МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В. Н. КАРАЗІНА

ЗАГАЛЬНА БІОХІМІЯ

Методичні рекомендації для самостійної роботи здобувачів вищої освіти
1-го курсу навчання медичного факультету з дисципліни
«Біологічна хімія нормальна та рухової активності. Частина І»
за спеціальністю «Терапія та реабілітація»

Електронний ресурс

Харків – 2026

УДК 577.1(072)
З-14

Рецензенти:

Наталія МІТРЯЄВА – д.біол.наук, ДУ Інститут медичної радіології та онкології імені С. П. Григор'єва, зав. лабораторії радіаційної онкології;

Людмила БЄЛЯЄВА – к.біол.наук, доцент ЗВО, доцент кафедри загальної практики – сімейної медицини медичного факультету ХНУ імені В. Н. Каразіна.

Затверджено до розміщення в мережі Інтернет рішенням Науково-методичної ради Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (протокол № 8 від 21 травня 2026 року)

З-14 **Загальна** біохімія : методичні рекомендації для самостійної роботи здобувачів вищої освіти 1-го курсу навчання медичного факультету з дисципліни «Біологічна хімія нормальна та рухової активності. Частина І» за спеціальністю «Терапія та реабілітація» [Електронний ресурс] / уклад. С. О. Шерстюк, С. А. Наконечна, А. Б. Зотова, Т. О. Храмова. – Харків : Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2026. – (PDF 48 с.)

Методичні рекомендації для самостійної роботи здобувачів вищої освіти з дисципліни «Біологічна хімія нормальна та рухової активності» розроблені у відповідності з діючими програмами з біологічної хімії для здобувачів вищої освіти медичних факультетів університетів. Посібник призначений для роботи здобувачів під час підготовки до занять з розділу «Загальна біохімія». До кожної теми наведені перелік практичних навичок та контрольних питань. Теми проілюстровані рисунками та схемами, які полегшують сприйняття матеріалу та сприяють його кращому засвоєнню. Матеріали дають змогу сформувати у здобувачів правильне розуміння закономірностей біохімічних процесів, забезпечити сучасний рівень знань про перетворення біологічно активних сполук та особливості перебігу хімічних реакцій в організмі людини. Для здобувачів вищої освіти медичного факультету.

УДК 577.1(072)

© Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2026
© Шерстюк С. О., Наконечна С. А., Зотова А. Б., Храмова Т. О., уклад., 2026

ЗМІСТ

ВСТУП……4

Предмет та методи дослідження біохімії і біохімії спорту…….6

Тема 1. Поняття про хімічний склад організму……..10

Перелік питань для підготовки до теми 1 ……..14

Тема 2. Обмін води та мінеральних речовин..……....14

Перелік питань для підготовки до теми 2……...21

Тема 3. Кислотно-основний стан організму…….…….….22

Перелік питань для підготовки до теми 3……...27

Тема 4. Обмін речовин в організмі……..……27

Перелік питань для підготовки до теми 4……..……37

Тема 5. Обмін енергії в організмі……..……...37

Перелік питань для підготовки до теми 5……...46

Рекомендована література……..…….47

ВСТУП

Метою викладання навчальної дисципліни «Біологічна хімія нормальна та рухової активності» є забезпечення сучасного рівня знань загально біологічних закономірностей і рівнів організації живого, положення людини в системі природи, особливостей людини як біологічної та соціальної істоти та її взаємин із навколишнім середовищем.

Конктретні цілі:

- Визначити хімічну будову, норми споживання, процеси метаболізму найважливіших речовин організму в нормі, під час м'язової діяльності та деяких патологічних станах.
- Розкрити біохімічні механізми збудження, скорочення та енергозабезпечення скелетних м'язів, метаболічні зміни під час виконання різних фізичних навантажень та можливості використання метаболічних показників для оцінки функціонального стану організму.
- Знати суть біохімії рухової активності і принципи роботи опорно-рухового апарату людини;
- Знати і використовувати у практиці принципи роботи фізіотерапевта та ерготерапевта.

Курс біологічної хімії нормальної та рухової активності поділено на 4 розділи: «Загальна біохімія», «Біохімія ферментів, вітамінів, гормонів», «Біохімія білків, жирів, вуглеводів», «Біохімія рухової активності».

Біологічна хімія нормальна та рухової активності як навчальна дисципліна:
а) базується на попередньо вивчених студентами в середній загальноосвітній школі таких предметів, як «Загальна біологія», «Біологія людини», «Біологія тварин», «Біологія рослин»;

б) забезпечує високий рівень загально-біологічної та хімічної підготовки;

в) закладає в студентів фундамент для подальшого засвоєння ними знань із профільних теоретичних і клінічних професійно-практичних дисциплін.

Зміст навчальної дисципліни розділу 1: *«Загальна біохімія»*

Тема 1. Вступ до біохімії. Поняття про хімічний склад організму людини.
Вступ. Інструктаж із правил безпеки. Загальна інформація про дисципліну. Місце біологічної хімії в системі медичної освіти. Біохімія - наука про хімічний склад, властивості, обмін речовин і енергії в живих організмах. Предмет та методи дослідження біохімії і біохімії рухової активності. Хімічний склад організму людини. Хімічні елементи організму та іони. Будова. Класи та біологічне значення органічних сполук. Вміст неорганічних речовин.

Тема 2. Обмін води та мінеральних речовин.
Вміст, стан та обмін води в організмі. Біологічна роль та фізіологічна дія різновидів води. Мінеральна вода. Тала вода. Водопровідна вода. Важка вода. Забруднена вода. Жорстка вода. Водний баланс та його можливі зміни під час м'язової діяльності. Роль мінеральних речовин. Найважливіші макро- та мікроелементи. Ультрамікроелементи. Обмін води та мінеральних речовин під час м'язової діяльності. Проблеми, пов'язані з порушенням вмісту елементів у рідких середовищах організму. Причини і наслідки дефіциту біоелементів. Основні принципи корекції. Симптоми надлишку та стани отруєння.

Тема 3. Кислотно-основний стан організму.
Кислотно-основний стан внутрішнього середовища організму. Електроліти в організмі людини. Властивості розчинів сильних електролітів. Водневий показник pH. Значення pH для різних рідин людського організму в нормі та патології. Водно-електролітний баланс - необхідна умова гомеостазу. Гідроліз солей. Роль гідролізу в біохімічних процесах. Буферні розчини та їх класифікація. Зміни буферних систем під час м'язової діяльності. Вплив на фізичну працездатність порушення кислотно-основної рівноваги – ацидозу та алкалозу.

Тема 4. Обмін речовин в організмі.
Процеси анаболізму та катаболізму. Особливості обміну речовин у людей різного віку. Обмін речовин під час м'язової діяльності та у період відновлення. Етапи розпаду поживних речовин та вивільнення енергії. Системи регуляції обміну речовин та зміни під впливом фізичних тренувань.

Тема 5. Обмін енергії в організмі.
Окисно-відновні реакції у тканинах та участь у них кисню. Цикл лимонної кислоти (цикл Кребса). Дихальний ланцюг та процес окисного фосфорилювання. Вплив м'язової діяльності на енергетичний обмін. Порушення енергетичного обміну. Пероксидне окиснення речовин.

№	Тематичний план практичних занятть	Кільк. годин
Розділ 1.		
1	Вступ. Поняття про хімічний склад організму людини.	2
2	Обмін води та мінеральних речовин.	2
3	Кислотно-основний стан організму.	2
4	Обмін речовин в організмі.	2
5	Обмін енергії в організмі.	2
	Всього	**10**

Завдання для самостійної роботи

№	Види, зміст самостійної роботи	Кільк. годин
	Розділ 1.	
1	Знати методи дослідження в біохімії; хімічний склад організму людини. Хімічні елементи та іонний склад організму; будову та біологічне значення органічних та неорганічних сполук.	3
2	Знати вміст, стан та обмін води в організмі. Знати склад і корисні властивості мінеральної води, талої води, знати проблеми, які може викликати водопровідна вода, важка вода, забруднена вода, жорстка вода. Знати найважливіші макро- та мікроелементи, ультрамікроелементи. Знати причини і наслідки дефіциту біоелементів. Основні принципи корекції. Надлишкові стани. Принципи лікування.	3
3	Знати електроліти в організмі людини, їх властивості. Значення pH для різних рідин людського організму в нормі та при патології. Знати принципи піддержання водно-електролітного балансу організму. Вплив на фізичну працездатність ацидозу та алкалозу.	4
4	Процеси анаболізму та катаболізму. Особливості обміну речовин у людей різного віку. Обмін речовин під час м'язової діяльності та у період відновлення. Етапи розпаду поживних речовин та вивільнення енергії. Системи регуляції обміну речовин та зміни під впливом фізичних тренувань.	3
5	Окисно-відновні реакції у тканинах та участь у них кисню. Цикл лимонної кислоти (цикл Кребса). Дихальний ланцюг та процес окисного фосфорилювання. Вплив м'язової діяльності на енергетичний обмін. Порушення енергетичного обміну. Пероксидне окиснення речовин.	3
	Разом	**16**

ПРЕДМЕТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОХІМІЇ І БІОХІМІЇ СПОРТУ

Організм людини складається з величезної кількості органічних та неорганічних речовин, які вивчає хімія, а їхню роль в життєдіяльності організму — біологічна хімія.

Біологічна хімія — це наука, що розкриває хімічні або молекулярні основи життєдіяльності організму. Саме біохімічні процеси лежать в основі проявів різних функцій організму: збудливості, скорочення, енергозабезпечення, терморегуляції та ін. Вони забезпечують високу фізичну працездатність організму, його здатність адаптуватися (пристосовуватися) до фізичних

навантажень, інших факторів середовища, впливають на стан здоров'я людини, процеси відновлення працездатності у хворих та спортсменів після фізичних тренувань.

Основними **завданнями** біохімії є дослідження:

1) хімічного складу живих організмів, будови, властивостей та біологічного значення хімічних речовин;

2) обміну речовин та енергії у тканинах організму;

3) участі біохімічних процесів у забезпеченні функціонування систем організму в нормі та за різних його станів:

• захворювань, що важливо для медиків та реабілітологів;

• під час м'язової чи спортивної діяльності, що важливо для спеціалістів галузі спорту, фізичної реабілітації, рекреації;

• невагомості, гіпоксії, що важливо для багатьох галузей діяльності людини. Останнє завдання досліджується розділом біохімії, що має назву функціональна біохімія. До цього розділу належить і біохімія спорту.

Біохімія спорту досліджує:

• біохімічні особливості функціонування скелетних м'язів та інших органів під час виконання різних фізичних навантажень;

• механізми енергозабезпечення м'язової діяльності, їх розкриття під час спортивних тренувань;

• біохімічні основи стомлення та процесів відновлення після фі зичних навантажень; .біохімічні основи адаптації до фізичних навантажень; особливості раціонального харчування спортсменів;

• дію різних хімічних препаратів на обмін речовин під час спортивної діяльності та відновлення організму після навантажень, хвороб;

• використання біохімічних показників обміну речовин у спортивній діагностиці.

Щоб краще зрозуміти основні завдання біохімії та біохімії спорту, розглянемо будову, перетворення та значення у забезпеченні м'язової діяльності такої речовини, як глюкоза. Вона повинна постійно споживатися з їжею, тому що є основним постачальником енергії для усіх клітин організму та єдиним для мозку, але в організмі людини глюкоза синтезується у невеликих кількостях. Необхідною умовою життєдіяльності організму є збереження сталого вмісту речовин у тканинах або **хімічного гомеостазу**, при порушенні якого розвиваються патологічні зміни метаболізму та хвороби.

Глюкоза має певний хімічний склад, будову молекули та шляхи перетворення в організмі, завдяки яким вона виконує свою біологіч ну роль постачальника енергії у клітини організму. Її вміст у крові підтримується у межах фізіологічної норми **3,5-6 ммоль-л$^{-1}$**.

Молекулярна формула глюкози – **$C_6H_{12}O_6$** - показує лише хімічний склад молекули. У біохімії прийнято записувати речовини у вигля ді структурних формул, де відображено взаємозв'язок атомів у молекулах, що впливає на

властивості речовин. Молекула глюкози може мати лінійну, а у водному середовищі й циклічну структурну формулу.

Структурна формула глюкози:

CH_2OH-CHOH-CHOH-CHOH-CHOH-CH_2OH

У молекулі глюкози гідроксильні групи (-OH) при атомах С, та C_6 є активними і здатні взаємодіяти з різними речовинами, наприклад, H_3PO_4. Так, в організмі людини глюкоза знаходиться, в основному, У вигляді глюкозо-1-фосфату чи глюкозо-6-фосфату.

Перетворення глюкози у тканинах організму включає декілька процесів: розпад та окиснення, що супроводжується виділенням енергії, запасання її під час синтезу глікогену, використання для побудови інших складних речовин.

Окиснення глюкози у скелетних м'язах може відбуватися в аеробних та анаеробних умовах, що робить різний внесок в енергозабезпечення м'язової роботи. **Аеробне** окиснення відбувається за участю кисню. Молекула глюкози поступово розпадається до кінцевих продуктів обміну CO_2 та H_2O з накопиченням хімічної енергії у 38 молекулах АТФ та виділенням тепла:

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 38$АДФ $+ 38H_3PO_4 \rightarrow 6CO_2 + 42H_2O +$ **38АТФ**.

Аеробне окиснення вуглеводів забезпечує виконання тривалої роботи помірної інтенсивності. Така робота виконується із частотою серцевих скорочень (ЧСС) до 150 ударів за 1 хв. Анаеробне окиснення відбувається без участі кисню, при цьому глюкоза розпадається до проміжного продукту обміну — молочної кислоти з утворенням невеликої кількості АТФ:

$C_6H_{12}O_6 + 2$АДФ $+ 2H_3PO_4 \rightarrow 2(CH_3$-CHOH-COOH$) +$ **2АТФ** $+ 2H_2O$.

Анаеробний процес енергоутворення в скелетних м'язах має важливе значення під час виконання інтенсивної нетривалої фізичної роботи протягом 1-5 хв, коли величина ЧСС може сягати 150- 200 і більше ударів за 1 хв.

Взаємозв'язок процесів окиснення глюкози з функцією скелетних м'язів, що можуть працювати короткочасно дуже інтенсивно та повільно протягом тривалого часу, був установлений тільки у середині XX ст. Виявлено, що енергія, яка вивільняється під час окиснення глюкози, частково розсіюється у вигляді тепла, а частково акумулюється у молекулах АТФ, що забезпечують м'язову діяльність.

Молекули **АТФ**, і тільки АТФ, є **безпосереднім джерелом енергії**, що використовується під час скорочення і розслаблення м'язів. При цьому АТФ, взаємодіючи з водою (реакція гідролізу), розпадається з вивільненням енергії згідно з рівнянням:

АТФ + $\underline{H_2O}$ Фермент $\underline{\text{АТФаза}}$ АДФ $+ H_3PO_4 +$ АQ (-7,3 ккал, або 30 кДж).

Хімічна енергія у м'язах перетворюється на механічну форму енергії, що забезпечує їх скорочення, завдяки чому виконується різна робота. Вільна енергія, та, що може перетворюватися на роботу, виділяється у процесі розпаду речовини, тому має від'ємне значення (-7,3 ккал, чи 30 кДж).

Фізичні вправи, що використовуються у спорті та фізичній реабілітації, поділяються на класи за різними ознаками. Згідно з теорією та методикою фізичного виховання найпоширенішими є вісім класифікацій фізичних вправ

(Круцевич и др., 2003). Одна із найпростіших класифікацій фізичних вправ - за інтенсивністю роботи, а отже, і різними механізмами її енергозабезпечення, вирізняє роботу в таких **зонах відносної потужності**: *максимальної* (найінтенсивніша анаеробна робота до 25-30 с, наприклад, біг на 100 або 200 м), *субмаксимальної* (анаеробна робота до 3-5 хв, наприклад, біг на 400-1500 м), *великої* (анаеробно-аеробна робота протягом 5-50 хв, наприклад, біг на 3000-10 000 м), *помірної* (аеробна робота від 50 хв до 5 год, біг на марафонську дистанцію). Виконання вправ у різних зонах потужності потребує проявів та розвитку різних фізичних здатностей (якостей) людини, основними з яких є: **швидкість, сила, витривалість, гнучкість, спритність та координація рухів**. Вони забезпечуються різними біохімічними процесами.

Методи дослідження умовно поділяють на лабораторні та експрес-методи.

Лабораторні методи включають багато фізичних та хімічних методів, для яких необхідна складна апаратура та лабораторні умови дослідження. Такими є хроматографія, електрофорез, радіоізотопи, спектроскопія, ультрамікроскопія.

