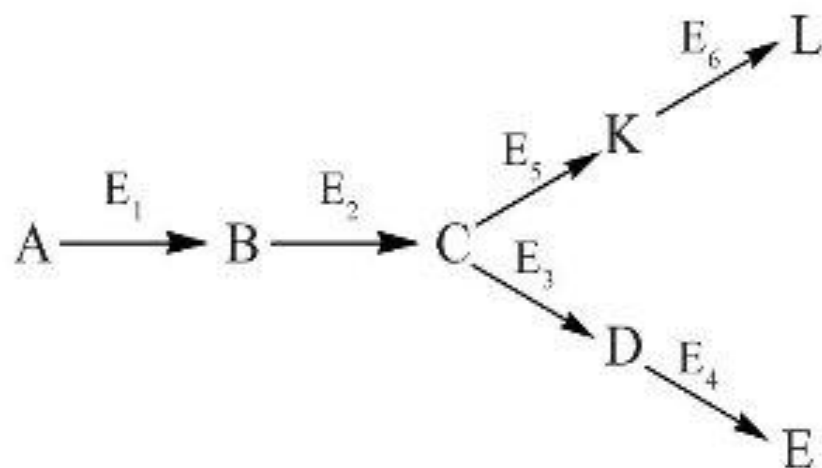
Метаболізм виконує чотири специфічні функції:

- 1) постачання хімічної енергії, яка отримується шляхом розщеплення багатих енергією харчових речовин, синтезу макроергічних сполук (АТФ та інших), їх використання для виконання різних видів роботи;
- 2) перетворення молекул харчових речовин у низькомолекулярні метаболіти (будівельні блоки), що застосовуються далі клітиною для побудови макромолекул;
- 3) синтез білків, ліпідів, полісахаридів, нуклеїнових кислот та інших клітинних компонентів із цих будівельних блоків із використанням енергії АТФ і НАДФН;
- 4) синтез і розпад низькомолекулярних, біологічно активних речовин, необхідних для виконання будь-яких специфічних функцій.

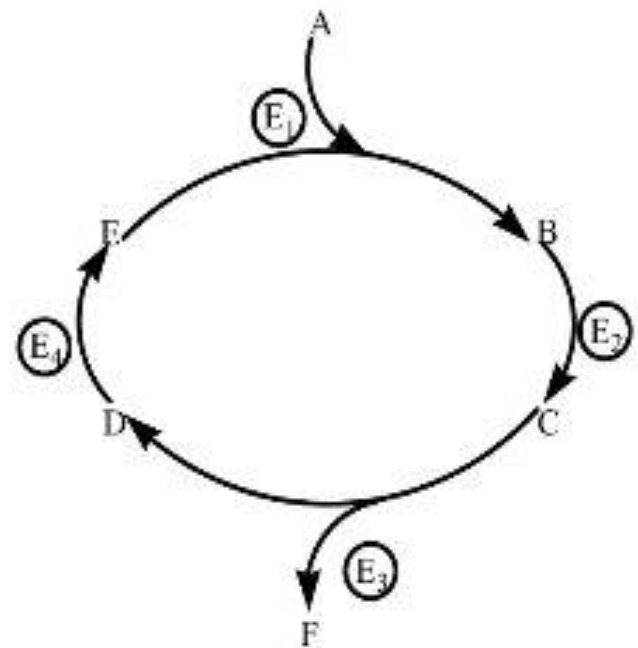
Усі метаболічні шляхи в кінцевому результаті взаємозв'язані й при порушенні будь-якого з них змін зазнають усі інші.



Лінійна послідовність біохімічних реакцій



Розгалужена послідовність біохімічних реакцій

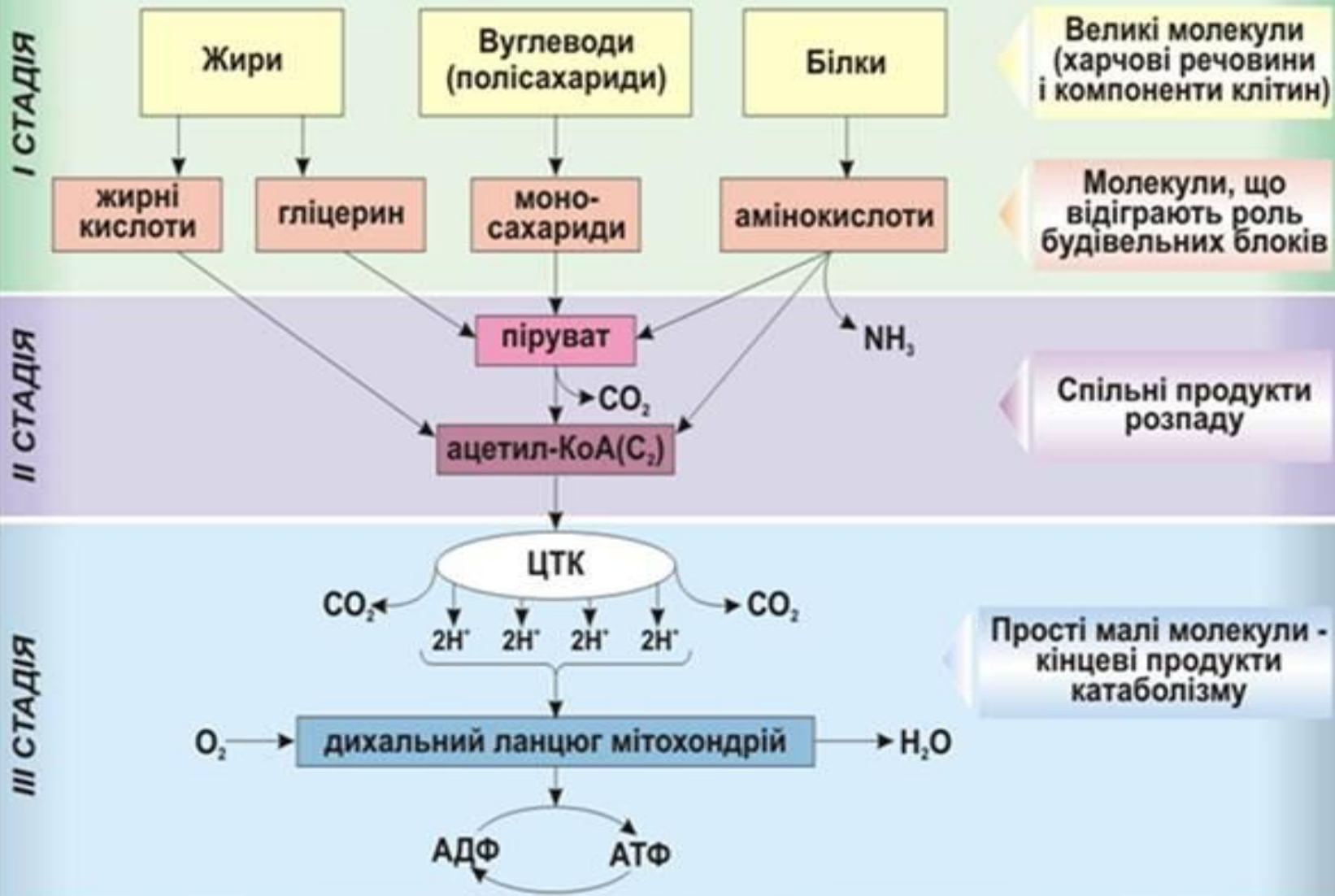


Циклічний метаболічний шлях

Катаболізм і анаболізм

1. Розпад складних органічних молекул до більш простих кінцевих продуктів.
 2. Важливі ключові реакції – окиснення метаболітів. Використовуються окиснені коферменти, виникають відновлені.
 3. Виділяється вільна енергія (екзергонічні процеси). Частина її застосовується для утворення АТФ.
 4. Із різних вихідних речовин утворюються однакові кінцеві продукти.
 5. Проміжні продукти (метаболіти) і кінцеві продукти катаболізму можуть служити субстратами (вихідними речовинами) анаболізму.
1. Синтез складних органічних молекул із більш простих.
 2. Важливі ключові реакції – відновлення. Використовується відновлені форми коферментів, утворюються окиснені.
 3. Затрачається енергія (ендергонічні процеси). Джерело енергії – АТФ, тобто, в кінцевому результаті, катаболічні процеси.
 4. Однакові вихідні речовини утворюють різні кінцеві продукти.
 5. Кінцеві продукти анаболізму служать вихідними речовинами катаболізму.

СТАДІЇ КАТАБОЛІЗМУ БІОМОЛЕКУЛ



Види обміну речовин

- Обмін речовин з навколишнім середовищем;
- Проміжний обмін;
- Пластичний обмін;
- Функціональний обмін;
- Енергетичний обмін.

Макроергічний зв'язок, макроергічні сполуки

- Надвисокоенергетичні фосфати* – це фосфати, енергія гідролізу фосфодієфірних зв'язків яких $\Delta G_0 > -30$ кДж/моль (або $-7,3$ ккал/моль).
До цієї групи належать: а) фосфоенолпіруват ($\Delta G_0 = -61,9$ кДж/моль), б) 1,3 – дифосфогліцерат ($\Delta G_0 = -54,5$ кДж/моль), в) карбамоїлфосфат ($\Delta G_0 = -51,4$ кДж/моль), г) креатинфосфат ($\Delta G_0 = -43,1$ кДж/моль) та ін.