Експрес-методи — це швидкі доступні методи біохімічного аналізу сечі або крові за допомогою індикаторних смужок, що дозволяють провести дослідження у домашніх умовахі широко використовуються у практиці спорту, фізичної реабілітації для самоконтролю стану організму. Так, рівень глюкози у крові хворі на цукровий діабет визначають щоденно спеціальними діагностичними смужками та глюкометром, який можна носити в кишені. Є також лактометри, які дозволяють швидко (протягом 1 хв) визначити рівень молочної кислоти в крові. За допомогою біохімічних тестів можна виявити за хвилину близько 10 показників у сечі: білок, глюкозу, pH, кетонові (ацетонові) тіла, вітаміни, нітрати, елементи крові та ін.

Значення біохімії та біохімії спорту для підготовки спеціалістів для галузі фізичного вихованняі спорту полягає в тому, що біохімія закладає теоретичну основу для вивчення інших медико-біологічних та спеціальних дисциплін. Біохімічні знання необхідні також для:

• розуміння і використання у практиці спорту, фізичної реабілітації та рекреації біохімічних закономірностей м'язової діяльності, процесів відновлення, розвитку стомлення, адаптації, а також раціонального харчування;

• правильного використання різних засобів відновлення та підвищення фізичних здатностей організму;

• розуміння результатів біохімічного та медичного контролю функціонального стану організму та ін.

Тема 1. Поняття про хімічний склад організму.

ХІМІЧНИЙ СКЛАД ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ

Табл. 1. До складу організму людини входять різні органічні та неорганічні речовини:

РЕЧОВИНИ					
НЕОРГАНІЧНІ					ОРГАНІЧНІ
метали	неметали	оксиди	кислоти	солі	
Ca	O_2	CO_2	HCl	NaCl	жири
Na	P	H_2O	H_2CO_3	$NaHCO_3$	вуглеводи
K	S	NO	H_3PO_4	NaH_2PO_4	білки
Mg	Cl			Na_2HPO_4	нуклеїнові
Fe	I			Na_3PO_4	кислоти
Zn	F				пептиди
					карбонові кислоти
					амінокислоти
					вітаміни та ін

Відносний вміст цих речовин, із якого видно, що близько 60% маси тіла становить вода. Відносно великий вміст – мінеральні речовини 4%; вуглеводи 2%; інші органічні сполуки 1%; білки 18 % та жири 15 %.

Усі речовини організму людини, які з неживої природи, побудовані з атомів різних хімічних елементів.

ХІМІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ОРГАНІЗМУ ТА ІОНИ

Тканини організму людини містять, в основному, 22 із 110 відомих хімічних елементів, з яких чотири хімічні елементи є **основними**, оскільки їхня частка становить близько 98% маси тіла. Вони використовуються для побудови органічних структурних компонентів тіла. Цими елементами є (рис.1):

O - оксиген (проста речовина кисень) — близько 68%,

C - карбон (вуглець) — близько 20 %,

H - гідроген (водень) — близько 10%,

N - нітроген (азот) — близько 2 %.

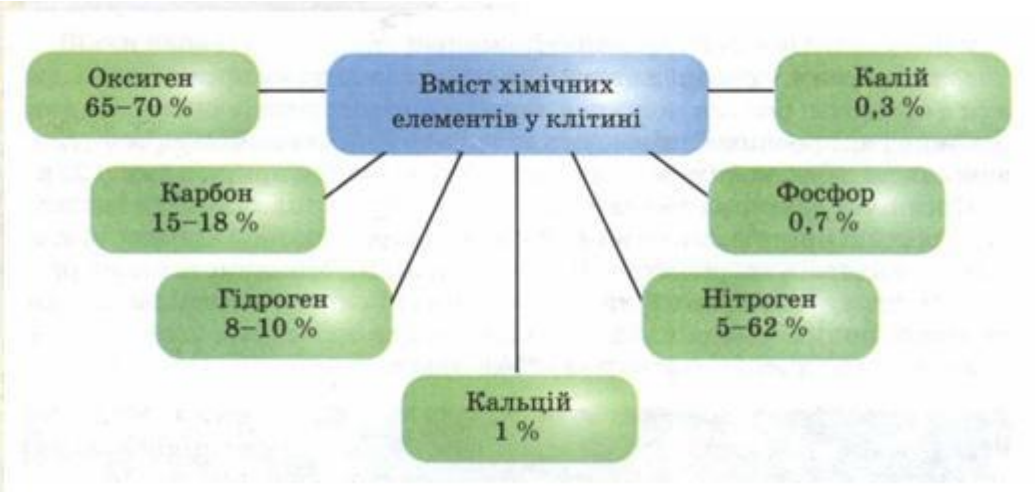


Рис. 1. Вміст хімічних елементів у клітині

Інші елементи потрібні організму в меншій кількості. Залежно від потреби їх поділяють на макро-, мікро- та ультрамікроелементи. **Макроелементи** становлять 1-0,1% маси тіла – це Ca, P, K, Na, Cl, Mg, S. **Мікроелементи** становлять менше 0,01 % маси тіла – це Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Cr, J, F та ін. Вони входять до складу складних білків (особливо ферментів) або є активаторами біохімічних процесів. **Ультрамікроелементи** необхідні організму в дуже малих концентраціях і становлять менше 0,001 % маси тіла. Це Se (селен), V (ванадій), Аи (золото), Ag (срібло), Cs (цезій), Sr (стронцій) та ін. Багато з них знаходяться в організмі у вигляді електрично заряджених частинок - **іонів**: *катіонів*, які віддали електрони і мають позитивний заряд (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}), та *аніонів*, які прийняли електрони і мають негативний заряд (Cl^-,J^-,SO^{2-},$PO4^{3-}$).

БУДОВА, КЛАСИ ТА БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Більшу частину сухого залишку організму становлять органічні речовини (90-96%). Вони побудовані з атомів карбону, з'єднаних між собою карбон-карбоновими (-C-C-) зв'язками.

Валентність атомів карбону в усіх органічних сполуках становить 4. Карбон найчастіше з'єднується з атомами гідрогену, оксигену або різними функціональними групами атомів, як це видно зі структурної формули оцтової кислоти: CH_3-COOH

У структурних формулах загальна пара електронів, що створює хімічний зв'язок, позначається рискою, тому навколо карбону завжди 4 риски.

Органічні речовини організму мають нерозгалужені, розгалужені карбон-карбонові ланцюги: -C-C-C-C-C-C-

а також замкнуті карбон-карбонові або карбон-нітрогенні ланцюги чи цикли:

циклогексан (C_6H_{12}), бензол (C_6H_6), циклопентан (C_5H_{10}), піримідин ($C_6H_4N_2$)

Атоми карбону здатні утворювати між собою подвійні |(-C=C-), чи потрійні (-C≡C-) зв'язки. Речовини, що мають такі зв'язки, називають **ненасиченими**. Прикладом ненасиченої речовини організму є олеїнова жирна кислота ($C_{17}H_{33}$ COOH), яка входить до складу жирів і надає їм властивості рідини:

CH_3 - $(CH_2)_7$ - CH = CH - $(CH_2)_7$ - COOH.

Атоми карбону в органічних сполуках можуть з'єднуватися з групами атомів, які надають речовинам певних властивостей — кислот, спиртів тощо – і мають назву **функціональні групи**. За їх наявністю в молекулах виділяють окремі класи речовин. Основні функціональні групи та класи органічних речовин, що їх містять, подано у табл. 2.

Таблиця 2. Запис та назви функціональних груп і класів органічних речовин

Група	Назва	Клас
R-OH (R - радикал)	Гідроксильна	Спирти
(-COOH)	Карбоксильна	Органічні кислоти
(-COH)	Альдегідна	Альдегіди
(-CO-)	Кетогрупа	Кетони
$-NH_2$	Аміногрупа	Аміни, амінокислоти
-SH	Сульфгідрильна	Амінокислоти, білки, коферменти
(-COO-)	Складноефірна	Ефіри, жири

Знаючи функціональні групи, які є в речовині, можна легко записати її структурну формулу та охарактеризувати її властивості.

Наприклад, загальна формула амінокислоти, що має карбоксильну (-COOH) та аміногрупу ($-NH_2$), записується так: R-CH(NH_2)-COOH

Властивості органічних речовин, їхня здатність вступати у біохімічні реакції залежать від типів хімічних зв'язків між атомами у молекулах. Виділяють такі хімічні зв'язки: **ковалентні, іонні, гідрогенні**. Найміцніший зв'язок - ковалентний. Він утворений загальною парою електронів і позначається в структурних формулах рискою. Окремі ковалентні зв'язки між атомами відносно легко розриваються і при цьому виділяється багато потенційної енергії. Такі зв'язки називають **макроергічними** або високоенергетичними, як і молекули, що їх мають. Вони є у речовинах, які виконують енергетичну функцію в організмі: АТФ, АДФ, креатинфосфат та ін. Цей зв'язок умовно 13 позначається хвилястою лінією (~). Так, у молекулі АТФ (аденозинтрифосфат) два таких зв'язки: **аденозин** — Р ~ Р ~ Р.

До складу організму входять високомолекулярні і низькомолекулярні органічні сполуки. Високомолекулярні речовини, субмолекулярні та клітинні структури побудовані всього з чотирьох типів низькомолекулярних молекул. Це амінокислоти, нітрогенні основи, глюкоза та жирні кислоти. Серед них є такі, що не синтезуються в клітинах організму (незамінні амінокислоти, ненасичені жирні кислоти). Вони, як і всі мінерали, належать до **незамінних факторів харчування**, що мають постійно надходити до організму в потрібних кількостях.

Класифікація органічних речовин. Існує багато класифікацій залежно від принципу, покладеного в їхню основу. У біохімії класи органічних речовин виділяють за принципом виконання ними конкретних функцій в організмі:

- вуглеводи (2% маси тіла) - енергетична функція
- білки (18%) - структурна та багато інших функцій
- жири (ліпіди) (15 %) - енергетична та компоненти клітинних мембран
- нуклеїнові кислоти (1%) - зберігають та передають генетичні (спадкові) ознаки людини; відповідають за синтез білків.

Обмін цих речовин, а також **вітамінів, гормонів, ферментів, нуклеотидів** та їхня роль у м'язовій діяльності людини є завданням нашого подальшого вивчення.

ВМІСТ НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

Неорганічними речовинами організму людини є вода та різні мінеральні речовини. Вода становить близько 60% маси тіла.

Вона є основою внутрішнього рідинного середовища організму, де розчиняються різні речовини, рухаються, обмінюються, про що докладніше розглянуто у розділі 2.

Мінеральні речовини становлять близько 4-10 % маси тіла. У клітинах вони знаходяться переважно у вигляді іонів (катіонів і аніонів) і мають назву електроліти. Крім того, багато з них використовується для побудови органічних речовин, наприклад, гемоглобіну(Fe^{2+}), цитохромів (Fe, Cu), вітаміну B_{12} (Co), гормону тироксину (J) та ін., що буде розглянуто далі.

Органічні та неорганічні речовини входять до складу продуктів харчування. Особливо важливим є надходження до організму тих речовин, які не можуть утворюватися (синтезуватися) в організмі людини, їх називають незамінними факторами харчування. Вони мають постійно надходити з продуктами харчування або у складі харчових добавок, які часто використовуються у спорті, під час реабілітації та лікування хворих. Тому будову, значення та метаболізм окремих речовин необхідно знати як спортсменам, майбутнім тренерам, такі фахівцям з реабілітології та рекреації, валеології, оскільки раціональне харчування є необхідною умовою відновлення або підвищення фізичних здатностей організму людини, збереження її здоров'я.

Таким чином, вивчення курсу «Біохімія» і «Біохімія спорту» студентами, які спеціалізуються з фізичного виховання та спорту, спрямоване на оволодіння знаннями з метаболізму основних класів речовин в організмі у нормі, під час м'язової діяльності та при деяких захворюваннях, участі у цих процесах вітамінів, ферментіві гормонів, їхньої ролі у функції м'язів та енергозабезпеченні роботи. Це необхідно для розуміння тих метаболічних змін в організмі, які відбуваються під час різних фізичних навантажень, спортивних тренувань, у період відновлення організму, поліпшенні стану здоров'я та фізичної

працездатності під впливом раціонального харчування, фармакологічної корекції чи фізичної реабілітації. Одержані знання допоможуть удосконалювати, коригувати або, навіть, управляти процесами обміну речовин для поліпшення спортивного результату чи стану здоров'я людини.

Управління процесами обміну речовин забезпечує чітко підпорядкована мережа регуляторних систем на різних рівнях функціонування організму: на рівні ферментів, гормонів, ЦНС. Під час виконання фізичних вправ, спортивних тренувань відбувається прискорення обміну речовин у м'язах та інших тканинах, удосконалення роботи регуляторних систем метаболізму, що лежить в основі адаптації організму до них та підвищує його фізичну працездатність.

Перелік питань для підготовки до теми 1:

1. Що вивчає біохімія та біохімія спорту, яке їх значення для підготовки спеціалістів з фізичного виховання та спорту?
2. Які методи дослідження використовуються у біохімії?
3. Які хімічні елементи та класи речовин входять до складу організму людини?
4. На які групи поділяються мінерали, що містяться в організмі людини?
5. Який вміст окремих класів органічних речовин в організмі людини?
6. Які неорганічні речовини містяться в організмі ? Що таке іони або електроліти?
7. Як впливають фізичні навантаження на метаболізм та працездатність людини?

Тема 2. Обмін води і мінеральних речовин.

ВМІСТ, СТАН ТА ФУНКЦІЇ ВОДИ В ОРГАНІЗМІ

Вміст води в організмі чоловіка становить близько 60%, жінки - 50% маси тіла. Кількість води в організмі змінюється протягом життя. Так, в ембріона її найбільше (до 97%), а в тілі старої людини найменше (до 50%). У різних тканинах вміст води нерівномірний. Найбільше її в слині (99%) та крові (92%), найменше - у кістках (близько 30%), відносно багато - у м'язах (до 70 %).

В організмі вода є основою біологічних рідин: плазми, цитоплазми, лімфи, міжклітинної рідини, кишкового соку, слини, сечі та ін. Вода в них знаходиться в різних станах, тому має різне значення.

Вирізняють такі стани води в організмі:

- **Гідратаційна,** або зв'язана з білками, вода. Не зважаючи на те, що процеси гідратації відбуваються постійно, кількість її майже не змінюється. Тільки під час старіння організму втрачається гідратаційна вода, що призводить до зморщування тканин тіла.
- **Іммобілізована** вода знаходиться в замкнутому просторі між мембранами клітин чи структурами складних речовин. Вона створює умови для перебігу обмінних процесів у клітинах і підтримує їхні функції, структуру та форму. Більша частина води організму (до 63%) знаходиться у клітинах (цитоплазмі).

• **Вільна вода** — це вода різних біологічних рідин організму. Найбільше її у міжклітинному просторі. Саме цю воду організм легко втрачає у результаті потовиділення. У разі затримання її в організмі, порушенні виведення нирками тощо, вона збирається під шкірою (уклітковині) й утворює набряки.

Біологічне значення води в організмі людини досить різноманітне завдяки особливостям будови її молекули.

За своєю будовою молекула води (H_2O) – диполь (має протилежні заряди на молекулі) (рис. 2): H^+OH^-

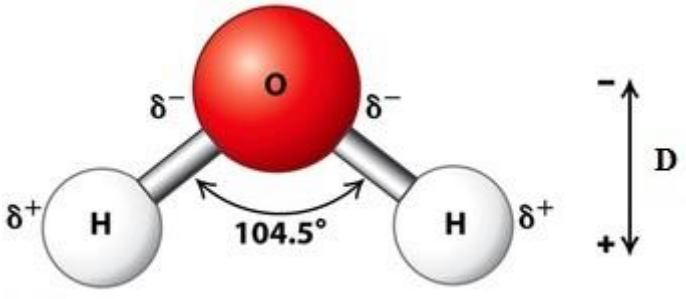


Рис. 2. Будова молекули води

Частина молекули води, де знаходиться оксиген (О), заряджена негативно, а де атоми гідрогену (2Н) - позитивно. Завдяки цьому вона може взаємодіяти зі своїми молекулами та іншими речовинами. При цьому або утворюються складні комплекси з водою (**гідрати, міцели**), або іонні сполуки розпадаються на **іони** (відбувається електролітична дисоціація), наприклад, сіль NaCI дисоціює на катіон Na^+ та аніон Cl^-: $Na\ CI \rightarrow Na^+ + Cl^-$

Хлорид натрію катіон аніон

Кислоти дисоціюють на катіони гідрогену, які називають протонами, та аніони кислотного залишку: $HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$.

Вода в організмі людини виконує такі функції:

• розчиняє багато речовин (гази, CO_2, NH_3, солі, кислоти, органічні речовини з групами -ОН, $-NH_2$, -СООН);

• бере участь у біохімічних реакціях (гідроліз, гідратація). Наприклад, реакція розпаду АТФ проходить з участю води, тому має назву гідроліз;

• є середовищем, де відбуваються різні хімічні перетворення, підтримує форму клітин та їхні функції;

• підтримує температуру тіла за рахунок випаровування (потовиділення);

• підтримує кислотно-основний стан;

• забезпечує транспорт речовин та сама вирівнює їх концентрації завдяки осмосу;

• є основою біологічних рідин організму, де підтримує осмотичний тиск (необхідна умова діяльності серцево-судинної системи та функцій різних клітин).

Таким чином, вода створює умови гомеостазу в організмі, порушення яких призводить до зниження працездатності, розвитку захворювань або смерті. Тому важливо підтримувати постійний обмін води із навколишнім середовищем та забезпечувати водний баланс організму.

ВОДНИЙ БАЛАНС ТА ЙОГО МОЖЛИВІ ЗМІНИ ПІД ЧАС М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Оскільки вода постійно виділяється з організму, її рівень має поповнюватися. Людина не може жити без постійного споживання води, завдяки чому й підтримується водний баланс.

Водний баланс — це рівновага між виділеною та спожитою водою:

Споживання води	*Виділення води*
- З напоями(1500 мл, або 60%)	- з сечею (1500 мл, або 60%)
- З їжею (750 мл, або 30%)	- через шкіру та легені (700 , або 6%)
- Метаболічна вода (250 мл, або 10%)	- з потом (150 мл, або 6%)
	-з екскрементами (150 мл, або 6%)

Добова потреба у воді звичайної дорослої людини в середньому становить 2,5-2,8 л або 40 мл на 1 кг маси тіла. Для дітей потреба в воді більша у 2-3 рази і становить 80-100 мл на 1 кг маси тіла. Запаси її поповнюються як за рахунок води, що надходить з їжею та напоями (**екзогенна вода**), так і за рахунок води, що утворюється в тканинах організму в процесі обміну речовин (**ендогенна або метаболічна вода**). Кількість ендогенної води становить не більше 250-350 мл на добу і залежить від інтенсивності обміну та особливостей окиснення окремих речовин. Найбільше води утворюється після окиснення жирів - 107 г на 100 г жиру, менше після окиснення вуглеводів (56 г) та білків (41 г).

Сталість вмісту води в організмі підтримується регуляторними системами - ЦНС та гормональною. Гормони контролюють діяльність нирок. Це, зокрема, гормон гіпофізу – вазопресин (антидіуретичний) та кори надниркових залоз — альдостерон. Вони затримують Na та H_2O в організмі.

Втрату води організмом або зневоднення називають **дегідратацією**. Зневоднення викликає зменшення об'єму плазми крові та швидкості транспорту речовин через збільшення її густини, що погіршує діяльність серцево-судинної та нервової системи, скелетних м'язів. Тому дегідратація організму на 5% викликає зниження фізичної працездатності на 30% та можливий головний біль, а понад 7% може викликати **коматозний стан** людини, затьмарення свідомості та галюцинації.

Зменшення об'єму води в організмі на 1 % викликає відчуття спраги, що сигналізує про необхідність її поповнення.

Під час м'язової діяльності, особливо спортивного тренування, коли значно прискорюється обмін речовин та виділення енергії, організм багато води втрачає з потом (до 90%). Це запобігає його перегріванню. Так, на виділення 1 л поту організм витрачає близько 550 ккал тепла. Найбільша втрата води організмом спостерігається під час виконання довготривалої роботи (біг, велогонки і т. д.), менша – при короткочасній роботі вибухового характеру (важка атлетика). Втрата води у марафонців може досягати 2-3 л на годину, а після пробігання всієї дистанції сягати 7 л. Тому норми споживання води для спортсменів мають визначатися з величини її втрат, а вони різні для різних видів спорту.

Разом із водою в процесі м'язової діяльності виділяються і мінеральні речовини, що призводить до змін швидкості нервових процесів та сили скорочення м'язів. У зв'язку з цим відновлення водного балансу рекомендується робити не чистою водою, а споживанням водно-мінеральних та вітамінних напоїв, соків або вуглеводно-мінеральних напоїв. Відновлення водного балансу слід проводити у найкоротший час, краще запобігати дегідратації організму, що буде розглянуто далі.

Під час фізичних навантажень зневоднення організму особливо швидко спостерігається у дітей, оскільки вони мають великий вміст міжклітинної води і суттєво втрачають її. Сильне зневоднення організму спостерігається у хворих на нецукровий діабет, що зумовле ний зменшенням синтезу гормону гіпофізу вазопресину (антидіуретичний гормон).

Водний баланс може бути порушений за надмірного накопичення води в організмі, що називають гіпергідратацією і який проявляється у вигляді прихованого чи вираженого набряку. Причинами такого стану можуть бути різні фізіологічні та патологічні зміни в організмі.

РОЛЬ МІНЕРАЛЬНИХ РЕЧОВИН

Вміст мінеральних речовин в організмі людини становить 4- 10% сухої маси тіла і залежить від функціонального стану організму, віку, умов навколишнього середовища, харчування тощо.

Мінеральні речовини у тканинах організму містяться у вигляді солей, наприклад, у кістках багато фосфатів кальцію $Ca_3(PO_4)_2$; кислот (H_2CO_3, H_3PO_4, HCl); катіонів (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{3+}, ін.) та аніонів (Cl^-, HCO_3^-, PO_3^{2-}); у складі органічних сполук (Fe – у гемоглобіні, міоглобіні та цитохромах, Zn – в інсуліні, а J – у тироксині).

Вміст окремих мінералів неоднаковий у різних тканинах, а також усередині клітин і поза ними. Так, Ca, P, Mg у великій кількості міститься у кістках, J - в щитовидній залозі, де використовується для синтезу тироксину, а F - в емалі зубів.

Усередині клітин, наприклад, еритроцитів крові, міститься багато іонів K^+, але мало Na^+, а у плазмі навпаки – багато Na^+ і мало K^+, кількість яких у ммоль $л^{-1}$ становить (за Ленінджером, 1985): в еритроцитах та у плазмі

Na^+	4	140
K^+	110	3

Така різна концентрація іонів усередині клітини та поза нею, яку називають **іонним градієнтом концентрації**, підтримується завдяки роботі спеціальних іонних каналів та АТФ-залежних насосів і є необхідною умовою існування клітин. Завдяки цьому створюється електричний потенціал на мембранах електрозбудливих клітин нервової та м'язової тканин.

Потреба людини в окремих мінеральних речовинах залежить від віку, стану організму, виконуваної роботи тощо. Так, для дитячого організму необхідно більше Ca, P, Mg та інших речовин, які використовуються для побудови організму в процесі росту. Їх вміст зменшується у похилому віці. Під

час фізичних навантажень вміст багатьох мінеральних речовин знижується через втрату їх із сильним потовиділенням. Тому після фізичних навантажень для поповнення вони мають надходити до організму з надлишком.

Добова потреба звичайної дорослої людини у мінеральних речовинах покривається повноцінним раціональним харчуванням із використанням різноманітної їжі рослинного та тваринного походження (табл. 2). Але під час напружених тренувань, захворювань, використанні різних методів фізичної реабілітації потреба в них збільшується. Існують методи лікування окремих захворювань мінералами (мінералотерапія).

Біологічне значення окремих мінеральних речовин в організмі досить різноманітне (див. табл. 3). Мінеральні речовини необхідні для:

• побудови тіла, його складових сполук: білків, нуклеїнових кислот, гормонів, ферментів, вітамінів та ін.; підтримання сталості іонного складу внутрішнього середовища організму, що впливає на структуру і функцію клітин та різних молекул;

• підтримання кислотно-основного стану в організмі;

• регуляції обміну речовин, оскільки виступають активаторами багатьох ферментів.

Від їх концентрації та якісного складу залежить функціонування різних систем організму, в тому числі робота м'язів, що забезпечує спортивну діяльність, чи створює умови для швидшого відновлення фізичної працездатності спортсменів та хворих людей.

Табл.3. Мінеральні речовини, їх добова потреба, біологічне значення та вміст у деяких продуктах (усереднені величини).

Речовина	**Добова потреба, г, мг**	**Біологічне значення**	**Вміст у 100 г продукту, г, мг**
Макроелементи (1-0,1% маси тіла), г			
Ca	1-2	Компонент кісток, зубів. Бере участь у передачі нервових імпульсів на м'язові волокна, запуску скорочення м'язів, зсіданні крові, засвоєнні Fe та B_{12}	Сир твердий – 1 Халва – 0,8 Творог – 0,15 Молоко – 0,12 Яйце – 0,05
P	1-2	Компонент кісток, зубів. Складова джерел енергії: АТФ, АДФ, креатинфосфату. Входить до складу нуклеїнових кислот. Компонент фосфатних буферних систем, що підтримують кислотно-основну рівновагу.	Гриби білі – 0,7 Сир твердий – 0,5 Бобові – 0,3 Вівсяна крупа – 0,36

			Молоко згущене – 0,21
Mg	0,3-2,0	Компонент кісток. Регулює функцію скелетних м'язів, серцеву діяльність. Впливає на процеси синтезу білка; є кофактором багатьох ферментів. Сприяє виведенню холестерину.	Бобові – 0,1 Хліб пшеничний – 0,8 Лісові горіхи – 0,13 Банани – 0,04
Na, K	1-3 2-6 і до 15-30	Регулюють функцію нервової системи, процеси збудження. Забезпечують збудження скелетних м'язів. Підтримують осмотичний тиск у рідинах. Регулюють обмін води: Na – затримує воду і створює набряки, K – підвищує виведення води та іонів Na.	Харчова сіль – 20-30 Курага – 1-2 Сир твердий – 0,9 Бобові – 0,8 Хліб житній – 0,6 Картопля – 0,6
Cl	3-7	Підтримує осмотичний тиск у біологічних рідинах. Регулює обмін води та транспорт іонів, кислотно-основний стан. Використовується для утворення HCl у шлунку.	NaCl – харчова сіль Хліб чорний – 0,8
Мікроелементи (менше 0,01% маси тіла), мг			
Fe	10-15	Компонент гемоглобіну та міоглобіну – білки, що транспортують O_2. Компонент цитохромів, що беруть участь в утворенні АТФ.	Шипшина – 30 Печінка – 20 Гречка – 8 Жовток яйця – 6 Хліб – 4
Zn	15	Компонент інсуліну. Активатор ряду ферментів, у тому числі карбоангідрази: $H_2CO_3 = CO_2 + H_2O$, а також лактатдегідрогенази. Прискорює синтез білка. Проявляє антиоксидантні властивості. Впливає на імунітет.	Печінка – 5 Жовток яйця – 3 Хліб чорний – 2 Риба – 0,5
S	200	Входить до коферменту А (КоА-SH), вітаміну B_1, амінокислот, білків	Хліб чорний – 85 М'ясо, риба, яйце

Cu	3	Потрібен для процесів кровотворення та енергоутворення (компонент цитохромів)	Печінка – 3,8 Боби – 1,1 Хліб – 0,2
Mn	1-5	Активатор ферментів обміну вуглеводів	Печінка - 0,32 М'ясо – 0,15 Риба – 0,06
Co	0,02-0,04	Використовується для побудови віт. B_{12}, еритроцитів	Печінка – 0,008 М'ясо – 0,005 Хліб – 0,002
I	0,150	Компонент гормону щитоподібної залози – тироксину, який підтримує інтенсивність усіх ланок метаболізму	Тріска – 0,26 Овочі – 0,05 Молоко – 0,03 Яйце – 0,02
F	2-4	Компонент зубів, надлишок викликає захворювання – флуороз	Риба – 1,4 Борошно – 0,7 М'ясо – 0,5
Se	0,05-0,2	Компонент ферментів антиоксидантної системи. Підсилює роботу імунної системи. Протираковий компонент.	М'ясо, риба, молоко

ОБМІН ВОДИ ТА МІНЕРАЛЬНИХ РЕЧОВИН ПІД ЧАС М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Найбільша втрата організмом води та мінеральних речовин спостерігається під час довготривалих фізичних навантажень (біг на середні та довгі дистанції, лижні гонки, велогонки тощо). Така робота може призвести до втрати 5-7 л рідини, що є одним із основних факторів зниження працездатності та стомлення. Разом із потом виділяються мінеральні речовини, особливо Na, CI, K та Mg, а також Fe, Си та ін. Вміст Na та CI в організмі знижується на 5-7%. Порушення водно-електролітного балансу впливає на процеси збудження нервових та м'язових клітин і прояви їхніх функцій. Тому, згідно з сучасними рекомендаціями, під час виконання такої роботи для запобігання зневоднення організму необхідно споживати воду перед роботою, під час роботи в невеликих кількостях, якщо це можливо, та у перші години відпочинку. Для контролю втрат рідини під час роботи потрібно зважуватися перед роботою та після неї. Зменшення маси тіла на 1 кг супроводжується втратою близько 0,7-0,8 л води.

Для запобігання порушення роботи серцево-судинної та нервової систем через зневоднення рекомендується за 30 хв перед виконанням довготривалої роботи випити 200-400 мл напою (сік розведений чи вуглеводно-сольовий розчин). Поповнення води під час роботи сприяє нормалізації концентрації Na, CI та K у плазмі крові та відносного об'єму плазми крові. Тому рекомендується через кожні 10-15 хв роботи випивати по 100-250 мл (Кулиненков, 2001), або через одну годину такої роботи близько 1-2 склянки охолодженої води чи

спеціальних напоїв. Охолоджені напої (до 10-15°С) сприяють поліпшенню терморегуляції та всмоктуванню рідини. Швидкість всмоктування рідини у шлунку збільшується майже вдвічі, якщо пити не чисту воду, а 8-10% розчин глюкози та фруктози. Об'єм всмоктуваної рідини обмежений роботою травної системи. Він здатний засвоїти близько 800 мл протягом години.

У разі швидкого поповнення великої кількості втраченої води чи значному потовиділенні, вміст Na^+ в одиниці об'єму плазми зменшується. Такий стан називають гіпонатріємією. Зниження Na^+ в крові нижче норми (136-146 ммоль/л) викликає порушення орієнтації, епілептичні напади, чи навіть коматозний стан. Тому під час м'язової діяльності, для запобігання виникнення стану гіпонатріємії, споживають не чисту воду, а мінеральну з певним вмістом Na та інших елементів невеликими об'ємами.

Для спортсменів, особливо тих, які спеціалізуються з видів спорту з проявами витривалості важливо підтримувати необхідний вміст заліза в організмі. Дефіцит його веде до розвитку анемії, що погіршує аеробні процеси енергозабезпечення та діяльністьімунної системи. За такого стану вміст гемоглобіну (Hb) в крові знижується нижче нижньої межі норми чи навіть до 100 г/л і нижче. Відновити вміст Fe та Co в крові за рахунок збалансованого харчування досить складно. Fe погано засвоюється організмом. Так, негемінові формули Fe (в молочних та мучних продуктах) засвоюються приблизно на 5%. Під час лікування залізозалежної анемії використовуються фармакологічні препарати заліза, яких досить багато.

Проте слід зауважити, що споживання надмірної кількості мінеральних речовин не веде до суттєвого підвищення фізичної працездатності людини, у якої не було їх дефіциту.

Значне виведення води з організму використовується в спорті як один із основних методів зменшення маси тіла, наприклад, перед змаганнями, коли потрібно коригувати вагову категорію. Одночасно з цим слід компенсовувати втрати мінеральних речовин спеціальними дієтами для запобігання порушень діяльності нервової та серцево-судинної системи.

Перелік питань для підготовки до теми 2:

1. Як впливає вміст води на життєдіяльність організму?
2. Яка добова потреба у воді дітей, дорослої людини та спортсмена?
3. На які групи поділяються мінеральні речовини організму людини та яку біологічну роль вони виконують?
4. Які особливості обміну води і мінеральних речовин за різних фізичних навантажень?
5. Як впливає дегідратація на фізичну працездатність та процеси відновлення?
6. Чи можна запобігти зневодненню організму під час фізичних тренувань?

Тема 3. Кислотно-основний стан організму.

КИСЛОТНО-ОСНОВНИЙ СТАН ВНУТРІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ОРГАНІЗМУ

Кислотність внутрішнього середовища організму залежить від концентрації у ньому іонів гідрогену [H+], що утворюються, в основному, під час дисоціації (розпад речовини на іони у водному середовищі) кислот: 30HCl → H+ + ClCHCOOH→ H+ + CH_3COO^- - хлоридна (соляна) кислота, - оцтова кислота, CH_3-CHOHCOOH → H+ + CH_3-CHOHCOO$^-$ - молочна кислота.