- Високоенергетичні фосфати* – це фосфати, енергія гідролізу фосфодієфірних зв'язків яких приблизно дорівнює -30 кДж/моль ($\Delta G_0 \approx -30$ кДж/моль). До цієї групи належать нуклеозидтрифосфати, такі як АТФ, ГТФ та ін.
- Низькоенергетичні фосфати* – це органічні фосфати з $\Delta G_0 < -30$ кДж/моль. Енергія низькоенергетичних фосфатів не може бути використана в ендергонічних процесах. До цієї групи сполук належать: - АМФ ($\Delta G_0 = -9,6$ кДж/моль), - АДФ ($\Delta G_0 = -27,6$ кДж/моль), - гліцерофосфат ($\Delta G_0 = -9,2$ кДж/моль), - глюкозо-6-фосфат ($\Delta G_0 = -13,8$ кДж/моль)

Зв'язок вважається високоенергетичним, якщо при гідролізі його звільняється більше 21 кДж (за іншими джерелами – 30 кДж/моль).

Таким чином, у молекулі АТФ є два макроергічних зв'язки, які характеризуються величиною вільної енергії 28-37 кДж/моль. Макроергічний зв'язок містить і АДФ, але при його гідролізі до АМФ і ФН енергія вилучається у вигляді тепла.

Доросла здорова людина масою 70 кг при сидячій роботі повинна споживати за день їжі калорійністю близько 12 000 кДж. Харчові продукти розщеплюються у процесі метаболізму, а вільна енергія, що звільняється при цьому, використовується для синтезу АТФ, який далі витрачається на виконання хімічної, механічної, осмотичної й електричної робіт. Ефективність перетворення енергії харчових продуктів у енергію АТФ дорівнює приблизно 50 %. Враховуючи, що при гідролізі АТФ у фізіологічних умовах звільняється 50 кДж/моль вільної енергії, можна визначити кількість АТФ, яка утилізується за добу.