Лужність, або основність, середовища залежить від концентрації гідроксильних іонів [OH^-], що утворюються з лужних речовин: NaOH → Na^+ + OH^-.

Співвідношення концентрації H^+: OH^- характеризує кислотно-основний стан (КОС) біологічних рідин або активну реакцію середовища.

Вода – слабкий електроліт, але частково утворює іони гідрогена та гідроксили в результаті дисоціації її молекул: $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$.

При цьому в абсолютно чистій воді за кімнатної температури (22 °С) утворюється тільки $1 \cdot 10^{-7}$ г.іон-$л^{-1}$ іонів гідрогена та стільки само гідроксилів. Добуток концентрації іонів H^+ та OH^- є сталою величиною, яка дорівнює $1 \cdot 10^{-14}$:

$KH_2O = [H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-7} \cdot 10^{-7} = 10^{-14}$

Тобто, концентрація H^+ та OH^- в розчині може змінюватись у межах від 1.100 до 1.10^{-14} і, якщо концентрація H^+ збільшується, то OH - зменшується, і навпаки.

ПОКАЗНИК ВОДНЮ, або pH

Кислотно-основний стан рідин прийнято характеризувати за концентрацією іонів гідрогена (H^+), або **показником водню (pH)**. Поняття показника водню введено хіміком С. Серенсеном у 1909 р. За ним кислотність середовища виражається у простих числах, тому що **pH – це від'ємний десятковий логарифм концентрації іонів гідрогену**: $pH = -lg [H^+]$.

Якщо у водному середовищі однакова кількість H^+ і OH^-, яка становить 10^{-7} гіон $л^{-1}$, то pH дорівнює 7 ($pH = lg [10^{-7}]$)і таке середовище є нейтральним. Якщо pH > 7, то середовище - лужне, оскільки кількість іонів гідроксилу більша, ніж гідрогена, а якщо pH < 7, то середовище – кисле, бо іонів гідрогена більше, ніж гідроксилів. Тобто, чим менша величина pH, тим більша кислотність. Для визначення концентрації H^+ чи OH^- за величиною pH користуються шкалою pH (рис. 3).

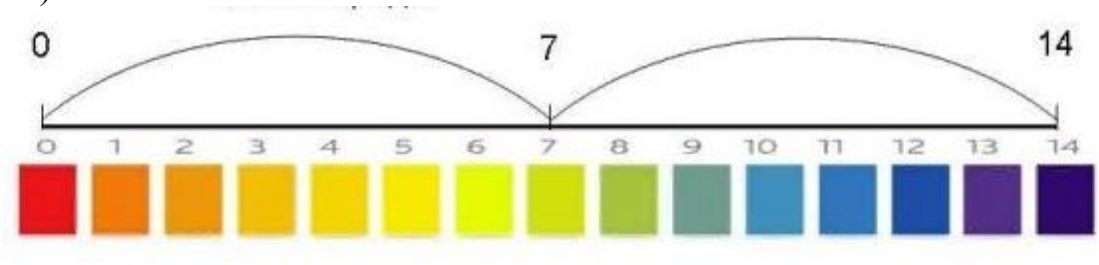


Рис.3. Шкала pH. 0-7 – кисле середовище, 7-14 – лужне середовище

Величини pH у рідинах визначаються за допомогою індикаторнихсмужок або приладу pH-метра і є важливим діагностичним показником у медичній та спортивній практиці.

Кожна біологічна рідина має свою величину pH, яка підтримується на певному фізіологічному рівні. Величини pH біологічних рідин організму в стані відносного спокою коливаються у досить вузьких межах: кров 7,34-7,4 – слабколужне середовище, сеча 5,5-6,0 – слабкокисле, слина 7,2-7,5 – слабколужне, шлунковий сік 1,5-2,0 – сильнокисле, цитоплазма 7,0 – нейтральне.

Величини pH окремих продуктів: лимонний сік – 2; молоко 6,5; білки яєць – 7,8; морська вода – 7,8.

Постійність величин pH біологічних рідин організму має велике фізіологічне значення, оскільки кислотність середовища впливає на активність ферментів; транспорт речовин; збудливість клітинних мембран та передачу нервового імпульсу; швидкість скорочення м'язів; механізми енергоутворення (АТФ); больові рецептори та ін.

В організмі людини існують спеціальні системи регуляції кислотно-основного стану біологічних рідин, або забезпечення кислотно-основної рівноваги, завдяки яким у нормі pH крові не змінюється і підтримується в межах 7,36 (7,34-7,40). Але у разі змін внутрішнього середовища через активацію чи порушення метаболізму, наприклад, під час напруженої м'язової діяльності або гіпоксії (недостатності кисню у клітинах) накопичується молочна кислота у м'язах та крові, pH крові при цьому знижується у тренованого спортсмена (швидкісно-силові види спорту) до 6,8-6,5 (за виснаження), а у нетренованої людини - до 7,2-7,0. Це означає, що не завжди регуляторні системи можуть забезпечити підтримання.

КИСЛОТНО-ОСНОВНА РІВНОВАГА

Основну роль у регуляції КОР відіграють хімічні буферні системи, а також органи виділення та дихання (нирки та легені), деякою мірою, також травна система, діяльність яких контролюється ЦНС.

ЗНАЧЕННЯ ТА ЗМІНИ БУФЕРНИХ СИСТЕМ ПІД ЧАС М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Буферні системи досить швидко (секунди) зв'язують надлишки H+ чи OH-, що утворюються у процесі обміну речовин, і захищають середовище від змін pH: H^+ + буфер → H ▪ буфер.

Що ж собою являють буферні системи?

Буферні системи – це двокомпонентні суміші, що можуть складатися зі слабкої кислоти та її розчинної солі від сильної основи, двох солей, білків, які у певному співвідношенні підтримують сталість pH рідинного середовища. Основні буферні системи крові та інших рідин організму:

Бікарбонатна: H_2CO_3 та $NaHCO_3$ – діє переважно у плазмі крові (pH в межах 7,4);

Фосфатна: NaH_2PO_4 та Na_2HPO_4 – діє в клітинах тканини (pH у межах 9,6);

Білкова (гемоглобінова): HHb та KHb діє в еритроцитах (pH в межах 7,0);

Ацетатна: CH_3COOH та CH_3-COONa – діє в клітинах тканин (pH в межах 5,0).

Буферні системи мають обмежену ємність, тобто здатність зв'язувати певну кількість H^+ чи OH^-. Для організму людини велике значення має запас лужних компонентів буферів, який називають **лужним резервом.** Лужні компоненти буферних систем зв'язують кислоти, що утворюються в організмі під час м'язової діяльності чи окремих захворювань дихальної або видільної систем, цукровому діабеті. **Якщо ємність буферних систем вичерпується, то величина pH рідини змінюється.** Найважливішим лужним резервом організму є лужний компонент бікарбонатної системи плазми ($NaHCO_3$), і зокрема, її гідрокарбонатний іон – HCO_3^-.

Механізм дії буферної системи розглянемо на прикладі бікарбонатної системи. Якщо у кров надходять кислоти, наприклад молочна ($CH_3CHOHCOOH$), то її протон гідрогена зв'язується сольовим (луж ним) компонентом системи – гідрокарбонатом Na з утворенням карбонатної кислоти:
$H^+ + NaHCO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^- + Na^+ \rightarrow H_2CO_3 + Na^+ + OH^-$

Надлишок карбонатної кислоти буде швидко розпадатися на H_2O та CO_2 для того, щоб нормалізувалася буферна система. Тому, збільшення вмісту кислих продуктів у крові стимулює процес дихання і виведення CO_2 через легені. Інші компоненти не впливають на величину pH.

Якщо у кров надходять лужні компоненти, що поставляють гідроксили (OH), то їх зв'язує кислий компонент системи. При цьому утворюються вода та надлишок аніону гідрокарбонату, який виводиться нирками: $OH^- + H_2CO_3 \rightarrow OH^- + H^+ + HCO_3 \rightarrow H_2O + HCO_3^-$

Вплив фізичних тренувань на буферні системи організму. Систематичні фізичні тренування поліпшують функціональний стан людини, що певною мірою пов'язано зі змінами ємності буферних систем. Виявлено, що анаеробні тренувальні навантаження збільшують буферну ємність крові на 15-50% уже через два місяці тренувань. Аеробні фізичні навантаження не впливають на ці системи.

ВПЛИВ НА ФІЗИЧНУ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПОРУШЕННЯ КИСЛОТНО-ОСНОВНОЇ РІВНОВАГИ – АЦИДОЗУ ТА АЛКАЛОЗУ

Кислотно-основна рівновага є невід'ємною умовою нормальної життєдіяльності всіх клітин організму. Зміни pH крові від 7,36 до 6,8 у нетренованому організмі спричиняють його загибель. За адаптації організму до фізичних навантажень він менше реагує на зміни pH у крові та інших рідинах і здатний підтримувати високу фізичну працездатність.

Вирізняють дві форми порушення кислотно-основної рівноваги – закислення та залуження середовища. Стан закислення середовища організму

називають **ацидозом,** а залуження – **алкалозом.** Якщо лужний резерв буферних систем утримує сталість pH, то це *компенсаторний* ацидоз, а якщо він вичерпується і pH крові змінюється – це *декомпенсаторний* ацидоз. Декомпенсаторний ацидоз тримається відносно довго і є фактором зниження працездатності та розвитку стомлення у спортсменів після виснажливих тренувань.

У спортсменів ацидоз спостерігається під час інтенсивної м'язової діяльності (біг на 200, 400 м) за рахунок накопичення молочної кислоти у м'язах. При цьому pH крові може знижуватися від 7,34 до 7,0 чи навіть до 6,8, а у скелетних м'язах від 7, 1 до 6,5 при стомленні м'язів. Це викликає біль у м'язах та зниження працездатності. **Ацидотичний стан – одна з причин м'язового стомлення організму.** Але вже через 30-40 хв відпочинку концентрація H^+ в тканинах нормалізується. Пов'язані з цим симптоми також поступово зникають. Молочна кислота більшою мірою окиснюється у тканинах за участю O_2. За систематичного фізичного тренування ацидоз розвивається меншою мірою, оскільки збільшуються ємності буферних систем. Запобігти виникненню ацидозу під час м'язової діяльності можна шляхом використання основовмісних продуктів, наприклад, содових ($NaHCO_3$) чи спеціальних препаратів.

Ацидоз може виникати при деяких захворюваннях. За механізмом розвитку ацидоз та алкалоз може бути **респіраторним** (газовим) або **метаболічним** (негазовим). Ці форми порушень кислотно-основної рівноваги мають різні причини виникнення, вплив на стан здоров'я людини, особливості корекції і вимагають використання досить обмежених фізичних вправ.

Залуження середовища організму може виникати у разі надмірного надходження з їжею лужних речовин, втрати кислих компонентів, гіпервентиляції легень. Гіпервентиляція призводить до надмірного виділення CO_2 із організму і збільшення лужності крові. Цей прийом використовують легкоатлети-бігуни на короткі дистанції перед стартом для збільшення буферного основного резерву організму.

Зміни кислотно-основного середовища, сталість хімічного, особливо, іонного складу організму, залежать від швидкості транспорту H^+, OH^- та інших речовин в рідинах та через мембрани, який забезпечується різними механізмами.

МЕХАНІЗМИ ТРАНСПОРТУ РЕЧОВИН В ОРГАНІЗМІ

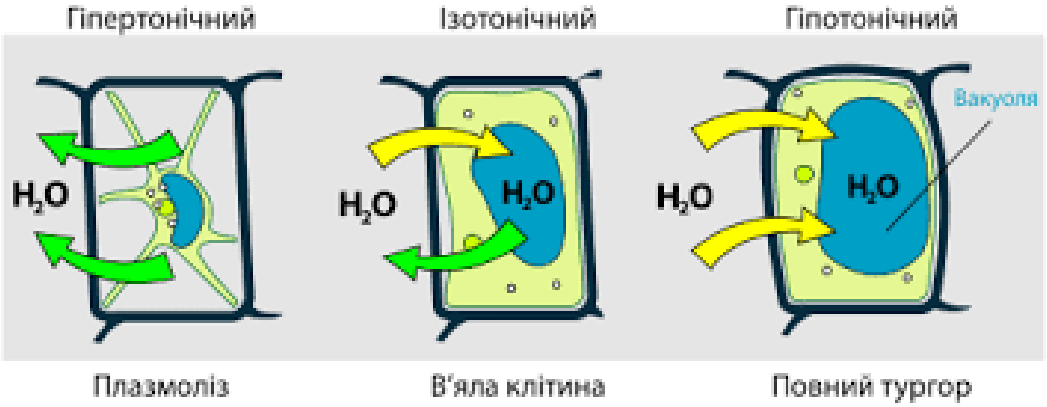
Виділяють такі чотири основні механізми транспорту речовин: дифузію, осмос, активний транспорт та ендо- і екзоцитоз. Дифузія та осмос належать до пасивного механізму транспорту. Вони проходять без використання енергії. Два останні механізми перебігають за рахунок енергії АТФ і тому їх називають активним транспортом.

Дифузія – це тепловий рух молекул чи іонів із зони високої до зони низької концентрації цих молекул, тобто за градієнтом концентрації. При цьому концентрація речовин зрівноважується. Наприклад, запах аміаку ми дуже швидко відчуваємо після відкриття посудини. В організмі за рахунок дифузії швидко переміщуються малі молекули обміну речовин: CO_2, H_2O, різні іони, як

в рідинах, так і через пори в мембранах клітин. Шляхом дифузії О надходить у крові з крові у тканини, де його концентрація менша.

Осмос – це односторонньо спрямована дифузія води через напівпроникну клітинну мембрану до більш концентрованого розчину з тим, щоб зрівняти концентрацію солей по різні сторони мембрани. Осмос відбувається за рахунок осмотичного тиску в біологічних рідинах, що зумовлений концентрацією осмотично активних солей: NaCl, $NaHCO_3$, NaH_2PO_4. Осмос відіграє велику роль у підтриманні форми клітин, а отже і їхньої функції, як видно на прикладі еритроцитів (рис. 4).

Еритроцити нормально функціонують в ізотонічному розчині, коли концентрація осмотичноактивних солей у клітині та поза нею зрівноважена (рис. 4, б). Ізотонічним по відношенню до плазми крові є 0,9% розчин NaCI, який іще називають фізіологічним і використовують для розведення ліків. У гіпотонічному розчині, який містить меншу кількість іонів, ніж у клітині, еритроцити набрякають та можуть розірватися, тому що вода буде проникати всередину клітин (рис. 4, в). Це призведе до виходу гемоглобіну в плазму. Такий процес називають **гемолізом.** У гіпертонічному розчині, який містить більшу кількість іонів чи солей порівняно з клітиною, еритроцити зморщуються (**плазмоліз**), тому що вода буде виходити із них (рис. 4, а). Це теж призведе до втрати їхньої функції.



а б в

Рис.4. Осмотичний рух молекул води через мембрану еритроцита та зміна його форми

Активний транспорт речовин – це переміщення їх через напівпровідникові мембрани клітини з розчину низької до розчину високої їх концентрації, тобто проти градієнта концентрації, за участю АТФ та спеціальних мембранних білків-переносників. Такий вид транспорту забезпечує постійність концентрації іонів Na^+ та K^+ в клітині та поза нею. 36 а б В Еритроцит Плазма ізотонічне середовище; гіпотонічне, гемоліз (розрив еритроцита); гіпертонічне, плазмоліз (зморщування мембрани еритроцита) Рис. 4. Осмотичний рух молекул води через мембрану еритроцита та зміна його форми

Близько 30% АТФ клітин використовується для роботи Na^+-, K^+-АТФази, що знаходиться в плазматичних мембранах нервових клітин та м'язів, яку називають Na^+-K^+-насосом. Вона накачує іони к у клітини та викачує іони Na^+ із

клітин у міжклітинний простір. Процеси активного транспорту цих іонів лежать в основі передачі нервового імпульсу по нервових закінченнях та створення іонного потенціалу дії на мембрані м'язових волокон, що зумовлює збудження та скорочення м'язів. У мембранах ретикулума, який обвиває міофібрили у скелетних м'язах та депонує Ca^{2+}, працюють Ca^{2+}-насоси. Вони закачують Ca^{2+} із цитоплазми в ретикулярні пухирці, де він зберігається, і знижують його вміст у цитоплазмі, що необхідно для розслаблення м'язів.

Суттєвий внесок у розкриття механізмів транспорту Na^+, K^+, Ca^{2+} та систем, що їх регулюють у скелетних м'язах, зробили біохіміки України М.Д. Курський, С.О. Костерін, О.М. Федоров та багато інших, які працюють у відділі біохімії м'язів Інституту біохімії імені О.В. Палладіна.

Ендоцитоз – це вгинання, а **екзоцитоз** – вигинання плазматичної мембрани клітини під час поглинання чи викидання різних речовин, бактерій, мікробів. Такий механізм використовується також під час секреції гормонів, нейромедіаторів, знешкодження речовин, їх лізису – розщеплення.

Під час фізичних навантажень можуть порушуватися механізми транспорту речовин, особливо АТФ-залежних, що супроводжується зміною швидкості іннервації та скорочення м'язів. Систематичні фізичні тренування поліпшують роботу механізмів транспорту речовин, що створює кращі умови для обміну речовин та енергії, підтримання сталості pH та впливає на стан здоров'я людини, її спортивну діяльність.

6. Матеріал для самоконтролю. Дати відповіді на питання:

1. Що таке pH та кислотно-основна рівновага?
2. Які показники pH у біологічних рідинах людини та чи змінюються вони?
3. Яка кислотність середовища, якщо pH становить 2, 7, 13?
4. На які біологічні процеси та функції організму впливають зміни pH?
5. Яке значення мають буферні системи для організму? Чи змінюються вони під впливом фізичних тренувань?
6. Що таке ацидоз та алкалоз, як вони впливають на фізичну працездатність?
7. Які основні причини порушень кислотно-основної рівноваги організму під час виконання фізичних вправ?
8. Як змінюється величина pH крові за розвитку ацидозу та алкалозу?
9. Опишіть види транспорту в організмі.

Тема 4. Обмін речовин в організмі.

ПРОЦЕСИ АНАБОЛІЗМУ ТА КАТАБОЛІЗМУ

Сукупність біохімічних та фізіологічних процесів, що забезпечують надходження речовин в організм, їх засвоєння, перетворення у клітинах та виведення продуктів обміну в зовнішнє середовище має назву **обмін речовин або метаболізм**. Обмін речовин забезпечує ріст та розвиток організму; самовідновлення його структур; енергозабезпечення; сталість хімічного складу

внутрішнього середовища (хімічний гомеостаз); пристосування до умов середовища, в тому числі і до фізичних навантажень; інші процеси.

У разі порушення обміну речовин розвиваються патологічні зміни в організмі, які викликають різні захворювання. Організм людини найбільш чутливий до порушення обміну кисню (O_2). Без надходження його до клітин організм гине уже через декілька хвилин. Кисень необхідний для процесів біологічного окиснення поживних речовин та утворення АТФ (енергії) в усіх клітинах, особливо мозку. Без води людина не може жити довше — до 5 діб, а без їжі — декілька тижнів. Процеси обміну речовин чітко впорядковані та скоординовані завдяки дії білків — ферментів та регуляторних систем. Ферменти регулюють швидкість біохімічних реакцій. Існують метаболічні шляхи або цикли (замкнено циркулюючі процеси) розпаду чи синтезу речовин, в яких відбувається поступове біохімічне перетворення окремих сполук з участю різних ферментів (Е):

$$\mathbf{A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow X}$$

Речовини (A, B, C, D, X), що утворюються у метаболічних процесах, називають продуктами обміну або **метаболітами**. За окремими метаболітами виявляють захворювання чи характеризують функціональний стан людини під час спортивної діяльності, фізичної реабілітації або рекреації.

Метаболічні шляхи обміну окремих речовин можуть перебігати самостійно, а можуть перетинатися, що створює умови для їх взаємоперетворення: вуглеводів на жири, жирів на вуглеводи тощо. Заняття фізичною культурою та спортом, використання різних засобів фізичної реабілітації та рекреації активують процеси метаболізму в тканинах, що покращує стан здоров'я організму людини, підвищує фізичну працездатність, сприяє профілактиці або лікуванню певних захворювань, стримує процеси старіння. Вони повинні бути найважливішим засобом здорового способу життя.

Обмін речовин включає два взаємопов'язані, але різноспрямовані процеси, які називають анаболізмом (асиміляція) та катаболізмом (дисиміляція).

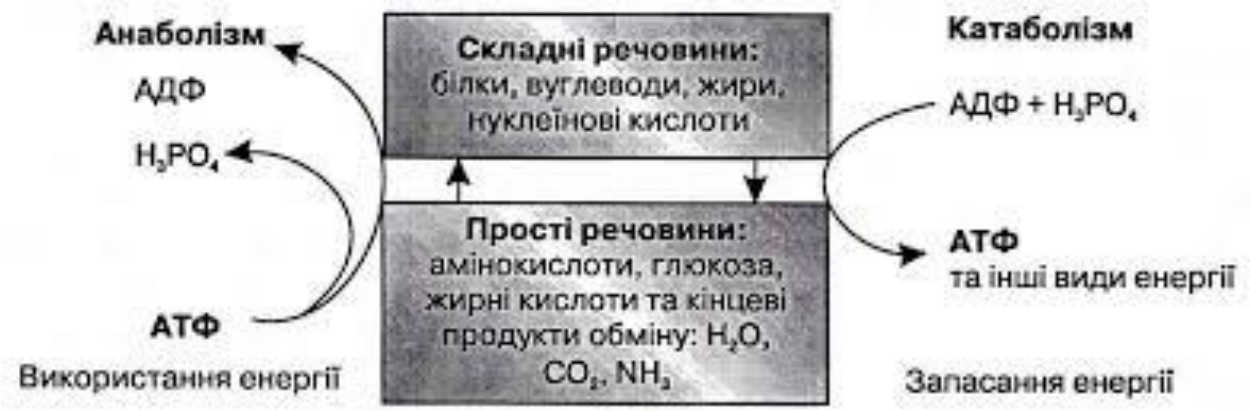


Рис. 5. Взаємозв'язок анаболічних і катаболічних процесів метаболізму

Анаболізм забезпечує процеси **біосинтезу** (утворення) складних речовин, характерних для даного організму, насамперед біосинтез білків (рис. 5). Ці процеси відбуваються з використанням енергії (АТФ). Анаболічні процеси забезпечують ріст, відновлення організму після різних впливів, збільшення маси тіла, запасання поживних речовин. Прискоренню анаболічних процесів сприяють біологічно активні речовини. Це, зокрема, вітаміни (С, B_6, B_{12}, А, Е) і гормони, що справляють **анаболічну дію.** Сильну анаболічну дію мають гормони стероїдної природи, котрі синтезуються у статевих та надниркових залозах, а також пептидні гормони гіпофізу – соматотропний і гонадотропний. Гормони-«анаболіки» використовуються в клініці як препарати для лікування окремих хвороб. У спорті використання їх офіційно заборонене. Вони віднесені до групи **допінгів,** оскільки штучно змінюють фізичні якості спортсмена та шкідливо впливають на стан здоров'я.

Катаболізм забезпечує процеси внутрішньоклітинного **розпаду** складних речовин та виведення продуктів обміну з організму. Ці реакції супроводжуються вивільненням енергії. Основним шляхом розпаду поживних речовин та їх окиснення є цикл лимонної кислоти, або цикл Кребса. Без складних речовин неможливий процес розпаду та вивільнення енергії, а без простих речовин і АТФ не будуть відбуватися анаболічні процеси, що виконують пластичну функцію, в тому числі накопичення поживних речовин. Тому в клітинах процеси анаболізму та катаболізму взаємопов'язані.

Вирізняють такі **види обміну речовин:** з навколишнім середовищем, пластичний, функціональний, енергетичний, проміжний, основний.

Біохімія вивчає проміжний обмін речовин — внутрішньоклітинні біохімічні перетворення хімічних речовин, що надійшли до клітин організму або синтезувалися у них. Проміжний обмін речовин включає енергетичний і пластичний обміни. Показником інтенсивності метаболізму слугує енергетичний обмін. Величину енергетичного обміну або теплоутворення визначають методами прямої і непрямої калориметрії. Умовною стандартною одиницею оцінки енергетичних витрат організму є основний обмін — та мінімальна кількість енергії, яка витрачається організмом у стані відносного спокою для підтримання всіх його функцій. Визначається він вранці лежачи у ліжку при температурі 20 °С натщесерце (через 12-16 год після прийому їжі). В середньому він становить 1 ккал (4, 18 кДж) за 1 год на 1 кг маси тіла. Для чоловіків основний обмін становить 1900 ккал (7942 кДж) на добу, а для жінок - 1500 ккал (6270 кДж). У дітей цей вид обміну вищий, ніж у дорослих, а під час старіння організму зменшується на 3-7 % кожні 10 років.

Табл. 4. Загальні витрати енергії за ступенем важкості

Характер роботи	Категорія роботи	Загальні енергозатрати організму, Вт (ккал/год)	Характеристика робіт
Легкі роботи	Ia	105-140 (90-120)	Роботи, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження

	Іб	141-175 (121-150)	Роботи, що виконуються сидячи, стоячи чи пов’язані із ходінням, та супроводжуються деяким фізичним напруженням
Роботи середньої важкості	ІІа	176-232 (151-200)	Роботи, пов’язані із ходінням, переміщенням дрібних (до 1 кг) виробів чи предметів в положенні стоячи чи сидячи, й потребують певного фізичного напруження.
	ІІб	232-290 (201-250)	Роботи, що виконуються стоячи, пов’язані із ходінням, переміщенням невеликих (до 10 кг) вантажів, та супроводжуються помірним фізичним напруженням.
Важкі роботи	ІІІ	291-349 (251-300)	Роботи, пов’язані із постійним переміщенням, перенесенням значних дрібних (понад 10 кг) вантажів, котрі потребують великих фізичних зусиль.

Добова витрата енергії значно перевищує величину основного обміну, що пов'язано з енерговитратами під час різних видів діяльності та перетравлення їжі. Загальні витрати енергії для людей із сидячою роботою становлять у середньому для чоловіків 2800 ккал (11 700 кДж), для жінок — 2500 ккал (10 450 кДж). У спортсменів енерговитрати протягом доби можуть досягати 5000 ккал (20 900 кДж) і більше.

Табл. 5. Загальна витрата енергії при різних видах діяльності

Вид діяльності	Енергозатрати на 1 кг маси тіла, Ккал/хвилину	Вид діяльності	Енергозатрати на 1 кг маси тіла, Ккал/хвилину
Сон	*0,0511*	Читання мовчки	*0,0230*
Біг	*0,1780*	Заняття фізкультурою	*0,0648*
Розмова сидячі	*0,0252*	Їзда на велосипеді	*0,1285*
Розмова стоячи	*0,0262*	Плавання	*0,1190*
Хатні справи	*0,0530*	Гра в футбол	*0,1190*
Особиста гігієна	*0,0329*	Гра в баскетбол	*0,2042*
Надягання і знімання одягу і взуття	*0,0281*	Догляд за приміщенням, меблями, приладами	*0,0402*
Відпочинок стоячи	*0,0264*	Танці енергійні	*0,1614*
Відпочинок сидячі	*0,0229*	Катання на лижах	*0,2086*
Відпочинок лежачи (без сну)	*0,0183*	Заняття аеробікою	*0,312*
Душ	*0,0570*	Підйом по сходах вгору	*0,540*
Харчування сидячі	*0,0236*	Керування автомобілем	*0,0154*
Робота за комп’ютером	*0,028*	Їзда автомобілем	*0,0112*
Розмова без жестикулювання	*0,0369*	Догляд за дітьми	*0,0360*
Ходьба по асфальтовій дорозі (4-6 км/год)	*0,0626*	Догляд за хатніми тваринами	*0,0300*
Праця в саду	*0,135*	Прогулянка з собакою	*0,048*

Приготування їжі	*0,0330*	Заняття семінарські	*0,0250*
Купівля товарів, продуктів	*0,0450*	Слухання лекцій	*0,0243*
Витирання пилу	*0,0411*	Робота в лабораторії стоячі	*0,0360*
Миття посуду	*0,0343*	Робота в лабораторії сидячі	*0,0250*
Прасування білизни	*0,0320*	Підготовка до занять	*0,0250*
Праця на городі	*0,0690*	Перерва між заняттями	*0,0258*
Катання на човні (гребля)	*0,233*	Розумова праця сидячи	*0,0250*
Прання в ручну, миття вікон	*0,0642*	Настільні ігри	*0,0126*
Прибирання пилососом	*0,048*	Прогулянка пішки	*0,0516*
Проїзд в громадс.транспорті	*0,0267*	Йога	*0,100*

Швидкість та збалансованість анаболічних та катаболічних процесів залежать від багатьох факторів: віку людини, статі, рухової активності, умов середовища.

ОСОБЛИВОСТІ ОБМІНУ РЕЧОВИН У ЛЮДЕЙ РІЗНОГО ВІКУ

Кожний віковий період має свої особливості будови тіла, метаболізму та функцій, які слід ураховувати під час занять фізичною культурою і спортом та при оцінюванні реагування організму на фізичне навантаження, особливо хворих людей.

В організмі здорової людини зрілого віку першого періоду (21- 35 років жінки та 22-36 років чоловіки) процеси анаболізму та катаболізму відносно збалансовані за сталої маси тіла, а у другому періоді (36-55 років та 37-60 років відповідно) починають переважати катаболічні процеси.

У дітей (1-12 років) та підлітків (12-16 років) переважають процеси анаболізму (біосинтезу). Вони створюють умови для росту і розвитку організму. Останнім часом процеси росту у дітей відбуваються прискорено і закінчуються, в основному, у 19-20 років. Прискорення фізичного розвитку дітей називають **акселерацією.** У період росту організму спостерігаються особливості обміну різних класів речовин.

Білковий обмін в організмі, що росте, досить інтенсивний. Переважають процеси синтезу білка та нуклеїнових кислот, про що свідчить позитивний азотистий баланс (затримка в організмі азоту, який надходить з білками їжі). Інтенсивність біосинтезу білка у дітей збільшена в 1,5-2,5 раза порівняно з дорослими, менше виводиться із сечею продуктів розпаду білків: сечовини та аміаку, але креатинін є нормальним компонентом сечі дітей, тоді як у дорослих він не виявляється.

Обмін вуглеводів у дітей характеризується зниженою швидкістю мобілізації вуглеводів, повільним їх підключенням до енергообміну. У них менші запаси вуглеводів у печінці і м'язах, нижча концентрація глюкози у крові. Разом із цим інтенсивність їх окиснення висока. Вуглеводи більшою мірою

використовуються для пластичних процесів, оскільки включаються у пентозний шлях окиснення. У пентозному циклі утворюються метаболіти – пентози, які використовуються у біосинтетичних процесах, що забезпечують ріст та збільшення маси тіла. У дітей низька потужність анаеробного окиснення вуглеводів та підвищена чутливість до молочної кислоти.

Обмін жирів в організмі, що росте, характеризується високою мобілізацією резервних жирів та більш низьким їх вмістом. Із віком загальна кількість ліпідів в організмі збільшується. Вміст холестерину в крові у дітей менший, ніж у дорослих.

Водно-мінеральний обмін також змінюється у період росту. Вміст води в організмі з віком зменшується. У дітей майже в 2 рази більше позаклітинної води, тому вони легко її втрачають, що може призвести до зневоднення організму. Підвищена потреба дітей і у таких мінералах: Ca, P, Fe, Cu, I, Zn, Co тощо, особливо у період статевого дозрівання.

Енергетичний обмін у дітей характеризується високою інтенсивністю і пов'язаний із великими витратами енергії. Основний обмін у 3-річних дітей з розрахунку на 1 кг маси тіла на 95 % вищий, ніж у дорослих, у 6-річних — на 66%, 9-річних — на 36%, 12-річних - на 25 %, а у віці 15-19 років розбіжності незначні. Енергія витрачається не лише для біосинтезу білків, а й на підвищену рухову активність дітей та тепловіддачу. У разі зниження температури повітря на 2°С тепловіддача у дітей збільшується так само, як у дорослих за умов зниження температури повітря на 14 °С.

Висока інтенсивність енергетичного обміну організму, який росте, відбувається за обмежених можливостей аеробного і, особливо, анаеробного механізмів енергоутворення через менші енергетичні запаси, знижені можливості дихальної системи та кровообігу, недостатність розвитку гормональної та нервової систем регуляції метаболізму. В зв'язку з цим діти погано адаптуються під час виконання фізичних вправ, особливо силових та на швидкісну витривалість.

У **старіючому** організмі (55-74 роки — жінки та 60-74 роки - чоловіки) процеси катаболізму переважають над анаболічними, порушується гормональна регуляція метаболізму. Це веде до зниження в організмі загального вмісту білка у крові та інших рідинах організму, а також у м'язах (їх вміст становить лише 25% маси тіла, тоді як у зрілому віці — більше 40 %). М'язи атрофуються і втрачають силові та швидкісні здатності.