Аденозинтрифосфорна кислота - універсальне джерело енергії

АТФ відноситься до сполук, що містять макроергічні зв'язки, тобто багаті енергією. Енергія може бути акумульована в різних субстратах окиснення, проте лише енергія у формі АТФ може бути використана клітинами організму. Саме тому АТФ називають «універсальним джерелом енергії». Крім АТФ, існують й інші макроерги. Це метаболіти вуглеводного, ліпідного та амінокислотного обмінів, а також фосфагени (креатинфосфат), котрі виступають як резервуари макроергічних зв'язків.

1. Хімічна будова АТФ.

2. Гідроліз АТФ.

$\text{АТФ} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{АДФ} + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H} \quad (Q=7,3\text{ккал або } 30 \text{ кДж})$

приймає участь фермент **аденозинтрифосфотаза**

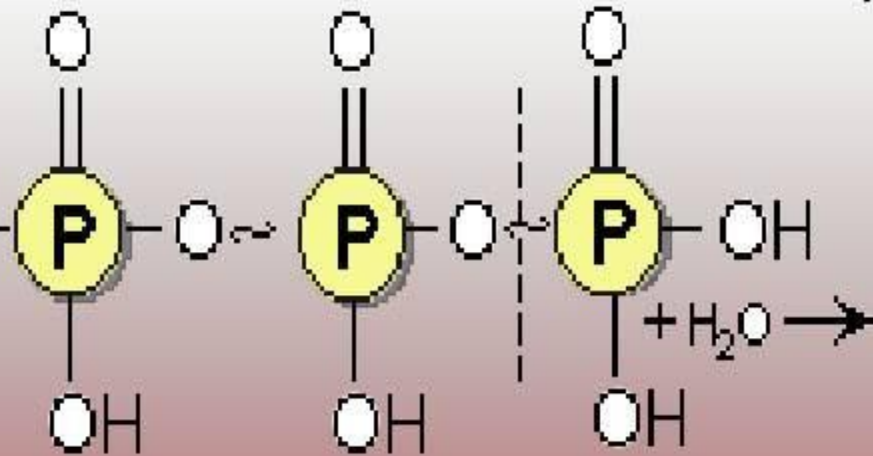
3. АТФ – акумулятор і носій вільної енергії

4. Використання енергії АТФ.

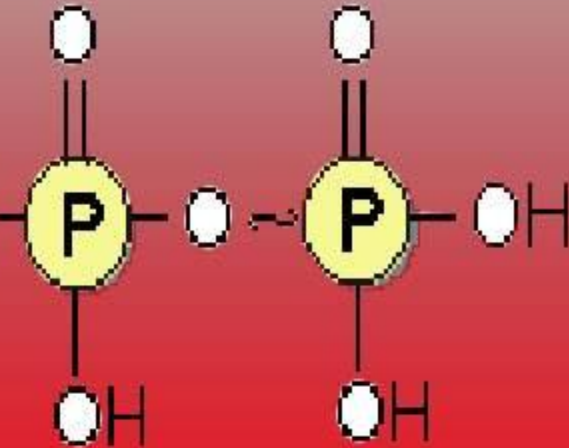
5. Вміст АТФ в тканинах.

АТФ

Аденін
азотиста основа



Аденін
азотиста основа



АДФ

Біологічне окислення – основний шлях енергоутворення в клітинах організму

В організмі людини міститься всього близько 50 г АТФ, тому ця кількість АТФ характеризує не загальну масу АТФ, а швидкість обороту АТФ-АДФ. Розраховано, що кожна молекула АТФ розпадається і знову регенерується 2,5 тисячі разів за добу, так що середня тривалість її життя менша 1 хв. Синтез АТФ із АДФ і ФН здійснюється двома шляхами – окиснювальним фосфорилюванням і субстратним фосфорилюванням. У більшості клітин головним процесом є окиснювальне фосфорилювання.

- **Окисне фосфорилювання** (головний шлях синтезу): здійснюється за рахунок *енергії окиснення електронів і протонів водню, відщеплених від різноманітних сполук* (метаболітів або субстратів окиснення), який відбувається за участю дихального ланцюга мітохондрій за рахунок електрохімічного потенціалу внутрішньої мембрани. Реакції цього процесу відбуваються виключно в аеробних умовах. Основна кількість АТФ в організмі утворюється саме в реакціях окисного фосфорилювання.
- **Субстратне фосфорилювання** - процес синтезу АТФ, який відбувається як результат окиснення субстратів без участі дихального ланцюга мітохондрій. У цьому разі перетворення субстрату в продукт супроводжується фосфорилюванням АДФ з утворенням АТФ. В організмі є три реакції субстратного фосфорилювання (дві – в гліколізі, одна – в ЦТК). Кожна з цих реакцій супроводжується утворенням лише одної молекули АТФ. Цей процес можливий як в аеробних, так і анаеробних умовах і відбувається в цитоплазмі і матриксі мітохондрій.

Ферменти біологічного окиснення

Ферменти, які каталізують окиснення субстратів шляхом дегідрування, називаються дегідрогеназами. Розрізняють дві групи дегідрогеназ: нікотинаміддинуклеотидні (піридинові) і флавінові. Окиснення більшості субстратів каталізують ферменти першої групи.

1. *Піридинзалежні дегідрогенази* – ферменти, які містять нікотинамідні коферменти (НАД+ або НАДФ+) (нікотинамід, що входить до складу цих коферментів, належить до похідного піридину). Піридинзалежні дегідрогенази – це *аеробні і анаеробні дегідрогенази*, що каталізують різноманітні реакції в нашому організмі.

Схематично реакції, що каталізують ці ферменти, мають такий вигляд:



НАД-залежні дегідрогенази – це ферменти окисно-відновних реакцій процесів катаболізму, таких як гліколіз, цикл Кребса, β -окиснення жирних кислот, дихальний ланцюг мітохондрій тощо.

НАДФ-залежні дегідрогенази – це ферменти процесів відновного синтезу: синтезу жирних кислот, холестеролу, стероїдних гормонів, жовчних кислот тощо. НАД і НАДФ – це коферментні форми вітаміну РР-нікотинамід.

Більша частина клітинних дегідрогеназ переносить водневі атоми від субстратів на НАД+, а відновлений НАДН передає електрони на дихальний ланцюг. Енергія, що звільняється при передачі електронів у дихальному ланцюгу, запасується у формі АТФ. Компоненти дихального ланцюга вмонтовані у внутрішній мембрані мітохондрій, і більшість НАД-залежних дегідрогеназ локалізовані у матриксі мітохондрій. НАДФ-залежні дегідрогенази знаходяться у цитоплазмі і мітохондріях, але НАДФН не віддає електрони на дихальний ланцюг, а використовується як відновник у процесах синтезу багатьох сполук, зокрема жирних кислот, стероїдів.

Флавінзалежні дегідрогенази – дегідрогенази, які містять похідні вітаміну В2 – ФАД, ФМН. У більшості дегідрогеназ ці коферменти мають високу спорідненість до білкової частини і не відщеплюються від неї.

Схематично реакції, що каталізують ці ферменти, мають такий вигляд:



Флавінзалежні дегідрогенази можуть бути як *анаеробними*, так і *аеробними дегідрогеназами*.

До *флавінзалежних дегідрогеназ* належать: сукцинатдегідрогеназа (фермент циклу Кребса), НАДН-дегідрогеназа дихального ланцюга мітохондрій, гліцерол-3-фосфатдегідрогеназа (фермент окиснення гліцеролу), ацил-КоА-дегідрогеназа (фермент β -окиснення жирних кислот), оксидази L- та D-амінокислот, ксантинооксидаза (фермент катаболізму пуринових нуклеотидів), глюкооксидаза (рослинний фермент, який використовується для визначення концентрації глюкози в крові).