ОБМІН РЕЧОВИН ПІД ЧАС М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТА У ПЕРІОД ВІДНОВЛЕННЯ

Під час фізичних тренувальних навантажень, фізичної реабілітації активуються різні види обміну речовин, особливо енергетичний обмін. У разі довготривалих фізичних навантажень швидкість метаболізму знижується. Це зумовлено зменшенням енергетичних запасів, накопиченням продуктів розпаду, що пригнічують діяльність Ферментів, а також порушенням чіткої регуляції метаболізму з участю гормональної та нервової систем, оскільки вони теж

виснажуються. Зміни метаболізму можуть викликати розвиток стомлення та різке зниження фізичної працездатності.

У період відпочинку після виконаних фізичних вправ спочатку активно перебігають процеси катаболізму та анаболізму. Після відновлення енергетичних запасів швидкість процесів катаболізму знижується, а анаболізму — збільшується. Це зумовлює відновлення швидкості біосинтетичних (пластичних) процесів, у тому числі біосинтезу білка у скелетних м'язах.

Спостерігається **гетерохронність (неодночасність) відновлення** окремих метаболічних процесів (рис. 6).

Біосинтез білка у м'язах відновлюється дуже повільно і закінчується пізніше інших процесів. Так, нормалізація процесів біосинтезу білка після 20-30-хвилинної напруженої роботи відбудеться лише через 12-24 год відпочинку. Тому для тестування перебігу процесів відновлення організму спортсмена, а також для виявлення патологічного розпаду тканинних білків при окремих хворобах використовується показник розпаду білків — сечовина. Відновлення її концентрації до фізіологічної норми (у межах 3,5-6,0 ммоль/л крові) пов'язане із відновленням швидкості процесу біосинтезу білка у скелетних м'язах.

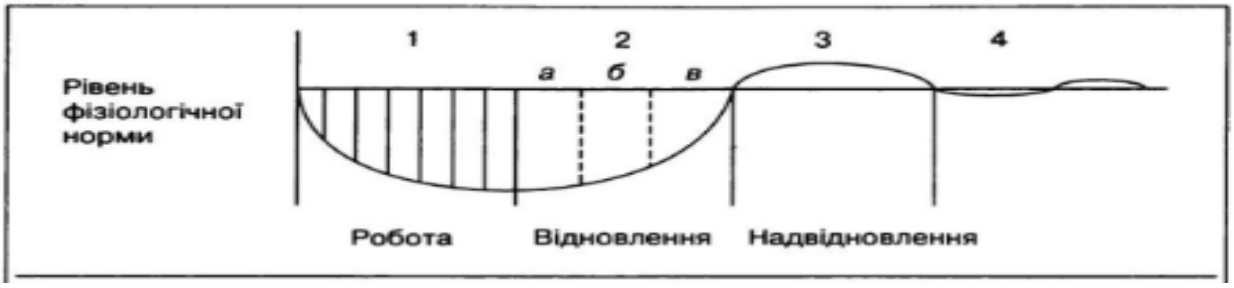


Рис. 6. Закономірності відновлення енергетичних субстратів та інших компонентів у період відпочинку після напруженої м'язової діяльності: 1 - фаза виснаження під час роботи; 2 - фази відновлення: а) термінове відновлення запасів фос фогенів (АТФ, КРФ) та погашення алактатного компонента кисневого боргу (1-3 хв), а також окиснення молочної кислоти (30 хв); б) відставна фаза включає відновлення запасів глікогена (до 6- 12 год) повне окиснення молочної кислоти і відновлення КОС, прискорення біосинтезу білків; в) сповільнена фаза включає нормалізацію процесів біосинтезу білка (12-24 год); 3 - фаза надвідновлення; 4 - втрата стану надвідновлення.

Відновлення біосинтетичних процесів після фізичних навантажень відбувається не тільки до початкового рівня. У певний час відпочинку спостерігається явище **надвідновлення (суперкомпенсація),** коли біосинтетичні процеси перебігають швидше, ніж перед виконанням фізичних вправ, що створює основу для розгортання процесів адаптації організму до фізичних тренувань. У цей період спостерігається підвищення фізичної працездатності, ріст тренованості. Явище надвідновлення можливе лише після фізичних навантажень, адекватних функціональній підготовці людини.

ЕТАПИ РОЗПАДУ ПОЖИВНИХ РЕЧОВИН ТА ВИВІЛЬНЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Як уже відомо, поживні речовини забезпечують організм енергією, що міститься у хімічних зв'язках їхніх молекул і вивільняється під час розпаду та окиснення цих речовин. За рахунок вуглеводів поповнюється близько 55-65% енерговитрат організму, жирів — 25 – 35%, а білків — лише 5 – 15%. Процеси розпаду поживних речовин та вивільнення енергії відбуваються у клітинах організму поступово здебільшого з участю кисню (аеробно), який ми вдихаємо. Вирізняють такі три етапи: підготовчий, універсалізація, окиснення (рис. 7).

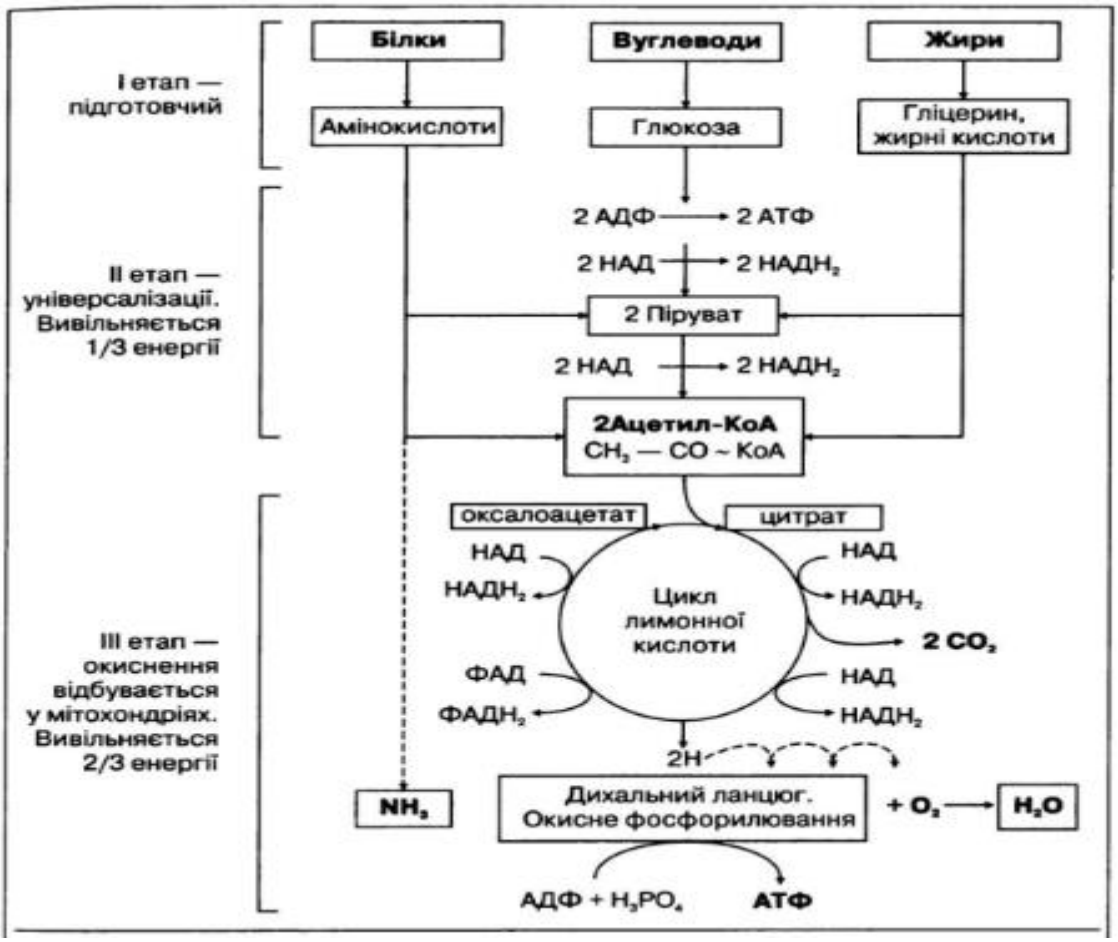


Рис. 7. Схема етапів розпаду поживних речовин та вивільнення енергії або аеробного механізму енергоутворення

На першому етапі катаболізму складні поживні речовини розпадаються до мономерів, із яких вони побудовані: вуглеводи на молекули глюкози, жири - на гліцерин та жирні кислоти, а білки — на амінокислоти. При цьому енергія майже не вивільняється.

На другому етапі всі мономери різними метаболічними шляхами розпадаються до єдиної універсальної речовини — ацетил-КоА - активної форми оцтової кислоти, з'єднаної з коферментом ацетилювання (КоА). У процесі

розпаду вивільняється 1/3 енергії, що міститься у речовинах. Молекули ацетил-КоА є інтеграторами обміну основних класів поживних речовин у тканинах організму.

На третьому етапі, що відбувається у мітохондріях, ацетил-КоА перетворюється на лимонну кислоту (цитрат), яка поступово окиснюється у циклі лимонної кислоти та у дихальному ланцюзі до кінцевих продуктів метаболізму - H_2O та CO, з участю O_2, що надходить туди із легень та кровоносної системи. Цикл лимонної кислоти є центральним аеробним шляхом розпаду поживних речовин та вивільнення енергії. В ньому енергія поступово вивільняється у вигляді атомів гідрогена (H), який відщеплюється від речовин та передається далі специфічними переносниками на O_2.

Табл.6. Схема зв'язку етапів енергетичного обміну:

Етап	Вхід	Вихід
Підготовчий	Вуглеводи, білки, жири	Глюкоза, амінокислоти, жирні кислоти
Гліколіз	Глюкоза	Піровиноградна кислота, 2 АТФ, NADH
Кисневий	Піровиноградна кислота, кисень	36-38 АТФ, CO_2, H_2O

Основними переносниками гідрогена є біологічно активні речовини: НАД (нікотинаміддинуклеотид) та ФАД (флавінаденіндинуклеотид). НАД містить вітамін РР, а ФАД - B_2. Вони є коферментами (небілковою частиною) ферментів (дегідрогеназ), що каталізують окисно-відновні реакції, а саме відщеплення Н від речовини, яка окиснюється. Потім ці кофермнти передають атоми Н на дихальну систему або ланцюг, де відбувається процес окиснення — взаємодія гідрогена з O_2.

Гідроген розпадається на протон (H^+) та електрон (е), тому що атом його складається з ядра та одного електрона: Ядро (p+n) → H+e.

Ці частинки несуть електричну енергію. При цьому на мембранах мітохондрій створюються протонний та електронний потенціали. Гідроген (протон H^+ та е) поступово передається до кисню спеціальною **електронтранспортною системою** або **дихальним ланцюгом**. Ці системи знаходяться у внутрішніх мембранах мітохондрій, де закінчується III етап розпадуі оксинення поживних речовин та вивільнення енергії. Під час транспорту Н+ та е дихальним ланцюгом поступово вивільнюється енергія, яка частково розсіюється у вигляді тепла, а частково (близько 50%) перетворюється

на хімічну енергію у процесі синтезу молекули АТФ із АДФ та H_3PO_4 з участю фермента H^+-залежної АТФ синтетази.

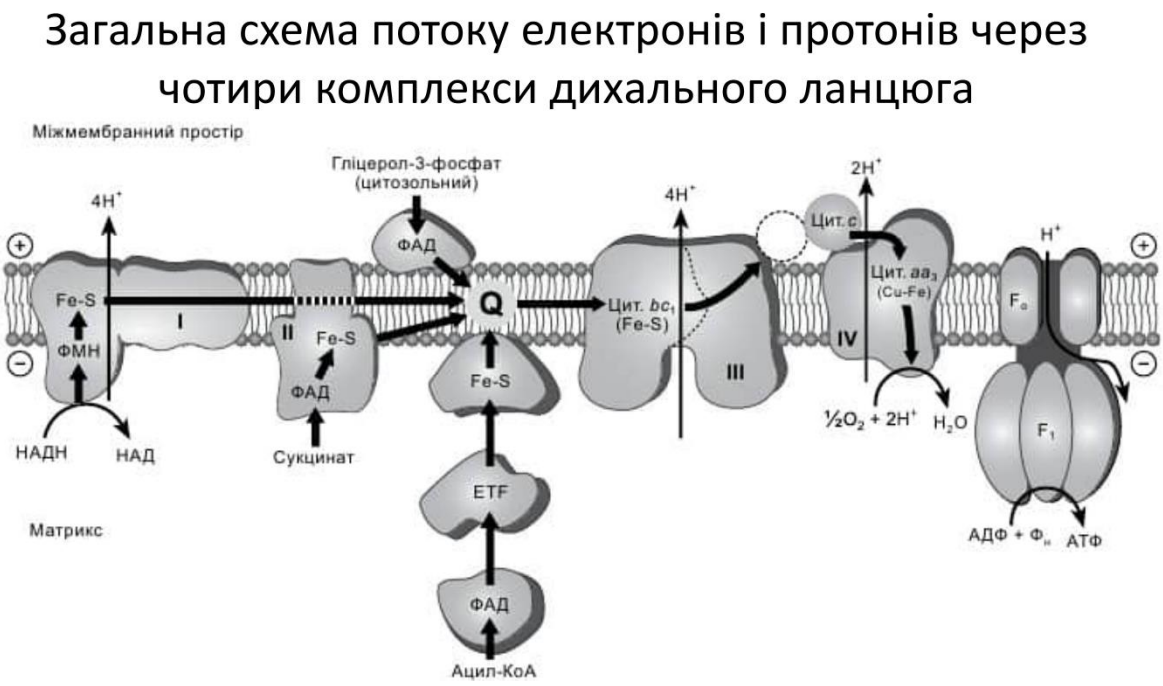


Рис. 8. Дихальний ланцюг мітохондрій: електрони переносяться на Q через комплекси I і II. QH_2 – мобільний переносник e^- та H^+. Він доставляє електрони до комплексу III, який передає їх на цитохром с. Комплекс IV переносить e^- від відновленого цитохрому с на O_2. Електронний потік через комплекси I, III, IV супроводжується потоком протонів з матриксу у міжмембранний простір.

Система дихального ланцюга закінчується ферментом цитохромоксидазою, який каталізує реакцію утворення води: $2H^+ + 2e + 1/2\ O_2 \rightarrow 2H_2O$. Цією реакцією закінчується процес окиснення поживних речовин у клітинах організму. Під час окиснення амінокислот окрім CO_2, H_2O утворюються молекули аміаку (NH_3), які дуже токсичні, тому швидко зв'язуються окремими амінокислотами.

СИСТЕМИ РЕГУЛЯЦІЇ ОБМІНУ РЕЧОВИН ТА ЗМІНИ ПІД ВПЛИВОМ ФІЗИЧНИХ ТРЕНУВАНЬ

Обмін речовин регулюється на різних рівнях такими регуляторними системами: внутрішньоклітинна система саморегуляції, гормональна та нервова.

Внутрішньоклітинна регуляція зумовлена роботою ферментів, їх вмістом та активністю. Кількість ферментів залежить від роботи генетичного апарату клітин, а активність — від різних факторів внутрішнього середовища. Ця система регуляції досить швидко змінює обмін речовин та енергії, особливо за дії різних факторів, у тому числі і фізичних навантажень. Під впливом фізичних навантажень змінюється активність існуючих у тканинах ферментів, а за тривалого тренування поліпшується генетичний апарат біосинтезу багатьох

білків, в тому числі білків-ферментів, що веде до збільшення їх кількості в різних тканинах. Порушення активності, біосинтезу чи систем регуляції різних ферментів призводить до порушення метаболічних процесів, розвитку стомлення або захворювання.

Гормональна система регуляції впливає на генетичний синтез ферментів і на активність наявних ферментів у клітинах у відповідь на дію певних стрес-факторів. Це забезпечує пристосування метаболізму, наприклад, для виконання напружених фізичних вправ чи для запобігання патологічних змін у разі інфекції. Порушення функцій залоз внутрішньої секреції призводить до порушення певної ділянки метаболізму та розвитку захворювання. Під час систематичних фізичних тренувань відбувається удосконалення гормональної системи регуляції обміну речовин, що лежить в основі адаптації організму до фізичних навантажень або інших чинників.

Нервова система регулює метаболізм через нейромедіатори та аксоплазматичний потік. Якщо ця функція порушується, то розвивається нейро-дистрофічний процес. При порушенні ЦНС порушується обмін речовин у нервовій та інших системах організму, що призводить до змін фізичного та психічного стану організму. Під дією фізичних тренувань поліпшується нервова регуляція багатьох метаболічних процесів.

Таким чином, під впливом систематичних фізичних тренувань відбувається удосконалення систем регуляції метаболізму, що сприяє підвищенню працездатності чи поліпшенню стану здоров'я людини. Порушення координації метаболізму може зумовлюватися спадковими факторами або змінами в окремих регуляторних системах обміну речовин.

Питання для підготовки до теми 4:

1. Що розуміють під обміном речовин та який вид обміну вивчає біохімія?
2. Як змінюються процеси анаболізму та катаболізму у дорослих під час м'язової діяльності та у період відновлення?
3. Чому діти погано адаптуються до силових та тривалих фізичних навантажень? 4.

Які метаболічні зміни характерні для старіючого організму?

5. Що являє собою основний метаболічний цикл розпаду поживних речовин? Яка його локалізація в клітинах та біологічне значення в організмі?
6. Які виділяють стани розпаду поживних речовин та вивільнення енергії? В якому з них найбільше утворюється АТФ?
7. Які зміни у процесах метаболізму спостерігаються під впливом фізичних тренувань?

Тема 5. Обмін енергії в організмі.

АТФ ЯК УНІВЕРСАЛЬНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ, І БУДОВА ТА ОБМІН

Найважливішою формою енергії, яка використовується у клітинах

організму для підтримання різних фізіологічних функцій, є хімічна енергія молекул АТФ.

АТФ (аденозинтрифосфорна кислота) здатна у водному середовищі розпадатися із виділенням енергії та знову швидко синтезуватися (ресинтезуватися) за наявності енергії. Це пов'язане з тим, що у молекулі АТФ є два високоенергетичні або макроергічні (тобто багаті на енергію) хімічні зв'язки. Тому молекула АТФ у клітинах організму виконує біологічну роль універсального джерела енергії.

Побудована молекула АТФ, які інші нуклеотиди, до яких вона належить, із азотистої основи (аденіну), вуглеводу (рибози), які разом утворюють аденозин, та трьох залишків фосфорної кислоти. Два останні залишки фосфорної кислоти з'єднані між собою макроергічними (~) зв'язками (рис. 9).

АТФ реалізує свою енергетичну функцію у процесі розпаду молекули. Найчастіше розпад АТФ відбувається під дією ферменту АТФ-гідролази (АТФази) до АДФ та H_3PO_4 з виділенням енергії близько 30-42 кДж, згідно з рівнянням: АТФ + H_2O → АДФ + H_3PO_4 + ΔQ (-7,3 ккал або > 30 кДж). Інколи АТФ розпадається до АМФ та пірофосфорної кислоти ($H_4P_2O_7$). В клітині АТФ знаходиться у вигляді комплексу з Mg^{2+}, який і підлягає гідролізу.

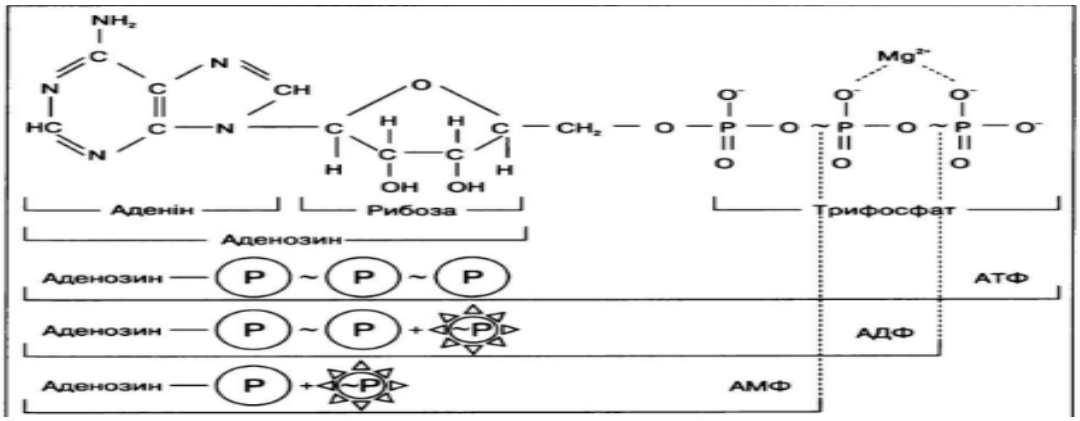


Рис. 9. Будова молекули АТФ

АДФ (аденозиндифосфорна кислота) теж може розпадатися до АМФ і H_3PO_4 з виділенням енергії близько 30-42 кДж:

АДФ + H_2O → АМФ + H_3PO_4 + ΔQ (> 30 кДж).

Тому в молекулі АТФ акумулюється (зберігається) близько 80 кДж енергії.

АМФ (аденозинмонофосфорна кислота) не містить макроергічних зв'язків і не може використовуватися як джерело енергії, хоча відіграє важливу роль в обміні енергії. АТФ в організмі використовується у багатьох енергозалежних процесах (рис. 10).



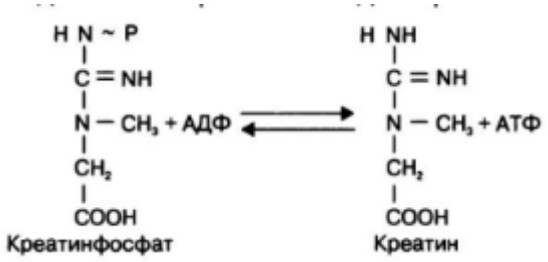
Рис. 10. Використання АТФ в організмі

Вміст АТФ в організмі невеликий (близько 50 г). Запас її в скелетних м'язах може вичерпатися уже протягом кількох (1-2) секунд напруженої роботи, але він майже не змінюється, що пов'язано із досить швидким відновленням її рівня (ресинтезом). Швидкість обміну АТФ, наприклад, у скелетних м'язах під час виконання напружених фізичних вправ може збільшуватися майже у 100 разів і досягти 0,5 кг за 1 хв. В організмі людини протягом доби утворюється та розпадається близько 60 кг АТФ (Северін та ін., 2001). А це означає, що процеси ресинтезу мають перебігати досить швидко для підтримання сталості концентрації АТФ у клітинах, що є необхідною умовою нормального їх функціонування. Синтез АТФ потребує наявності вільної енергії та ферменту, який каталізує реакції її утворення: $АДФ + H_3PO_4 + \Delta Q \rightarrow АТФ$.

Найбільше АТФ утворюється в **аеробних процесах біологічного окиснення** поживних речовин, які відбуваються у мітохондріях. У цих процесах носіями енергії є атоми гідрогену (Н). Вони утворюють протонний (рН) та електронний (е) потенціали на внутрішніх мембранах цих органел. За рахунок протонного потенціалу фермент H^+-залежна АТФ синтетаза внутрішніх мембран мітохондрій синтезує молекули АТФ у процесі окисного фосфорилювання.

Є також три механізми **анаеробного відновлення АТФ** у клітинах.

1. **Креатинфосфокіназний,** коли енергія і фосфат переносяться на АДФ від високоенергетичної речовини – креатинфосфату (КрФ), роль якого полягає у підтриманні постійності концентрації АТФ за умов швидкого її використання згідно з рівнянням:



2. **Гліколітичний** або анаеробний розпад молекули глюкози чи глікогену до утворення молочної кислоти та АТФ:

$C_6H_{12}O_6 + 2АДФ + 2H_3PO_4 \rightarrow 2CH_3\text{-}CHOH\text{-}COOH + 2АТФ + 2H_2O.$

(молочна кислота)

3. **Міокіназний,** коли відбувається перефосфорилювання між двома молекулами АДФ з участю ферменту міокінази: АДФ + АДФ ↔ АТФ + АМФ.

Анаеробні механізми ресинтезу АТФ за звичайних умов є додатковими, а за напруженої м'язової діяльності та гіпоксії, або ж у разі блокування аеробних реакцій біологічного окиснення (захворювання тощо) – основними відновниками рівня АТФ у клітинах.

У медичній практиці, а останнім часом і у практиці спорту, використовуються фармакологічні препарати АТФ і зокрема вітчизняний препарат АТФ-лонг. Він запобігає ішемії міокарда та підвищує фізичну працездатність хворих на ішемічну хворобу серця. Застосування його веде до поліпшення метаболічних та енергетичних процесів у міокарді, пригнічення процесів перекисного окиснення ліпідів та стабілізації електролітичного обміну. Передбачається, що застосування цього препарату в спортивній медицині і практиці спорту може покращувати функціональні можливості спортсменів.

ОКИСНО-ВІДНОВНІ РЕАКЦІЇ У ТКАНИНАХ ТА УЧАСТЬ У НИХ КИСНЮ

Процес окиснення поживних речовин пов'язаний з віддачею електронів або відщепленням гідрогена (реакція дегідрогенізації) від речовини, що окиснюється, а процес відновлення — із приєднанням електронів або O_2 речовиною, що відновлюється. Основним окисником поживних речовин у тканинах організму є кисень, який в окисно-відновних реакціях взаємодіє з гідрогеном. У неживій природі процес взаємодії гідрогена з киснем називають реакцією горіння, яка супроводжується тепловим вибухом.

У клітинах організму виділення енергії під час окисно-відновних реакцій відбувається поступово. Основний етап аеробного окиснення органічних речовин проходить у мітохондріях: спочатку в циклі лимонної кислоти, що розташований у матриксі, а потім у дихальному ланцюзі внутрішніх мембран мітохондрій. При цьому від енергетичних субстратів відщеплюється атомарний гідроген (Н), який за допомогою спеціальних переносників НАД та ФМН або ФАД доставляється до системи дихального ланцюга і поступово передається по ньому до кисню, що ми вдихаємо. Процес біологічного окиснення поживних речовин у клітинах з участю O_2 називають **тканинним диханням.**

У результаті взаємодії гідрогена з киснем утворюється кінцевий продукт обміну — **вода.** При цьому поступово вивільнюється енергія, частина якої акумулюється у молекули АТФ під час їх синтезу. Процес синтезу АТФ за рахунок енергії біологічного окиснення, що вивільнюється в дихальному ланцюзі, називається **окисним фосфорилюванням.**

Типи реакцій і ферменти біологічного окиснення. Якщо гідроген передається на кисень, то такий тип реакції окиснення називають **аеробним.** Він залежить від надходження до клітин кисню, що доставляється сюди

гемоглобіном (Hb) крові. Якщо ж гідроген передається на якусь органічну речовину (наприклад, піровиноградну кислоту), то такий тип окиснення називають **анаеробним.** Це спостерігається під час анаеробного окиснення вуглеводів (гліколітичному механізмі ресинтезу АТФ), що приводить до утворення молочної кислоти.

Ферменти, що прискорюють процес відщеплення гідрогена від речовин, які окиснюються, називають **дегідрогеназами** (наприклад, лактатдегідрогеназа, алкогольдегідрогеназа). Вони активні лише за наявності переносників НАД або ФАД, які є коферментами цих ферментів. Ферменти, які безпосередньо каталізують реакцію приєднання кисню, називають оксидазами, наприклад, цитохромоксидаза у дихальному ланцюзі каталізує реакцію приєднання гідрогена до оксигену, що веде до утворення H_2O.

Оскільки найбільше енергії вивільнюється на третьому етапі аеробного окиснення поживних речовин, що відбувається у циклі лимонної кислоти, то розглянемо його детальніше. Крім того, метаболіти цього циклу використовуються у практиці спорту та реабілітації, як енергетичні препарати.

ЦИКЛ ЛИМОННОЇ КИСЛОТИ (ЦИКЛ КРЕБСА)

Це основний замкнутий метаболічний процес окиснення вуглеводів, жирів та білків і вивільнення енергії («котел» їх згорання). Цикл лимонної кислоти названо на честь Х. Кребса, біохіміка, який в 1937 р. відкрив його. Його ще називають циклом трикарбонових кислот, тому СООН що лимонна кислота ($HOOC-CH_2-COH(COOH)-CH_2-COOH$) та деякі інші метаболіти цього циклу є трикарбоновими кислотами, що мають три -СООН групи. Локалізований він усередині мітохондрій і включає близько 10 реакцій з участю різних ферментів, в основному дегідрогеназ. У цикл вступають молекули **ацетил-КоА** ($CH_3-CO-KoA$), які утворюються із вуглеводів, жирів чи білків. Вони взаємодіють із **щавлевооцтовою кислотою** (оксалоацетатом) з **утворенням лимонної кислоти.**

Із лимонної кислоти (цитрату) далі утворюються такі основні кислоти: **щавлевобурштинова** (оксалосукцинат), **альфа-кетоглутарова** (альфа-кетоглутарат), **бурштинова** (сукцинат), **фумарова** (фумарат) та **яблучна** (малат). Остання перетворюється знову на щавлевооцтову кислоту — перший компонент, із якого знову починається наступний цикл окиснення, що схематично подано на рис. 11.

У процесі окиснення накопичується енергія у вигляді трьох молекул $НАДН_2$ і одної $ФАДН_2$. Високоенергетичний гідроген потім передається по компонентах дихального ланцюга на O_2. Амінокислоти, які включаються в енергообмін, теж перетворюються на кислоти цього циклу. Окиснення відбувається лише за наявності кисню, тобто **аеробно,** оскільки кисень використовується як акцептор («приймач») гідрогена. Передача гідрогена на кисень відбувається поступово і забезпечується дихальною системою чи ланцюгом.

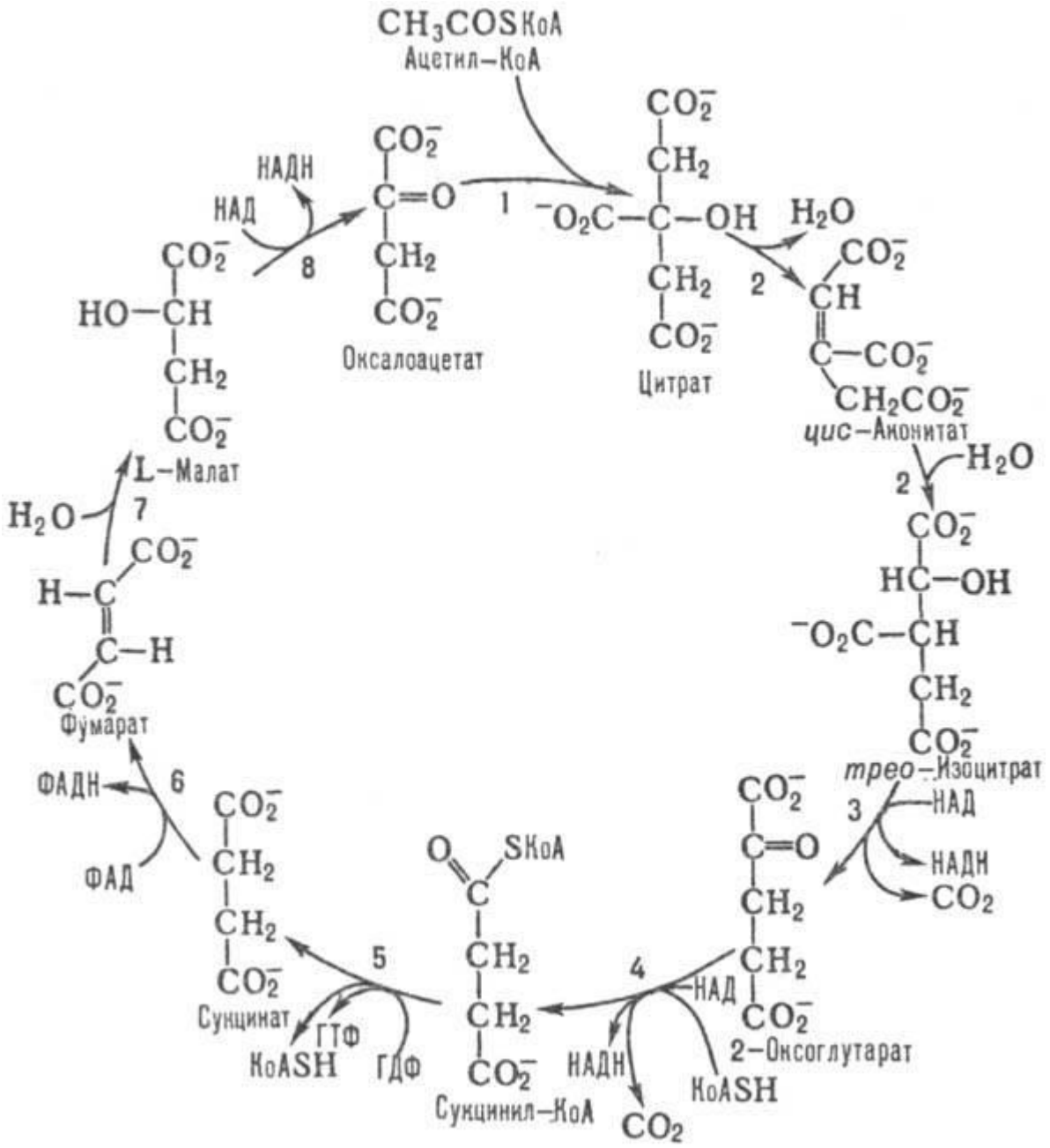


Рис.11. Цикл лимонної кислоти

ДИХАЛЬНИЙ ЛАНЦЮГ ТА ПРОЦЕС ОКИСНОГО ФОСФОРИЛЮВАННЯ

Дихальний ланцюг — це чітко впорядкована система білків-переносників та ферментних комплексів, що локалізовані у внутрішніх мембранах мітохондрій і забезпечують поступову передачу атомів гідрогена (двох протонів – $2H^+$ та двох електронів – $2e^-$) на кисень (процес окиснення) та вивільнення енергії. Остання акумулюється у молекулах АТФ під час її синтезу (окисне фосфорилювання). Його основні компоненти, а також вітаміни і мінерали – це незамінні фактори харчування, що потрібні для його функціонування.

Порушення цілісності структури мембран мітохондрій, наприклад, під час набухання за умов інтенсивної м'язової роботи (розминки) призводить до порушення процесів окиснення та утворення АТФ.

Цитохроми транспортують лише електрони (e^-), а протони (H^+) переносяться із матрикса у міжмембранний простір. Це створює різницю концентрації H^+ на різних сторонах мітохондріальних мембран або протонний потенціал. За певної величини потенціалу на мембрані іон гідрогена (H^+) протонним каналом рухається назад. Енергія протонного потоку запускає реакцію синтезу АТФ на окремих ділянках ланцюга з участю ферменту H^+-залежної АТФ синтетази мембран мітохондрій. Цей процес є основним акумулятором корисної енергії і має назву окисне фосфорилювання:

$$\textbf{АДФ} + \textbf{H}_3\textbf{PO}_4 + \Delta\textbf{Q} \rightarrow \textbf{АТФ}$$

енергія протонного градієнта

Якщо 2Н переноситься від $НАДН_2$ до O_2, то утворюється 3 молекули АТФ, а від ФАДН – 2 молекули, тому що перша молекула АТФ утворюється під час передачі електронів та протонів від $НАДН_2$ до $ФАДН_2$, а дві наступні – на цитохромах.

Окисне фосфорилювання є основним механізмом утворення АТФ у клітинах організму людини. Швидкість його залежить від швидкості дихання, яке регулюється концентрацією АДФ. Збільшення концентрації АДФ у м'язах за рахунок розпаду АТФ, наприклад під час м'язової діяльності, активує процес дихання.

Таким чином, вуглеводи, жири та окремі амінокислоти (компоненти білка), а також окремі їхні метаболіти (молочна кислота, кетонові тіла) є постачальниками теплової і хімічної енергії. Ця енергія вивільнюється під час їх розпаду та окиснення. Під час розпаду 1 г вуглеводів та 1 г білка виділяється по **4,1 ккал (17,14 кДж),** а 1 г жиру – **9,3 ккал (38,87 кДж)** енергії. Ці величини використовуються для оцінки енергетичної вартості продуктів харчування та розрахунків добової потреби у вуглеводах, жирах та білках, виходячи з енерговитрат людини. За принципом раціонального харчування їхнє співвідношення в раціоні повинне бути – 4:1:1.

У стані відносного спокою в енергозабезпеченні життєдіяльності людини використовуються вуглеводи та жири. Невеликі енерговитрати за цих умов не викликають суттєвого збільшення обміну енергії. Швидкість енергетичного обміну постійно збалансована: АДФ ↔ АТФ.

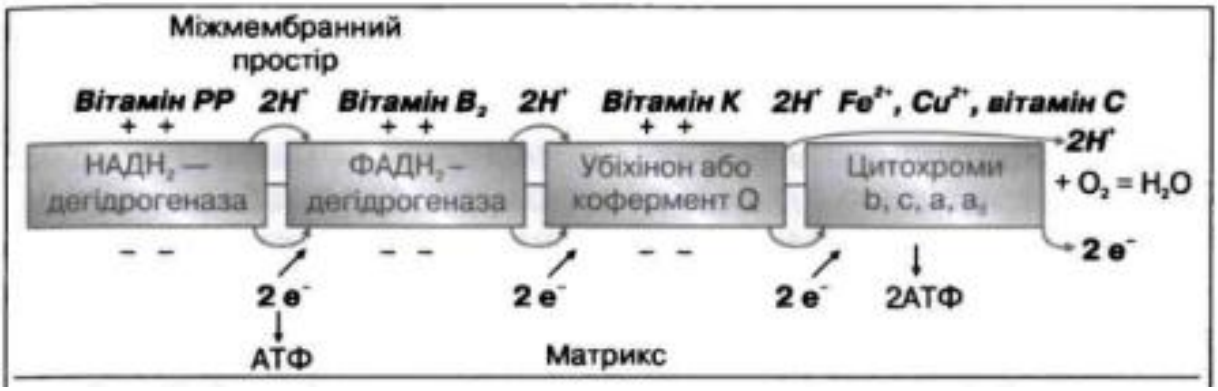


Рис. 12. Основні компоненти дихального ланцюга

ВПЛИВ М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ОБМІН

М'язова діяльність збільшує швидкість метаболізму й особливо процесів розпаду поживних речовин (катаболізм), оскільки потреба в енергії значно зростає. Витрати енергії можуть збільшуватись майже у 10 разів відносно основного обміну (1200-1900 ккал, або 5016-7942 кДж на день). Наприклад, під час спринтерського бігу енерговитрати сягають 1-3 ккал▪$с^{-1}$ (4,18-12,54 кДж▪$с^{-1}$), а під час малоінтенсивного – 0,3 ккал▪$с^{-1}$ (1,25 кДж▪$с^{-1}$). Метаболізм має забезпечити таку швидкість ресинтезу АТФ, яка буде підтримувати сталість її концентрації. Тому під час м'язової діяльності залежно від її інтенсивності та тривалості активуються як аеробні, такі анаеробні механізми енергоутворення.

Під час адаптації організму до фізичних тренувань поліпшуються аеробні та анаеробні енергетичні спроможності організму, за рахунок чого людина краще виконує або довготривалу аеробну роботу, або нетривалу інтенсивну. В результаті адаптації до довготривалої роботи збільшується активність та кількість ферментів процесів біологічного окиснення. В енергообміні, більшою мірою, використовуються жири, що забезпечує економічність виконуваної роботи. Анаеробні спроможності збільшуються за рахунок збільшення запасів КрФ, глікогену та активності ферментів, що забезпечують інтенсивність їх використання.

ПОРУШЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБМІНУ

Порушення енергетичного обміну найчастіше визначають за зміною основного обміну методом прямої чи непрямої калориметрії (визначення об'єму спожитого O_2, та виділеного CO_2). Оскільки енергетичний обмін забезпечується роботою ферментів та регуляторних систем, то порушення активності чи кількості одного із регуляторних факторів приводить до його змін.

Значні порушення обміну енергії спостерігаються під час гальмування роботи циклу лимонної кислоти та дихального ланцюга, де утворюється близько 2/3 енергії, що потребує організм. При цьому можливе роз'єднання взаємопов'язаних процесів окиснення та фосфорилювання – синтезу АТФ у дихальному ланцюзі (окиснення відбувається, а біосинтез АТФ не

відбувається). Таке спостерігається під час дії гормону тироксину, фенолів, отруйних речовин, вірусної інфекції, авітамінозів, відсутності надходження чи утворення ключового метаболіту циклу тощо. Швидкість обміну енергії може значно зменшитися, якщо енергія не використовується, наприклад, під час гіпокінезії (зниженій рухливості).

ПЕРОКСИДНЕ ОКИСНЕННЯ РЕЧОВИН

Крім розглянутих процесів біологічного окиснення, у клітинах, особливо в окремих органелах (пероксисомах чи фагоцитах), відбуваються процеси **пероксидного окиснення ліпідів** з участю кисню, що приводить до утворення пероксиду гідрогена (H_2O_2), інших пероксидних сполук, а також дуже реактивних вільно радикальних форм та сполук кисню. Це так звані активні форми кисню: супероксидний радикал (O_2^-), гідроксильний радикал (OH^-) та ін. Ці речовини в малих концентраціях виконують позитивну роль у метаболізмі. Але за більших концентрацій вони пошкоджують клітинні мембрани і можуть викликати розвиток стомлення та різні захворювання. Тому пероксидні сполуки та вільні радикали швидко знешкоджуються з участю антиоксидантних ферментних систем. Так, пероксид гідрогена у крові швидко розщеплюється під дією ферменту **каталази:** $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$. Активність його у плазмі крові досить висока.

Окрім каталази, у тканинах організму є інші антиоксидантні ферментні системи. Вони або знешкоджують пероксидні сполуки та вільні радикали, або запобігають їх утворенню. Для їх діяльності потрібне надходження в організм певних речовин, що мають назву антиоксиданти. Антиоксидантну дію виявляють окремі мінерали (цинк, селен), вітаміни (Е, А, С), пептиди, харчова добавка мікрогідрин (H^-) та ін.

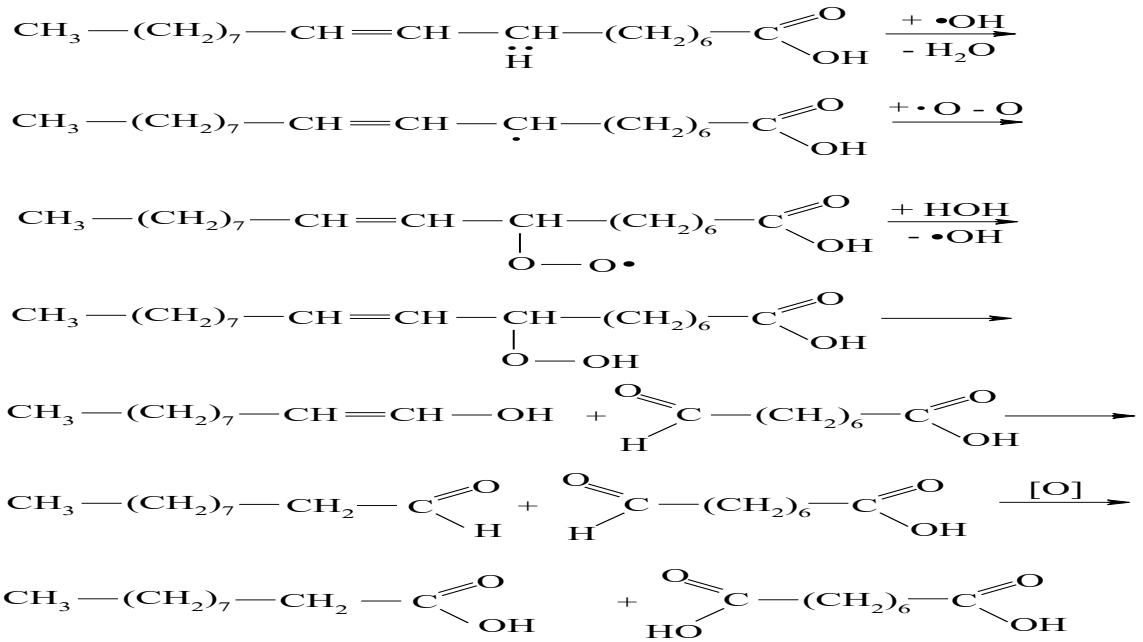


Рис.13. Перекисне окислення ліпідів: гідроксильні радикали атакують молекулу ненасиченої кислоти по метиленовій групі, сусідній з подвійним зв'язком,

оскільки при цьому утворюється радикал, який є стабілізованим за раунок участі неспареного електрона у супряженні з електронами π-зв’язку. Далі органічний радикал взаємодіє з біradикальною молекулою кисню з утворенням нестабільних гідропероксидів, які розпадаються з утворенням альдегідів, що окислюються у кислоти – кінцеві продукти реакції. Наслідком пероксидного окислення є руйнування клітинних мембран.

Процеси пероксидного окиснення ліпідів значно активуються під час напруженої м'язової діяльності, запальних процесів, надходження в організм токсичних речовин, консервантів, нітритів, жирів тощо. Тому в спортивній практиці та реабілітації хворих для запобігання порушення процесів метаболізму широко використовуються антиоксиданти. Інформацію про них можна знайти у спеціальній літературі.

Перелік питань для підготовки до теми 5:

1. Які існують основні поживні речовини, що поставляють енергію та їх енергетична цінність?
2. Чому саме АТФ та АДФ виконують енергетичну функцію? Як називають ці молекули?
3. Які механізми ресинтезу АТФ є в клітинах?
4. Яку роль відіграє цикл лимонної кислоти та які його основні метаболіти?
5. Яка сутність та біологічне значення тканинного дихання?
6. Які існують типи реакцій, ферменти та коферменти процесів біологічного окиснення?
7. Яку роль у життєдіяльності організму відіграє окисне фосфорилювання, його локалізація у клітинах?
8. Як змінюється обмін енергії під час м'язової діяльності та гіподинамії?

Рекомендована література:

Базова література:

1. Біологічна і біоорганічна хімія: у 2 кн.: підручник. Кн. 2. Біологічна хімія / Ю.І. Губський, І.В. Ніженковська, М.М. Корда, В.І. Жуков та ін.; за ред. Ю.І. Губського, І.В. Ніженковської. – К.: ВСВ «Медицина», 2021. – 544 с.
2. Біологічна і біоорганічна хімія у 2 книгах. Книга 1. Біоорганічна хімія. Підручник. 4-е видання / Б.С. Зіменковський, В.А. Музиченко, І.В. Ніженковська, Г.О. Сирова; за ред. чл.-кор. НАМН України, проф. Б.С. Зіменковського, проф. І.В. Ніженковської. – К.: ВСВ «Медицина», 2024, 272 с.
3. Гонський, Я.І. Біохімія людини [Текст]: підручник / Я. І. Гонський, Т. П. Максимчук ; За ред. Я. І. Гонського. — 4-те вид., без змін. — Тернопіль: ТНМУ, Укрмедкнига, 2021. — 732 с.
4. Біологічна хімія: підручник / О.Я. Скляров, Н.В. Фартушок, Т.І. Бондарчук. – Тернопіль: ТДМУ, 2020. – 706 с.
5. Копильчук Г.П., Николайчук І.М. Лабораторний практикум із біохімії: навч.-метод. посібник. Чернівці : Чернівец. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2019. 144 с
6. Осипенко Г.А. Основи біохімії м'язової діяльності. Київ: Олімпійська література, 2019. 202с.

Допоміжна література:

1. Мікро- і макроелементи / В. Ф. Осташко // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.]; НАН України, НТШ. – К.: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2019.
2. Медична хімія. Підручник для студентів медичних закладів вищої освіти. За редакцією проф. В.О. Калібабчук. Четверте видання. Київ, ВСВ «Медицина», 2019 р. 336 с. https://www.yakaboo.ua/ua/medichna-himija-pidruchnik-2063252.html
3. Григор'єв А. Й., Балан М. М., Рацул А. Б. Енциклопедія фізичної реабілітації: Науково-методичне видання. / А. Й. Григор'єв, М. М. Ба лан, А. Б. Рацул. — Кіровоград: Імекс-ЛТД, 2018. — 712 с.
4. Язловецький В. С. Основи фізичної реабілітації. / В. С. Язловецький, Г. Е. Верич, В. М Мухін. — Кіровоград: РВВ КДПУ імені Володимира Винниченка, 2014. — 238 с.
5. Тараненко Р.К. Підготовка та працевлаштування фахівців фізичної реабілітації: проблеми й перспективи / Фізична, медична і психологічна реабілітація людей з інвалідністю, 2013. – с. 304-312.

11. Посиланная на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Державна науково-педагогічна бібліотека України ім. В.О. Сухомлинського -- http://www.dnpb.gov.ua/
2. Сайт Харківської державної наукової бібліотеки імені В. Г. Короленка http://korolenko.kharkov.com.
3. Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського -- http://www.nbuv.gov.ua/
4. Національна медична бібліотека США – MEDLINE www.ncbi.nlm.nih.gov/PubMed
5. Національна наукова медична бібліотека України -- http://www.library.gov.ua/
6. Khan Academy. Biochemistry. https://www.youtube.com/c/khanacademy

Електронне навчальне видання комбінованого використання
Можна використовувати в локальному та мережному режимі

Шерстюк Сергій Олексійович
Наконечна Світлана Анатоліївна
Зотова Алла Борисівна
Храмова Тетяна Олександрівна

ЗАГАЛЬНА БІОХІМІЯ

Методичні рекомендації для самостійної роботи здобувачів вищої освіти
1-го курсу навчання медичного факультету з дисципліни
«Біологічна хімія нормальна та рухової активності. Частина І»
за спеціальністю «Терапія та реабілітація»

В авторській редакції

Підписано до розміщення 21.05.2026. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 1,7. Обсяг 0,950 Мб. Зам. № 266/26.

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009
Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна