



Г.А. ОСИПЕНКО

ОСНОВИ БІОХІМІЇ М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Г.А. ОСИПЕНКО

ОСНОВИ БІОХІМІЇ М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів
фізичного виховання і спорту

Київ
Олімпійська література

ББК 75.Оя73
О-74

У навчальному посібнику викладено стислий теоретичний курс біологічної хімії, а саме: описано хімічну будову, норми споживання, процеси метаболізму найважливіших речовин організму в нормі, під час м'язової діяльності та деяких патологічних станів. Розкрито біохімічні механізми збудження, скорочення та енергозабезпечення скелетних м'язів, а також метаболічні зміни під час виконання різних фізичних навантажень та можливості використання метаболічних показників для оцінки функціонального стану організму людини. До кожного розділу подано контрольні запитання, ситуаційні завдання, тести для самостійної перевірки знань, завдання для самостійної роботи студентів, а також додається тлумачний словник основних біохімічних термінів та понять.

Для студентів вищих навчальних закладів, що готують фахівців із фізичного виховання і спорту, фізичної реабілітації та рекреації, викладачів, тренерів.

Рецензенти: член-кореспондент НАН України, доктор біологічних наук, професор та завідувач відділу біохімії м'язів Інституту біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України **С.О. Костерін**
кандидат біологічних наук, професор кафедри біології людини НУФВСУ **І.І. Земцова**
доктор біологічних наук, професор біологічного факультету КНУ імені Тараса Шевченка **В.М. Войціцький**

Гриф надано Міністерством освіти і науки України № 1.4/18-Г-1322 від 04.12.06

ISBN 966-7133-85-0

© Г.А. Осипенко, 2007

© Видавництво НУФВСУ

"Олімпійська література", 2007

ПЕРЕДМОВА

Сучасні теорія та практика фізичного виховання і спорту, фізичної реабілітації, рекреації та валеології вимагають від майбутніх спеціалістів глибоких знань біологічних основ життєдіяльності організму людини, і зокрема про процеси метаболізму, що забезпечують адаптаційні зміни під впливом фізичних тренувань, оздоровчої фізичної культури, різних засобів і методів підвищення фізичної працездатності та прискорення відновлення, у тому числі за рахунок раціонального харчування. Процеси метаболізму вивчаються біологічною хімією.

Засвоєння курсу “Біологічна хімія” та “Біохімія спорту” студентами вищих навчальних закладів фізичного виховання і спорту пов’язане з труднощами через складність предмета. Пропонований навчальний посібник “Основи біохімії м’язової діяльності” містить стисло та доступно викладений лекційний матеріал з усіх змістових модулів (тем), що вивчаються згідно з навчальною програмою студентами на базовому рівні підготовки усіх спеціалізацій. До кожного розділу посібника, що є змістовим модулем, подано контрольні запитання, ситуаційні завдання, тести для самостійної перевірки знань та завдання для самостійної роботи студентів. Це сприятиме ефективнішому засвоєнню матеріалу і дозволить студентам швидше вивчити та закріпити теоретичний матеріал, пов’язати його з майбутньою практичною діяльністю під час вирішення ситуаційних завдань та виконання самостійної роботи, якій за кредитно-модульною системою приділяється велика увага.

Посібник містить 14 розділів. У перших розділах розглядаються предмет біохімії та біохімії спорту, елементарний, молекулярний та іонний склад організму, а також вміст, біологічна роль та обмін води і мінералів під час м’язової діяльності, кислотно-основний стан внутрішнього середовища організму людини та доцільність підтримувати його на сталому рівні.

У подальших розділах розкрито сутність процесів обміну речовин і енергії, їх роль в забезпеченні м’язової діяльності та зміни під час фізичних навантажень, а також роль біологічно активних речовин — ферментів, вітамінів і гормонів — у регуляції метаболізму та забезпеченні м’язової роботи.

Охарактеризовано хімічну будову та метаболізм у тканинах організму основних класів поживних речовин (вуглеводів, ліпідів та біл-

ків), їх роль у забезпеченні м'язової діяльності, а також окремі порушення процесів метаболізму.

Розкрито сучасні біохімічні основи процесів збудження, скорочення та розслаблення скелетних м'язів, системи енергетичного забезпечення м'язової діяльності та зміни метаболізму під час виконання фізичних вправ різної потужності.

Показано можливості використання біохімічного контролю за функціональним станом організму людини в практиці фізичного виховання і спорту.

Теоретичний матеріал ілюстрований рисунками, схемами, таблицями, які доповнюють текст та сприяють його засвоєнню, подано також словник біохімічних термінів і понять.

Розділ 1

ВСТУП ДО БІОХІМІЇ.

ПОНЯТТЯ ПРО ХІМІЧНИЙ СКЛАД ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ



Будь-який вид м'язової діяльності (напружені спортивні тренування чи оздоровча масова фізична культура, профілактичні чи реабілітаційні фізичні вправи) пов'язаний із прискоренням обміну речовин та енергії в тканинах організму. Рівень прискорення процесів обміну речовин (метаболізму) залежить від характеру м'язової діяльності, її інтенсивності та тривалості.

Метаболічні зміни під час м'язової діяльності, як і ефективність виконання роботи, значно залежать від достатнього вмісту в скелетних м'язах, інших тканинах організму поживних речовин (вуглеводів, жирів та білків), води та мінералів, вітамінів, а також надходження в клітини кисню та інших потрібних речовин, що забезпечується своєчасним їх поповненням за рахунок раціонального харчування чи спеціальних препаратів. М'язова робота може призводити до накопичення продуктів обміну речовин, виснаження енергетичного запасу, що зумовлює зниження фізичної працездатності, розвиток стомлення чи відмову від роботи.

Систематичні фізичні тренування поліпшують метаболічні та енергетичні спроможності організму людини: аеробні, що забезпечують виконання роботи на витривалість, та анаеробні, що покращують швидкісно-силові здатності.

Оскільки обмін речовин та енергії в тканинах організму, що є основою його життєдіяльності, суттєво змінюється під час м'язової діяльності та зумовлює розвиток процесів адаптації до неї, вивчається дисципліною "Біохімія" та "Біохімія спорту", знання з цих дисцип-

лін необхідні всім спеціалістам галузі фізичного виховання та спорту, як для їхньої майбутньої практичної діяльності, так і для вивчення інших медико-біологічних і спеціальних дисциплін, опанування теорії та методики фізичного виховання, фізичної реабілітації, загальної теорії підготовки спортсменів в олімпійському спорті.

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 (приспосовуватися) 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;

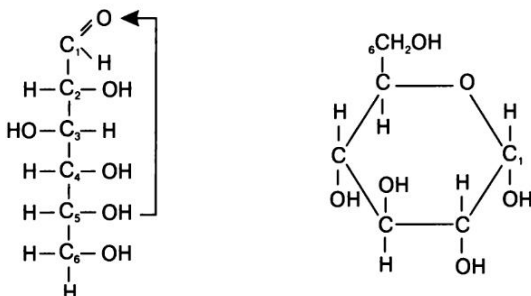
- біохімічні основи стомлення та процесів відновлення після фізичних навантажень;
- біохімічні основи адаптації до фізичних навантажень;
- особливості раціонального харчування спортсменів;
- дію різних хімічних препаратів на обмін речовин під час спортивної діяльності та відновлення організму після навантажень, 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 біологічну роль постачальника енергії у клітини організму. Її вміст у крові підтримується у межах фізіологічної норми **3,5—6 ммоль·л⁻¹**.

Молекулярна формула глюкози — **C₆H₁₂O₆** — показує лише хімічний склад молекули. У біохімії прийнято записувати речовини у вигляді 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 лінійна та циклічна формули глюкози:

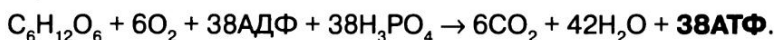


У молекулі глюкози гідроксильні групи (–OH) при атомах C₁ та C₆ є активними і здатні взаємодіяти з різними речовинами, наприклад,

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:



Аеробне окиснення вуглеводів забезпечує виконання тривалої роботи помірної інтенсивності. Така робота виконується із частотою серцевих скорочень (ЧСС) до 150 ударів за 1 хв.

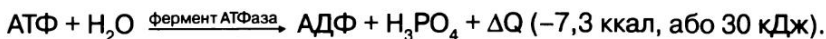
Анаеробне окиснення відбувається без участі кисню, при цьому глюкоза розпадається до проміжного продукту обміну — **молочної кислоти** з утворенням невеликої кількості АТФ:



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 ХХ 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:



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 умовах і 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, рН, кетонів (ацетонів) тіла, вітаміни, нітрати, елементи крові та ін.

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

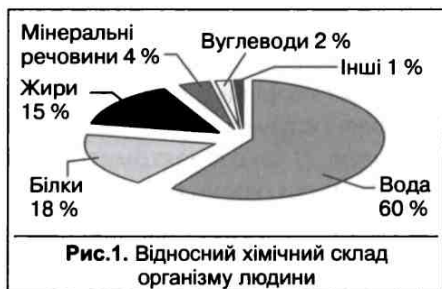
- розуміння і використання у практиці спорту, фізичної реабілітації та рекреації біохімічних закономірностей м'язової діяльності, процесів відновлення, розвитку стомлення, адаптації, а також раціонального харчування;
- правильного використання різних засобів відновлення та підвищення фізичних здатностей організму;
- розуміння результатів біохімічного та медичного контролю функціонального стану організму та ін.

ХІМІЧНИЙ СКЛАД ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ

До складу організму людини входять різні органічні та неорганічні речовини:



Відносний вміст цих речовин показано на рис. 1, із якого видно, що близько 60 % маси тіла становить вода. Відносно великий вміст білків (18 %) та жирів (15 %). Вуглеводи становлять тільки 2 % маси тіла та 1 % — це інші органічні сполуки. Мінеральні речовини становлять 4 % від маси тіла.



Усі речовини організму людини, як і 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:

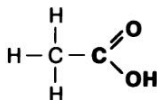
O — кисень (проста речовина кисень) — близько 68 %, C — карбон (вуглець) — близько 20 %, H — гідроген (водень) — близько 10 %, N — нітроген (азот) — близько 2 %.

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), Au (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_4^{2-} , PO_4^{3-}).

БУДОВА, КЛАСИ ТА БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

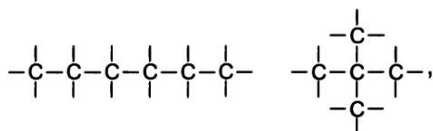
Більшу частину сухого залишку організму становлять **органічні речовини** (90—96 %). Вони побудовані з атомів карбону, з'єднаних між собою карбон-карбовими $\left(\begin{array}{c} | \\ -\text{C}-\text{C}- \\ | \end{array} \right)$ зв'язками.

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

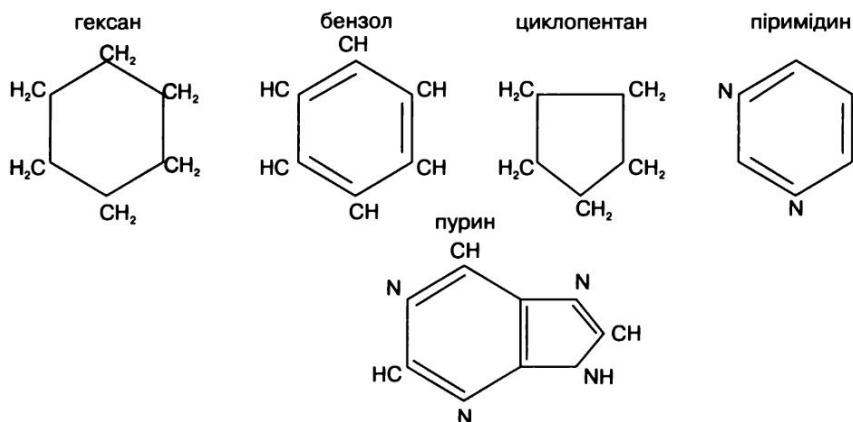


У структурних формулах загальна пара електронів, що створює хімічний зв'язок, позначається рисою, тому навколо карбону завжди 4 риси.

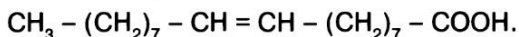
Органічні речовини організму мають нерозгалужені, розгалужені карбон-карбоніві ланцюги:



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



Атоми карбону здатні утворювати між собою подвійні (>C=C<), чи потрійні ($\text{>C}\equiv\text{C<}$) зв'язки. Речовини, що мають такі зв'язки, називають **ненасиченими**. Прикладом ненасиченої речовини організму є олеїнова жирна кислота ($\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$), яка входить до складу жиру і надає їм властивості рідини:



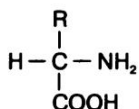
Атоми карбону в органічних сполуках можуть з'єднуватися з групами атомів, які надають речовинам певних властивостей — кислот, спиртів тощо — і мають назву **функціональні групи**. За їх наявності в молекулах виділяють окремі класи речовин. Основні функціональні групи та класи органічних речовин, що їх містять, подано у табл. 1.

Таблиця 1. Запис та назви функціональних груп і класів органічних речовин

Група	Назва	Клас
R-OH (R — радикал)	Гідроксильна	Спирти
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{-C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{OH} \end{array}$ (-COOH)	Карбоксильна	Органічні кислоти
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{-C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \end{array}$ (-CONH ₂)	Альдегідна	Альдегіди
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{-C-} \end{array}$ (-CO-)	Кетогрупа	Кетони
-NH ₂	Аміногрупа	Аміни, амінокислоти
-SH	Сульфгідрильна	Амінокислоти, білки, коферменти
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{-C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{O-} \end{array}$ (-COO-)	Складноєфірна	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 (-NH₂), записується так:



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

позначається хвилястою лінією (~). Так, у молекулі АТФ (аденозин-трифосфат) 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 використовуються 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, так і фахівцям з реабілітації 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, ферментів і 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.

Контрольні запитання

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?

Ситуаційні завдання

1. Спортсмен виконав роботу субмаксимальної потужності. Який процес окиснення глюкози буде забезпечувати енергією таку роботу? Напишіть схему рівняння цього процесу.
2. Необхідно провести терміновий контроль рівня глюкози у крові. Як це можна зробити? Яка фізіологічна норма цього показника?

Завдання для самостійної роботи студентів

- Складіть (схематично) структурну карту науки "Біохімія" за трьома напрямками: предмет вивчення, галузі застосування, взаємозв'язок з іншими науками.
- Наведіть приклади окремих класів речовин та напишіть схему розпаду їх на іони.

Тести для контролю знань*

1. Назвати предмет вивчення біохімії та біохімії спорту:
 - А. Внутрішньотканинний обмін речовин та його зміни під час фізичних навантажень.
 - Б. Функції організму та їх зміни під час фізичних навантажень.
 - В. Будова тіла та його зміни у період спортивної діяльності.

* Тут і далі в тестах потрібно знайти одну повну вірну відповідь.

- Г. Структурна організація тіла та її зміни внаслідок занять спортом.
2. Вказати на макроелементи організму людини та написати їх у вигляді іонів:
- А. Fe, Cu, Mn, I.
 - Б. Ca, P, Na, K.
 - В. S, Si, F, V.
 - Г. Zn, Co, Cr, Se.
3. Які речовини становлять найбільшу частину маси тіла?
- А. Гормони та вітаміни.
 - Б. Жири та вуглеводи.
 - В. Вода та білки.
 - Г. Мінеральні речовини та амінокислоти.
4. Яке значення має біохімія та біохімія спорту для спеціалістів з фізичного виховання?
- А. Знання з даного предмета необхідні для оцінки впливу фізичних вправ на організм.
 - Б. Знання допоможуть зрозуміти причини захворювань.
 - В. Знання дозволять правильно розробити методику спортивних тренувань.
 - Г. Знання необхідні для розуміння процесів обміну речовин.
5. Указати на органічну кислоту та амінокислоту.
- А. $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH}$, $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CHNH}_2\text{-COOH}$.
 - Б. $\text{CH}_3\text{-CHOH-COOH}$, $\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_2$.
 - В. $\text{CH}_2\text{OH-CHOH-CH}_2\text{OH}$, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.
 - Г. $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$, $\text{CH}_3\text{-CH}_3$.
6. Назвати хімічний зв'язок, що є в молекулах АТФ та АДФ.
- А. Ефірний або складноефірний.
 - Б. Макроергічний або високоенергетичний.
 - В. Ковалентний або міцний.
 - Г. Електростатичний.

Розділ 2

ОБМІН ВОДИ ТА МІНЕРАЛЬНИХ РЕЧОВИН



Вода (H_2O) є дуже важливою складовою частиною організму і потрібна для життя та життєдіяльності організму, хоча і не є поживною речовиною. Втрата організмом людини понад 10 % води призводить до його загибелі. Тому в організмі повинен підтримуватись **постійний вміст** води, як і всіх інших хімічних речовин, який називають **хімічним гомеостазом**. Хімічний гомеостаз забезпечує високу фізичну працездатність людини.

Під час м'язової діяльності можливі значні порушення водного балансу, особливо під час спеки, що часто лімітує працездатність навіть добре адаптованих до високої температури спортсменів. Своєчасне поповнення води або запобігання зневодненню організму необхідне для підтримки роботи всіх його функціональних систем, результативної спортивної діяльності, прискорення процесів відновлення після роботи.

Знання про особливості обміну води під час м'язової діяльності мають суттєве значення для спеціалістів галузі фізичного виховання та спорту.

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:

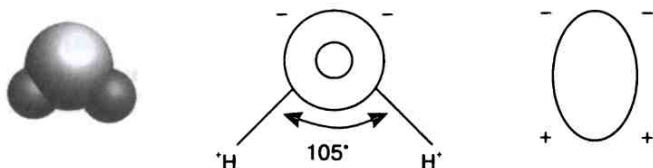
- **Гідратаційна**, або зв'язана з білками, вода. Не зважаючи на те, що процеси гідратації відбуваються постійно, кількість її майже не змінюється. Тільки під час старіння організму втрачається гідратаційна вода, що призводить до зморщування тканин тіла.

- **Імобілізована** 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 (у клітковині) 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):



Частина молекули води, де знаходиться оксиген (O), заряджена негативно, а де атоми гідрогену (2H) — 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 $NaCl$ дисоціює на **катион** Na^+ та **аніон** Cl^- :



Кислоти дисоціюють на катіони гідрогену, які називають протонами, та аніони кислотного залишку:



Вода в організмі людини виконує такі функції:

- розчиняє багато речовин (гази, CO_2 , NH_3 , солі, кислоти, органічні речовини з групами $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{COOH}$);
- 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).

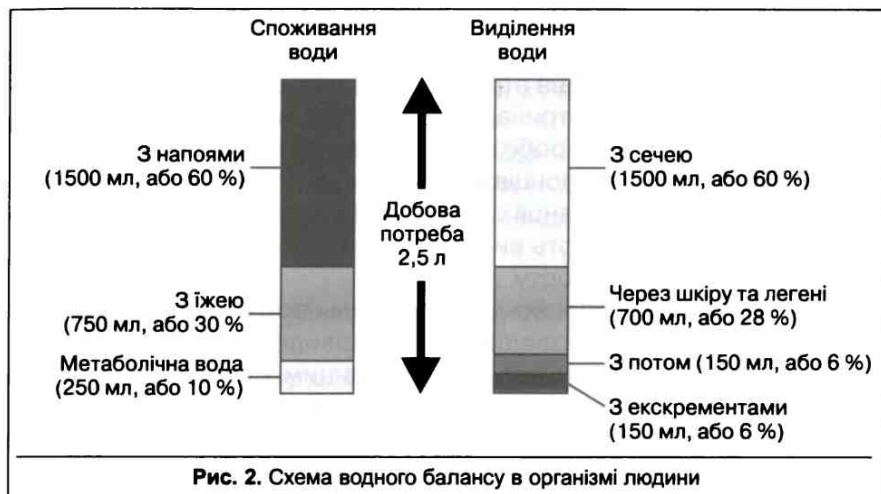
Таким чином, вода створює умови гомеостазу в організмі, порушення яких призводить до зниження працездатності, розвитку захворювань або смерті. Тому важливо підтримувати постійний обмін води із навколишнім середовищем та забезпечувати водний баланс організму.

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 (рис. 2).

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 наднирникових залоз — альдостерон. Вони затримують Na та H₂O 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 (Вілмор та ін., 2003; Зайко, Биця, 1995).

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, ор-

ганізм 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 зумовлений 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. Причини 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 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; 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^{3-}); 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 містяться 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	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 електробудливих 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. 2). 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;

Таблиця 2. 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
<i>Макроелементи (1—0,1 % маси тіла), г</i>			
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 Сир — 0,15 Молоко — 0,12 Яйце — 0,05
P	1—2	Компонент кісток, зубів. Складова джерел енергії: АТФ, АДФ, креатин-фосфату. Входить до складу нуклеїнових кислот. Компонент фосфатних буферних систем, що підтримують КОР	Гриби білі — 0,7 Сир твердий — 0,5 Бобові — 0,3 Вівсяна крупа — 0,36 Молоко згущене — 0,21
Mg	0,3—2	Компонент кісток. Регулює функцію скелетних м'язів, серцеву діяльність (за відсутності спостерігаються часті судоми). 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, але надходить 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

Речовина	Добова потреба, г, мг	Біологічне значення	Вміст у 100 г продукту, г, мг
Cl	3—7	Підтримує осмотичний тиск у біологічних рідинах. Регулює обмін води та транспорт іонів, КОС. Використовується для утворення HCl у шлунку	NaCl — харчова сіль Хліб чорний — 0,8
<i>Мікроелементи (менше 0,01 % маси тіла), мг</i>			
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: $\text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, 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 (CoA-SH), вітаміну B ₁ , амінокислот, білків	Хліб чорний — 85 М'ясо Риба Яйце
Cu	3	Потрібна для процесів кровотворення та енергоутворення (компонент цитохромів)	Печінка — 3,8 Боби — 1,1 Хліб — 0,2
Mn	1—5	Активатори ферментів обміну вуглеводів	Печінка — 0,32 М'ясо — 0,15 Риба — 0,06
Co	0,02—0,04	Використовується для побудови вітаміна B ₁₂ , еритроцитів	Печінка — 0,008 М'ясо — 0,005 Хліб — 0,002
I	0,150	Компонент гормону щитовидної залози — тироксину, який підтримує інтенсивність усіх ланок метаболізму	Триска — 0,26 Овочі — 0,05 Молоко — 0,03 Яйце — 0,02

Речовина	Добова потреба, г, мг	Біологічне значення	Вміст у 100 г продукту, г, мг
F	2—4	Компонент зубів, надлишок викликає захворювання зубів — плямистість емалі (флуороз)	Риба — 1,4 Борошно — 0,7 М'ясо — 0,5
Se	0,05—0,2	Компонент ферментів антиоксидантної системи. Підсилює імунну систему. Протираковий	М'ясо Риба Молоко

• 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.

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, Cl, K та Mg, а також Fe, Cu та ін. Вміст Na та Cl 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 вико-

нанням довготривалої роботи випити 200—400 мл напою (сік розведений чи вуглеводно-сольовий розчин). Поповнення води під час роботи сприяє нормалізації концентрації Na, Cl та K у плазмі крові та відносного об'єму плазми крові. Тому рекомендується через кожні 10—15 хв роботи випивати по 100—250 мл (Кулиненко, 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⁻¹) 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 діяльність імунної системи. За такого стану вміст гемоглобіну (Hb) в крові знижується нижче нижньої межі норми чи навіть до 100 г·л⁻¹ і нижче. Відновити вміст Fe та Hb 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 залізоалежної анемії використовуються фармакологічні препарати заліза, яких досить багато (Макарова, 2003).

Проте слід зауважити, що споживання надмірної кількості мінеральних речовин не веде до суттєвого підвищення фізичної працездатності людини, у якій 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 компенсувати втрати мінеральних речовин спеціальни-

ми дієтами для запобігання порушень діяльності нервової та серцево-судинної системи.

Контрольні запитання

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?

Ситуаційні завдання

1. Обґрунтуйте, чи буде знижуватися фізична працездатність людини через дегідратацію організму, якщо під час тренування за рахунок води втрачено 0,7 кг маси тіла, яка до тренувань становила 70 кг.
2. Спортивні тренування супроводжуються зневодненням організму. Скільки потрібно випити води протягом доби, щоб забезпечити водно-мінеральний баланс, якщо під час тренувань було втрачено близько 2 кг маси тіла?

Завдання для самостійної роботи студентів

- Знайдіть у літературі та внесіть до табл. 2 дані про прояви дефіциту окремих макро- і мікроелементів в організмі людини під час м'язової діяльності.

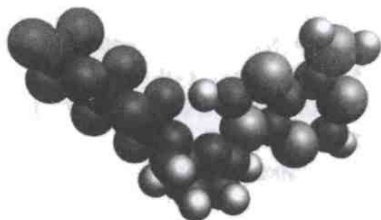
Тести для контролю знань

1. Який вміст води в організмі дорослої людини та чи знижується працездатність у разі зменшення її на 3—5 %?
 - А. 40 %, не впливає.
 - Б. 50 %, впливає несуттєво.
 - В. 60 % маси тіла, суттєво знижується.
 - Г. 80 % маси тіла, так.

2. Що розуміють під водним балансом організму та чи завжди він підтримується?
- А. Надходження 2,5 л води на добу буде підтримувати баланс.
 - Б. Рівновага між виділенням та надходженням води, підтримується не завжди.
 - В. Різниця між надходженням та виділенням води, що буде задовольняти потреби організму.
 - Г. Поповнення води за рахунок екзогенної та ендогенної води забезпечує водний баланс.
3. Яку назву має стан зневоднення організму та за яких фізичних навантажень він спостерігається?
- А. Дегідрогенізація, виникає під час короткочасних фізичних навантажень.
 - Б. Гідратація, під час довготривалої роботи.
 - В. Дегідратація, спостерігається під час довготривалих фізичних навантажень.
 - Г. Спрага, після субмаксимальних фізичних навантажень.
4. Чи можна запобігти зниженню фізичної працездатності через зневоднення організму під час виконання довготривалої роботи?
- А. Так, своєчасним поповненням води перед та під час роботи.
 - Б. Ні, воду не можна пити під час роботи.
 - В. Так, більше випити води перед стартом.
 - Г. Ні, воду пити слід тільки у разі сильного відчуття спраги.
5. Які з мінеральних речовин найбільше втрачаються під час фізичної роботи та мають поповнюватися?
- А. Fe, Cu, Zn, Mn.
 - Б. Na, K, Cl, Mg.
 - В. Ca, Co, I, F.
 - Г. Na, Mg, Fe, I.
6. Назвати основну причину можливого зниження вмісту мінеральних речовин в організмі спортсмена.
- А. Нераціональне харчування.
 - Б. Сильне виведення з потом.
 - В. Значне використання в організмі.
 - Г. Неутворення у тканинах організму.

Розділ 3

КИСЛОТНО-ОСНОВНИЙ СТАН ОРГАНІЗМУ

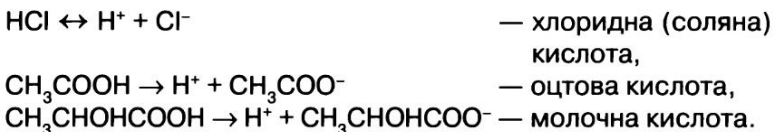


Внутрішнє середовище організму складають різні біологічні рідини, що містять близько 90 % води і розчинені у ній неорганічні та органічні речовини. Вони можуть бути кислотами або основами (розчинні основи називають лугами). Кількість їх зумовлює кислотно-основний (лужний) стан біологічної рідини. Цей стан іще називають **активною реакцією середовища**. **Сталість** кислотності та основності внутрішнього середовища організму називають **кислотно-основною рівновагою (КОР)**.

Активна реакція середовища впливає на швидкість процесів обміну речовин та енергії, на різні функції організму, в тому числі на збудливість нервової системи та скорочення—розслаблення м'язів. Це безпосередньо впливає на фізичну працездатність людини, стан її здоров'я. Тому необхідно знати про кислотно-основний стан, його показники, механізми, які підтримують його сталість, та зміни під час м'язової діяльності або при захворюваннях.

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:



Лужність, або основність, середовища залежить від концентрації гідроксильних іонів $[\text{OH}^-]$, що утворюються з лужних речовин: $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$.

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

Вода — слабкий електроліт, але частково утворює іони водню та гідроксиди в результаті дисоціації її молекул: $\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$.

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

$$K_{\text{н,о}} = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-7} \cdot 10^{-7} = 10^{-14}.$$

Тобто, концентрація H^+ та OH^- в розчині може змінюватись у межах від $1 \cdot 10^0$ до $1 \cdot 10^{-14}$ і, якщо концентрація H^+ збільшується, то OH^- — зменшується, і навпаки.

ПОКАЗНИК ВОДНЮ, АБО pH

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

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+].$$

Якщо у водному середовищі однакова кількість H^+ і OH^- , яка становить 10^{-7} г·іон·л⁻¹, то pH дорівнює 7 ($\text{pH} = -\lg [10^{-7}]$) і таке середовище є нейтральним. Якщо $\text{pH} > 7$, то середовище — лужне, оскільки кількість іонів гідроксиду більша, ніж водню, а якщо $\text{pH} < 7$, то середовище — кисле, бо іонів водню більше, ніж гідроксидів. Тобто, чим менша величина pH, тим більша кислотність.

Для визначення концентрації H^+ чи OH^- за величиною pH користуються шкалою pH (рис. 3).



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

Кожна біологічна рідина має свою величину рН, яка підтримується на певному фізіологічному рівні. Величини рН біологічних рідин організму в стані відносного спокою коливаються у досить вузьких межах:

- кров 7,34—7,4 — слабколужне середовище,
- сеча 5,5—6,0 — слабкокислое,
- слина 7,2—7,5 — слабколужне,
- шлунковий сік 1,5—2,0 — сильнокислое,
- цитоплазма 7,0 — нейтральне.

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

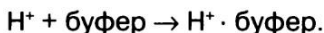
Постійність величин рН біологічних рідин організму має велике фізіологічне значення, оскільки кислотність середовища впливає на активність ферментів; транспорт речовин; збудливість клітинних мембран та передачу нервового імпульсу; швидкість скорочення м'язів; механізми енергоутворення (АТФ); больові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

В організмі людини існують спеціальні системи регуляції КОС біологічних рідин, або забезпечення кислотно-основної рівноваги, завдяки яким у нормі рН 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, рН 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 КОС.

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 рН:



Що ж собою являють буферні системи?

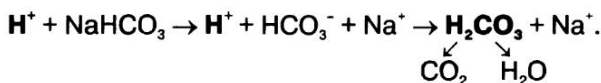
Буферні системи — це двокомпонентні суміші, що можуть складатися зі слабкої кислоти та її розчинної солі від сильної основи, двох солей, білків, які у певному співвідношенні підтримують стабільність рН рідинного середовища.

Основні буферні системи крові та інших рідин організму:

бікарбонатна	$- \frac{H_2CO_3}{NaHCO_3} = \frac{1}{20}$	діє переважно у плазмі крові, підтримує рН в межах 7,4;
фосфатна	$- \frac{NaH_2PO_4}{Na_2HPO_4}$	діє в клітинах тканини (рН у межах 9,6);
білкова (гемоглобінова)	$- \frac{H^+ \cdot Hb}{K^+ \cdot Hb}$	діє в еритроцитах (рН в межах 7,0);
ацетатна	$- \frac{CH_3COOH}{CH_3COONa}$	діє в клітинах тканин (рН в межах 5,0).

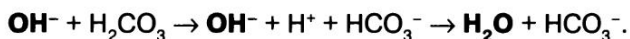
Буферні системи мають обмежену ємність, тобто здатність зв'язувати певну кількість H^+ чи OH^- . Для організму людини велике значення має запас лужних компонентів буферів, який називають **лужним резервом**. Лужні компоненти буферних систем зв'язують кислоти, що утворюються в організмі під час м'язової діяльності чи окремих захворювань дихальної або видільної систем, цукровому діабеті. **Якщо ємність буферних систем вичерпується, то величина рН 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 ($\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$), то її протон гідрогена зв'язується сольовим (лужним) компонентом системи — гідрокарбонатом Na з утворенням карбонатної кислоти:



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 рН.

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:



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 (Вілмор та ін., 2003).

ВПЛИВ НА ФІЗИЧНУ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПОРУШЕННЯ КОР—АЦИДОЗУ ТА АЛКАЛОЗУ

Кислотно-основна рівновага є невід'ємною умовою нормальної життєдіяльності всіх клітин організму. Зміни рН крові від 7,36 до 6,8 у нетренованому організмі спричиняють його загибель. За адаптації організму до фізичних навантажень він менше реагує на зміни рН 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 рН, то це компен-

саторний ацидоз, а якщо він вичерпується і рН 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 рН 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 (Макарова, 2003).

Ацидоз може виникати при деяких захворюваннях. За механізмом розвитку ацидоз та алкалоз може бути **респіраторним** (газовим) або **метаболічним** (негазовим). Ці форми порушень КОР мають різні причини виникнення, вплив на стан здоров'я людини, особливості корекції і вимагають використання досить обмежених фізичних вправ (Зайко та ін., 1995).

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: дифузійну, осмос, активний транспорт та ендо- і екзоцитоз.

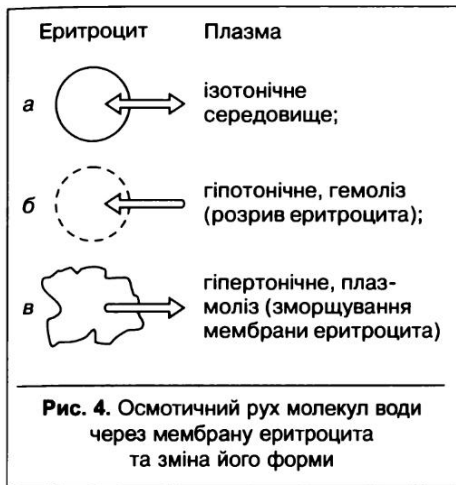
Дифузія та осмос належать до **пасивного** механізму транспорту. Вони проходять без використання енергії. Два останні механізми перебігають за рахунок енергії АТФ і тому їх називають **активним** транспортом.

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 O_2 надходить у кров і 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, а). Ізотонічним по відношенню до плазми крові є 0,9 % розчин NaCl , 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, б). 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, в). Це теж призведе до втрати їхньої функції.

Активний транспорт речовин — це переміщення їх через напівпровідникові мембрани клітин із 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.



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 K^+ 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 рН та впливає на стан здоров'я людини, її спортивну діяльність.

Контрольні запитання

1. Що таке рН та кислотно-основна рівновага?
2. Які показники рН у біологічних рідинах людини та чи змінюються вони?
3. Яка кислотність середовища, якщо рН становить 2, 7, 13?
4. На які біологічні процеси та функції організму впливають зміни рН?
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 рН крові за розвитку ацидозу та алкалозу?
9. Яка суть та значення основних механізмів транспорту речовин?

Ситуаційні завдання

1. Після виконання однакової програми тренувань в одного спортсмена показник рН сечі не змінився, а в іншого зменшився. Поясніть реакцію організмів на виконану роботу та можливі причини таких змін кислотно-основного середовища. Якого зі спортсменів можна рекомендувати для участі в змаганнях?
2. У людини спостерігається ацидотичний стан. Обґрунтуйте, які зміни метаболізму та буферних систем можуть спричинити це і які фізичні навантаження можна рекомендувати для прискорення відновлення.

Завдання для самостійної роботи студентів

- У літературі знайдіть рекомендації щодо засобів прискорення виведення організму із ацидотичного стану після напружених фізичних тренувань.

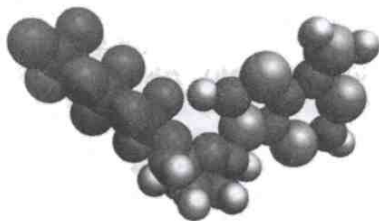
Тести для контролю знань

1. Який показник характеризує кислотно-основний стан внутрішнього середовища організму?
 - А. Показник водню.
 - Б. Показник кисню.

- В. Ступінь окиснення.
Г. Концентрація кислоти.
2. Які існують форми порушення кислотно-основної рівноваги?
А. Кетоз та кетоурія.
Б. Авітаміноз та анемія.
В. Ацидоз та алкалоз.
Г. Нейтралізація та дегідратація.
3. Які фізичні вправи будуть погіршувати стан організму, якщо у людини ацидоз? Які при цьому можуть з'являтися відчуття?
А. Інтенсивні протягом 1—5 хв, біль у м'язах.
Б. Інтенсивні протягом 2—5 с, біль у м'язах.
В. Помірні протягом 10—15 хв, судоми.
Г. Помірна тривала ходьба, спрага.
4. Чому величини рН у біологічних рідинах організму відносно постійні?
А. У них не змінюється кількість кислих метаболітів.
Б. У цих рідинах є хімічні системи, які підтримують постійність рН.
В. Кислі та лужні речовини нейтралізують одна одну.
Г. рН підтримується видільною системою.
5. Назвати основну буферну систему плазми крові. Чи завжди вона підтримує постійність активної реакції середовища?
А. Фосфатна, так.
Б. Амонійна, ні.
В. Бікарбонатна, ні.
Г. Гемоглобінова, так.
6. Назвати основні мінерали та солі, що підтримують осмотичний тиск у тканинах.
А. Fe, Zn, Cl, CuSO_4 .
Б. Na, K, Cl, NaHCO_3 .
В. Na, Mg, P, CaCl_2 .
Г. K, I, NaHCO_3 .

Розділ 4

ОБМІН РЕЧОВИН В ОРГАНІЗМІ



Невід'ємною умовою життєдіяльності організму людини є постійний обмін речовин із навколишнім середовищем. В організм людини, як у відкриту систему, надходять із зовнішнього середовища поживні речовини (вуглеводи, жири, білки), вітаміни, мінерали, вода і, обов'язково, кисень повітря. Протягом 70 років життя людина споживає близько 14 т вуглеводів, 2,5 т білків, 2,5 т жиру та 56 т води. Ці речовини та їхні складові використовуються або для побудови речовин організму, або для утворення енергії.

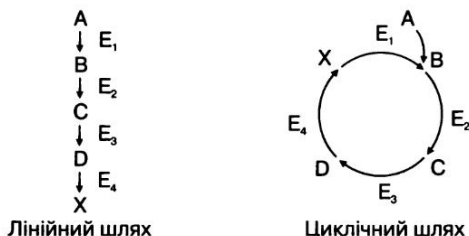
ПРОЦЕСИ АНАБОЛІЗМУ ТА КАТАБОЛІЗМУ

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 ре-

човин та утворення АТФ (енергії) в усіх клітинах, особливо мозку. Без води людина 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):



Речовини (А, В, С, 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).

Анаболізм забезпечує процеси **біосинтезу** (утворення) складних речовин, характерних для даного організму, насамперед біосинтезу білків (рис. 5). Ці процеси відбуваються з використанням енергії (АТФ). Анаболічні процеси забезпечують ріст, відновлення організму після різних впливів, збільшення маси тіла, запасання поживних ре-



човин. Прискоренню анаболічних процесів сприяють біологічно активні речовини. Це, зокрема, вітаміни (С, В₆, В₁₂, 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 непрямой кало-

риметрії. 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.

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.

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 урахувувати 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 рази 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 °C тепловіддача у дітей збільшується так само, як у дорослих за умов зниження температури повітря на 14 °C.

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.

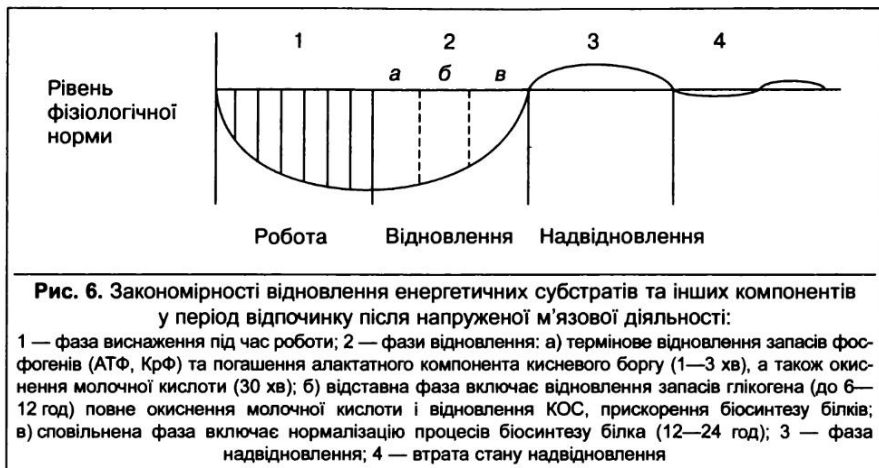
ОБМІН РЕЧОВИН ПІД ЧАС М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТА У ПЕРІОД ВІДНОВЛЕННЯ

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 фі-



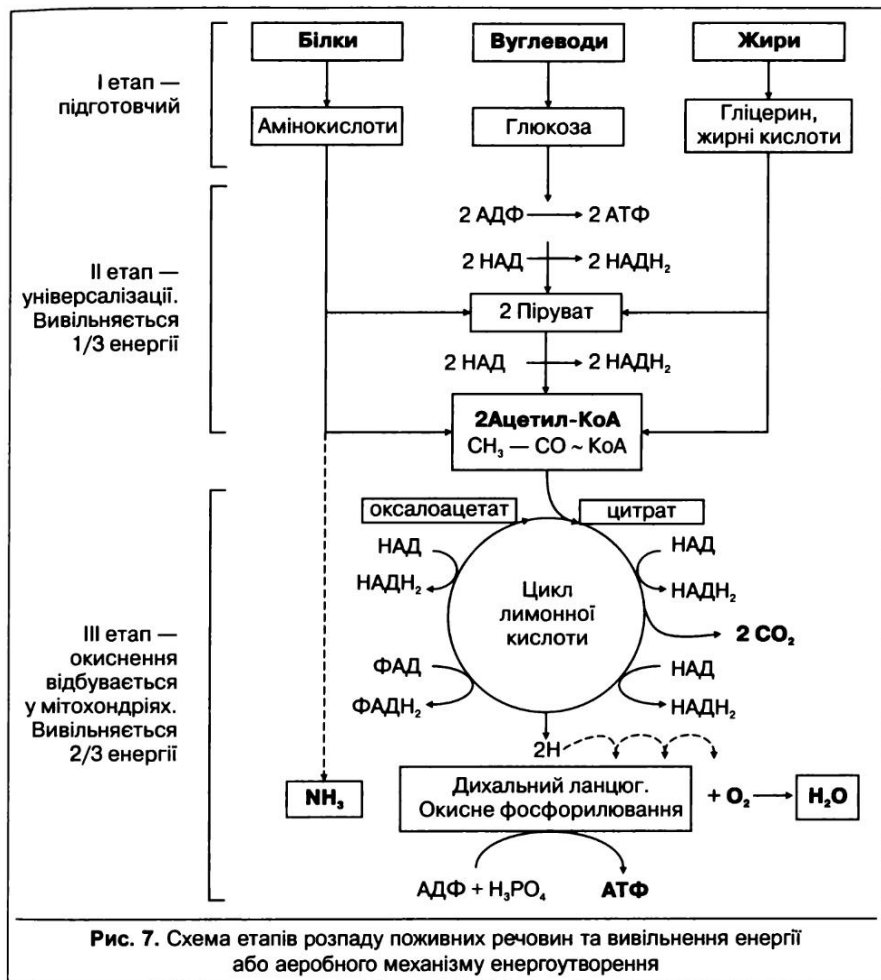
зіологічної норми (у межах 3,5—6,0 ммоль на 1 л крові) пов'язане із відновленням швидкості процесу біосинтезу білка у скелетних м'язах.

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 тренуваності. 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. Virізніють такі три етапи: **підготовчий, універсалізація, окиснення** (рис. 7).



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.

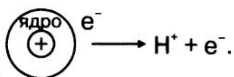
На другому етапі всі мономери різними метаболічними шляхами розпадаються до єдиної універсальної речовини — **ацетил-КоА** — активної форми оцтової кислоти, з'єднаної з коферментом ацетилювання (КоА). У процесі розпаду вивільняється 1/3 енергії, що міс-

тяться 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_2 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 .

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 H від речовини, яка окиснюється. Потім ці коферменти передають атоми H на дихальну систему або ланцюг, де відбувається процес окиснення — взаємодія гідрогена з O_2 .

Гідроген розпадається на протон (H^+) та електрон (e^-), тому що атом його складається з ядра та одного електрона:



Ці частинки несуть електричну енергію. При цьому на мембранах мітохондрій створюються протонний та електронний потенціали. Гідроген (протон H^+ та e^-) поступово передається до кисню спеціальною **електронтранспортною системою** або **дихальним ланцюгом**. Ці системи знаходяться у внутрішніх мембранах мітохондрій, де закінчується III етап розпаду і окиснення поживних речовин та вивільнення енергії. Під час транспорту H^+ та e^- 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.

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 окис-

нення 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.

Контрольні запитання

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?

Ситуаційні завдання

1. Обґрунтуйте, в якій фазі відновлення після виконання фізичних вправ та за рахунок яких метаболічних процесів можливе поліпшення фізичної працездатності.
2. Потрібно покращити процеси біологічного окиснення поживних речовин та виділення енергії спортсменам, які займаються видами спорту з проявом витривалості. Які вітаміни, ферменти та інші біологічно активні речовини можна рекомендувати для цього?

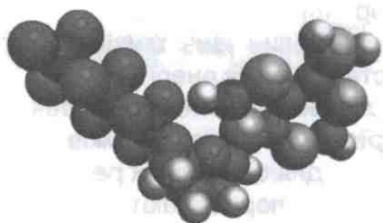
Завдання для самостійної роботи студентів

- Розкрийте особливості обміну речовин та енергії у дітей і підлітків, а також вплив фізичних навантажень на ці процеси.
- Охарактеризуйте метаболічні зміни в організмі людини під час старіння та вплив оздоровчих фізичних вправ на них.

- Що розуміють під процесом анаболізму?
 - Розпад речовин та вивільнення енергії.
 - Біосинтез складних речовин.
 - Реакції відновлення.
 - Взаємоперетворення речовин.
- До відсутності яких речовин найчутливіший організм? Чому?
 - Вуглеводів, постачальників енергії.
 - Кисню, основного окисника поживних речовин.
 - Усіх поживних речовин, постачальників енергії.
 - Води, середовища для біохімічних реакцій.
- Які метаболічні процеси переважають в організмі у період росту, а які у період старіння?
 - Синтез та розпад вуглеводів.
 - Біосинтез білків та розпад жирів.
 - Анаболізм та катаболізм.
 - Відновлення та окиснення речовин.
- Яка закономірність процесів обміну в період відновлення після фізичних навантажень?
 - Поступово нормалізується прискорений процес катаболізму.
 - Знижується швидкість катаболізму та збільшується анаболізму.
 - Активізується процес синтезу білка одразу після закінчення роботи.
 - Процеси синтезу та розпаду білків нормалізуються в першу чергу.
- На якому етапі утворюється ацетил-КоА та яке загальне значення цього метаболіту?
 - На III, забезпечує процес енерговиділення.
 - На II, інтегратор обміну вуглеводів, жирів та білків.
 - На II, носій енергії.
 - На III, забезпечує окиснення речовин.
- Які регуляторні системи метаболізму змінюються у разі систематичних тренувань?
 - Нервова.
 - Гормональна.
 - Внутрішньоклітинна.
 - Удосконалюються всі регуляторні системи.

Розділ 5

ОБМІН ЕНЕРГІЇ В ОРГАНІЗМІ



У процесі життєдіяльності людина постійно використовує енергію, обсяг якої залежить від багатьох факторів. Організм дорослої людини у стані відносного спокою витрачає близько 8000 кДж енергії або 1900 ккал протягом доби, а спортсмени під час напружених тренувань — до 20 000 кДж (одиниці виміру енергії пов'язані між собою так: 1 ккал = 4,18 кДж). Де ж береться ця енергія, у вигляді чого використовується та як поповнюється?

Рослини акумулюють енергію сонця у процесі фотосинтезу органічних сполук, а людина їх споживає. Клітини організму людини вивільнюють енергію із них і акумулюють її у молекули АТФ — унікальну хімічну енергію, яка може перетворюватися на інші форми енергії: хімічну, теплову, електричну, механічну.

АТФ ЯК УНІВЕРСАЛЬНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ, ЇЇ БУДОВА ТА ОБМІН

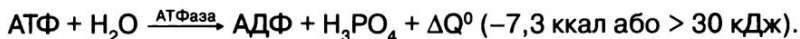
Найважливішою формою енергії, яка використовується у клітинах організму для підтримання різних фізіологічних функцій, є хімічна енергія молекул АТФ.

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 кліти-

нах організму виконує біологічну роль універсального джерела енергії.

Побудована молекула АТФ, як і інших нуклеотидів, 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. 8).

АТФ реалізує свою енергетичну функцію у процесі розпаду молекули. Найчастіше розпад АТФ відбувається під дією ферменту АТФгідролази (АТФази) до АДФ та H_3PO_4 з виділенням енергії близько 30—42 кДж, згідно з рівнянням:



Іноколи 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.

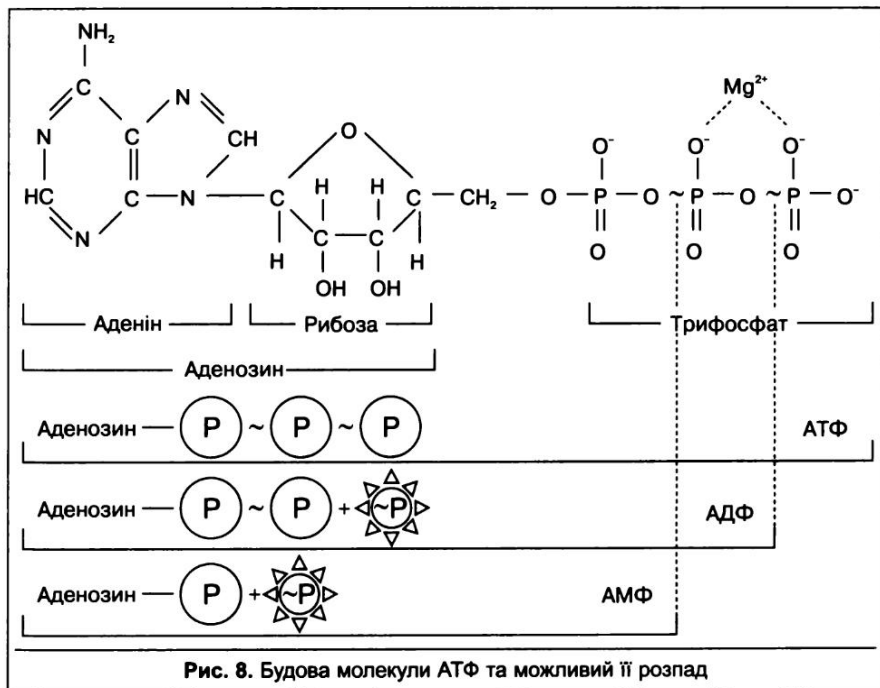
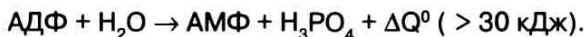


Рис. 8. Будова молекули АТФ та можливий її розпад

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

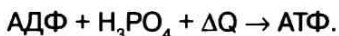


Тому в молекулі АТФ акумулюється (зберігається) близько 80 кДж енергії.

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. 9).

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:



Найбільше АТФ утворюється в **аеробних** процесах біологічного окиснення поживних речовин, які відбуваються у мітохондріях. У цих

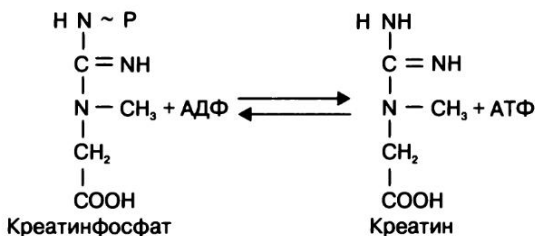


Рис. 9. Використання АТФ в організмі

процесах носіями енергії є атоми гідрогену (H). Вони утворюють протонний (pH) та електронний (e⁻) потенціали на внутрішніх мембранах цих органел. За рахунок протонного потенціалу фермент H⁺-залежна АТФ синтетаза внутрішніх мембран мітохондрій синтезує молекули АТФ у процесі окисного фосфорилування, що детальніше розглянуто далі.

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:



3. Міокіназний, коли відбувається перефосфорилування між двома молекулами АДФ з участю ферменту міокінази:



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 застосу-

вання цього препарату в спортивній медицині і практиці спорту може покращувати функціональні можливості спортсменів (Олійник, Вдовенко, 2005).

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 (H), 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, пірвіноградну кислоту), то такий тип окиснення називають **анаеробним**. Це спостерігається під час анаеробного окиснення вуглеводів (гліколітич-

ному 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 кисню, 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

що лимонна кислота ($HOOC-CH_2-\overset{\overset{COOH}{|}}{C}-CH_2-COOH$) та деякі інші ме-

таболіти цього циклу є трикарбовоними кислотами, що мають три $-COOH$ групи. Локалізований він усередині мітохондрій і включає близько 10 реакцій з участю різних ферментів, в основному дегідрогеназ. У цикл вступають молекули **ацетил-КоА** ($CH_3-CO-CoA$), 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. 17 (с. 105).

У процесі окиснення накопичується енергія у вигляді трьох молекул НАД·Н₂ і одної ФАД·Н₂. Високоенергетичний гідроген потім передається по компонентах дихального ланцюга на О₂. 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.

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 — 2Н⁺ 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 — незамінні фактори харчування, що потрібні для його функціонування, подано на рис. 10.

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



Якщо 2Н переноситься від НАД·Н₂ до О₂, то утворюється 3 молекули АТФ, а від ФАДН₂ — 2 молекули, тому що перша молекула АТФ



утворюється під час передачі електронів та протонів від НАДН₂ до ФАДН₂, а дві наступні — на цитохромах.

Окисне фосфорилування 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, кетонні 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.

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 $1\text{--}3 \text{ ккал}\cdot\text{с}^{-1}$ ($4,18\text{--}12,54 \text{ кДж}\cdot\text{с}^{-1}$), а під час малоінтенсивного — $0,3 \text{ ккал}\cdot\text{с}^{-1}$ ($1,25 \text{ кДж}\cdot\text{с}^{-1}$). 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, так і анаеробні механізми енергоутворення, що буде розглянуто далі.

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 непрямой 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 фосфорилування — 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^\cdot) 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.

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.

Контрольні запитання

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?

Ситуаційні завдання

1. Витрати енергії протягом доби становлять близько 3000 ккал (12 540 кДж). Скільки молекул АТФ може дати таку кількість енергії? Чи є вона в такій кількості в організмі?
2. Обґрунтуйте зміни енергетичного обміну в скелетних м'язах та мозку у разі:
 - а) порушення роботи циклу трикарбонових кислот;
 - б) зменшення вмісту АДФ і H_3PO_4 ;
 - в) зменшення вмісту креатинфосфату в тканинах.

Завдання для самостійної роботи студентів

- Розкрийте роль циклу лимонної кислоти та його основних метаболітів в енергозабезпеченні м'язової діяльності людини у вибраному виді спорту.

Тести для контролю знань

1. Які процеси метаболізму забезпечують виділення енергії?
 - А. Катаболічні.
 - Б. Анаболічні.
 - В. Гідролітичні.
 - Г. Відновні.
2. Назвати універсальне джерело хімічної енергії:
 - А. АМФ.
 - Б. АТФ.
 - В. КрФ.
 - Г. АКТГ.
3. Які речовини та структури клітини необхідні для синтезу АТФ?
 - А. АДФ, H_3PO_4 , мітохондрії.
 - Б. АМФ, H_3PO_4 , рибосоми.

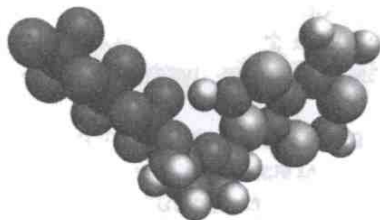
В. ДНК, H_3PO_4 , ретикулум.

Г. АДФ, NaH_2PO_4 , ядро.

4. З чим пов'язаний адаптивний вплив фізичних вправ на обмін енергії у скелетних м'язах?
- А. Збільшується м'язова маса.
 - Б. Активується процес використання АТФ.
 - В. Прискорюється кровообіг.
 - Г. Поліпшується робота ферментів біологічного окиснення (ЦТК, дихальна система) та збільшується їх кількість, що прискорює ресинтез АТФ.
5. Назвати основну роль креатинфосфату в обміні енергії:
- А. Забезпечує роботу м'язів.
 - Б. Підтримує постійність концентрації АТФ у клітинах та є носієм енергії.
 - В. Необхідний для процесів біологічного окиснення речовин.
 - Г. Підтримує постійність рН середовища.
6. Вказати значення процесу окисного фосфорилування у тканинах:
- А. Забезпечує процес дихання.
 - Б. Сприяє транспорту Ca^{2+} .
 - В. Це основний механізм утворення АТФ.
 - Г. Забезпечує розпад АТФ.

Розділ 6

ФЕРМЕНТИ — БІОЛОГІЧНІ КАТАЛІЗАТОРИ ПРОЦЕСІВ МЕТАБОЛІЗМУ



Проміжний обмін речовин в організмі людини відбувається за відносно стабільних величин тиску, температури, концентрації хімічних речовин, тому його швидкість залежить, в основному, від роботи біологічних каталізаторів, що називають ферментами.

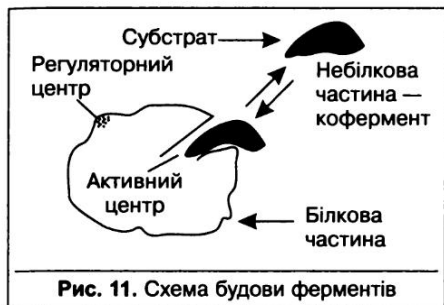
Під час м'язової діяльності та відновлення організму значно змінюється швидкість біохімічних реакцій, що пов'язано зі змінами активності або кількості ферментів. Ферменти широко використовуються у діагностиці, а також як лікувальні препарати. Що ж собою являють ферменти?

БУДОВА, ВЛАСТИВОСТІ ТА МЕХАНІЗМ ДІЇ ФЕРМЕНТІВ

Ферменти (ензими) — це специфічні білки тканин організму, які регулюють швидкість (прискорюють або сповільнюють) біохімічних реакцій, тобто є біологічними каталізаторами.

За будовою ферменти, як і білки, бувають прості (складаються тільки із білка) та складні. Складні ферменти крім білкової частини, яку називають **холофермент**, містять небілкову — **кофермент** чи **кофактор** (рис. 11).

Кофермент формує **активний центр ферменту**, ту невелику ділянку молекули ферменту, де відбувається перетворення речовин. Багато ферментів мають **регуляторний центр**, через який певні речовини змінюють його активність. Діяльність ферменту залежить від структурної організації білка. Зміни у структурі білка можуть при-



звести до втрати активності ферменту. Речовини, на які діють ферменти (Е), називають **субстратами** (S). Субстрати знаходять свої ферменти за принципом “ключ—замок”.

Коферменти бувають **вітаміновмісні** і **невітамініні**. Це означає, що вітаміни необхідні для утворення і роботи ферментів,

тому вони мають постійно надходити в організм. Основними вітаміновмісними коферментами ферментів, що каталізують процес біологічного окиснення поживних речовин, є:

НАД — нікотинаміддинуклеотид, містить вітамін РР (нікотинамід);

ФАД — флавінаденіндинуклеотид, містить вітамін В₂ (рибофлавін);

КоА — кофермент ацетилювання — містить вітамін В₃ (пантотенову кислоту);

КоQ (убіхінон) — компонент дихального ланцюга у мітохондріях, близький за будовою до вітаміну К.

До складу багатьох невітамініних коферментів входять мінерали, наприклад, Zn потрібен майже для 80 різних ферментів, у тому числі карбоангідрази, яка каталізує перетворення молекули вугільної кислоти: $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$.

Ферменти мають такі *властивості*:

▮ **високу активність** — здатність одної молекули ферменту розщеплювати чи синтезувати певну кількість субстрату за одиницю часу, так “найлінійніший” фермент — лізоцим слини — розщеплює за 1 хв 30 молекул субстрату, а найактивніший — карбоангідраза еритроцитів — мільйони молекул H_2CO_3 ;

▮ **специфічність(вибірковість) дії** — здатність каталізувати перетворення лише одного субстрату (абсолютна специфічність) чи багатьох (відносна специфічність). Абсолютну специфічність мають небагато ферментів, яких нині відомо близько 3 тисяч. Це такі, як сахараза, що гідролізує сахарозу (цукрозу) в кишечнику, лактаза — лактозу молока, мальтаза — мальтозу;

▮ **саморегуляція** активності різними механізмами:

- **протеолізом** — відщепленням частини білка від тих ферментів, що утворюються у неактивному стані, наприклад, пепсиноген у шлунку таким шляхом перетворюється на активну форму — пепсин;

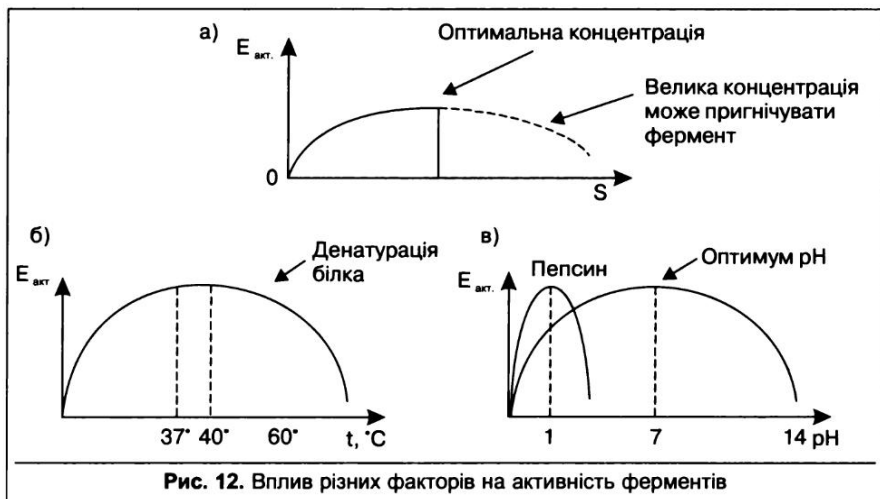
- фосфорилуванням—дефосфорилуванням (приєднанням та відщепленням фосфатного залишку);
- дією активаторів (↑) та інгібіторів (↓), що взаємодіють із регуляторним центром ферменту і змінюють його структуру та діяльність.

Завдяки цій властивості можлива автономна регуляція (саморегуляція) метаболізму в клітинах на рівні ферментів.

Механізм дії ферментів полягає в тому, що ферменти взаємодіють зі своїм субстратом із утворенням фермент-субстратного комплексу (ES), який дуже швидко розпадається на фермент та продукт реакції (P) за схемою рівняння: $E + S \rightarrow ES^* \rightarrow E + P$. Під час утворення цього комплексу фермент знижує енергію активації реагуючих речовин і швидкість реакції може збільшуватися в мільйон разів, що характерно, наприклад, для реакції розпаду вугільної кислоти, яка постійно утворюється в процесі метаболізму та розпадається у капілярах легенів з участю карбоангідази на H_2O і CO_2 .

Після перетворення речовини фермент не змінюється і може знову каталізувати реакцію. Фермент може реагувати з молекулами субстрату доти, доки не закінчиться тривалість його життя або він втратить активність, наприклад, через зміну умов внутрішнього середовища, що впливає на структуру білка-ферменту.

Фактори, що впливають на активність ферментів. Робота ферментів у тканинах залежить від багатьох факторів (рис. 12): концентрації субстрату (S) (а), температури тіла (б), величини рН (в).



КЛАСИ ТА НОМЕНКЛАТУРА ФЕРМЕНТІВ

Ферменти упорядковані Міжнародною класифікаційною комісією у **6 класів** за типом реакцій, які каталізують.

1. **Оксидоредуктази** — каталізують окисно-відновні реакції (приєднання кисню — оксидази та відщеплення гідрогену — дегідрогенази), наприклад: лактатдегідрогенази, цитохромоксидази.

2. **Трансферази** — переносять різні групи атомів, наприклад: фосфатну — фосфотрансферази.

3. **Гідролази** — розщеплюють різні речовини з участю води, наприклад: АТФ-гідролаза (АТФаза).

4. **Ліази** — розщеплюють подвійні зв'язки, наприклад: піруват-декарбоксилаза.

5. **Ізомерази** — перетворюють ізоформи речовин, наприклад: цис-транс-ізомерази;

6. **Лігази або синтетази** — каталізують синтез складних речовин з участю АТФ, наприклад: пептидсинтетаза, ДНКсинтетаза.

Назва ферментів найчастіше утворюється від **назви субстрату** або **типу реакції** з додаванням суфікса "**аза**". Так, ліпази розщеплюють ліпіди, сахараза — сахарозу, АТФаза — АТФ, а лактатдегідрогеназа — відщеплює гідроген від молочної кислоти (HLа) — окиснює її. Іон молочної кислоти називають лактатом (La).

ВПЛИВ М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ВЛАСТИВОСТІ ТКАНИННИХ ФЕРМЕНТІВ

Одноразові фізичні навантаження змінюють активність різних ферментів, але лише тих, які є у клітинах. Ці зміни різноспрямовані для ферментів катаболічних та анаболічних процесів, а величина зміни може бути різною залежно від інтенсивності та специфічності м'язової діяльності.

Систематичні фізичні тренування підвищують активність ферментів, особливо енергетичних систем. Так, активність ферментів гліколізу у м'язах спортсменів різних видів спорту збільшується на 10—40 %, а ферментів аеробного енергоутворення на 100—150 %. Крім того м'язова адаптація до тренувань пов'язана зі збільшенням кількості окремих ферментів. Такі зміни на рівні ферментів створюють умови для високої інтенсивності метаболізму під час виконання фізичних вправ (Вілмор, Костілл, 2003).

Фізичні перевантаження, патологічні зміни у тканинах організму викликають вихід внутрішньоклітинних ферментів у кров, перерозподіл їх між тканинами, що може використовуватися під час діагностування.

ФЕРМЕНТНІ ПРЕПАРАТИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У СПОРТІ ТА ПІД ЧАС РЕАБІЛІТАЦІЇ

Оскільки ферменти відіграють ключову роль у регуляції процесів метаболізму, а їхня діяльність регулюється через регуляторний та активний центри, то можна певним чином змінювати обмін речовин та поліпшувати стан здоров'я, працездатність чи прискорювати відновлення організму.

Лікування багатьох хвороб пов'язане із впливом лікарських препаратів на діяльність ферментів. Тим більше, що відомо багато спадкових хвороб (близько 1500), пов'язаних із порушенням біосинтезу або роботи ферментів у тканинах організму (ферментопатії). Досить відомий аспірин проявляє антизапальну та антикоагуляційну (зменшення швидкості зсідання крові) дію, пригнічуючи діяльність ферменту циклоксигенази. Антибіотики, гормональні препарати теж впливають на діяльність ферментів та їх біосинтез.

Останнім часом широко застосовуються (в спорті також) для лікування та профілактики різних хвороб ферментні препарати та їхні комплекси, це такі: лідаза та колагеназа, що розсмоктують рубцеві утворення, еластаза — поліпшує структуру судин, цитохромоксидаза — покращує процеси енергоутворення, стрептокіназа, лізоцим, мезим форте, вобензим, флогензим та ін. Існує цілий напрям у медицині — ензимотерапія (Рансбергер і др., 1994).

Використання окремих названих ферментативних комплексів з метою профілактики або лікування значно зменшує вірогідність спортивних травм та суттєво прискорює процес відновлення після них.

Дослідження ферментів, їхньої активності та кількості в тканинах організму є досить об'єктивним діагностичним показником як в медицині, так і в практиці спорту.

Контрольні запитання

1. Що таке ферменти та яка їхня будова?
2. Як називають небілкові частини ферментів? Наведіть приклади.
3. Які основні властивості ферментів? Завдяки яким із них можлива регуляція метаболізму різними речовинами?
4. Від яких факторів середовища та як залежить діяльність ферментів?
5. Які існують класи ферментів? Наведіть приклади оксидаз та дегідрогеназ.
6. Як впливає м'язова діяльність на активність ферментів?
7. Які існують ферментні препарати, що можуть використовуватися у спортивній практиці та реабілітації?

Ситуаційні завдання

1. Обґрунтуйте можливі зміни в активності ферментів у скелетних м'язах спортсмена після виконання анаеробної роботи та їх причини. Чи будуть такі зміни однакові у спортсменів різної кваліфікації?
2. Спортсмен проходить реабілітацію після травми і має великі рубці на тілі. Який із ферментних препаратів можна рекомендувати для прискорення процесів відновлення, розсмоктування зрощень?

Завдання для самостійної роботи студентів

- Розкрийте взаємозв'язок окремих мінералів та вітамінів з ферментами. Опишіть відомі антиоксидантні та інші ферментні препарати, що широко використовуються для оздоровлення людей.

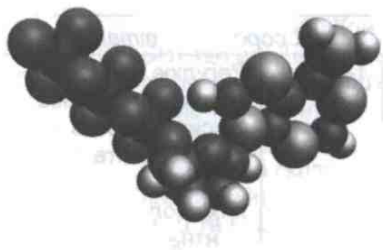
Тести для контролю знань

1. Яку роль виконують ферменти у тканинах організму?
 - А. Регулюють швидкість біохімічних реакцій.
 - Б. Змінюють напрям біохімічних реакцій.
 - В. Впливають на гормони.
 - Г. Впливають на взаємоперетворення речовин.
2. За хімічною природою ферменти є:
 - А. Вуглеводами.
 - Б. Білками.
 - В. Амінокислотами.
 - Г. Неорганічними речовинами.

3. Що таке коферменти?
- А. Частина ферменту, яка створює його регуляторний центр.
 - Б. Активний центр ферменту.
 - В. Небілкова частина складного ферменту, яка створює активний центр.
 - Г. Інгібітори ферментів.
4. Які фактори внутрішнього середовища у м'язах знижують активність ферментів під час виконання інтенсивних фізичних вправ?
- А. Зменшення величини рН та концентрації субстратів.
 - Б. Залуження та підвищення $t^{\circ}\text{C}$.
 - В. Активатори та інгібітори.
 - Г. Поява різних метаболітів.
5. До яких змін на рівні ферментів приводять систематичні фізичні тренування?
- А. Ферменти не змінюються.
 - Б. Підвищується активність та кількість ферментів.
 - В. Змінюється структура білків-ферментів.
 - Г. Знижується активність та вміст.
6. Назвати ферменти, які каталізують окиснення поживних речовин у тканинах та прискорюють енергетичний обмін.
- А. АТФази, гідролази.
 - Б. Ліпази, протеїнази.
 - В. Дегідрогенази, оксидази.
 - Г. Синтетази, лігази.

Розділ 7

ВІТАМІНИ



Вітаміни — це група низькомолекулярних органічних речовин, що здебільшого **не утворюються в організмі**, але необхідні для його життєдіяльності, оскільки регулюють обмін речовин. Вітаміни впливають на процеси розмноження, росту, енергоутворення, біосинтезу білка, зору, а також імунітет. За їх відсутності або недостатності у клітинах організму порушується обмін речовин, що призводить до зниження працездатності, погіршення реакцій пристосування до різних впливів середовища та стану здоров'я людини, розвитку певного захворювання. Оскільки вітаміни не утворюються в клітинах організму (окремі лише частково можуть синтезуватись мікрофлорою кишечника, а вітамін D у шкірі та тканинах), їх відносять до незамінних факторів харчування. Вони повинні надходити з продуктами харчування (овочі, фрукти, печінка, яйця тощо).

Вітаміни відкрив російський учений М.І. Лунін (1880), а назву вітаміни (лат. *vita* — життя, тобто “аміни життя”) дав їм польський дослідник К. Функ (1912). Академік НАН України В.Р. Чаговець, засновник кафедри хімії та біохімії у КДІФК (1953), як і його послідовники, зробив суттєвий внесок у розкриття біологічної ролі вітамінів в організмі людини.

КЛАСИ, ДОБОВА ПОТРЕБА ТА БІОЛОГІЧНА ДІЯ ВІТАМІНІВ

У наш час відомо близько 50 вітамінів та вітаміноподібних речовин. Кожний із них має назву хімічну та у вигляді латинських букв (табл. 3 і 4).

Таблиця 3. Добова потреба дорослої людини, біологічна дія та прояви авітамінозу жиророзчинних та водорозчинних вітамінів

Вітамін	Хімічна назва	Добова норма, мг	Біологічна дія	Ознаки авітамінозу
<i>Жиророзчинні вітаміни</i>				
A	Ретинол	1—1,5	Регулює процеси зору та росту, підсилює біосинтез білків, захищає від бактерій та токсичних пероксидних сполук (антиоксидантна дія)	Втрата зору (ксерофтальмія)
D	Кальциферол	0,025	Регулює обмін Ca та P, їх надходження до кісток, що надає їм міцності, бере участь у збудженні та скороченні м'язів	Розрихлення кісток, переломи, слабкий розвиток дитини (рахіт), остеомалія у дорослих
E	Токоферол	20	Антиоксидант, регулює процеси розмноження, біосинтезу білка (анаболічна дія), аеробного енергоутворення	Дистрофія м'язів, безпліддя
K	Філохінон	3	Сприяє зсіданню крові, механізму аеробного енергоутворення, утворенню білків у кістках	Надмірні кровотечі
<i>Водорозчинні вітаміни</i>				
B ₁	Тіамін	1,5—2,5	Впливає на окиснення вуглеводів та амінокислот, функцію нервової системи	Поліневрит, м'язова слабкість (бері-бері)
B ₂	Рибофлавін	2—3	Входить до складу ФАД, який бере участь в аеробному енергоутворенні	Анемія, тріщини на губах та сухість шкіри

Віта-мін	Хімічна назва	Добова норма, мг	Біологічна дія	Ознаки авітамінозу
В ₃	Пантотенова кислота	10	Входить до складу коферменту ацетилювання (Ко-А або КоА-SH), що регулює процеси розпаду вуглеводів і жирів та біосинтезу глюкози і стероїдів	Порушення нервово-м'язової діяльності
В ₅ (РР)	Нікотинова кислота, нікотинамід, ніацин	15—25	Входить до складу переносників гідрогена НАД та НАДФ, що регулюють процеси енергоутворення (АТФ) та біосинтезу речовин	Хвороба три "Д" або пелагра (дерматиди, діарея, деменція — сухість шкіри, понос, порушення психіки, втрата пам'яті)
В ₆	Піридоксин, піридоксаль	2—3	Регулює обмін білків (анаболічна дія), розпад глікогену, біосинтез біологічно активних амінів (гістаміну, серотоніну, ГАМК)	Дерматиди, що не лікуються вітаміном РР
В ₁₂	Ціанкобаламін	0,003	Регулює обмін амінокислот та нуклеїнових кислот, біосинтез білка (анаболічна дія), окиснення вуглеводів, покращує функцію печінки	Анемія, розлади нервової системи та координації рухів
С	Аскорбінова кислота	70—100	Регулює процеси енергоутворення (АТФ), біосинтез білка (анаболічна дія), у тому числі колагену, який необхідний для м'язів, сухожиль, зв'язок, судин. Впливає на проникність капілярів, синтез стероїдних гормонів, стійкість до інфекційних захворювань. Антиоксидант	Крововиливи, порушення проникності судин (цинга). Для запобігання цинги достатньо 10 мг вітаміну

Віта-мін	Хімічна назва	Добова норма, мг	Біологічна дія	Ознаки авітамінозу
Р	Рутин	30	Підвищує надходження кисню до тканин, регулює проникність капілярів, підсилює дію вітаміну С	Порушення проникності судин
Н	Біотин	2	Впливає на біосинтез жирних кислот, окиснення вуглеводів (енергоутворення)	Запалення залоз шкіри (себорея), порушення функції м'язів, психічної діяльності, швидке стомлення

Таблиця 4. Вітаміноподібні речовини та їх біологічна дія в організмі людини

Вітаміно-подібна речовина	Хімічна назва	Добова норма для дорослих, мг	Біологічна дія
В ₈	Інозит	1000	Регулює функцію нервової системи, вихід жирів із печінки (ліпотропна дія), перистальтику шлунка
В ₉ або В ₁₂	Фолієва кислота	0,2	Регулює біосинтез білка (анаболічна дія), процеси енергоутворення та кровотворення (антианемічна дія)
В ₁₃	Оротова кислота	Не відомо	Регулює біосинтез нуклеїнових кислот (анаболічна дія)
В ₁₅	Пангамова кислота	2	Сприяє надходженню кисню до тканин та ефективності його використання, збільшує вміст глікогену у печінці, креатинфосфату у м'язах

Вітамінно-подібна речовина	Хімічна назва	Добова норма для дорослих, мг	Біологічна дія
Кофермент Q	Убіхінон	Не відомо	Бере участь в утворенні АТФ в аеробному процесі як компонент дихального ланцюга
Вітамін N	Ліпоєва кислота	2	Регулює обмін вуглеводів та жирів, в тому числі холестерину. Запобігає ожирінню печінки і захищає її від токсичних речовин
Холін		250—600	Впливає на обмін амінокислоти метіонін, покращує біосинтетичну функцію печінки, захищаючи її від ожиріння
Вітамін U	S-метил-метіонін	Не відомо	Запобігає утворенню виразок у шлунку
Карнітин		500	Підсилює окиснення жирних кислот у тканинах

Вітаміни за їх розчинністю поділяються на дві групи: водорозчинні та жиророзчинні.

Водорозчинні вітаміни легко надходять до організму разом із водою, а їх надлишок швидко виводиться із сечею. Тому організм потребує систематичного надходження цих вітамінів. У разі їх недостатнього надходження чи довготривалого ненадходження або незасвоєння розвиваються гіповітамінози або авітамінози. При цьому вони не виявляються в сечі. До водорозчинних вітамінів належать вітаміни групи В (В₁, В₂, В₃, В₆, В₁₂), вітаміни С, Р, РР або В₅, Н, а також фолієва кислота, яка часто розглядається як вітамінopodobна речовина (див. табл. 4).

Жиророзчинні вітаміни всмоктуються у кишечнику та транспортуються в тканини тільки разом із жирами. У жирових тканинах вони можуть відкладатися та запасатися, тому організм меншою мірою залежить від їх недостатнього надходження. Надмірне надходження цих вітамінів може спричинити захворювання (гіпервітаміноз). До жиророзчинних вітамінів належать 4 групи вітамінів: А, D, Е і К (див. табл. 3).

В організмі людини є також група біологічно активних речовин, які називають вітаміноподібними речовинами (див. табл. 4). Вони беруть участь у регуляції процесів обміну подібно до вітамінів, але можуть синтезуватися в тканинах організму і потреба в них значно більша.

Добова потреба людей у вітамінах залежить від віку, рухової активності, стану здоров'я тощо і становить для більшості вітамінів, у середньому, декілька міліграмів, крім вітаміну B_{12} та D, норма яких набагато менша (3 і 30 мкг), та вітаміну C, потреба в якому значно більша — 100 мг (див. табл. 3).

Під час м'язової діяльності потреба у вітамінах збільшується у 2—4 рази через інтенсивність їх виведення з організму та більшого використання у процесі обміну речовин. Але надлишок окремих вітамінів не підвищує фізичної працездатності людини, а значно збільшені концентрації можуть погіршити стан здоров'я. Норми вітамінів також збільшуються у разі застосування антибіотиків, які погіршують надходження їх в тканини, тому що пошкоджують корисну мікрофлору кишечника. А вона сприяє засвоєнню та синтезу окремих вітамінів.

Регуляторна дія вітамінів на обмін речовин пов'язана з **ферментами**. Вітаміни входять до складу небілкової частини ферменту, яку називають коферментом. Коферменти надають ферментам каталітичної активності.

Вітаміни надходять в організм людини переважно з продуктами рослинного походження, де відбувається їх синтез. У продуктах тваринного походження вони містяться у печінці, маслі вершковому, м'ясі, жовтках яєць.

ПОНЯТТЯ ПРО АВІТАМІНОЗ, ГІПОВІТАМІНОЗ ТА ГІПЕРВІТАМІНОЗ

Стан здоров'я людини, його здатність виконувати фізичну роботу та відновлюватися після неї залежить від швидкості біохімічних реакцій в організмі. Тому якщо вміст вітамінів в організмі не відповідає фізіологічній нормі, то це може спричинити різні порушення обміну речовин та перебігу функцій і призвести до захворювання і навіть загибелі організму. Залежно від забезпечення організму вітамінами вирізняють такі три його стани: авітаміноз, гіповітаміноз та гіпервітаміноз.

Авітаміноз — це патологічні зміни в обміні речовин, що викликані довгою відсутністю вітамінів у тканинах організму і проявляються кон-

кретними захворюваннями. У медичній практиці дію вітамінів називають протидією (анти) даному захворюванню. Наприклад, вітамін D запобігає захворюванню малих дітей *рахітом*, тому його іще називають антирахітичним, вітамін С — *цингою* (антицинговий), вітамін В₁ — *бері-бері* або поліневритом (антиневритний). Причинами авітамінозів можуть бути: неповноцінне харчування, порушення процесів всмоктування у кишечнику, прискорений розпад у тканинах або виведення з організму, наприклад, під час стресу, фізичних навантажень.

Гіповітаміноз — це певні зміни в обміні речовин, що зумовлені зниженим вмістом вітамінів у тканинах організму і супроводжуються, наприклад, для вітаміну А, зниженням чіткості зору в сутінках, що називають "*курячою сліпотою*", для вітамінів групи В — змінами стану шкіри (дерматиди), для вітаміну С — зменшенням опору організму до інфекційних захворювань тощо. Гіповітамінози спостерігаються у разі неповноцінного харчування, порушення процесу всмоктування вітамінів у кишечнику або ж навесні, коли їх вміст у продуктах харчування зменшився. Для своєчасного виявлення такого стану слід визначати вміст вітамінів у крові та сечі.

Гіпервітаміноз — це зміни в обміні речовин, які викликані надлишком вітамінів у тканинах організму, що характерно для жиророзчинних, особливо А та D. Так, при накопиченні вітаміну А у тканинах можна втратити слух, волосся і навіть померти, тому що він, як і вітамін D, у великих кількостях токсичний. Використання вітаміну С в надмірних кількостях тривалий час, особливо синтетичного, закислює рідинне середовище, активує процеси тромбоутворення та пероксидного окиснення речовин, які пошкоджують мембрани клітин.

ВИКОРИСТАННЯ ВІТАМІНІВ ПІД ЧАС М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТА У ПЕРІОД ВІДНОВЛЕННЯ

Під час м'язової діяльності підсилюється обмін речовин, тому прискорюється розпад вітамінів у тканинах та їх виведення з організму. У процесі адаптації організму до систематичних тренувань збільшується кількість ферментів у тканинах, для побудови яких потрібні вітаміни. Тому для спортсменів норми вітамінів збільшені в середньому в 2—4 рази. Забезпечити таку кількість вітамінів можна тільки за рахунок спеціально збалансованого харчування. Більшість спортсменів приймають окремі полівітамінні комплекси (вітрум, центрум, комплевіт, дуоденіт, квадевіт, юнікап та ін.).

Для окремих видів спорту, залежно від спрямованості харчування та специфіки діяльності, рекомендуються різні вітаміни. Так, у видах спорту з переважним проявом витривалості використовуються вітаміни В₁, В₂, В₃, В₆, що регулюють аеробні процеси енергоутворення за рахунок окиснення вуглеводів та жирів. У силових видах спорту та у бодібілдингу використовуються вітаміни і вітаміноподібні речовини, що регулюють біосинтез білка, виявляють анаболічний ефект — В₆, В₁₂, С, Е, А, фолієва кислота, В₁₃ та В₁₅. Вітамін А більшою мірою необхідний для тих спортсменів (біатлоністів, автогонщиків, стрільців-лучників), для яких важлива чіткість зору. Окремі вітаміни А та D або їх комплекс "Аевіт", а також вітамін С приймаються у період підготовки до змагань для захисту організму від продуктів пероксидного окиснення ліпідів, що накопичуються під час напружених тренувань та викликають стомлення.

Забезпечення організму спортсмена вітамінами створює умови для його ефективної спортивної діяльності без ускладнень стану здоров'я.

У практиці фізичної реабілітації вітаміни є важливим фактором прискорення процесів відновлення після певних захворювань або фізичних навантажень. Тому необхідно знати про забезпеченість організму вітамінами, виходячи із особливостей харчування, та при їх дефіциті рекомендувати додаткове надходження з продуктами або у вигляді полівітамінних комплексів чи харчових біологічно активних добавок. Серед великої кількості сучасних полівітамінних комплексів для загального оздоровлення, профілактики розвитку гіпо- та авітамінозів краще вибирати ті, що містять також мінерали, амінокислоти та біологічно активні пептиди (таурин та ін.).

Контрольні запитання

1. Які існують класи вітамінів? Назвіть їх представників.
2. Що розуміють під поняттям авітаміноз, гіповітаміноз та гіпервітаміноз?
3. Які вітаміни беруть участь в енергозабезпеченні м'язової діяльності?
4. Як і чому збільшуються норми споживання вітамінів спортсменами?
5. Які вітаміни необхідно рекомендувати спортсменам, що спеціалізуються з видів спорту з переважним проявом сили, витривалості?

6. Які існують основні вітамінні комплекси, що використовуються спортсменами та хворими під час реабілітації?
7. Які вітаміни мають надходити в організм спортсмена для зменшення накопичення шкідливих пероксидних сполук під час напружених фізичних тренувань? Як називають таку їхню дію?

Ситуаційні завдання

1. Під час біохімічного обстеження спортсменів перед змаганнями у першій групі виявлено вітамін С у сечі, а у другій — ні. Яка із двох груп спортсменів виявить кращу фізичну працездатність? Дайте пояснення та розкрийте біологічну роль вітаміну С.
2. У людини прояви дерматиду супроводжуються втратою пам'яті та галюцинаціями. З яким вітаміном та станом пов'язані такі зміни? Чи буде це впливати на її фізичну працездатність?

Завдання для самостійної роботи студентів

- Дайте порівняльну характеристику декількох полівітамінних комплексів, напряму їхньої дії та специфічності використання у спортивній практиці та фізичній реабілітації.

Тести для контролю знань

1. Чому вітаміни мають постійно надходити до організму?
 - А. Більшість не синтезується і не затримується в тканинах, але є регуляторами біохімічних процесів.
 - Б. Вітаміни синтезуються в тканинах, але в недостатній кількості.
 - В. Вітаміни потрібні людині у великій кількості.
 - Г. Вітаміни досить швидко руйнуються.
2. Вказати на причини авітамінозів.
 - А. Надлишок вітамінів.
 - Б. Тривала відсутність вітамінів у тканинах.
 - В. Перевантаження організму.
 - Г. Гіпоксичний стан.
3. Назвати основні вітаміни, що стимулюють процеси анаболізму і відновлення організму.
 - А. В₂, В₃, К, Н.
 - Б. В₁, Р, D, К.

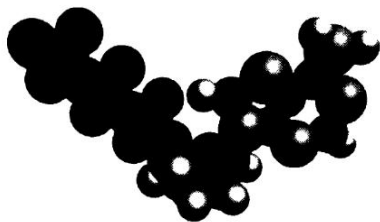
В. В₁₂, С, А, Е.

Г. В₆, Р, В_с, В₁₅.

4. Яка доцільність використання вітамінних препаратів під час фізичної реабілітації?
- А. Створити умови для покращення пластичного й енергетичного обміну.
 - Б. Підсилити процеси розпаду поживних речовин.
 - В. Активувати біосинтез білка.
 - Г. Покращити роботу серцево-судинної системи.
5. У чому полягає антиоксидантна дія вітамінів та які з них таку дію виявляють?
- А. Запобігають накопиченню кислих компонентів метаболізму. В₁, В₂, В₃.
 - Б. Запобігають накопиченню перекисних сполук. А, Е, С.
 - В. Запобігають розвитку гіпоксії. В_с, В₁₅, В₁₃.
 - Г. Запобігають нарощуванню м'язової маси. РР, Р, С.
6. Чи буде підвищуватися фізична працездатність у разі надмірного надходження вітамінів?
- А. Так, підвищується.
 - Б. Не зміниться.
 - В. Ні, може навіть погіршитися.
 - Г. Так, чим більше вітамінів, тим краще м'язи працюють.

Розділ 8

ГОРМОНИ — СПЕЦИФІЧНІ РЕГУЛЯТОРИ ОБМІНУ РЕЧОВИН



Узгодженість різних метаболічних процесів, здатність їх змінюватися у відповідь на дію різних стресових факторів, у тому числі фізичних тренувань, забезпечуються регуляторними системами. Виділяють три такі регуляторні системи: **автономну (на рівні діяльності ферментів), нервову та гормональну.**

Гормональна, або ендокринна, система має важливе значення у перебудові метаболізму під час розвитку термінової і довготривалої адаптації організму до фізичних навантажень, у процесах відновлення після дії стресу та у підтриманні нормального функціонування різних систем організму. Вона регулює ці процеси за допомогою біологічно активних речовин — гормонів.

ХІМІЧНА ПРИРОДА ТА ВЛАСТИВОСТІ ГОРМОНІВ

Гормони — це різні за хімічною природою органічні речовини, що синтезуються у спеціальних залозах внутрішньої секреції, або ендокринних залозах. Із них вони безпосередньо виділяються у кров чи іншу рідину, доставляються до тканин-мішеней, де регулюють різні процеси обміну та транспорту речовин, підсилюють їх чи гальмують.

Діяльність залоз внутрішньої секреції, яка полягає у біосинтезі гормонів та секреції їх у кров, контролюється нервовою системою та

рівнем гормонів і метаболітів у крові, що називають зворотним зв'язком.

Гормональна система підтримує відносний хімічний гомеостаз та роботу фізіологічних систем організму навіть за виснажливих фізичних навантажень.

За хімічною будовою гормони поділяють на стероїдні (похідні холестерину) та нестероїдні (білки, пептиди та похідні амінокислот).

Стероїдні гормони проникають через клітинні мембрани і можуть регулювати обмін речовин на генетичному рівні. До них належать гормони статевих залоз та кіркової речовини надниркових залоз.

Нестероїдні гормони не розчиняються у жирах і тому не можуть проникати через ліпідну мембрану клітин. Вони діють на поверхневу мембрану клітин-мішеней. До нестероїдних належать гормони щитоподібної та мозкової речовини надниркових залоз, які утворюються із амінокислот тирозину і фенілаланіну, а також гормони гіпофізу та підшлункової залози, які є білками та пептидами.

Клітини-мішені — це клітини тих тканин, які мають рецептори до певного гормону. Рецептори — високоспецифічні білки — впізнають свій гормон і зв'язуються з ним з утворенням гормон-рецепторного комплексу. Клітини-мішені можуть мати до 2000—10 000 рецепторів. Одні із них забезпечують активаторну дію гормону, а інші — інгібіторну (пригнічувальну).

Кількість рецепторів може змінюватися при деяких захворюваннях, наприклад, зменшується число інсулінових рецепторів у скелетних м'язах при незалежному від інсуліну цукровому діабеті. Крім того, може змінюватися чутливість рецепторів до гормонів. Якщо вона зменшується, то клітини не відповідають на дію гормонів (десенсібілізація).

Під час фізичних тренувань чутливість рецепторів до дії гормонів, зокрема адреналіну, збільшується, що сприяє ефективнішому регулюванню енергетичних процесів.

Для гормонів характерними є такі властивості. Усі гормони високоактивні речовини, справляють регуляторну дію в дуже малих концентраціях (мкмоль), що утрудняє визначення їхнього рівня. Гормони виконують регуляторну дію дистанційно, тобто синтезуються в одному місці, а діють в іншому, куди доставляються з кров'ю спеціальними речовинами. Гормони постійно синтезуються та розпадаються, тому мають короткий термін існування. Особливо

інтенсивно перебігає їх обмін під час фізичних тренувань, коли швидкість метаболізму збільшується в десятки разів.

МЕХАНІЗМ ДІЇ ГОРМОНІВ

Гормони регулюють процеси обміну речовин, впливаючи на:

1. Активність ферментів. Так, адреналін та глюкагон не проникають усередину клітин печінки, а через рецептори та вторинні передавачі (аденозин-3'-5'-монофосфат циклічний або цАМФ, Ca^{2+} та ін.) активують фермент фосфорилазу, що відщеплює молекули глюкози від глікогену. Це прискорює мобілізацію вуглеводів, їх підключення до енергообміну та забезпечує високий рівень глюкози у крові.

2. Біосинтез білка. Наприклад, стероїдні гормони статевих залоз — тестостерон та естрадіол — проникають усередину клітин і збільшують швидкість синтезу окремих білків на генетичному рівні, справляючи анаболічну дію. Тому стероїдні гормони регулюють процеси росту, диференціацію клітин, прискорюють процеси відновлення організму після напружених тренувань та закладають біохімічну основу довготривалої адаптації організму, збільшуючи швидкість біосинтезу різних білків: структурних чи скоротливих у м'язах, а також ферментів та гормонів.

3. Проникність мембран для окремих речовин. Наприклад, інсулін — гормон підшлункової залози — взаємодіє із рецептором поверхневої мембрани клітин скелетних м'язів та інших тканин і значно збільшує проникнення в клітини молекул глюкози та амінокислот. Таким чином, він створює умови для накопичення глікогену та біосинтезу білка в них, що сприяє збільшенню маси та сили м'язів, тобто виявляє анаболічну дію.

БІОЛОГІЧНА РОЛЬ ОКРЕМИХ ГОРМОНІВ В ОРГАНІЗМІ ТА ЇХ ВПЛИВ НА М'ЯЗОВУ ДІЯЛЬНІСТЬ

Значення окремих гормонів в організмі людини та їх вплив на м'язову діяльність наведено у табл. 5. Надлишкове утворення та секреція гормонів залозою (гіперфункція), як і недостатнє (гіпофункція), призводить до порушення обміну речовин та розвитку окремих захворювань.

Таблиця 5. Регуляція процесів метаболізму окремими гормонами та їх участь у забезпеченні м'язової діяльності

Залоза	Гормон	Біологічна роль	Вплив на м'язову діяльність
Гіпофіз	Регулює біосинтетичні процеси (ріст), функції інших залоз та органів		
Передня частка	Гормон росту або соматотропний (СТГ)	Підсилює синтез речовин, особливо білка (анаболічна дія), пригнічує окиснення вуглеводів та активує окиснення жирів. Гіперфункція у дітей викликає гігантизм, а у дорослих — хворобу акромегалію. Гіпофункція у дітей призводить до карликовості, а у дорослих — до порушення обміну речовин	Підсилює окиснення жирів під час роботи та процеси біосинтезу або відновлення після неї
Задня частка	Тиреотропний (ТТГ)	Активує функцію щитоподібної залози, підсилює основний обмін	Підсилює дію гормонів щитоподібної залози
	Адренокортикотропний (АКТГ)	Регулює функцію кіркової речовини надниркових залоз	Запускає адаптивні реакції
	Гонадотропні (ГТГ)	Регулюють функції статевих залоз, процеси запліднення	Анаболічні ефекти в період відновлення
	Пролактин	Стимулює лактацію	
	Антидіуретичний (АДГ) або вазопресин	Регулює функції нирок та водно-сольовий обмін, пригнічує утворення сечі, а також підвищує артеріальний тиск. При гіпофункції розвивається нецукровий діабет, що супроводжується поліурією	Затримує воду і запобігає зменшенню об'єму крові під час тривалих фізичних навантажень
	Окситоцин	Стимулює скорочення гладеньких м'язів	

Залоза	Гормон	Біологічна роль	Вплив на м'язову діяльність
Щито- подібна	Тироксин або тетра- йодтиронін (T ₄) та його попередник трийод- тиронін (T ₃)	Активують процес мобілізації вуглеводів та жирів, їх окиснення. Стимулюють біосинтез білка у молодому віці. Гіперфункція викликає базедову хворобу, а гіпофункція — кретинізм	Підвищують інтенсивність енергетичного обміну
	Кальцитонін	Затримує Ca ²⁺ в кістках	Сприяє міцності кісток
Пара- щито- подібна	Паратгормон	Підсилює всмоктування у кров Ca ²⁺ із кишечника та вихід його із кісток при зменшенні Ca ²⁺ в крові, тобто регулює обмін кальцію	Регулює вміст Ca ²⁺ в кістках та крові
Під- шлун- кова	Інсулін	Знижує рівень глюкози в крові шляхом збільшення проникності її в клітини скелетних м'язів та жирової тканини, що сприяє синтезу (депонуванню) глікогену. Таку саму дію проявляє по відношенню до амінокислот та жирних кислот. Тому він підсилює синтез білка та жиру в тканинах, тобто виявляє <i>анаболічну дію</i> . Крім того інсулін пригнічує процеси глікогенолізу, глюконеогенезу та ліполізу. У разі гіпофункції — цукровий діабет	Під час м'язової діяльності рівень інсуліну знижується, що підсилює розпад глікогену та жирів у тканинах та покращує енергоутворення у м'язах
	Глюкагон	Підвищує рівень глюкози у крові, активуючи розпад глікогену у печінці та її новоутворення, стимулює розпад жирів, покращуючи енергетику організму	Підсилює енергообмін

Залоза	Гормон	Біологічна роль	Вплив на м'язову діяльність
Над-нирко-ва залоза: кіркова речовина	Кортикостероїди, що поділяються на три групи: глюкокортикостероїди (кортизол)	Регулюють реакції пристосування (адаптації) шляхом мобілізації енергетичних джерел та підсилення біосинтезу адаптогенних білків і процесу новоутворення вуглеводів	Прискорюють енергетичний обмін, запускають адаптаційні реакції, в тому числі новоутворення глюкози, що запобігає вичерпанням запасів вуглеводів
	Мінералокортикостероїди (альдостерон)	Контролюють сталість об'єму плазми крові, затримуючи натрій і H_2O та виводячи калій, нормалізують електролітичний баланс	Затримує Na та H_2O в організмі та запобігає зневодненню, підтримує сталість тиску крові
	Гонадокортикостероїди (в невеликій кількості андрогени та естрогени)	Виконують функції, подібні до статевих гормонів	Анаболічний вплив
Мозкова речовина	Адреналін та норадреналін (катехоламіни)	Підвищують рівень глюкози у крові, стимулюючи розпад глікогену у печінці, підсилюють розпад глікогену в скелетних м'язах. Запускають стрес-реакції	Поліпшують енергоутворення в скелетних м'язах та інших тканинах. Підвищують тонус судин та ЧСС
Статеві	Чоловічі — андрогени (тестостерон). Найсильніша анаболічна дія	Виявляють андрогенну дію — формують вторинні статеві ознаки, регулюють статеву сферу; анаболічну дію — підсилюють біосинтез білка у скелетних м'язах та інших тканинах	Прискорюють процеси відновлення після навантажень, нарощування м'язової маси та активують процеси адаптації
	Жіночі — естрогени (естрадіол та прогестерон)	Регулюють статеву та дітородну функції, підсилюють біосинтез білка у матці, міокарді та печінці	Впливають на відновні процеси, як і чоловічі, але менш виражено

ГОРМОНИ, ЩО РЕГУЛЮЮТЬ АНАБОЛІЧНІ ПРОЦЕСИ

Гормони, які підсилюють біосинтез білка у скелетних м'язах, кістках, інших тканинах, тобто виявляють анаболічну дію, відіграють велику роль у спортивній діяльності. Вони зумовлюють ріст м'язів, прискорюють відновлення та адаптацію організму до фізичних навантажень. До них належать **стероїдні гормони**: статеві — тестостерон та гонадокортикостероїди, а також **нестероїдні**, які утворюються в гіпофізі — соматотропін та гонадотропін. Ці гормони, як і створені синтетично гормональні препарати (неробол, стенолон, нандролон та ін.), використовуються в практиці спорту для підвищення фізичних здатностей спортсменів.

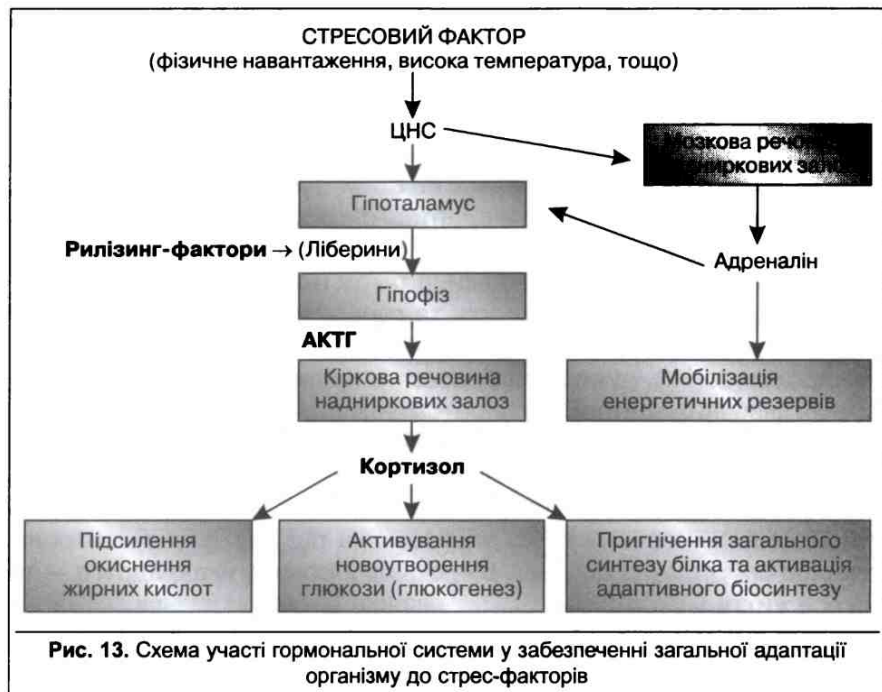
Гормональні препарати заборонені для використання у спорті і належать до одного з п'яти класів **допінгів** — анаболічних стероїдів. Їх систематичне використання дуже шкідливе для здоров'я. У разі виявлення їх у сечі чи крові спортсменів під час допінг-контролю вперше спортсмена дискваліфікують на 2 роки, а якщо вдруге — то на все життя.

УЧАСТЬ ГОРМОНІВ У ПРОЦЕСАХ АДАПТАЦІЇ ОРГАНІЗМУ ДО ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Згідно з теорією Г. Сельє, гормони відіграють велику роль у розвитку реакцій загального пристосування (адаптації) та підтриманні хімічного гомеостазу під час м'язової діяльності. Адаптивна перебудова метаболізму регулюється, в основному, за такою схемою: гіпоталамус — гіпофіз — надниркова система (рис. 13).

За умов стресу ці гормональні зміни забезпечують енергетику м'язової діяльності, підтримують водно-електролітичний баланс, викликають адаптивну перебудову біосинтезу білка, завдяки чому організм "справляється" зі стресом. За довготривалої дії стрес-факторів функції ендокринних залоз виснажуються і відбувається "зрив" адаптаційних реакцій.

Систематичне спортивне тренування веде до адаптації гормональної системи, вона стає економнішою, що сприяє високій ефективності її регуляторної дії під час м'язової діяльності. Під впливом фізичних навантажень можливе збільшення чутливості рецепторів



до гормонів та ферментів до вторинних передавачів гормональної дії. За таких умов незначні зміни рівня гормонів у крові будуть викликати суттєве прискорення метаболізму у тканинах тренованого організму (Калинський, Курський, Осипенко, 1986).

Контрольні запитання

1. Яку загальну роль відіграють залози внутрішньої секреції та гормони в організмі?
2. Які бувають гормони за хімічною природою?
3. Що таке тканини-мішені?
4. Як гормони регулюють процеси метаболізму та функції організму?
5. Які гормони та як підтримують рівень глюкози у крові? Як змінюється ця регуляція під час м'язової діяльності?
6. Які гормони запобігають зневодненню організму під час фізичних тренувань?

7. Який механізм дії гормонів стероїдної природи та яку роль вони відіграють у спортивній діяльності?

Ситуаційні завдання

1. Культуристи у період тренувань використовують у раціоні харчування речовини інсуліноподібної дії. Поясніть, на що спрямоване їх використання та чи потрібно їх застосовувати легкоатлетам-марафонцям.
2. У спортсменів високої кваліфікації підвищена чутливість рецепторів клітин-мішеней до гормонів. Поясніть, як це впливає на швидкість метаболізму за умов відносного спокою та під час м'язової роботи.

Завдання для самостійної роботи студентів

- Розкрийте роль гормонів у забезпеченні м'язової діяльності.
- Опишіть основні зміни метаболізму при гіпер- та гіпофункціях таких залоз: гіпофізу, щитоподібної та підшлункової.

Тести для контролю знань

1. Де в організмі синтезуються гормони?
 - А. У скелетних м'язах.
 - Б. У тканинах-мішенях.
 - В. В ендокринних залозах.
 - Г. У крові.
2. Як гормони регулюють обмін речовин (механізм дії)?
 - А. Прискорюють дію ферментів, розпад білка або проникність речовин через мембрани клітин.
 - Б. Регулюють активність ферментів, біосинтез білка або проникність речовин через мембрани клітин.
 - В. Збільшують вміст АТФ.
 - Г. Прискорюють процеси виділення.
3. Який гормон проявляє сильний анаболічний ефект? Що це означає?
 - А. Адреналін, активує обмін вуглеводів.
 - Б. Тиреотропін, прискорює розпад речовин.
 - В. Тестостерон, підсилює синтез білка.
 - Г. Тироксин, регулює основний обмін речовин.

4. Назвати гормони, які запускають реакції адаптації до фізичних навантажень.
- А. Адреналін, АКТГ.
 - Б. Глюкагон, інсулін.
 - В. Тироксин, соматотропін.
 - Г. Вазопресин, прогестерон.
5. Як змінюється синтез гормонів під час довготривалих фізичних навантажень?
- А. Не змінюється.
 - Б. Зменшується або припиняється.
 - В. Прискорюється.
 - Г. У різних залозах по-різному: або збільшується, або пригнічується.
6. Які зміни у гормональній системі з'являються під час адаптації до фізичних навантажень?
- А. Збільшується рівень гормонів у крові у стані спокою.
 - Б. Швидкість біосинтезу гормонів не змінюється.
 - В. Підвищується чутливість рецепторів до гормонів, що створює більш тонку регуляцію метаболізму.
 - Г. Зміни залежать від методики тренування.

Розділ 9

ОБМІН ВУГЛЕВОДІВ



Вуглеводи мають велике значення в забезпеченні м'язової діяльності людини, оскільки є головними постачальниками енергії під час виконання інтенсивних, а також довготривалих помірно інтенсивності фізичних вправ. Від їх запасів у тканинах залежить не лише фізична працездатність людини, а й перебіг біосинтетичних (пластичних) процесів, що забезпечують ріст, самовідновлення та відновлення організму після навантаження. Запаси вуглеводів в організмі незначні. Вони підтримуються шляхом раціонального харчування, тому що в організм вуглеводи надходять переважно з їжею. Щоб зрозуміти, яким чином вуглеводи підвищують фізичну працездатність та поліпшують процеси відновлення організму, слід розглянути їх будову та тканинний обмін.

БУДОВА ТА БІОЛОГІЧНА РОЛЬ ВУГЛЕВОДІВ

Вуглеводи — це клас органічних речовин, побудованих із атомів С, Н і О у співвідношенні 1:2:1 і мають відповідно формулу $C_nH_{2n}O_n$ або $C_n(H_2O)_n$, де $n = 3$ та більше.

Вміст вуглеводів в організмі людини становить лише 2—3 % сухої маси тіла. Запаси їх зосереджені у печінці (близько 100 г) та скелетних м'язах (до 250—400 г) у вигляді складних вуглеводів (полісахаридів), яким є глікоген. Там запасається близько 2000 ккал (8360 кДж) енергії, завдяки якій можна інтенсивно працювати протягом 0,5—1,5 год, а неінтенсивно — більш тривалий час (до 12 год). Виявлений

прямий взаємозв'язок між запасами глікогену в скелетних м'язах і тривалістю фізичної роботи незалежно від попереднього харчування.

Вуглеводи забезпечують близько 55—60 % енергетичних потреб організму, а під час довготривалої роботи до 70 %, при цьому запаси їх суттєво зменшуються, що викликає стомлення. Для запобігання розвитку стомлення під час тривалої роботи та зниження запасів вуглеводів слід через кожну годину від початку роботи споживати невелику кількість (близько 50 г) легкозасвоюваних вуглеводів.

Добова потреба у вуглеводах дорослої людини становить 300—400 г, а у разі спортивної діяльності — до 700 г і більше залежно від маси тіла та енергетичних витрат. На вуглеводи багата рослинна їжа, оскільки вони синтезуються в рослинах у процесі фотосинтезу із CO_2 , H_2O та енергії Сонця. Найбільше вуглеводів містять злакові та мучні вироби (продукти з великим гліколітичним індексом), де їх вміст сягає 80 %, а також картопля, рис, цукор, овочі та фрукти. Багато вуглеводів (глюкози та фруктози) міститься у бджолиному меду.

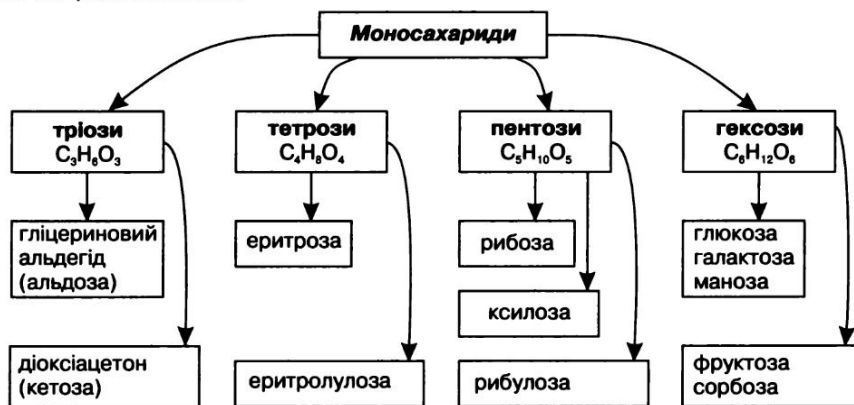


Рис. 14. Класи вуглеводів та їх основні характеристики

Вуглеводи поділяються за складністю будови на прості та складні. Прості — **моносахариди**, складні — **олігосахариди (дисахариди)** та **полісахариди** (рис. 14). Моносахариди не розпадаються на більш прості молекули, а олігосахариди розпадаються під час гідролізу на два (дисахариди) чи більше (до 10) моносахаридів. Полісахариди складаються із багатьох молекул моносахаридів, в основному, глюкози.

МОНОСАХАРИДИ

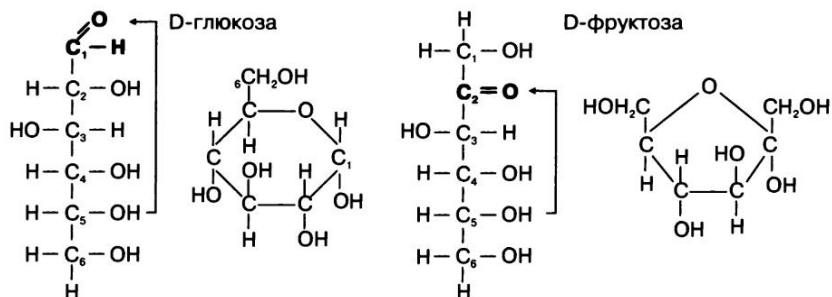
Різноманітностей моносахаридів дуже багато, бо вони можуть мати різну кількість атомів карбону (C_3-C_9) та відрізнятися за наявністю альдегідної $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$ чи кетогруп $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-$, а також положенням функціональних груп (ізомерія). Основні класи моносахаридів та їх представники:



Найважливішими моносахаридами організму є ті, що містять шість атомів карбону (гексози). Це, зокрема, глюкоза та фруктоза. Важливі також ті, що містять п'ять атомів карбону (пентози), до яких належать рибоза та дезоксирибоза, тріози (гліцириновий альдегід та діоксіацетон).

Глюкоза і фруктоза. Це основні енергетичні субстрати організму людини. Вони мають однаковий молекулярний склад ($C_6H_{12}O_6$), але різну структуру молекули, тому що розрізняються наявністю функціональних груп. Глюкоза містить альдегідну групу $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$ (аль-

доза), а фруктоза — кетогрупу (кетоза), як це видно із структурних формул:



Для моносахаридів характерна також просторова ізомерія (стереоізомерія), оскільки вони містять асиметричні атоми карбону, що зв'язані з чотирма різними атомами чи групами атомів. Вирізняють D-форму, коли гідроксильна група знаходиться справа від асиметричного C-атома, та L-форму ізомерів глюкози та інших моносахаридів, коли гідроксильна група знаходиться зліва. Організм може засвоювати моносахариди тільки у D-формі, а амінокислоти — у вигляді L-форми ізомерів.

Рибоза та дезоксирибоза у вільному стані в організмі не використовуються. Найчастіше вони входять до складу інших речовин, тобто беруть участь у пластичних процесах. Рибоза використовується для біосинтезу нуклеотидів (АТФ, АДФ, АМФ та ін.) і РНК, а також багатьох коферментів (НАД, НАДФ, ФАД, ФМН, КоА), а дезоксирибоза — для біосинтезу дезоксирибонуклеотидів та ДНК.

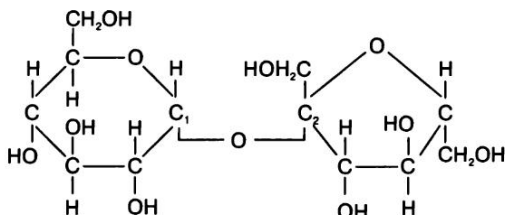
Гліцеринний альдегід і діоксіацетон утворюються в тканинах організму в процесі розпаду вуглеводів та жирів. Вони перетворюються в фосфогліцеринний альдегід, який є високоенергетичним субстратом біологічного окиснення поживних речовин. У процесі подальшого його перетворення утворюються молекула АТФ та піровиноградна або молочна кислота залежно від умов метаболізму, що буде розглянуто нижче.

ДИСАХАРИДИ

Дисахариди побудовані з двох моносахаридів, з'єднаних між собою глікозидним зв'язком. Вони різняться за складом та типом зв'язку. Дисахариди, в основному, надходять в організм із продукта-

ми харчування у вигляді сахарози, лактози та мальтози. Мальтоза також утворюється у травній системі під час розщеплення складних вуглеводів (крохмалю).

Сахароза є основним компонентом цукру і має важливе енергетичне значення. Її молекула побудована із глюкози та фруктози, що з'єднані між собою глюкозидним зв'язком:



У кишечнику вона розщеплюється на моносахариди з участю високоспецифічного ферменту **сахарази**.

Лактоза є основним вуглеводом молока. Вона складається із молекули глюкози та галактози. У кишечнику розщеплюється ферментом **лактазою**.

Мальтоза складається із двох молекул глюкози. У системі травлення розщеплюється під дією ферменту **мальтази**. Таким чином, три різних дисахариди розщеплюються у травній системі індивідуальними високоспецифічними ферментами.

Розглянуті дисахариди, особливо сахароза (харчовий цукор), мають солодкий смак і високу харчову цінність. Тому вони не рекомендуються для харчування людей, хворих на ожиріння і діабет. Їх замінюють штучними речовинами, наприклад, сахарином, що мають солодкий смак, але не засвоюються організмом.

ПОЛІСАХАРИДИ

Полісахариди — це складні вуглеводи, що складаються з багатьох сотень або тисяч залишків однакових моносахаридів, в основному, глюкози (гомopolісахариди) чи різних моносахаридів та їхніх похідних (гетерopolісахариди).

Основними гомopolісахаридами, що складаються з молекул глюкози, є крохмаль та клітковина у рослинах і глікоген у тканинах людей та тварин. Вони мають однакову молекулярну формулу (C₆H₁₂O₅)_n, але відрізняються за кількісним складом та структурою молекул. Ці полісахариди не солодкі на смак і погано розчиняються у воді.

Крохмаль синтезується у рослинах і є основним полісахаридом їжі, постачальником глюкози в організм людини. Він складається із великої кількості залишків D-глюкози. Молекулярна маса крохмалю велика — від 50 000 до 300 000. За будовою він не однорідний і являє собою суміш спіралеподібних ланцюгів амілози (10—20 %) та розгалужених ланцюгів амілопектину (80—90 %). Основними ферментами, які розщеплюють крохмаль їжі, є амілази слини та соку підшлункової залози.

Глікоген — основний резервний полісахарид організму людини і тварин. Складається він з великої кількості зв'язаних між собою молекул глюкози (до 30 000). Його молекулярна маса досягає 1—10 млн. Молекула глікогену має структуру, подібну до амілопектину крохмалю, але розгалуженіша. Завдяки такій структурі глікоген здатний розчинятися у воді. Накопичується (депонується) він переважно у печінці (близько 100 г) та скелетних м'язах (400 г), створюючи запас глюкози в організмі. Його концентрація у тканинах залежить від особливостей харчування, м'язової діяльності, факторів навколишнього середовища. У разі недостатнього надходження вуглеводів із їжею або під час інтенсивної м'язової діяльності запаси глікогену зменшуються, а за надлишкового надходження глюкози з їжею його запаси відновлюються.

Глікоген печінки використовується для підтримання рівня глюкози у крові в періоди між прийомами їжі або інтенсивного її окиснення, а глікоген скелетних м'язів — для енергозабезпечення інтенсивної роботи м'язів. У видах спорту з переважним проявом витривалості використовується спеціальний метод харчування та тренування, який приводить спочатку до вичерпання запасів глікогену, а потім до збільшення його запасів у тканинах (надвідновлення), що створює кращі умови для спортивної діяльності.

Клітковина (целюлоза) — це структурний полісахарид рослин, який надає їм міцності та еластичності. Вона складається з великої кількості залишків глюкози, але в організмі людини майже не розщеплюється, однак регулює перистальтику та активність ферментів тонкого кишечника.

Пектинові речовини складаються із залишків похідних галактуронової кислоти. Вони утворюються у рослинах. Завдяки своїй будові ці речовини здатні адсорбувати (зв'язувати) різні токсичні сполуки, у тому числі й важкі метали, наприклад, свинець. В організмі вони виконують роль природного сорбенту — очищують травну

систему від харчових шлаків. Відтак пектинові волокна необхідні для людини.

Гетерополісахариди дуже важливі для організму людини. З них слід вирізнити групу мукополісахаридів, що відрізняються за хімічним складом і будовою. Найважливішими є **гіалуронова кислота**, **хондроїтинсульфатна кислота** та **гепарин**. Вони містяться у шкірі, сухожиллях, хрящах, кістках, оболонках клітин, міжклітинній та синовіальній рідині, а гепарин — у печінці, інших тканинах та рідинах. Їхні функції різноманітні: зв'язують воду, зменшують тертя у суглобах, захищають слизові оболонки від проникнення мікробів, запобігають зсіданню крові (антикоагулянтна дія гепарину) та прискорюють засвоєння тканинами кисню (антигіпоксична дія).

Біологічна роль вуглеводів в організмі людини досить різноманітна.

Енергетична роль є основною, бо вуглеводи на 55—60 % покривають енергетичні витрати організму. Цю роль виконують глюкоза, фруктоза та глікоген. Під час окиснення 1 г вуглеводів до CO_2 та H_2O утворюється **4,1 ккал (17 кДж)** енергії. Складні вуглеводи у вигляді глікогену, що відкладається в печінці, скелетних м'язах та інших тканинах, створюють запас поживних речовин, тобто енергетичний резерв організму.

Пластична функція вуглеводів полягає в тому, що вони використовуються для побудови АТФ та інших нуклеотидів (рибоза), нуклеїнових кислот — РНК (рибоза) та ДНК (дезоксирибоза), складних білків (глікопротеїди), клітинних мембран, скелету та хрящів.

Захисна роль вуглеводів пов'язана з мукополісахаридами, що входять до складу слизу носової порожнини та інших оболонок і захищають від проникнення вірусів, пилу, а також гепарином, що знаходиться у крові та тромбоцитах і запобігає утворенню кров'яних зсідків. Вуглеводи входять до компонентів імунної системи.

Специфічна роль вуглеводів полягає в тому, що вони входять до складу компонентів групи крові, рецепторів окремих гормонів. Цікавим є те, що у медичній практиці розчин полісахариду декстрину, який утворюють мікроорганізми, використовується як замітник плазми крові при кровотечах, оскільки він за в'язкістю близький до крові.

Регуляторну роль виконують клітковина (целюлоза), а також пектинові речовини. У системі травлення вони не розщеплюються, але регулюють перистальтику кишечника та активність ферментів; пектини добре виводять шлаки.

ХІМІЧНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ВУГЛЕВОДІВ ЇЖІ У ТРАВНІЙ СИСТЕМІ

Прості вуглеводи, зокрема моносахариди, не розщеплюються у травній системі і швидко всмоктуються в тонкому кишечнику. Їх рівень в крові підвищується уже за 15—20 хв після прийому їжі. Дисахариди розпадаються на моносахариди в тонкому кишечнику під дією специфічних ферментів: сахарази, лактази та мальтази. Надходження великої кількості моно- та дисахаридів (більше 150 г) викликає стан гіперглікемії, що активує підшлункову залозу, тому в харчовому раціоні простих вуглеводів має бути 25—35 % норми.

Складні вуглеводи їжі (в основному крохмаль) частково розщеплюються уже в ротовій порожнині під дією ферментів слини **амілази** та **мальтази**, високоактивних у слабколужному середовищі. Амілаза розщеплює крохмаль та глікоген, а мальтаза — мальтозу. При цьому утворюються низькомолекулярні вуглеводи — декстрини, частково також — мальтоза та глюкоза.

У шлунку розщеплення вуглеводів їжі не відбувається, оскільки відсутні специфічні ферменти гідролізу вуглеводів, а кисле середовище шлункового соку (рН 1,5—2,0) пригнічує активність ферментів слини.

У тонкому кишечнику відбувається основний розпад складних вуглеводів їжі під дією ферменту амілази соку підшлункової залози та високоспецифічних ферментів кишечника (мальтаза, сахараза і лактаза) до моносахаридів, в основному глюкози, фруктози та галактози.

Крохмаль їжі повільно розщеплюється у травній системі. Підвищення рівня глюкози в крові починається через 2—3 год після прийому їжі.

Клітковина (целюлоза), якої в організм людини надходить велика кількість з овочами та фруктами, у тонкому кишечнику не розщеплюється через відсутність ферментів. Часткове розщеплення її відбувається до целобіози та глюкози у товстому кишечнику під дією бактеріальних ферментів.

Всмоктування (проникнення через стінки кишечника та кровеносні капіляри) утворених моносахаридів глюкози, фруктози в кров відбувається шляхом активного АТФ-залежного транспорту з участю білка-переносника та градієнта концентрації Na^+ . Наявність у кишечнику іонів Na^+ викликає активацію АТФази та розпад АТФ, енергія якої використовується для проникнення моносахаридів че-

рез стінки кишечника. Всмоктування інших речовин відбувається за допомогою дифузії, оскільки їх концентрація у крові низька, а в кишечнику висока.

Процес всмоктування моносахаридів у кишечнику регулюється нервовою та гормональною системами. Під дією нервової системи може змінюватися проникність кишкового епітелію, ступінь кровопостачання слизової оболонки шлункової стінки та швидкість руху ворсинок кишечника, в результаті чого змінюється швидкість всмоктування моносахаридів у кров. Всмоктування глюкози активується гормонами кіркової речовини надниркових залоз, гіпофізу, щитоподібної та підшлункової залоз і пригнічується адреналіном, гормоном мозкової речовини надниркових залоз.

Інтенсивна м'язова діяльність уповільнює всмоктування вуглеводів, а легка і нетривала робота посилює цей процес. Підвищення температури навколишнього середовища до 35—40 °С пригнічує, а зниження нижче 25 °С посилює всмоктування вуглеводів, що пов'язано, очевидно, зі стимуляцією енергетичного обміну.

РІВЕНЬ ГЛЮКОЗИ У КРОВІ ТА МЕХАНІЗМИ РЕГУЛЯЦІЇ ЙОГО СТАЛОСТІ

Концентрація глюкози в крові дорослої людини у нормі підтримується у межах $3,5\text{—}6,0 \text{ ммоль}\cdot\text{л}^{-1}$ (80—120 мг % — на 100 мл) не зважаючи на різну кількість її вживання та окиснення тканинами протягом дня. Її рівень у крові регулюється печінкою та гормональною і нервовою системами.

Печінка відіграє найважливішу роль в регуляції рівня глюкози в крові. Вона може поглинати або виділяти глюкозу в кров залежно від її концентрації в ній, а також синтезувати із речовин не вуглеводної природи в процесі глюконеогенезу.

При підвищенні глюкози в крові, зокрема після прийому вуглеводної їжі, активується ферментативний процес синтезу глікогену, вона надходить у печінку, де відбувається депонування вуглеводів. При зниженні її рівня в крові підсилюється розпад глікогену в печінці та виділення глюкози в кров (мобілізація вуглеводів). Вміст глікогену в печінці значно знижується під час голодування (наприклад після нічного сну) чи після тривалої 1—2 год фізичної роботи.

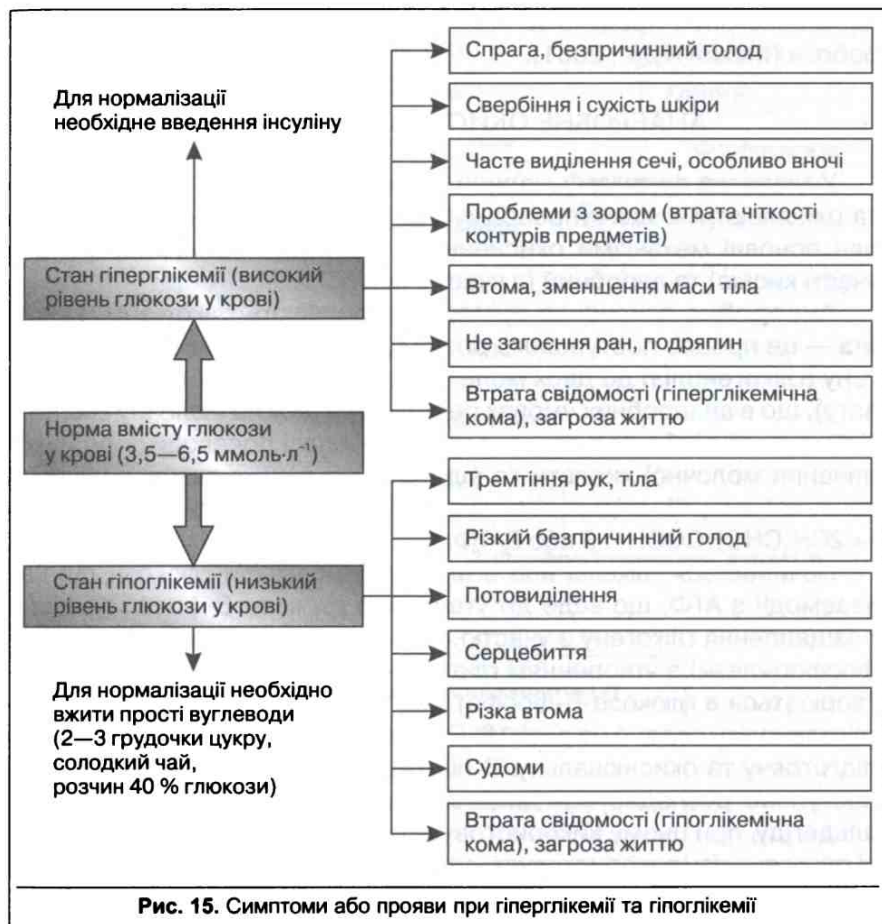
Основними гормонами, що регулюють рівень глюкози в крові і підтримують його сталість, є гормони підшлункової залози — **інсу-**

лін та глюкагон. Інсулін знижує рівень глюкози в крові, коли він підвищений, збільшуючи проникність її через мембрани клітин скелетних м'язів та жирової тканини, що активує синтез глікогену або жиру (у жировій тканині) та їх депонування. Регуляторна дія інсуліну забезпечується завдяки взаємодії його з інсулін-чутливими рецепторами, які є на поверхні мембран інсулін-чутливих тканин. Глюкагон підвищує рівень глюкози в крові шляхом активування розпаду глікогену (мобілізації) у печінці і виділення глюкози у кров. Подібну до глюкагону дію виконують адреналін, норадреналін, тироксин та інші гормони. Виділення цих гормонів регулюється ЦНС.

У разі значного надходження вуглеводів з їжею або інтенсивного розпаду глікогену в печінці рівень глюкози в крові може зростати до $10 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$ і вище, що характеризується як стан **гіперглікемії**. Якщо концентрація глюкози в крові досягає $9\text{—}10 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$, нирки не утримують її (нирковий “бар'єр” для глюкози) і вона з'являється в сечі. Такий стан називають **глюкозурією**. Гіперглікемія може виникати і за умов зниженого використання глюкози тканинами, що найчастіше спостерігається при важкому захворюванні — **цукровому діабеті**. Пов'язане це захворювання або з порушенням біосинтезу гормону підшлункової залози інсуліну (гіпофункція), який регулює проникнення глюкози у тканини (інсулінозалежна форма цукрового діабету), або із втратою чутливості тканинних рецепторів до інсуліну (інсулінонезалежна форма). Оскільки захворювання цукровим діабетом супроводжується, в першу чергу, підвищеним рівнем глюкози в крові (гіперглікемією) і часто своєчасно не виявляється, необхідно знати симптоми, що спостерігаються у людини при цьому. Симптоми, що спостерігаються у разі гіперглікемії, а також гіпоглікемії подано на рис. 15.

Тимчасове підвищення глюкози у крові може спостерігатись одразу після приймання їжі, насиченої простими вуглеводами ($150\text{—}200 \text{ г}$ цукру), що називають **аліментарною гіперглікемією**. Через $2\text{—}3$ год після цього вміст глюкози в крові нормалізується. Стан гіперглікемії може спостерігатись у деяких спортсменів перед стартом та в перші хвилини інтенсивної роботи, коли швидкість розпаду глікогену в печінці збільшується у $7\text{—}10$ разів. Це поліпшує виконання нетривалих фізичних навантажень, але погіршує виконання тривалої роботи.

Зниження рівня глюкози у крові до $3 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$ і нижче (**гіпоглікемія**) спостерігається рідко, оскільки організм може синтезувати



глюкозу з амінокислот та метаболітів обміну жирів у процесі глюконеогенезу. Гіпоглікемія може виникнути під час напруженої тривалої фізичної роботи або тривалого голодування через вичерпання запасів вуглеводів у печінці. Вона спричиняє порушення діяльності мозку, еритроцитів, нирок, для яких глюкоза є головним енергетичним субстратом. При цьому можливі порушення діяльності ЦНС, втрата свідомості (гіпоглікемічна кома) або навіть настання смерті (див. рис. 15). Для запобігання такого стану під час тривалої роботи спортсмени використовують додаткове вуглеводне харчування. Прийом вуглеводів під час фізичних навантажень сповільнює вичерпання за-

пасів глікогену в працюючих м'язах і збільшує тривалість виконання роботи (Мохан и др., 2001).

АНАЕРОБНЕ ОКИСНЕННЯ ВУГЛЕВОДІВ

У тканинах організму людини вуглеводи постійно розпадаються та окиснюються, що супроводжується виділенням енергії. Можливі два основні механізми окиснення вуглеводів — анаеробний (без участі кисню) та аеробний (з участю кисню).

Анаеробне окиснення вуглеводів називають гліколізом. **Гліколіз** — це процес поступового розпаду молекули глюкози або глікогену (глікогеноліз) до двох молекул піровиноградної кислоти (пірувату), що в анаеробних умовах перетворюється на молочну кислоту. Цей процес відбувається у скелетних м'язах і призводить до накопичення молочної кислоти та відновлення АТФ, а також виділення теплової енергії, згідно зі схемою рівняння: $\text{глікоген} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow \rightarrow 2\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2 + 3 \text{ або } 2\text{АТФ}$.

Починається гліколіз або з активації молекули глюкози під час взаємодії з АТФ, що веде до утворення глюкозо-6-фосфату, або з розщеплення глікогену з участю ферменту фосфорилази (глікогенфосфорилази) з утворенням глюкозо-1-фосфату, що швидко перетворюється в глюкозо-6-фосфат без участі АТФ. Схему гліколізу та глікогенолізу подано на рис. 16. Гліколіз включає дві основні стадії — підготовчу та окиснювальну. В підготовчій стадії молекула глюкози поступово розпадається до двох молекул 3-фосфогліцеринового альдегіду, при цьому використовуються дві молекули АТФ. У процесі глікогенолізу використовується лише одна молекула АТФ, тому що до глюкози приєднується H_3PO_4 . В окиснювальній стадії відбувається подальше окиснення метаболіту з утворенням пірувату та чотирьох молекул АТФ, а також 2 молекул відновленого НАДН.

Гліколіз в анаеробних умовах завершується реакцією відновлення піровиноградної кислоти до молочної під дією ферменту лактатдегідрогенази. Джерелом гідрогена слугують молекули НАДН, що утворюються при окисненні 3-фосфогліцеринового альдегіду. При цьому утворюється НАД, що знову включається в гліколіз. Таким чином, кінцевим продуктом анаеробного гліколізу є молочна кислота. В аеробних умовах піровиноградна кислота перетворюється в ацетил-КоА, котрий далі окиснюється у циклі лимонної кислоти до кінцевих продуктів обміну.

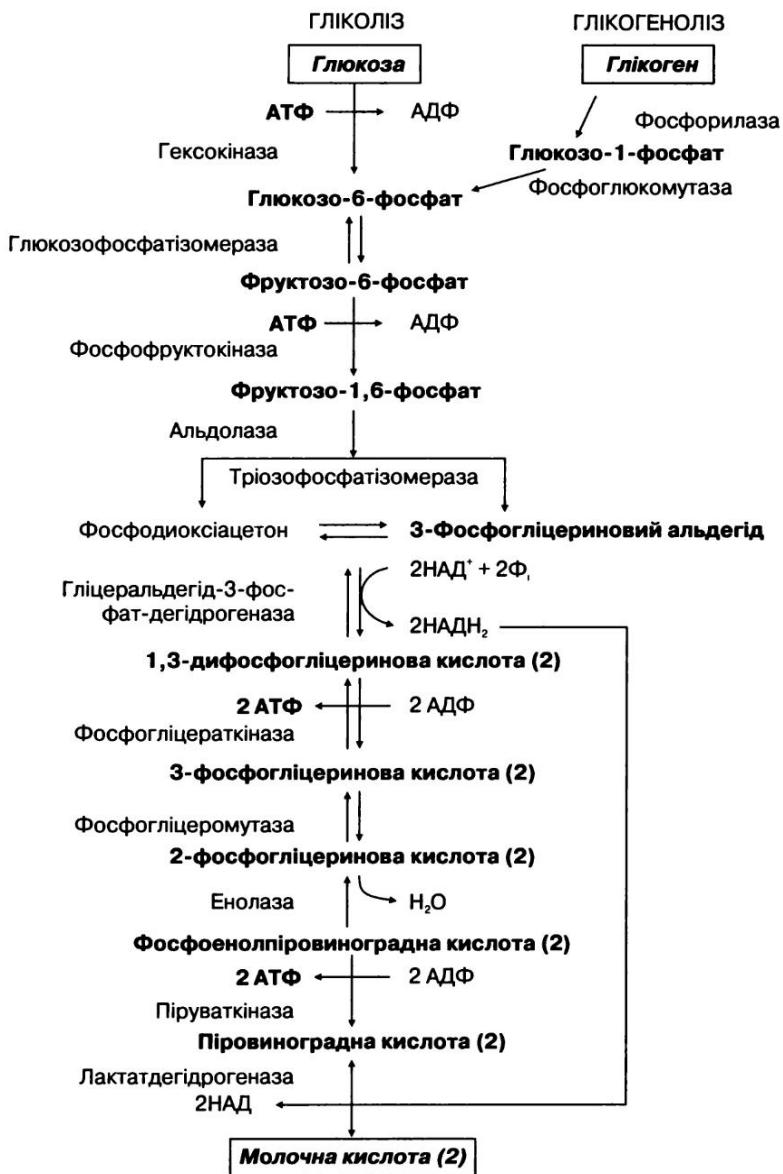


Рис. 16. Схема гліколізу

Ефективність утворення корисної енергії у формі АТФ під час гліколізу становить лише 40 %. Основна частина енергії, що акумульована у молекулі глюкози, залишається у продукті гліколізу — двох молекулах молочної кислоти — може вивільнитися лише у разі їх подальшого аеробного окиснення.

Гліколіз і глікогеноліз забезпечують енергією виконання інтенсивної (анаеробної) роботи від 30 с до 2—5 хв, дозволяють розвинути високий темп роботи до того часу, поки серцево-судинна система не вийде на максимальне функціонування, що відбувається після 1—2 хв роботи чи навіть пізніше. Потрібно звернути увагу на те, що гліколіз більше характерний для II типу м'язових волокон, що швидко скорочуються, де висока активність ферментів цього процесу.

Гліколіз відбувається також у м'язах за їх гіпоксичного стану (нестача кисню), викликаного патологічними змінами метаболізму чи фізіологічних систем, за умов перебування на високогір'ї тощо.

АЕРОБНЕ ОКИСНЕННЯ ВУГЛЕВОДІВ

Аеробне окиснення глюкози — це багатостадійний процес розпаду її молекули до кінцевих продуктів обміну CO_2 і H_2O з утворенням 38 молекул АТФ і виділенням теплової енергії. Відбувається він з участю кисню, який доставляється до тканин білком гемоглобіном і шляхом дифузії проникає у мітохондрії, де використовується як акцептор водню (див. розділ 5).

Загальне спрощене рівняння аеробного окиснення глюкози таке:



З цього рівняння можна вирахувати дихальний коефіцієнт або респіраторне відношення (ДК або RR), за величиною якого визначається внесок вуглеводів, жирів чи білків у процеси енергоутворення та енергозабезпечення м'язової діяльності. **Дихальний коефіцієнт** — це відношення об'єму виділеного CO_2 до об'єму поглинутого O_2 : (ДК = VCO_2/VO_2) за певний період часу. Для вуглеводів він становить 1.

Аеробне окиснення вуглеводів є одним із основних механізмів утворення АТФ у тканинах організму. Воно забезпечує виконання тривалої роботи помірної інтенсивності. Максимально включається у нетренованої людини на 3—4-й хвилині роботи і підтримує її до де-

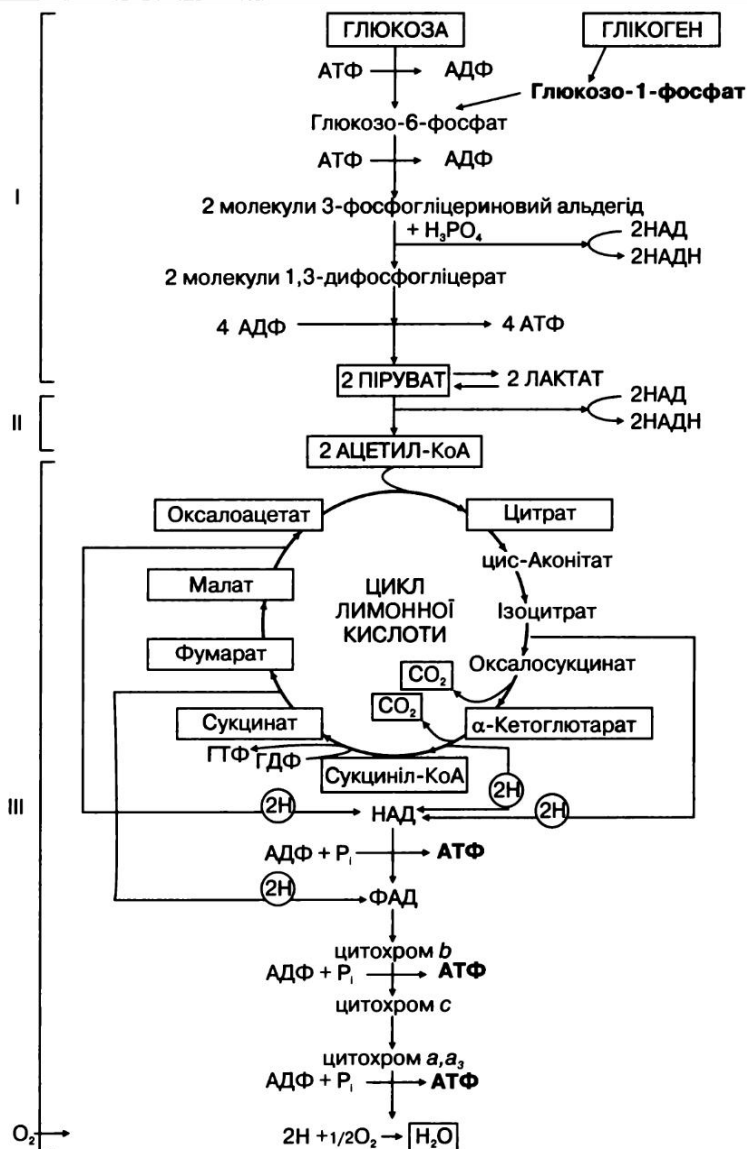


Рис. 17. Схема аеробного окиснення вуглеводів, що включає гліколітичну фазу (I), перетворення пірвіноградної кислоти на ацетил-Ко (II) та фазу окиснення у мітохондріях (III)

кількох годин, поки не знизяться запаси глікогену в печінці. Марафонець, наприклад, за рахунок вуглеводів біжить майже 80 хв. Після цього інтенсивно окиснюються жири.

Аеробне окиснення вуглеводів включає такі основні стадії: гліколітичний розпад молекули глюкози до двох молекул пірвіноградної кислоти (пірувату), перетворення пірувату на ацетил-КоА та подальше окиснення ацетил-КоА у циклі лимонної кислоти і на дихальному ланцюзі у мітохондріях (рис. 17).

Енергетична ефективність аеробного окиснення молекули глюкози значно більша, ніж анаеробного. При повному окисненні однієї молекули глюкози до CO_2 та H_2O енергія накопичується у вигляді 10 молекул НАДН (дві з них утворюються в гліколізі, дві — під час перетворення пірувату на ацетил-КоА та шість — у циклі лимонної кислоти під час окиснення двох молекул пірувату), а також 2 молекул ФАДН, 2 — ГТФ, що рівноцінні АТФ, і 2 — АТФ у процесі гліколітичного субстратного окиснення. Виходячи з того, що під час передачі двох атомів гідрогену по системі дихальних ферментів від НАДН до кисню утворюється три молекули АТФ, а від ФАДН — дві молекули АТФ, то із 10 НАДН утвориться 30 АТФ, а із 2 ФАДН — 4 АТФ. Підсумковий вихід АТФ на одну молекулу глюкози становить $(30 + 4 + 2 + 2)$ 38 АТФ.

У печінці, еритроцитах, жировій тканині можливий і інший аеробний шлях прямого окиснення вуглеводів, який називають **пентозним циклом**. Під час цього циклу накопичується енергія у вигляді НАДФН, яка використовується у біосинтетичних процесах, та утворюються пентози (рибоза та ін.), необхідні для синтезу нуклеотидів (АТФ, НАД, ФАД) і нуклеїнових кислот. Для спортсменів він має дуже важливе значення, особливо під час відновлення організму.

ГЛЮКОНЕОГЕНЕЗ

Процес новоутворення глюкози з неуглеводних речовин називають **глюконеогенез**. Він відбувається у печінці і нирках, де глюкоза синтезується з амінокислот, особливо аланіну, гліцерину, молочної та пірвіноградної кислот, шляхом, зворотним до гліколізу. Цей процес запобігає різкому зниженню рівня глюкози у крові та вичерпанню запасів глікогену в тканинах за умов ненадходження вуглеводів в організм чи виконання тривалої м'язової роботи. При цьому внесок глюконеогенезу для підтримання рівня глюкози крові під час

короткочасної роботи незначний (10—20 %), а під час тривалої (протягом кількох годин) зростає до 50 % по відношенню до загальної кількості глюкози, що утворюється в печінці. За такої роботи він відбувається й у скелетних м'язах.

ОБМІН ВУГЛЕВОДІВ ПІД ЧАС ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Глікоген м'язів і глюкоза крові є важливим субстратом для утворення АТФ у скелетних м'язах під час виконання фізичної роботи субмаксимальної та великої потужності, наприклад, бігу на 400, 800, 1000 та 10 000 м. Тривалість роботи залежить від запасів глікогену у скелетних м'язах та інтенсивності фізичних навантажень. У разі неінтенсивного навантаження (30 % МСК) запаси глікогену в бічному широкому м'язі стегна знижуються лише на 20—30 % протягом двох годин роботи на велоергометрі, тоді як за умов високої інтенсивності (близько 80 % МСК) запаси глікогену вичерпувались уже після години роботи (Харгривс, 1998).

Глікоген у м'язах найшвидше розпадається в перші 30 с — 1(5) хв напруженої м'язової роботи. Посилення мобілізації вуглеводів зумовлене підвищенням активності ферментів, що каталізують реакції розпаду. Під час окремих видів м'язової роботи активність глікогенфосфоорилази у м'язах нижніх кінцівок збільшується у 2,4 рази. Але ступінь та напрямок змін активності ферментів залежить від тривалості, інтенсивності та типу навантаження. За тривалої роботи швидкість розпаду глікогену у м'язах знижується через зниження активності ферментів. Систематична м'язова діяльність приводить до збільшення концентрації глікогену і підвищення активності ферментів його обміну у м'язах. Це поліпшує їх енергетичний обмін під час фізичних навантажень.

Під час м'язової діяльності зростає мобілізація глюкози з печінки, де вона депонується у вигляді глікогену. Глікоген розпадається до глюкози, яка виходить у кров, що запобігає розвитку гіпоглікемії. Вихід глюкози з печінки в кров посилюється в 2—3 рази у разі м'язової діяльності помірної інтенсивності і в 7—10 разів — за напруженої роботи. Високий рівень глюкози у крові завдяки гомеостатичній функції печінки під час м'язової діяльності підтримується до тих пір, поки не вичерпається запас глікогену. За його рахунок м'язи можуть виконувати роботу великої потужності протягом 20—40 хв, а уже через 1—2 год його запаси суттєво зменшуються. Зі збільшенням три-

валості роботи великий внесок у підтримання рівня глюкози крові робить процес глікогеногенезу, що значно активується.

МОЛОЧНА КИСЛОТА ТА ЇЇ ОБМІН У ТКАНИНАХ

Нормою концентрації молочної кислоти у крові вважається 1—1,5 ммоль·л⁻¹. Молочна кислота (HLa) у водному середовищі дисоціює на іон гідрогена (H⁺) та аніон кислотного залишку (La⁻). Аніон кислотного залишку молочної кислоти у водному середовищі здатний взаємодіяти з катіонами металів і утворювати солі — лактати. Тому часто молочну кислоту або її кислотний залишок називають лактатом:



Молочна кислота утворюється у скелетних м'язах з найбільшою швидкістю протягом 40—45 с інтенсивного фізичного навантаження за рахунок максимального включення гліколізу. Рівень молочної кислоти у цьому разі підвищується в 4—5 разів і після напруженої роботи протягом 1—5 хв може досягати 10 ммоль·л⁻¹ у нетренованих людей, а у спортсменів-спринтерів — 20 ммоль·л⁻¹ і більше. Це призводить до закиснення середовища організму (ацидозу). Якщо ємність буферних систем вичерпується, то рН крові може змінюватися від 7,34 до 7,0 або навіть 6,8 за виснажливих навантажень. Розвивається декомпенсаторний ацидоз. Таке закиснення середовища організму впливає на функції нервової системи та скелетних м'язів, викликає біль у м'язах та призводить до зниження працездатності і розвитку стомлення.

Після припинення роботи молочна кислота із м'язів виходить у кров і доставляється у печінку. Близько 55—70 % молочної кислоти окиснюється аеробно і використовується тканинами, в тому числі м'язами, як джерело енергії, близько 5—7 % виводиться з сечею, а 25—30 % її використовується в печінці для новоутворення глюкози і поповнення глікогену та біосинтезу окремих амінокислот під час роботи та одразу після неї. Виведення молочної кислоти з м'язів, її окиснення після припинення роботи прискорюється за умов активного відпочинку.

Оскільки концентрація молочної кислоти в крові залежить від інтенсивності гліколізу в м'язах, а останній — від інтенсивності виконуваних фізичних навантажень і рівня тренуваності організму, то за показником приросту молочної кислоти в крові можна оцінити фун-

кціональний стан спортсмена. Значне підвищення рівня молочної кислоти в крові після виконання інтенсивного граничного фізичного навантаження, що забезпечується гліколізом, свідчить про високий рівень тренуваності, здатність організму працювати в закисненому середовищі та великі можливості гліколітичного механізму енергоутворення. Проте, значне зростання рівня молочної кислоти у крові після виконання стандартного навантаження вказує на низький рівень фізичної підготовки людини.

Контрольні запитання

1. Яка будова окремих класів вуглеводів та якою буває швидкість їх засвоєння в травній системі?
2. Який вуглевод є резервним, в яких тканинах він депонується та за яких фізичних навантажень вичерпується?
3. Який рівень глюкози в крові у разі гіперглікемії і гіпоглікемії? Які причини та прояви такого стану?
4. Яка сутність гліколізу та участь в енергозабезпеченні м'язової діяльності?
5. Які основні етапи аеробного окиснення вуглеводів у тканинах та їх енергетична цінність?
6. Що таке глюконеогенез та яке його значення у спортивній діяльності?
7. За яких навантажень найбільше утворюється молочної кислоти та як вона впливає на працездатність? За яких умов прискорюється її виведення із м'язів після припинення роботи?
8. Яку інформацію отримує спортсмен, тренер та реабілітолог, якщо визначить рівень молочної кислоти у крові після виконання стандартних та граничних фізичних навантажень?

Ситуаційні завдання

1. Необхідно провести відбір спортсменів для спеціалізації, наприклад, бігу на 400 або 800 м. За яким показником обміну вуглеводів та як можна виявити у кого зі спортсменів анаеробні можливості більші?
2. Після стандартного фізичного тестування спортсменів однакової кваліфікації виявлено, що рівень молочної кислоти у крові першого спортсмена був $4 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$, а другого — $8 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$. Обґрунтуйте, хто з них краще функціонально підготовлений.

Завдання для самостійної роботи студентів

- Опишіть методи, що використовуються в спортивній практиці для збільшення запасів вуглеводів в тканинах організму та вкажіть для спортсменів яких видів спорту це важливо.
- Охарактеризуйте особливості обміну речовин у хворих на цукровий діабет та його зміни під впливом оздоровчих фізичних вправ.
- Скелетні м'язи за 1 хв можуть окиснити 1 г вуглеводів. Розрахуйте, скільки літрів O_2 буде використано для повного окиснення 1 г глюкози за нормальних умов та скільки молекул АТФ утвориться при цьому?

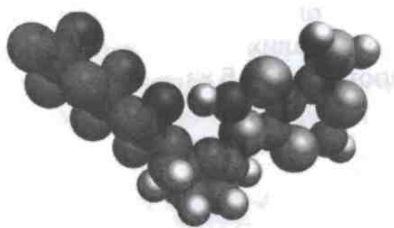
Тести для контролю знань

1. Вказати основний вуглевод — постачальник енергії в тканини організму.
А. $C_3H_6O_3$.
Б. $C_5H_{10}O_5$.
В. $C_{12}H_{22}O_{11}$.
Г. $C_6H_{12}O_6$.
2. Від запасів якого вуглеводу в тканинах залежить тривалість фізичної роботи?
А. Клітковини.
Б. Глікогену.
В. Гепарину.
Г. Гліцерину.
3. Як називають безкисневий процес окиснення вуглеводів у м'язах?
А. Гідроліз.
Б. Аеробний.
В. Гліколіз.
Г. Підготовчий.
4. Чому при цукровому діабеті спостерігається гіперглікемія?
А. Глюкоза не потрапляє в тканини.
Б. Глюкоза не окиснюється в тканинах.
В. Глікоген розпадається в печінці.
Г. Глюкоза не виводиться із сечею.
5. Розкрити суть гліколізу.
А. Це аеробне окиснення вуглеводів до CO_2 , H_2O та 38 молекул АТФ.

- Б. Це анаеробне окиснення вуглеводів з утворенням молочної кислоти та АТФ.
 - В. Окиснення глюкози до піровиноградної кислоти.
 - Г. Окиснення глюкози в циклі лимонної кислоти.
6. Використання яких фізичних навантажень під час тренувань буде сприяти збільшенню гліколітичних можливостей?
- А. Інтенсивних протягом 10 с.
 - Б. Помірних довготривалих.
 - В. Інтенсивних протягом 2—5 хв.
 - Г. Біг на 100 м.

Розділ 10

ОБМІН ЛІПІДІВ



Ліпіди, або жири, — це клас органічних речовин з різною хімічною будовою, які характеризуються тим, що не розчиняються у воді.

В організмі людини вміст жирів набагато більший, ніж вуглеводів. Вони становлять близько 10—20 % маси тіла, тобто 7—15 кг, а при ожирінні більше 30 %. Надмірне відкладання жиру в жирових тканинах призводить до ожиріння. Виділяють 4 ступені ожиріння. У разі найважчого ступеня ожиріння за рахунок жирів маса тіла збільшується у 2 рази. Протягом останнього десятиріччя кількість людей, які мають різний ступінь ожиріння, постійно збільшується. Тривалість їхнього життя зменшується на 7—10 років через захворюваність серцево-судинної та інших систем. У зв'язку з цим гострою проблемою є пошук методів боротьби із зайвою масою тіла. У вирішенні цієї проблеми беруть участь рекреатори та реабілітологи.

Вміст жиру в організмі впливає на рівень м'язової діяльності. Для спортсменів більшості видів спорту характерна така залежність: чим менший вміст жиру, тим кращі спортивні результати. Винятком є спортсмени, які займаються боротьбою сумо, та частково плавці, для яких жир підвищує плавучість.

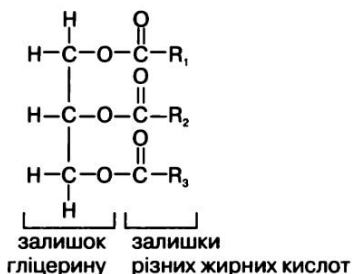
Жири мають суттєве значення в енергетичному забезпеченні тривалої м'язової діяльності. Великий їх вміст в організмі та енергоємність (в них запасується більше 70 000 ккал) створює безмежні енергетичні можливості. У зв'язку з цим відпадає необхідність в їх надходженні під час тривалої м'язової діяльності, що характерно для вуглеводів. Скелетні м'язи використовують для енергетичних по-

треб запаси своїх жирів, а також продукти розпаду резервних жирів плазми крові та жирової тканини, засвоюючи вільні жирні кислоти із крові. Розглянемо особливості обміну жирів у тканинах організму, його зміни під час фізичних навантажень і деяких захворюваннях.

БУДОВА ТА БІОЛОГІЧНА РОЛЬ ЛІПІДІВ

Залежно від будови жири організму людини поділяються на три основні класи — нейтральні жири, фосфоліпіди, стероїди (стерини та стериди).

Нейтральні жири — це група ліпідів, побудованих із трьохатомного спирту гліцерину та трьох залишків жирних кислот:



Тому їх називають **тригліцеридами**. Більшість нейтральних жирів знаходяться у підшкірній жировій клітковині та сальнику і є основою резервних (запасних) жирів. Під час голодування, недостатнього споживання жирів та при тривалій аеробній роботі вміст цих жирів зменшується або вичерпується. **Резервні жири** — це енергетичний запас організму, що використовується у разі значних енергетичних витрат. Їх вміст в організмі людини масою 70 кг сягає близько 11 кг.

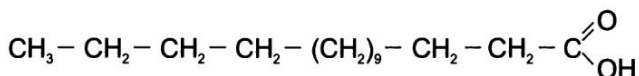
Нейтральні жири постійно синтезуються і розпадаються у тканинах організму. Процес розпаду відбувається з участю тканинних ферментів — ліпаз, тому його називають **ліполізом**. Він запускає мобілізацію нейтральних жирів із жирових тканин. При цьому утворюються **гліцерин** та **вільні жирні кислоти**, які виходять у кров і доставляються до різних тканин.

Тригліцериди входять також до складу протейдів протоплазми і мають назву **протоплазматичні жири**. Ці жири не використовуються для енергетичних потреб навіть у разі виснаження організму. Вони виконують лише структурну роль в організмі. Їх вміст відносно невеликий.

Жирні кислоти. До складу жирів людини входять вищі жирні кислоти, що мають довгий карбоновий радикал від C_{16} до C_{22} .

Вільні жирні кислоти використовуються для енергетичних потреб, а також виконують пластичну та структурну функції.

Жирні кислоти поділяються на *насичені* і *ненасичені* гідрогеном. У насичених жирних кислот немає подвійних зв'язків у карбоновому ланцюзі, як це видно зі структурної формули пальмітинової кислоти ($C_{15}H_{31}COOH$):

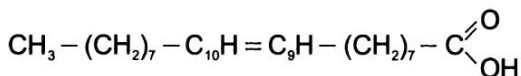


До них належать також стеаринова — $C_{17}H_{35}COOH$ та арахінова — $C_{19}H_{39}COOH$.

У ненасичених жирних кислот є подвійні зв'язки у карбоновому ланцюзі.

До таких кислот належать олеїнова — $C_{17}H_{33}COOH$, ліолева — $C_{17}H_{31}COOH$, ліноленова — $C_{17}H_{29}COOH$ та арахідонова — $C_{19}H_{31}COOH$.

Олеїнова кислота має один подвійний зв'язок у структурі карбонових зв'язків між дев'ятим і десятим атомами карбону від карбоксильної групи:



Жирні кислоти, що мають два і більше подвійні зв'язки, називають *поліненасиченими*. Вони в організмі проявляють високу біологічну активність, тому їх відносять до вітаміноподібних речовин і називають вітаміном F. Ці речовини сприяють виходу жирів із печінки, які там синтезуються, і запобігають її ожирінню (ліпотронна дія), а також використовуються для біосинтезу важливих речовин — простагландинів, що регулюють процеси запліднення, тромбоутворення, тонус гладеньких м'язів, больові відчуття тощо. Оскільки більшість ненасичених жирних кислот не синтезується в організмі людини, то вони є незамінним фактором їжі і мають надходити в основному із рослинними жирами (близько 15 г на добу), де вони синтезуються.

Насичені жирні кислоти, як і жири, що містять їх, за кімнатної температури — тверді, а ненасичені — рідкі. Тверді жири — це жири тваринного походження та кокосове і пальмове масло, а рідкі — це рослинні олії та риб'ячий жир.

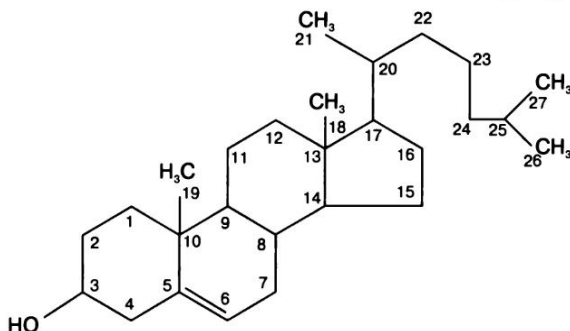
Фосфоліпіди — це група ліпідів, побудованих зі спирту (гліцерину), двох залишків жирних кислот, залишку фосфорної кислоти та певної нітрогенвмісної речовини (спирту — холіну, амінокислоти — серину тощо).

Представником фосфоліпідів є холінфосфоліпід або **лецитин**, якого багато міститься у жовтку яйця. Лецитин поліпшує обмін ліпідів в організмі. Тому існують фармакологічні препарати лецитину (фосфоліпідів), які використовуються для поліпшення стану здоров'я.

Біологічна роль фосфоліпідів дуже важлива. Вони є структурним компонентом усіх клітинних мембран, її ліпідною оболонкою, особливо багато їх в мозку. Вони також постачають холін, необхідний для утворення нейромедатора — ацетилхоліну в нервових клітинах. Фосфоліпіди, що входять до клітинних мембран, забезпечують їхні властивості — проникність, рецепторну функцію тощо.

Під час м'язової діяльності, запальних процесів, надходження токсичних речовин із фосфоліпідів та ненасичених жирних кислот у клітинах можуть утворюватися шкідливі продукти пероксидного окиснення ліпідів, що знижують працездатність людини, викликають хронічне стомлення та хвороби. Протидіють цьому антиоксидантні ферментні системи та специфічні речовини — антиоксиданти (вітаміни, мінерали, тощо).

Стероїди — це клас ліпідів, до складу яких входить складний цикл **стерана**. В організмі людини цей клас включає стерини та стериди. Стерини — це спирти, а стериди — сполуки цих спиртів із вищими жирними кислотами. Представником стерину є **холестерин** (холестерол). Структурна формула холестерину ($C_{27}H_{46}O$):



Біологічна роль холестерину різноманітна:

- він входить до клітинних мембран та обмежує їхню проникність;

- із холестерину синтезуються гормони стероїдної природи, що проявляють анаболічну та андрогенну чи естрогенну дію;
- синтезується вітамін D₃ під дією сонячного проміння;
- утворюються в печінці жовчні кислоти, які надходять із жовчю в кишечник та сприяють розщепленню та транспорту жирів їжі.

Але на синтез названих речовин використовується лише 0,5—0,7 г холестерину протягом доби із 140 г, що міститься в організмі людини. Основна кількість його знаходиться в клітинних мембранах, а близько 10 г циркулює в плазмі крові.

Рівень холестерину в крові залежить від збалансованості процесів синтезу та розпаду, а також виведення його із організму. Добова норма становить близько 1 г, вона може бути забезпечена за рахунок біосинтезу холестерину в печінці із молекул ацетил-КоА. З продуктами харчування в організм надходить не більше 300 мг холестерину.

Добова потреба дорослої людини у жирах становить 30—35 % калорійності раціону харчування. Харчовий раціон повинен містити ліпідів у середньому 1,5 г на 1 кг маси тіла на добу, тобто 80—100 г залежно від віку, витрат енергії тощо. Із них 70 % мають бути тваринні жири та 30 % — рослинні. Надмірне надходження жирів з їжею призводить до розвитку різних захворювань. Недостатнє надходження або ненадходження жирів в організм в енергетичному плані може бути замінене вуглеводами чи білками, але вони використовуються в організмі не лише для енергії, тому мають бути в раціоні харчування хоч би в мінімальній кількості (10 г).

Біологічна роль жирів в організмі людини різноманітна. Жири роблять суттєвий внесок у забезпечення організму енергією, поповнюючи 25—35 % енергетичних витрат організму протягом доби. У жирах запасається багато енергії: 1 кг жирової тканини може забезпечити енергією виконання роботи протягом 10—20 год. Використання жирів під час м'язової діяльності сприяє більш ефективному виконанню довготривалої роботи та віддаленню виснаження організму. Оскільки запаси жирів занадто великі, то немає необхідності додаткового їх надходження під час фізичної роботи, але поповнення має бути постійним.

Енергетичну функцію виконують нейтральні або резервні жири, що відкладаються у жирових депо чи крапельках у м'язах. Вони високоенергетичні. При окисненні 1 г жиру вивільнюється **39 кДж** або **9,3 ккал** енергії, що майже удвічі більше, ніж при окисненні вуглеводів та білків (4,1 ккал). Запаси тканинних жирів використовуються

дуже повільно навіть у довготривалій роботі. Так спортсмен, пробігаючи марафонську дистанцію (42 195 м), втрачає менше 1 кг жиру. Це пов'язано з тим, що жири інтенсивно окиснюються лише за умови доброго забезпечення клітин киснем (аеробно) та після зниження запасів вуглеводів, а їх, наприклад, марафонцю, вистачає на 80 хв бігу. Тому суттєве “згорання” жирів можливе лише під час довготривалих фізичних навантажень помірної інтенсивності.

Нейтральні жири виконують також *терморегуляторну* функцію в організмі (зберігають тепло), *захищають* судини та нервові закінчення від механічних пошкоджень, *розчиняють жиророзчинні* вітаміни. Окремі класи жирів є *структурним компонентом* усіх клітинних мембран, використовуються для *синтезу біологічноактивних* речовин (стероїдних гормонів, простагландинів, жовчних кислот тощо), а поліненасичені жирні кислоти проявляють *ліпотропну дію*, тобто підсилюють вихід жирів із печінки у кров'яне русло і запобігають ожирінню печінки.

ХІМІЧНИЙ РОЗПАД ЖИРІВ ЇЖИ У ТРАВНІЙ СИСТЕМІ

Розпад жирів їжі відбувається частково у шлунку (жири молока). Основний гідроліз відбувається в тонкому кишечнику під впливом ферментів ліпаз, що надходять із соком підшлункової залози, та жовчних кислот, що надходять із печінки з жовчю. Роль жовчних кислот у травленні жирів дуже важлива. Вони є емульгаторами (роздрібнювачами) жирів, активаторами ферментів, сприяють всмоктуванню жирних кислот і їх транспорту з лімфою та кров'ю, тому засвоєння жирів їжі залежить від нормального функціонування печінки та підшлункової залози.

У процесі травлення 40 % жирів розпадаються повністю до структурних компонентів, 50 % гідролізуються частково, а 10% — не гідролізуються.

Всмоктування продуктів розпаду жирів, що не розчиняються у воді, відбувається в лімфу. Спочатку в кишечнику вони з'єднуються із жовчними кислотами з утворенням **холеїнових комплексів** і тільки в такому вигляді проникають в епітелій кишок. Тут проходить синтез жирів організму, які потім проникають в лімфу і транспортуються в комплексі з білками, що мають назву **хіломікрони**. Так вони потрапляють у печінку. Для того, щоб потрапити до інших тканин, вони

повинні розпастися на поверхні судин до жирних кислот та гліцерину. В тканинах із цих складових жири знову синтезуються і відкладаються (депонуються) в жирових клітинах (адипоцитах) або ж окиснюються і виділяють енергію, чи використовуються у пластичних процесах. У людей жирова тканина може відрізнятися кількістю клітин та їх заповненням жиром, що впливає на загальні запаси жиру в організмі.

ПОНЯТТЯ ПРО ОКИСНЕННЯ ЖИРІВ У ТКАНИНАХ

Ряд учених (Ленінджер, Лінен та ін.) в 1948—1958 рр. розкрили дуже складний процес окиснення нейтральних жирів, схему якого подано на рис. 18.

Розпад нейтральних жирів у жирових тканинах, або процес ліполізу, активується внутрішньотканинними ферментами — ліпазами. Гліцерин окиснюється далі шляхом окиснення вуглеводів, оскільки легко перетворюється на пірвіноградну кислоту (див. вуглеводи). Жирні кислоти окиснюються лише з участю кисню (аеробно), в основному шляхом бета-окиснення. Схему рівняння повного окиснення пальмітинової кислоти можна записати так:

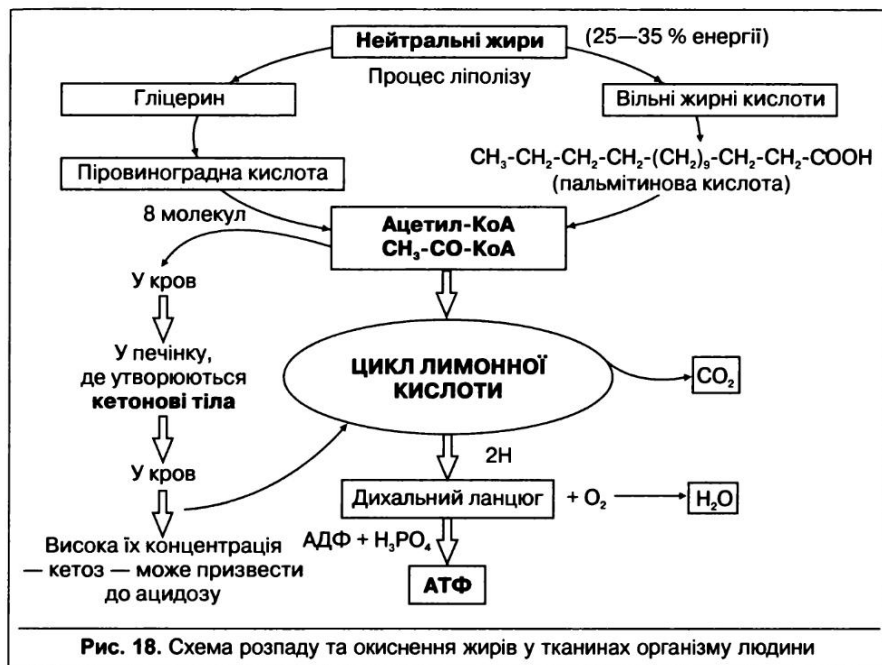


Із нього видно, що жири є більш ефективним енергетичним субстратом порівняно з вуглеводами. Але кількість енергії, що утворюється за рахунок спожитого 1 г O_2 (**калорійний еквівалент**) при окисненні жирів, на 8—10 % менша, ніж для вуглеводів.

Дихальний коефіцієнт при окисненні жирів становить близько 0,7.

Суть процесу бета-окиснення жирних кислот. Процес окиснення жирних кислот відбувається у мітохондріях, куди вони проникають з допомогою специфічного носія — **карнітину**. В зв'язку з цим у практиці спорту або у боротьбі з ожирінням використовується фармакологічний препарат L-карнітин як прискорювач “згорання” тканинних жирів. L-карнітин сприяє не лише більшому використанню жирів під час виконання тривалих вправ аеробного характеру, а й більш економному використанню вуглеводів під час роботи.

Молекула жирної кислоти у процесі окиснення зазнає перетворень, у результаті яких карбоновий ланцюг поступово розпадається



на молекули ацетил-КоА (активну форму оцтової кислоти), яка далі окиснюється з участю кисню в циклі лимонної кислоти.

Реакції перетворення жирної кислоти, наприклад, пальмітинової, у процесі бета-окиснення відбуваються наступним чином. До вступу в процес окиснення молекула жирної кислоти активується шляхом приєднання КоА з участю АТФ. Потім відбуваються наступні реакції:

I — окиснення кислоти (дегідрування) з утворенням відновленого ФАДН;

II — гідратація кислоти (приєднання H_2O);

III — друге окиснення (дегідрування) з утворенням відновленого НАДН;

IV — відщеплення ацетил-КоА з участю ферменту тіолази.

Після цього реакція повторюється доти, поки жирна кислота повністю не розпадеться на молекули ацетил-КоА, який далі вступає у цикл лимонної кислоти та в дихальному ланцюзі повністю окиснюється з вивільненням великої кількості теплової енергії та акумуляції її в молекули АТФ. Основну роль в окисненні жирних кислот виконує печінка.

ВПЛИВ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ОБМІН ЖИРІВ

Жири є важливим енергетичним субстратом під час м'язової діяльності. Їхні запаси значні, тому вони створюють велику ємність аеробного механізму енергоутворення. Жири підтримують виконання довготривалої роботи помірної інтенсивності на рівні 50—60 % МСК, оскільки окиснюються тільки **аеробно**. Інтенсивність їх окиснення в м'язах збільшується після відносного вичерпання запасів вуглеводів, про що свідчить зниження рівня глюкози в крові. Це спостерігається на 30—40-й хвилині виконання фізичних вправ субмаксимальної аеробної потужності. При цьому використовуються жири м'язової тканини, а також плазми крові та жирової тканини.

Швидкість мобілізації ліпідів та їх включення в енергозабезпечення роботи м'язів регулюється вегетативною нервовою та гормональною системами. Швидкість мобілізації залежить від тривалості та потужності роботи, ступеня тренуваності організму та типу м'язових волокон. Як відомо, інсулін пригнічує активність ліпази, яка розщеплює жири, що сприяє їх депонуванню, але під час фізичних навантажень концентрація інсуліну в крові знижується, що підвищує мобілізацію жиру. Крім того підвищується концентрація адреналіну, що підсилює мобілізацію жирів у скелетних м'язах та жирових тканинах. У результаті розпаду запасів жиру в жировій тканині в крові підвищується рівень вільних жирних кислот, які надходять до працюючих м'язів та покращують виконання ними роботи.

Соматотропний та тиреотропний гормони гіпофізу, а також гормон щитоподібної залози тироксин теж активують процес розпаду жиру. При гіпофункції цих залоз розвивається ожиріння.

Під час адаптації організму до фізичних тренувань, спрямованих на розвиток витривалості, підвищується ефективність використання жирів м'язами на фоні невикористаних запасів вуглеводів. Це відбувається за рахунок адаптаційного збільшення активності ферментів, що активують ліполіз та окиснення жирів, а також покращання механізмів транспорту кисню та жирних кислот у м'язи.

Для прискорення процесів окиснення жирів під час м'язової діяльності чи схуднення використовують різні речовини-активатори: кофеїн (у додопінгових концентраціях), холін, фолієву кислоту, вітамін B₁₂, карнітин та ін. Вони прискорюють мобілізацію (розпад) жирів, утилізацію кисню тканинами, а також сам процес окиснення

жирних кислот. Але вплив специфічних фізичних тренувань та спеціфіка харчування є найефективнішими.

ПОРУШЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОБМІНУ ЛІПІДІВ

Велике значення в обміні жирів має збалансованість процесів депонування резервних жирів та їх мобілізації. Ці процеси значною мірою залежать від рівня глюкози у крові, а також регуляторної дії нервової і гормональної систем. Надлишкове накопичення ліпідів веде до ожиріння організму. Перевищення оптимальної маси тіла на 15—20 % може діагностуватись як ожиріння, яке часто спостерігається за надмірного споживання їжі, що містить багато жирів та вуглеводів, а також малорухливого способу життя, тобто при порушенні принципу збалансованості надходження та використання енергії. Причинами ожиріння також можуть бути порушення гормональних механізмів регуляції обміну жирів, нервової регуляції та спадкова схильність.

За надлишкового надходження ліпідів із продуктами харчування можливе переродження тканин печінки (жирова дистрофія).

Для людей середнього та похилого віку характерне порушення синтезу і виведення холестерину із організму.

Порушення обміну холестерину призводить до збільшення його вмісту в плазмі крові у 2—4 рази за норми 3—6 ммоль·л⁻¹. Холестерин відкладається в стінках кровоносних судин, при цьому погіршується їхня еластичність, утворюються холестеринові бляшки, що можуть перекрити капіляри і викликати різні захворювання (інсульт, інфаркт, атрофію кінцівок). Захворювання, що виникають через порушення обміну холестерину, називають атеросклерозом. Вони не виліковуються, тому потрібно запобігати їх розвитку. Для профілактики необхідно контролювати вміст холестерину в крові і своєчасно його нормалізувати. Систематичні аеробні фізичні навантаження прискорюють виведення холестерину із організму і запобігають швидкому розвитку цієї тяжкої хвороби.

КЕТОНОВІ ТІЛА, УТВОРЕННЯ ТА ОБМІН У ТКАНИНАХ

Метаболічним показником, що характеризує інтенсивність окиснення жирів та жирних кислот у тканинах, є рівень кетонів тіл у крові. **Кетонів (ацетонів)** тіла синтезуються у печінці із молекул

ацетил-КоА, яких багато утворюється під час інтенсивного окиснення жирних кислот у тканинах, тому вони не встигають окиснюватися у циклі лимонної кислоти і кров'ю доставляються у печінку (див. рис. 18).

Кетонові тіла — це, переважно, **ацетооцтова кислота** ($\text{CH}_3\text{—CO—CH}_2\text{—COOH}$), яка за надлишку декарбоксилюється та перетворюється на **ацетон** ($\text{CH}_3\text{—CO—CH}_3$), а також **бета-гідроксимасляну** кислоту ($\text{CH}_3\text{—CHOH—CH}_2\text{—COOH}$). Вони надходять із печінки у кров і використовуються тканинами, як джерело енергії, окиснюючись до CO_2 та H_2O з утворенням АТФ. Якщо у крові велика кількість кетонових тіл (до $20 \text{ ммоль}\cdot\text{л}^{-1}$ за норми 8), тобто стан кетозу, то вони з'являться у сечі (**кетонурія**). Ці метаболіти можуть викликати закиснення (ацидоз) або отруєння організму ацетоном.

Кетонурія може спостерігатися у разі:

- інтенсивного використання жирів в енергозабезпеченні м'язової роботи;

- довготривалого голодування;
- ненадходження вуглеводів з їжею;
- тяжкої форми цукрового діабету, тиреотоксикозу тощо.

Рівень кетонових тіл у крові та сечі використовується як діагностичний показник розпаду тканинних жирів в організмі людини. У практиці спорту за їх рівнем виявляють підключення жирів до енергозабезпечення спортивної діяльності, а за їх співвідношенням — рівень глікогену в печінці.

Контрольні запитання

1. Який вміст жирів в організмі у нормі та при ожирінні? Назвіть причини ожиріння. Як впливає вміст жиру в організмі спортсмена на його спортивні результати?
2. Які існують класи жирів та якою є їх будова та біологічна роль?
3. Якою повинна бути добова норма жирів ?
4. Як можна охарактеризувати загальний обмін жирів та записати схему, подану на рис. 18?
5. Якою є роль жирів та жирних кислот в енергозабезпеченні спортивної діяльності?
6. Де та за яких умов відбувається синтез кетонових тіл? Що таке кетоз, кетонурія?
7. Які є порушення обміну жирів?

8. Які фізичні вправи активують обмін жирів?

Ситуаційні завдання

1. Розрахуйте, скільки молекул АТФ утвориться в організмі людини за рахунок розщеплення однієї молекули жиру — трипальміату до CO_2 та H_2O .
2. У людини в сечі виявлені кетонові тіла. Поясніть причини цього та за яких фізичних навантажень, патологічних станів організму це може спостерігатися.

Завдання для самостійної роботи студентів

- Розкрийте внесок жирів в енергозабезпечення м'язової діяльності спортсменів різної спеціалізації. Охарактеризуйте обмін речовин при ожирінні, атеросклерозі та обґрунтуйте вибір оздоровчих фізичних вправ при таких хворобах.

Тести для контролю знань

1. Чим відрізняються рідкі жири продуктів харчування від твердих?
 - А. Містять багато насичених жирних кислот.
 - Б. Містять багато ненасичених жирних кислот.
 - В. Містять багато вітамінів.
 - Г. Не містять вітамінів.
2. Який клас жирів виконує енергетичну функцію, а який потрібен для синтезу тестостерону?
 - А. Фосфоліпіди, гліцерин.
 - Б. Нейтральні жири, стероїди.
 - В. Гліколіпіди, стеарин.
 - Г. Лецитин та кефалін.
3. За яких умов та фізичних навантажень використовуються або “згорають” жири в тканинах організму?
 - А. Вичерпання запасів вуглеводів, тривала робота помірної потужності.
 - Б. Вичерпання АТФ, робота великої потужності.
 - В. Вичерпання АТФ, робота максимальної потужності.
 - Г. Вичерпання запасів вуглеводів — робота субмаксимальної потужності.

4. Назвати кетонове тіло — метаболічний показник інтенсивного окиснення жирів.
- А. Глютамін.
 - Б. Аспарагін.
 - В. Ацетон.
 - Г. Гліцерин.
5. Коли утворюються кетоніві тіла та як вони використовуються в організмі?
- А. Утворюються у жировій тканині під час ліполізу, виводяться з сечею.
 - Б. Утворюються в м'язах під час синтезу жирів.
 - В. Утворюються в печінці під час інтенсивного окиснення жирів, є джерелом енергії для тканин, навіть мозкової під час тривалого голодування.
 - Г. Утворюються під час перетворення вуглеводів на жири у жирових депо.
6. Який хімічний компонент скелетних м'язів транспортує жирні кислоти у мітохондрії та сприяє їх окисненню?
- А. Креатин.
 - Б. Карнітин.
 - В. Глікоген.
 - Г. Тропоміозин.

Розділ 11

ОБМІН БІЛКІВ ТА АМІНОКИСЛОТ



Білки є найголовнішими у забезпеченні життєдіяльності людини, тому що з ними пов'язані основні властивості живого організму: подразливість, ріст, розвиток, рух, травлення, транспорт речовин, захист, пристосування та ін. Від наявності білків у різних тканинах та сталості (нативності) їх складної структури залежить їхня морфологічна будова, метаболічні особливості та функціональна активність.

БУДОВА ТА БІОЛОГІЧНА РОЛЬ БІЛКІВ І АМІНОКИСЛОТ

Білки — це клас нітрогенвмісних органічних речовин, що складаються із багатьох амінокислот (полімери амінокислот).

Вміст білків в організмі дорослої людини становить в середньому 45 % сухої маси тіла (12—15 кг). Найбільше їх у скелетних м'язах — 80 % сухої маси або 35 % загальної маси білка організму.

Для побудови всіх білків в організмі людини використовується 20 різних амінокислот, які розрізняються радикалами (R) і мають таку загальну формулу:

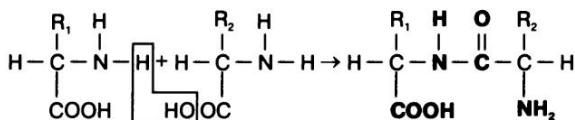


Частина амінокислот (9 у дорослих та 10 у дітей) не синтезуються в тканинах і мають назву **незамінних**. Решта амінокислот синте-

зуються в тканинах (*замінні*). До незамінних амінокислот належать такі: метіонін, лізин, лейцин, ізолейцин, валін, гістидин, треонін, триптофан, фенілаланін, аргінін (у дітей). Ці амінокислоти повинні надходити в організм з їжею. Білки їжі, що містять усі незамінні амінокислоти, називають **повноцінними** білками. Це, в основному, тваринні білки (м'ясо, яйця, риба).

Амінокислоти не тільки використовуються для синтезу білка. Вони виконують багато самостійних функцій: є нейромедіаторами (гліцин, глутамат та ін.), попередниками синтезу ряду гормонів, зв'язують та знешкоджують NH_3 (аспарагінова) тощо.

Білки називають іще **поліпептидами**, оскільки всі амінокислоти з'єднані між собою пептидним зв'язком. **Пептидний зв'язок** утворюється між аміногрупою ($-\text{NH}_2$) одної амінокислоти та карбоксильною групою ($-\text{COOH}$) іншої амінокислоти з утворенням певного дипептиду:



Якщо з'єднується декілька амінокислот (2—50), то утворюються **пептиди**.

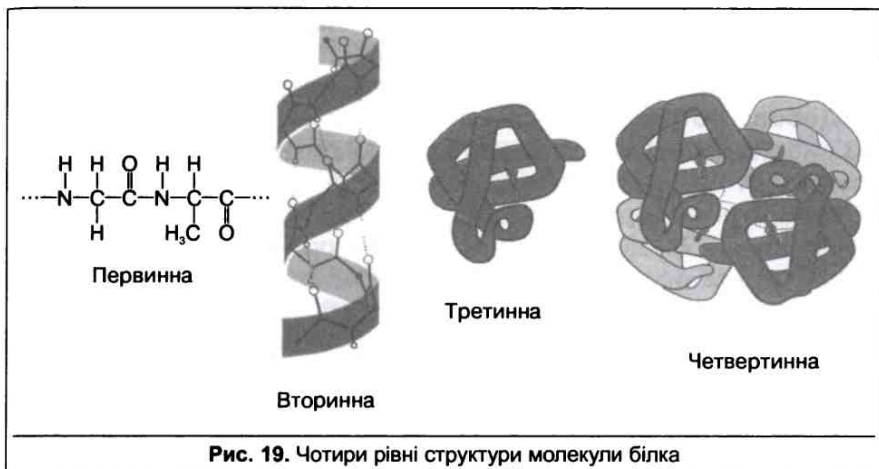
В організмі людини є багато різних пептидів, що виконують регуляторну роль (гормони), пригнічують відчуття болю подібно морфіну (ендорфіни), регулюють діяльність нервової системи (нейропептиди, наприклад, опіати), регулюють обмін холестерину (таурин) або окиснення жирних кислот (карнітин).

Білки мають складну структурну організацію молекул, від збереження якої залежить біологічна функція білка: здатність до скорочення, каталізу, зв'язування чи транспортування речовин тощо. В організмі людини відомо близько 50 000 індивідуальних білків, що відрізняються унікальною структурною організацією.

Виділяють чотири структури білка (рис. 19).

Первинна структура зумовлена певною послідовністю амінокислот у білку, що закодована у генах і визначає характер більш складних просторових структур.

Вторинна структура — це формування білкового ланцюга у вигляді спіралі чи книжки за рахунок водневих зв'язків між групами атомів у молекулі.



Третинна структура — це компактніше формування молекули білка у вигляді кульки (глобули) чи нитки (фібрили), що визначає його властивості та біологічну роль.

Окремі білки мають четвертинну, найскладнішу, структуру, що утворюється шляхом об'єднання декількох субодиниць білка. Наприклад, **гемоглобін** складається із 4 білкових одиниць — 2 α - та 2 β -субодиниць із досить чітким просторовим розташуванням **білкової** частини — **глобіна** та **небілкової** частини — **гема**, що містить атом феруму (див. рис. 19).

Гемоглобін (Hb) зв'язує 4 молекули O_2 в легенях з участю Fe, що входить до небілкової частини і транспортує його в тканини, а із тканин до легень доставляє CO_2 . При цьому за рахунок зміни конформації білка в результаті приєднання першої молекули O_2 наступні 3 молекули O_2 приєднуються майже в 300 разів легше, ніж перша. Четвертинна структура характерна для багатьох білків-ферментів, активність яких теж регулюється різними речовинами, що змінюють цю структуру.

Структура білків, особливо просторова, досить чутлива до змін умов внутрішнього середовища організму (величини pH, $t^\circ C$, концентрації речовин). Зміни гомеостазу в клітинах можуть призвести до **денатурації** білка та втрати його біологічної активності, тому вони зовсім не бажані.

Біологічна роль білків дуже різноманітна. Вони виконують структурну роль (компоненти всіх клітинних мембран), каталітичну (ферменти), регуляторну (гормони), скоротливу (білки м'язів актин

та міозин), транспортну (гемоглобін транспортує O_2 та CO_2), захисну (білки імунної системи), специфічну (білки групи крові), енергетичну (лише 5—12 % енерговитрат організму покривають білки).

Добова потреба дорослої людини у білках становить близько 1,3 г на 1 кг маси тіла або 90—105 г. Фізіологічний мінімум білка становить 0,8 г на 1 кг маси тіла (за рекомендаціями ВООЗ). Для людей, які займаються спортом та важкою фізичною працею, норма споживання білка збільшується залежно від спортивної спеціалізації та енергетичних витрат. Для спортсменів, які спеціалізуються у видах спорту з проявом витривалості, потреба в білках становить $1,8 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$ на добу, тоді як для силових видів спорту — $3 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$. Але надлишкове надходження білка — понад $2,5 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$ для звичайних людей та $4—5 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$ для спортсменів недоцільне, тому що викликає перевантаження системи травлення, збільшує вміст метаболітів білкового обміну у крові і не поліпшує функціональний стан організму, як і недостатнє їх споживання.

Біологічна цінність білків їжі залежить від їхнього амінокислотного складу (наявності всіх амінокислот) та легкості засвоєння. Найбільш цінними є білки яєць, м'яса, риби, сиру, в 100 г яких міститься близько 13, 20, 20 та 30 г білка відповідно. Рослинні продукти, за винятком бобових, соєвих та грибів, не містять повноцінних білків.

ХІМІЧНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ БІЛКІВ ЇЖИ У ТРАВНІЙ СИСТЕМІ

Хімічне розщеплення білків їжі починається у шлунку, де є для цього умови: кисле середовище шлункового соку (рН дорівнює 1,0—2,0) та активний фермент *пепсин*, що утворюється із неактивного пепсиногену. Перетворення відбувається під дією хлоридної кислоти (HCl), що утворюється в шлунку під час надходження їжі. Більшість ферментів, які розщеплюють білки у травній системі, утворюються в *неактивній формі*. Це запобігає їх дії на білки стінок органів травлення. Активуються ферменти різними механізмами: протеолізом (відщепленням частини білкової молекули), дією інших ферментів-активаторів (ентерокіназа). Білки їжі затримуються в шлунку до 4—6 год і більше. Закінчується розщеплення білків їжі до амінокислот у дванадцятипалій кишці під дією ферментів *трипсину* та *хімотрипсину*, а також *дипептидаз*. Амінокислоти всмоктуються у кров. Частина білків, що не встигли

розщепитися, затримуються в товстому кишечнику декілька діб і починають розкладатися з утворенням токсичних речовин. Тому надлишок білків у раціоні харчування не бажаний.

БІОСИНТЕЗ БІЛКА ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ Й АДАПТАЦІЇ ОРГАНІЗМУ ДО М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Усі білки організму постійно відновлюються, тому що мають обмежений термін життя. Протягом доби організм синтезує близько 1,3 г білка на 1 кг маси тіла, з чим і пов'язана добова норма. Всі білки організму відновлюються приблизно за 130—150 діб. Під час м'язової діяльності процеси метаболізму значно активуються, тому і обмін білка суттєво змінюється.

Біосинтез білка значною мірою залежить від нуклеїнових кислот. Тому коротко розглянемо їхні типи та біологічну роль.

Нуклеїнові кислоти побудовані із нуклеотидів. **Нуклеотиди** складаються із азотистих основ (А — аденін, Г — гуанін, Ц — цитозин, У — урацил, Т — тимін), вуглеводу (рибози або дезоксирибози) та одного—трьох залишків фосфорної кислоти:



Існують два види нуклеїнових кислот: **дезоксирибонуклеїнова (ДНК)** та **рибонуклеїнова (РНК)**.

Дезоксирибонуклеїнова кислота знаходиться переважно у ядрі і зберігає та передає спадкову (генетичну) інформацію про будову всіх білків організму. В ній зберігається шифр *генетичного коду*, в якому закодовані внутрішні (генотипні) та зовнішні (фенотипні) ознаки, в тому числі форма тіла — *соматотип*. За формою соматотипу можна відібрати дітей для певної спеціалізації у спорті.

Ген — це ділянка на молекулі ДНК, де закодована інформація про певну будову конкретного білка. Кожна амінокислота кодується певною послідовністю трьох азотистих основ у молекулі ДНК, тобто у вигляді *триплетів*. Наприклад, амінокислота гліцин кодується триплетом АГУ (аденін, гуанін, урацил).

Кількість ДНК, яка несе генетичну інформацію даного організму, називають **геномом**.

Рибонуклеїнові кислоти забезпечують зчитування генетичної інформації з ДНК (це робить *інформаційна* РНК — іРНК) та її перенесення до рибосом, де відбувається процес біосинтезу білка. Інший тип РНК — транспортні РНК (тРНК) зв'язують амінокислоти та доставляють їх до рибосом, а також розпізнають місце приєднання до білка, що синтезується. Є також *рибосомальна* РНК (рРНК), яка знаходиться в рибосомах та активує процес синтезу білка.

Біосинтез білка — це складний багатоетапний процес, який відбувається за наявності всередині клітин усіх типів нуклеїнових кислот, РНК-полімераза та пептидсинтезуючих ферментів, амінокислот, різних регуляторів, індукторів (підсилювачі) та репресорів (пригнічувачі) генетичного апарату клітин. Він супроводжується використанням великої кількості енергії АТФ. Близько 20 % добових енерговитрат організму іде на біосинтез білка.

Процес біосинтезу білка починається у ядрі клітини із розкручування ділянки ДНК та синтезу на цій ділянці (на гені) іРНК, що забезпечує переписування інформації про структуру білка із молекули ДНК на іРНК — **етап транскрипції**. Інформаційну РНК іще називають матричною (мРНК), бо в ній за рахунок певної послідовності азотистих основ кодується послідовність амінокислот у білку. Остання виходить із ядра у цитоплазму і взаємодіє з органелами клітини — рибосомами, в яких відбувається біосинтез білків. На молекулі іРНК відбувається біосинтез білка з участю специфічних ферментів, що каталізують реакцію приєднання амінокислот до синтезуючого білка. Цей процес забезпечує передачу генетичної інформації із іРНК в молекулу білка, що синтезується — **етап трансляції**. Він значною мірою залежить від наявності тРНК, їх структури та здатності *транспортувати* амінокислоти і знаходити місце їх приєднання згідно з кодом на молекулі іРНК — **етап рекогніції**.

Запуск біосинтезу білка та його швидкість залежать від наявності незамінної амінокислоти — **метіоніну**.

Під час фізичних тренувань у скелетних м'язах, інших органах активується біосинтез білка на різних його етапах (генному, рибосомальному). Це й зумовлює подальшу адаптацію організму до фізичних навантажень. Важлива роль у адаптативному біосинтезі білків належить гормонам. Активується синтез білка андрогенами, кортикостероїдами, соматропіном та інсуліном.

У спортивній практиці та реабілітації використовуються різні фармакологічні препарати, які прискорюють біосинтез білка на різ-

них його етапах, їх називають **анаболіками**. Вони бувають екзогенні (надходять до організму) та ендogenous (утворюються у процесі метаболізму), незаборонені та заборонені для використання у спорті (**допінги**) (Платонов, 2003).

ВПЛИВ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА БІОСИНТЕЗ БІЛКА

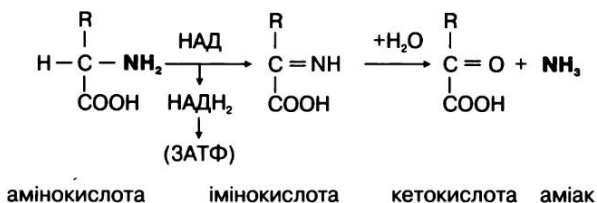
Одноразові фізичні навантаження пригнічують синтез білка у тканинах, особливо у скелетних м'язах, тому що не вистачає енергії АТФ та порушується обмін речовин. При цьому прискорюється розпад структурних білків, а в окремих випадках і скоротливих білків м'язів. У крові накопичуються амінокислоти, що підлягають дезамінуванню чи окисненню для забезпечення енергії. Ступінь пригнічення біосинтезу білка у тканинах залежить від інтенсивності та тривалості фізичних навантажень, а також від тренуваності організму. Під час виконання інтенсивної м'язової роботи у субмаксимальній та великій зонах потужності у результаті закиснення внутрішнього середовища спостерігається вихід білків плазми з сечею. Чим більшою була потужність роботи, тим, більший його вміст у сечі.

У результаті систематичних спортивних тренувань у скелетних м'язах, інших тканинах збільшується вміст структурних та скоротливих білків, білків-ферментів та міоглобіну. Це можливо за рахунок адаптивної активації всіх ланок біосинтезу білка, що є метаболічною основою розвитку термінової та тривалої адаптації до фізичних тренувань. У швидко-силових видах спорту спостерігається **гіпертрофія** м'язових волокон — збільшення м'язового поперечника на 9—23 % вже після 3—5 міс тренувань. В окремих випадках у культуристів обхват м'язів плеча збільшується на 70—76 %. Гіпертрофія спостерігається більшою мірою у швидко скоротних м'язових волокнах. З цим і пов'язаний приріст швидкості та сили (Мак-Комас, 2001).

При адаптації до фізичних тренувань з проявами витривалості спостерігається збільшення вмісту білків-ферментів, які каталізують процеси біологічного окиснення, мітохондрій та їх щільності, а також міоглобіну в м'язових волокнах, що скорочуються повільно. Це веде до поліпшення механізму аеробного енергоутворення та підсилення адаптативного біосинтезу білка у м'язах, що створює метаболічні основи високої аеробної фізичної працездатності.

РОЗПАД ТКАНИННИХ БІЛКІВ

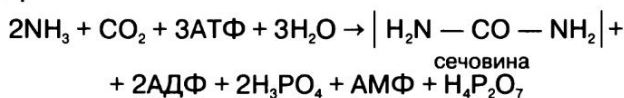
Розпад тканинних білків відбувається з участю гідролітичних ферментів (протеїназ, зокрема катепсинів), які знаходяться в **лізосомах**, і веде до збільшення вмісту вільних амінокислот у клітинах. Цей процес значно активується під час фізичних навантажень, голодування, деяких захворювань (діабет). Вільні амінокислоти підлягають взаємоперетворенню: переамінуванню, декарбоксилюванню (відщеплення CO_2) та дезамінуванню (відщеплення аміаку). За фізичних навантажень активно відбувається **реакція окисного дезамінування**, що супроводжується виділенням енергії та накопиченням у тканинах токсичного аміаку. Окисне дезамінування відбувається так:



Аміак, який утворюється в різних тканинах, швидко зв'язується дикарбоновими амінокислотами: аспарагіною ($\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CHNH}_2-\text{COOH}$) і глутаміною ($\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CHNH}_2-\text{COOH}$) та транспортується у печінку. Там він перетворюється на нетоксичну речовину — сечовину — і виводиться із організму. Рівень сечовини в крові відображає інтенсивність розпаду тканинних білків та дезамінування амінокислот. Тому він є одним із основних діагностичних показників при біохімічному обстеженні.

СЕЧОВИНА — ПОКАЗНИК РОЗПАДУ ТКАНИННИХ БІЛКІВ

Процес синтезу сечовини відбувається у печінці з участю амінокислоти *орнітин*, тому має назву **орнітиновий цикл**. У результаті п'яти основних реакцій токсичний аміак зв'язується згідно зі схемою сумарного рівняння:



Із печінки сечовина надходить у кров та виводиться нирками. В середньому із організму дорослої людини з сечею виділяється 30—40 г сечовини на добу. Кількість її залежить від вмісту білків у їжі (Склярів, 2002).

Вміст сечовини в крові людини у нормі індивідуальний — у межах 3,5—6,5 ммоль·л⁻¹. Під час виконання фізичних вправ, які викликають розпад тканинних білків, її рівень збільшується до 8—12 ммоль·л⁻¹. Чим важчою була виконана робота, тим більший спостерігається приріст вмісту сечовини в крові одразу після неї.

Відновлення організму пов'язане із відновленням процесів обміну білка у тканинах, зокрема зменшенням швидкості розпаду білків та збільшенням їх біосинтезу. Це супроводжується поверненням до норми рівня сечовини у крові. Відновлення процесів біосинтезу білків після тривалої м'язової роботи відбувається повільно. Тому їх хід у спортивній практиці тестують через 12 год або більше. Нормалізація концентрації сечовини в крові, визначеної вранці натщесерце після попереднього тренування, свідчить про відновлення організму після фізичного навантаження. Тому у практиці спорту рівень сечовини в крові широко використовується як метаболічний показник процесів відновлення після тривалих фізичних навантажень. У клінічній практиці рівень сечовини в крові визначається як показник процесів розпаду тканинних білків, що спостерігається при певних захворюваннях чи порушення видільної функції нирок, коли рівень сечовини в крові може досягати 30 ммоль·л⁻¹.

Контрольні запитання

1. Яка добова потреба людини у білках та від чого вона залежить?
2. У чому полягає біологічна цінність білків їжі та чи буде підвищуватися працездатність у разі надлишкового надходження їх до організму?
3. Які особливості процесів хімічного розщеплення білків їжі та активності ферментів в травній системі? Що розуміють під розкладом білків?
4. Які зміни в обміні білків спостерігаються під впливом одноразових фізичних навантажень і за адаптації до них?
5. Що розуміють під гіпертрофією м'язів та чим вона зумовлена?
6. Що таке сечовина? З чого та де вона утворюється в організмі людини?

7. Як за зміною рівня сечовини у крові можна простежити хід процесів відновлення організму після фізичних тренувань?

Ситуаційні завдання

1. Вміст сечовини в крові після виконаного фізичного навантаження збільшився у два рази і після 12 год відпочинку залишався на 30 % вище фізіологічної норми, яка становила $4 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$. Розрахуйте величини сечовини у крові після фізичного навантаження і відпочинку та поясніть, як організм переніс навантаження та як відбувається процес відновлення.
2. Дайте оцінку адекватності виконаної роботи, якщо в одного спортсмена не виявлено білка в сечі після її виконання, а у другого білок з'явився.

Завдання для самостійної роботи студентів

- Розкрийте особливості білкового харчування спортсменів різних спеціалізацій та необхідність використання незамінних амінокислот і повноцінних білків їжі.

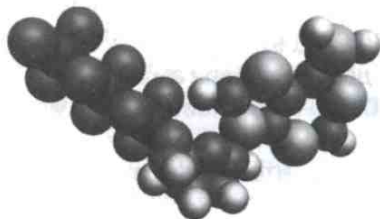
Тести для контролю знань

1. Назвати основний структурний компонент білка та нуклеїнових кислот.
 - А. Амінокислоти, глюкоза.
 - Б. Дезоксирибоза, амінокислота.
 - В. Пептиди, рибоза.
 - Г. Амінокислоти, нуклеотиди.
2. Без яких речовин не можливий біосинтез білка?
 - А. Пепсину, глюкози.
 - Б. Нуклеїнових кислот, рибози.
 - В. Гемоглобіну, амінокислот.
 - Г. Нуклеїнових кислот, амінокислот.
3. Який показник обміну білків використовується під час контролю процесів відновлення?
 - А. Молочна кислота.
 - Б. Аміак.
 - В. Сечовина.
 - Г. Амінокислоти.

4. Як змінюється обмін білків за фізичного навантаження?
- А. Переважає розпад білка, тому що не вистачає АТФ.
 - Б. Збільшується швидкість синтезу.
 - В. Розпад і синтез зрівноважені.
 - Г. При різних навантаженнях обмін змінюється не однаково.
5. Який процес відображає рівень сечовини в крові та як він змінюється під час роботи?
- А. Розпад вуглеводів, підвищується.
 - Б. Розпад білків та дезамінування амінокислот, підвищується.
 - В. Перетворення білків на вуглеводи, не змінюється.
 - Г. Біосинтез білка, знижується.
6. Як змінюється процес синтезу білка за адаптації організму до тренувань?
- А. Прискорюється процес синтезу тільки скоротливих білків.
 - Б. Прискорюється синтез білків-ферментів.
 - В. Активуються процеси біосинтезу різних білків, що лежить в основі гіпертрофії м'язів.
 - Г. Не спостерігаються суттєві зміни.

Розділ 12

БІОХІМІЯ М'ЯЗІВ ТА М'ЯЗОВОГО СКОРОЧЕННЯ



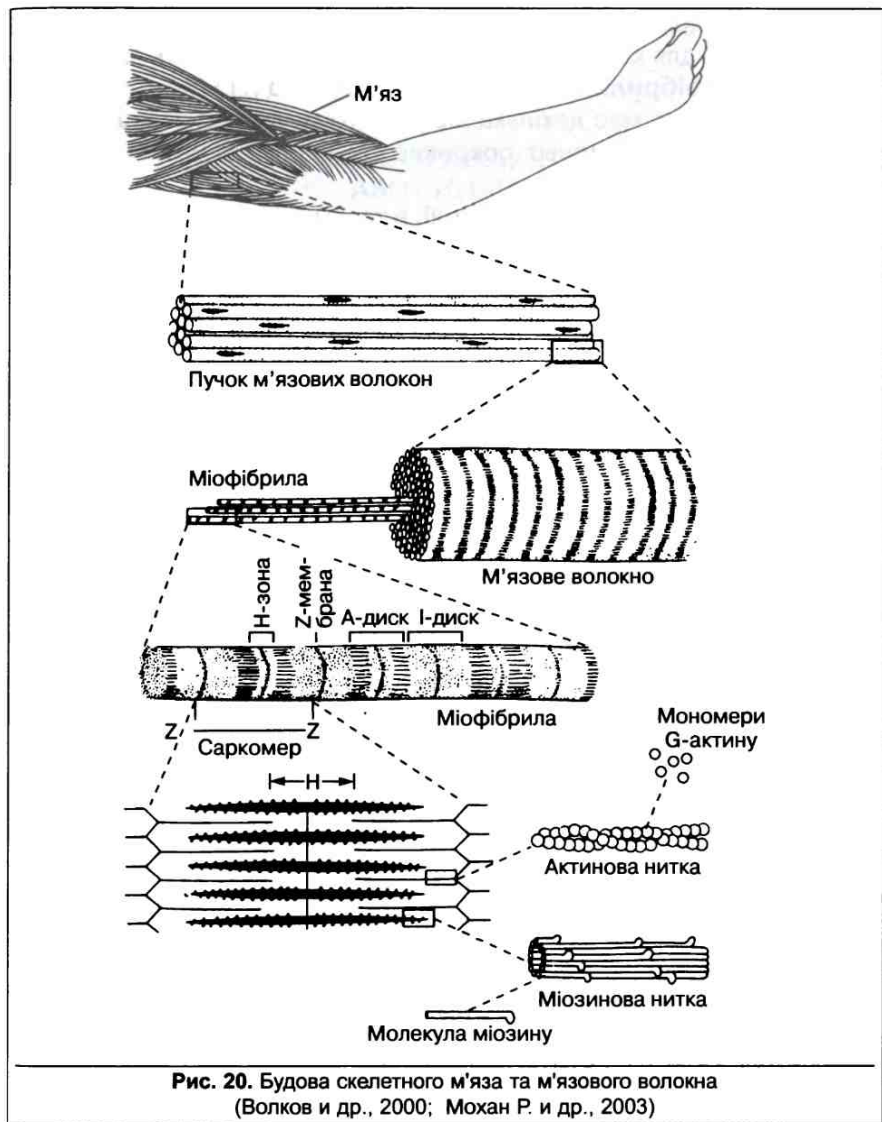
Кожний вид діяльності людини, крім мислення, пов'язаний із рухами або м'язовим напруженням. Щонайменше 450 різних м'язів забезпечують різноманітні рухи людини. Рухи відбуваються завдяки специфічній **функції** м'язів — процесам **скорочення** та **розслаблення**, що періодично повторюються. Вони можливі завдяки використанню хімічної енергії АТФ, яка перетворюється в кінетичну або механічну енергію. Функціонування м'язів регулюється нервовою системою, зокрема її окремими нервовими клітинами, які називають руховими (еферентні) нервами або мотонейронами. По них передають нервові імпульси від мозку до м'яза, що викликає його скорочення. Від м'язів до мозку інформація передається по чутливих (аферентних) нервах.

Сила та швидкість скорочення м'язів, тривалість їх роботи залежать як від регуляторного впливу нервової системи, так і від морфологічної будови та інтенсивності метаболізму, тобто перебігу біохімічних процесів.

СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ СКЕЛЕТНИХ М'ЯЗІВ

М'язи складаються із м'язових волокон (рис. 20). Вони покриті мембраною (фасцією), яка відділяє їх від сполучної тканини.

М'язове волокно — це структурна, а у поєднанні з нервовими клітинами і функціональна рухова одиниця м'яза. Кількість волокон в окремих м'язах різна. Так, литковий м'яз містить понад мільйон



(1 033 000) волокон, а м'яз ока — лише 5—6. Товщина м'язових волокон коливається в межах 50—250 мкм. Під впливом силових тренувань вона збільшується у два рази. Довжина м'язових волокон людини може сягати 12 см (Мак-Комас, 2001).

М'язові волокна можна розглядати як великі клітини, що містять усі характерні для клітин компоненти, а також специфічні скоротливі нитки — **міофібрили**. Волокна покриті складною мембраною — **сарколемою**, що має декілька шарів, у тому числі внутрішню мембрану, яка безпосередньо покриває цитозоль (внутрішній вміст) м'язового волокна.

Сарколема виконує різні функції, у тому числі:

- кріпить волокно до сухожилля;
- забезпечує обмін речовин між волокном та позаклітинним середовищем;
- бере участь в утворенні та функціонуванні нервово-м'язового з'єднання;
- забезпечує регенерацію м'язових волокон у разі їх пошкодження шляхом стимуляції розвитку клітин-сателітів.

Сарколема має такі властивості:

- напівпроникність для різних речовин, що створює різницю концентрації іонів Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- усередині м'язового волокна та поза ним;
- електророзбудливість — здатність утворювати електричний потенціал дії під час надходження нервового імпульсу завдяки швидкій зміні концентрації іонів натрію та калію у волокні та поза ним;
- здатність передавати збудливість (електричні імпульси) по всій довжині волокна;
- містить транспортні системи: білки-канали та насоси (Na^+ , K^+ — АТФ-залежний насос, Ca^{2+} — АТФ-залежний насос), за допомогою яких регулюється вміст іонів усередині м'язового волокна та підтримується електричний потенціал спокою та дії.

Таким чином, сарколема забезпечує не лише обмін речовин між волокном та навколишнім середовищем, а й процес збудження волокна.

Важливу роль у функції м'язів виконують внутрішньоклітинні мембрани **саркоплазматичного ретикулуму (СР)**, які обвивають міофібрили і контактують із сарколемою.

Саркоплазматичний ретикулум:

- передає збудження усередину волокна за допомогою Т-трубочок, якими з'єднується із сарколемою;
- депонує (накопичує) Ca^{2+} та вивільнює його шляхом дифузії (через канали) під час збудження, збільшуючи вміст вільного Ca^{2+} усередині волокна, або закачує його назад за допомогою АТФ-за-

лежного Ca^{2+} -насоса при розслабленні м'яза, тобто регулює вміст вільного Ca^{2+} у м'язовому волокні;

- забезпечує процеси метаболізму.

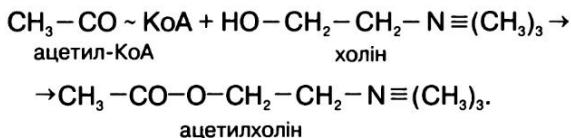
БУДОВА НЕРВОВО-М'ЯЗОВОГО З'ЄДНАННЯ, АБО СИНАПСУ

Оскільки скорочення м'язів регулюється нервовою системою, то до кожного м'язового волокна підходять закінчення рухового нерва (мотонейрона).

Мотонейрон, або **руховий нерв**, — це нервова клітина, яка складається із тіла, що знаходиться в основному у сірій речовині спинного мозку, коротких відростків — дендритів та довгого відростка — аксона. Дендрити приймають сигнали від інших нейронів із відповідної ділянки головного мозку та передають їх до тіла мотонейрона. Аксон передає нервовий імпульс до м'язових волокон, що сигналізує про необхідність скорочення. Довжина окремих аксонів може досягати 125 см (наприклад, того, який іннервує м'яз підшви людини, що має зріст 180 см). Тому скоротлива функція м'яза може змінюватись через пошкодження різних ділянок мотонейрона або аксона, що важливо знати для реабілітації хворих.

Збудження нервової системи передається на м'яз у місцях контакту нервового закінчення аксона із м'язовим волокном, яке називають синапсом. Синапс, або нервово-м'язове з'єднання, складається із пресинаптичної мембрани — мембрани нервового закінчення, синаптичної щілини та постсинаптичної мембрани — невеличкої ділянки сарколеми м'язового волокна, де відбувається їх з'єднання. Синапс забезпечує передачу електричного нервового імпульсу на м'язове волокно за допомогою хімічного **нейромедіатора** — **ацетилхоліну**.

Ацетилхолін синтезується зі спирту холіну та ацетил~КоА:



Зберігається він у нервових закінченнях у спеціальних міхурцях (візукулах). У кожному міхурці міститься майже 10 000 молекул ацетилхоліну. Вони квантами виходять у синаптичну щілину під час надходження нервового імпульсу до закінчення аксона.

ЗБУДЖЕННЯ М'ЯЗІВ ТА ВКЛЮЧЕННЯ У РОБОТУ РІЗНИХ ТИПІВ РУХОВИХ ОДИНИЦЬ

Збудження мотонейрона пов'язане з утворенням нервового імпульсу та передачею його по аксону. **Нервовий імпульс** — це електричний струм, що виникає на мембранах аксона під час утворення потенціалу дії завдяки швидкій зміні концентрації іонів Na^+ та K^+ усередині рухового нерва та на його поверхні, тобто зміні зарядів з обох сторін мембрани. Це відбувається за миттєвого відкривання та закривання натрієвих та калієвих каналів на мембрані аксона та подальшій роботі натрій-калієвого насоса, який за рахунок енергії АТФ викачує натрій із мотонейрона та накачує калій до рівня концентрації, характерного для стану спокою (потенціалу спокою). Потенціал спокою зумовлений різною концентрацією K^+ усередині клітин (багато) та поза нею (мало). Коли нервовий імпульс доходить до закінчення аксона, він стимулює відкривання потенціал-залежних Ca^{2+} -каналів мембрани аксона. Кальцій швидко входить усередину аксона і викликає вихід ацетилхоліну із міхурців у синаптичну щілину, тобто запускає процес передачі збудження на м'язове волокно. Якщо вміст Ca^{2+} буде недостатній або порушуються процеси його транспорту в нервові закінчення, то порушується і процес передачі нервового імпульсу в синапсі з участю ацетилхоліну.

Ацетилхолін передає збудження від нервової клітини до м'яза. У синапсі він зв'язується з рецепторами постсинаптичної мембрани м'язового волокна та сприяє відкриванню (буквально на 1 мс) каналів для іонів Na^+ . Іони натрію проникають через мембрану всередину волокна і деполаризують мембрану. Створюється електричний потенціал, завдяки якому збуджується усе м'язове волокно.

Синаптична передача припиняється шляхом розщеплення молекул ацетилхоліну за допомогою ферменту **ацетилхолінестерази**, яка знаходиться у синаптичній щілині та на поверхні постсинаптичної мембрани і має велике значення в регуляції процесів збудження м'язових волокон та його гальмування.

Аксон мотонейронів на кінці має багато розгалужень, що з'єднуються з різними м'язовими волокнами. Об'єднання багатьох м'язових волокон одним мотонейроном називають **руховою одиницею**. Вона працює як єдине ціле, тобто скорочуються усі м'язові волокна, що входять до неї. Кількість м'язових волокон в одній ру-

ховій одиниці може коливатися у межах від кількох одиниць (5 у м'язах очей) до кількох тисяч (1934 в литковому м'язі). При цьому, одні і ті самі рухові одиниці у різних людей можуть суттєво розрізнятися за кількістю м'язових волокон. Це впливає на прояви їхньої сили та пристосувальні здатності до фізичних навантажень.

Вирізняють два типи м'язових волокон і відповідно рухових одиниць: ті, що повільно скорочуються (ПС), або червоні, та ті, що швидко скорочуються (ШС), або білі. Вони мають різні морфологічні, біохімічні та функціональні характеристики, різну швидкість збудження, скорочення та стомлення.

Окремі типи м'язових волокон мають різні механізми енергоутворення та біохімічні субстрати і ферменти, що забезпечують їх. У ПС волокнах переважає аеробний малопотужний механізм утворення АТФ, котрий забезпечує виконання тривалої роботи низької потужності. Вони мають багато мітохондрій, ферментів для процесів біологічного окиснення, великі запаси глікогену, білка міоглобіну, що зв'яже кисень, та розгалужену капілярну сітку. Проте активність ферменту АТФази міозину низька.

ШС волокна, у свою чергу, поділяються на два підтипи: ШСа — окисно-гліколітичні, що забезпечують виконання роботи на швидкісну витривалість, та ШСб — чисто анаеробні або гліколітичні, що забезпечують швидкісну та силову роботу м'язів. Ці типи волокон, особливо типу ШСб, містять менше мітохондрій, білка міоглобіну та ферментів біологічного окиснення поживних речовин, але мають великі запаси глікогену та високу активність ферментів гліколізу і АТФази міозину. Тому ресинтез АТФ у них відбувається за рахунок анаеробних механізмів.

Різні м'язові волокна мають різний поріг збудження і тому втягуються у роботу різної потужності неодноразово. Якщо потужність роботи сягає не більше 25 % максимальної, то працюють ПС волокна, від 25 % до 40 % — підключаються ШСа волокна, а вище 40 % — ШСб волокна. При цьому у нетренованої людини в роботу м'язів втягується лише 55—60 % рухових одиниць, а у спортсменів — 85—90 %. Під час роботи максимальної потужності у процес включаються всі рухові одиниці одночасно.

Співвідношення між окремими видами м'язових волокон у пересічній особі у середньому таке: 55 % — ПС, 35 % — ШСа і 10 % — ШСб. У спортсменів-марафонців кількість ПС волокон становить 80 %, а у спринтерів — лише 23 %. Вміст окремих волокон у м'язах

людей генетично закріплений, але під впливом специфічних тренувань може змінитися їх співвідношення, в основному, за рахунок перетворення ШСа волокон на інші типи, але у невеликій кількості. Біологічною передумовою успіху у спорті є перевага окремого типу м'язових волокон у людини (Jesper I. et al., 2000).

Окремі м'язи складаються із багатьох рухових одиниць, які підключаються до роботи неодноразово. Їх включення залежить від частоти нервових імпульсів (стимуляції). Сила та швидкість скорочення залежить від кількості рухових одиниць, що беруть участь у русі.

ХІМІЧНИЙ СКЛАД М'ЯЗІВ

М'язи складаються із різних хімічних компонентів (табл. 6).

На скелетні м'язи дорослої людини припадає понад 40 % маси тіла. З віком вона зменшується (до 30 %), у жінок вона менша, що зу-

Таблиця 6. Хімічні компоненти скелетних м'язів і їх вміст в організмі людини

Компонент	Вміст (усереднені дані), % маси м'язів
Вода	70—80
Білки:	16—20, із них:
міофібрилярні	45
розчинні	35
білки строми	20
Вуглеводи:	
глікоген	0,3—3 (або 350—450 г)
Ліпіди (нейтральні жири)	0,4—1
Холестерин	0,06—0,20
АТФ	0,25—0,4 (5 ммоль·кг ⁻¹)
АДФ	0,05
КрФ	0,2—1 (16—25 ммоль·кг ⁻¹)
Дипептид карнітин	0,02—0,05
Амінокислоти	0,1—0,7
Молочна кислота	0,01—0,02
Креатин	0,002—0,005
Мінеральні речовини: із них найбільше макроелементів Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺	1—1,5

мовлює нижчу їхню фізичну працездатність, а у дітей вона становить близько 25 %. У спортсменів, які спеціалізуються з силових видів спорту, м'язова маса становить 50—55 %, а у культуристів — до 70 % загальної маси тіла.

БУДОВА МІОФІБРИЛ ТА СКОРОТЛИВИХ БІЛКІВ

Процес скорочення м'язів забезпечується скоротливими нитками — міофібрилами, які знаходяться усередині м'язових волокон у кількості від кількох сотень до кількох тисяч. Міофібрила складається із пучків товстих та тонких ниток. Товсті нитки містять скоротливий білок **міозин**, а тонкі — **актин** (рис. 21, а). Актинові нитки посередині фіксуються Z-мембранами. Ділянка між двома Z-мембранами має назву саркомер.

Саркомер — це скоротлива одиниця міофібрили, тому що скорочення відбувається шляхом руху (ковзання) актинових ниток уздовж міозинових до центру саркомера за рахунок утворення акто-міозинового комплексу та зміни структури білків, що зумовлює процес скорочення (див. рис. 20).

Міозин — це фібрилярний або ниткоподібний білок. Вміст його у скелетних м'язах найбільший (близько 55 % всіх білків м'язів). Складається він із довгої фібрилярної частини (хвоста) та кулькоподібної голівки, яка знаходиться під певним кутом до фібрилярної частини й утворює поперечні виступи (рис. 21, б). На голівках знаходяться два центри: взаємодії з актином та зв'язку з АТФ, де постійно відбувається розпад її молекули до АДФ та H_3PO_4 .

Біля голівки міозину знаходиться **фермент АТФаза**, який каталізує реакцію розпаду АТФ до АДФ і H_3PO_4 з виділенням енергії. Молекули міозину зібрані у пучки (товсті нитки) так, що голівки виступають і здатні контактувати з б-актиновими нитками.

Актин — це глобулярний білок, молекули якого здатні об'єднуватися (полімеризуватися) й утворювати тонку нитку. Тонкі нитки актину складаються із 2 спіральних ниток полімеризованого актину та фіксуючого їх білка **тропоміозину**.

В окремих місцях актинових ниток знаходиться Ca^{2+} -залежний регуляторний білок **тропонін**, який закриває центри взаємодії актину з міозином у стані спокою та відкриває їх на початку скорочення м'яза, коли збільшується вміст вільного кальцію у волокні, з яким він з'єднується.

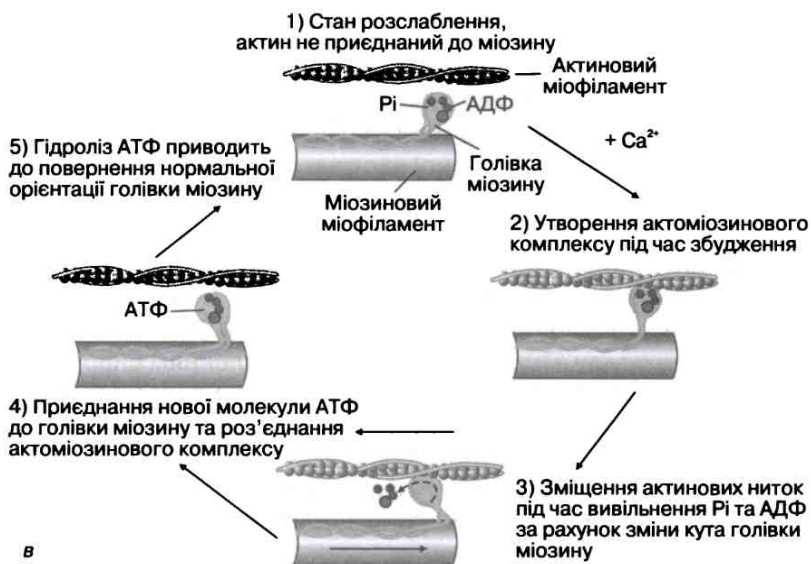
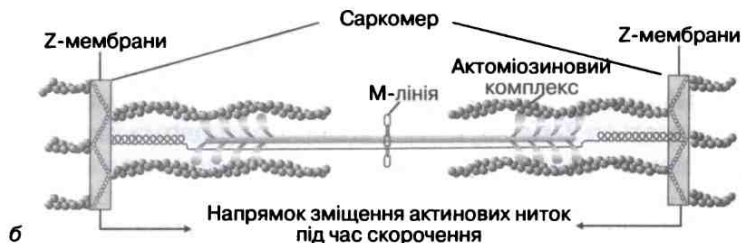
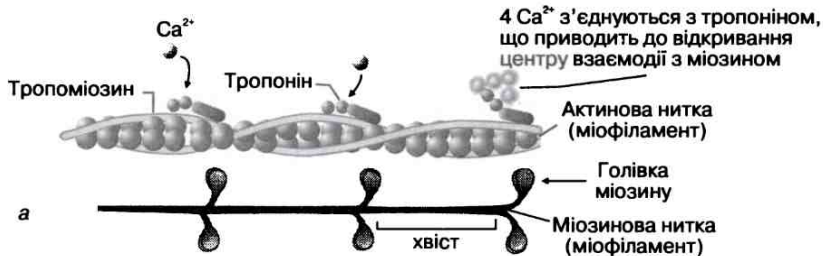


Рис. 21. Схема будови актинової та міозинової нитки (а), саркомера (б) та молекулярного механізму скорочення та розслаблення м'яза (в) [Rod R. Seeley та ін., 2003, зі змінами]

БІОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ, ЯКІ ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ СКОРОЧЕННЯ ТА РОЗСЛАБЛЕННЯ СКЕЛЕТНИХ М'ЯЗІВ

Скорочення м'язів починається під впливом ацетилхоліну, який виділяється із нервового закінчення в синапс, взаємодіє з сарколемою і збуджує її, утворюючи на її поверхні потенціал дії. Хвиля збудження, механізм якого вивчає фізіологія, дуже швидко поширюється уздовж всього м'язового волокна.

Збудження від сарколеми м'язових волокон передається всередину волокна до міофібрил з участю Т-систем мембран ретикулума. При цьому із замкнутих мембран ретикулума іони Ca^{2+} виходять у саркоплазму. Їхня концентрація збільшується майже в 100 разів.

Ca^{2+} запускає процес скорочення міофібрил і м'яза у цілому таким чином:

- надає додаткові електричні заряди скоротливим білковим ниткам і сприяє їх притягуванню;
- з'єднується з кальцій-регуляторним білком тропоніном на актинових нитках, що сприяє відкриванню центру взаємодії актину з міозином;
- активує АТФазу міозину і прискорює реакцію розпаду АТФ.

Реакція гідролізу АТФ ($\text{АТФ} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{Ca}^{2+}\text{-АТФаза міозину}} \text{АДФ} + \text{H}_3\text{PO}_4 + \Delta Q$) надає енергію для утворення актоміозинового комплексу і зменшення кута нахилу голівки міозину, що викликає протягування актинових ниток уздовж міозинових, яке і забезпечує процес скорочення. При цьому компоненти розпаду АТФ відходять від голівок міозину (див. рис. 21, в). Як свідчать наукові дані, у процесі взаємодії та зміщення актинових ниток відносно міозинових при скороченні м'язів важливу роль відіграє білок тропоміозин (Gordon et al., 2001).

Процес скорочення постійно чергується з процесом розслаблення м'язів, що включає такі біохімічні процеси:

- розслабленню передують припинення надходження нервового імпульсу;
- розщеплення ацетилхоліну в синапсах під дією ферментів ацетилхолінестераз;
- ресинтез АТФ та його з'єднання з голівками міозину створює умови для розходження ниток скоротливих білків, оскільки АТФ несе електричний заряд;

- АТФ-залежне закачування Ca^{2+} у ретикулум з участю Ca^{2+} -насо-су цих мембран, що викликає зниження активності АТФази міозину, блокування тропоніном на актині центрів взаємодії з міозином та розходження актинових та міозинових ниток;
- зміна структури білків колагену та еластину сполучної тканини, інших структур м'яза повертає м'язове волокно у розслаблений стан.

ВПЛИВ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА МЕТАБОЛІЗМ М'ЯЗІВ

Метаболічні зміни в скелетних м'язах під впливом фізичних тренувань залежать від характеру фізичних вправ та методики тренувань.

За адаптації до силових та швидкісно-силових тренувальних вправ спостерігається збільшення м'язової та кісткової маси за рахунок прискорення процесів синтезу скоротливих та структурних білків. Збільшення вмісту цих білків у м'язових волокнах веде до збільшення товщини міофібрил, маси та об'єму м'яза, що називають **м'язовою гіпертрофією**. При цьому найбільш виражена гіпертрофія під час фізичних тренувань спостерігається у ШС волокнах. При такій формі гіпертрофії спостерігається значне збільшення (в 2—4 рази) сили м'язів (Платонов, 2004).

Збільшення маси м'язів та товщини м'язових волокон може бути зумовлене збільшенням вмісту саркоплазми у волокнах. Такі зміни називають **саркоплазматичною гіпертрофією**. Вони мало впливають на приріст швидкісно-силових здатностей людини, але зумовлюють збільшення загальної витривалості.

Під впливом тренувальних навантажень на витривалість суттєво змінюються аеробні енергетичні спроможності м'язів та фізіологічних систем.

Підвищується ефективність роботи енергетичних систем за рахунок збільшення у м'язах активності та кількості ферментів енергетичного обміну та білка міоглобіну, а також (за рахунок гіпертрофії) вмісту АТФ — на 40—60 %, креатинфосфату — на 60—80 %, глікогену — на 80—100 % .

Значно збільшується також капіляризація м'язових волокон (особливо червоних) та кровообіг унаслідок розширення судин у скелетних м'язах під дією метаболічного оксиду нітрогену. Спосте-

рігається збільшення кількості та щільності мітохондрій, а також швидкості окиснення жирів під час м'язової діяльності (Вілмор, Костілл, 2003; Харгривс, 1998).

МЕТАБОЛІЧНІ ЗМІНИ У СКЕЛЕТНИХ М'ЯЗАХ ЗА УМОВ СТОМЛЕННЯ ТА ГІПОКІНЕЗІЇ

Під час **стомлення**, що буває загальним (усього організму) та локальним (окремих елементів рухової системи), спостерігаються порушення на рівні:

- діяльності нервової системи та процесів збудження;
- роботи синапсу, або передачі процесів збудження на м'язові волокна;

- метаболізму у м'язах;

- функції м'язів.

Основними біохімічними змінами, що викликають стомлення скелетних м'язів є:

- порушення процесів збудження;
- погіршення процесів транспорту Ca^{2+} і збільшення його вмісту у цитоплазмі;

- зменшення енергетичних ресурсів, особливо КрФ та запасів вуглеводів;

- збільшення вмісту молочної кислоти та розвиток ацидозу;

- зменшення ємності буферних систем;

- накопичення метаболітів: АМФ, H_3PO_4 , кетонових тіл тощо;

- пригнічення активності ферментів, особливо креатинфосфокінази;

- збільшення вмісту води у скелетних м'язах та їх набрякання.

Гіпокінезія — це стан організму, зумовлений недостатністю рухової активності або нерухомістю, що призводить до порушення різних ланок метаболізму та нейрогуморальної регуляції його у скелетних та серцевому м'язах, інших органах.

У м'язах зменшується швидкість використання АТФ, що викликає зниження швидкості процесів катаболізму, спрямованих на відновлення її рівня. З цим пов'язане порушення процесів обміну Ca^{2+} та інших мінералів, особливо у скелетних м'язах та кістках.

Знижується також швидкість біосинтезу білка у тканинах, що призводить до зменшення вмісту структурних та скоротливих білків в м'язах, тобто до зменшення м'язової маси та розвитку атрофії

м'язів. Порушення діяльності головного мозку та інтенсивності метаболізму в м'язах викликає порушення механізмів скорочення та розслаблення м'язів, втрату або зниження силових показників (стан гіподинамії). Тривалий стан гіпокінезії призводить до зниження працездатності та втрати здоров'я. Тому стає очевидним необхідність профілактики негативного впливу на організм малорухливого способу життя як здорових людей, так і інвалідів, які мають обмежені фізичні спроможності. Для цього повинні використовуватись спеціальні комплекси, форми та методи оздоровчої фізичної культури (Круцевич, 2003).

Контрольні запитання

1. Які існують типи м'язових волокон, особливості метаболізму в них та включення їх в роботу?
2. Яку роль відіграють Ca^{2+} , ацетилхолін та фермент, що інактивує його, в процесах скорочення—розслаблення м'язів?
3. Як можна охарактеризувати будову та властивості скоротливих білків м'язів?
4. Який вміст та роль АТФ, креатинфосфату і глікогену в окремих типах м'язових волокон?
5. Як можна охарактеризувати біохімічний механізм скорочення та розслаблення м'язів?
6. Які адаптаційні біохімічні зміни спостерігаються у м'язах за різних фізичних тренувань?
7. Які метаболічні зміни відбуваються у скелетних м'язах у період стомлення?
8. Які основні зміни метаболізму відбуваються в м'язах, що виникають за умов гіпокінезії?

Ситуаційні завдання

1. У людини спостерігається м'язове стомлення після спортивних тренувань на розвиток швидкісної витривалості, що супроводжується больовими відчуттями. Які метаболічні зміни зумовлюють стомлення та у яких типах м'язових волокон воно буде більш виражене?
2. У спортсмена виявлено стан м'язової гіпертрофії. Під впливом яких фізичних навантажень можливі такі зміни? Назвіть гормони, що беруть участь у цих процесах.

Завдання для самостійної роботи студентів

- Розкрийте адаптаційні біохімічні зміни в тканинах організму, що з'являються в результаті спортивних тренувань у вибраному виді спорту.
- Охарактеризуйте вплив оздоровчої фізичної культури на біохімічні та функціональні показники у людей з порушенням опорно-рухового апарату.

Тести для контролю знань

1. Назвати скоротливі білки м'язів.
А. Колаген та тропонін.
Б. Гемоглобін та міоглобін.
В. Актин та міозин.
Г. Аланін та метіонін.
2. Вказати на роль кальцію і ацетилхоліну в процесах скорочення м'язових волокон.
А. Кальцій запускає взаємодію актину з міозином, а ацетилхолін збуджує волокно.
Б. Кальцій запускає вихід ацетилхоліну до синаптичної щілини, а ацетилхолін збуджує волокно.
В. Кальцій запускає процес збудження м'яза, а ацетилхолін гальмує його.
Г. Кальцій стимулює вихід ацетилхоліну із пухирців, а ацетилхолін збуджує волокно.
3. Які біохімічні процеси зумовлюють збудження та скорочення скелетних м'язів?
А. Транспорт Ca^{2+} в ретикулум та ресинтез АТФ.
Б. Взаємодія адреналіну з рецептором та розщеплення АДФ.
В. Взаємодія ацетилхоліну з рецептором та розщеплення АТФ.
Г. Розпад глікогену та збільшення рівня лактату.
4. Які причини стомлення скелетних м'язів за інтенсивних фізичних навантажень?
А. Накопичення продукту гліколізу.
Б. Повне окиснення жирів.
В. Прискорення розпаду білків у м'язах.
Г. Значне зменшення вмісту АТФ у м'язах.
5. Який процес забезпечує АТФ під час скорочення та розслаблення м'язів?

- A. Передача нервового імпульсу на волокно та розпад ацетилхоліну під час розслаблення.
 - Б. Рух актинових ниток уздовж міозинових під час скорочення та транспорт Ca^{2+} у ретикулум під час розслаблення.
 - В. Взаємодія актину з міозином та не впливає на розслаблення.
 - Г. Утворення актоміозинового комплексу під час скорочення та розходження ниток після припинення надходження імпульсу.
6. Які адаптаційні зміни відбуваються у скелетних м'язах під впливом фізичних тренувань?
- A. Збільшується кількість вуглеводів та води.
 - Б. Збільшується кількість білків, енергетичних запасів, кількість та активність ферментів.
 - В. Збільшується кількість АТФ, зменшується запас жирів.
 - Г. Збільшується швидкість регуляції метаболізму, зменшується капіляризація волокон.

Розділ 13

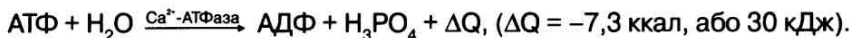
МЕХАНІЗМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ



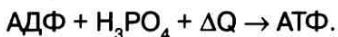
Усі види м'язової діяльності супроводжуються використанням хімічної енергії, завдяки якій м'язи виконують механічну роботу. Цю енергію забезпечують молекули АТФ та метаболічні процеси, що своєчасно відновлюють її рівень. Різна за характером м'язова робота забезпечується різними шляхами або механізмами відновлення (ресинтезу) АТФ.

РОЛЬ АТФ У ФУНКЦІЇ М'ЯЗІВ

АТФ — єдине джерело енергії для м'язової діяльності. Її енергія забезпечує процес скорочення. При цьому відбувається реакція розпаду (гідролізу) молекул АТФ з участю ферменту скоротливого білка міозину — **АТФази**, який активується іонами кальцію:



Вміст АТФ у скелетних м'язах відносно невеликий і вичерпується протягом 1—1,5 с напруженої роботи (3—5 сильних скорочень). Тому для підтримання м'язової діяльності повинен постійно відбуватися процес ресинтезу АТФ за рахунок такої кількості енергії, яка виділяється під час її розпаду:



Постійний ресинтез АТФ у м'язах необхідний також для процесу їх розслаблення. Завдяки енергії АТФ забезпечується активний

транспорт іонів Ca^{2+} в цистерни саркоплазматичного ретикулуму проти градієнту його концентрації. Зниження концентрації цього іона в цитоплазмі зумовлює розслаблення м'язів. Процес транспорту Ca^{2+} у ретикулум відбувається з участю ферменту Ca^{2+} -залежної АТФази мембран ретикулуму. Крім того, ресинтез АТФ та подальше з'єднання її з голівками міозину сприяє розходженню міозинових та актинових ниток, тобто розслабленню м'язів.

Таким чином, постійність концентрації АТФ у м'язовому волокні — метаболічна основа нормального його скорочення та розслаблення. Навіть незначне зниження концентрації АТФ погіршує процеси розслаблення і скорочення, а підвищення — скорочення м'язів.

Існує декілька механізмів ресинтезу АТФ, які постачають енергію для утворення макроергічного зв'язку в молекулі АТФ під час її синтезу із АДФ та H_3PO_4 . Кожний механізм має свої метаболічні та енергетичні особливості і робить різний внесок в енергозабезпечення м'язової діяльності організму.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНІЗМІВ ЕНЕРГОУТВОРЕННЯ

Виділяють один аеробний (окисне фосфорилування) та три анаеробні механізми ресинтезу АТФ у тканинах.

Основним механізмом ресинтезу АТФ у тканинах є **аеробний** (з участю кисню) процес окиснення поживних речовин, зокрема вуглеводів та жирів. Він закінчується у мітохондріях процесом **окисного фосфорилування**, що було розглянуто в розділі 5. Схематично цей процес відображено на рис. 7 та 17. Оскільки цей механізм багатостадійний, він відбувається повільно і не може забезпечувати велику швидкість ресинтезу АТФ.

Є також три **анаеробні механізми** ресинтезу АТФ, які мають велику потужність цього процесу і можуть забезпечити енергією виконання фізичних вправ великої інтенсивності:

- креатинфосфокіназний (алактатний);
- гліколітичний (лактатний);
- міокіназний (аденілаткіназний).

Для характеристики енергетичних спроможностей окремих механізмів використовуються такі критерії їх оцінки: максимальна потужність, метаболічна ємність, ефективність та швидкість розгортання.

Максимальна потужність — це швидкість утворення АТФ у даному механізмі. Вона лімітує інтенсивність виконуваної роботи.

Метаболічна ємність — це загальна кількість АТФ, яка ресинтезується у даному механізмі енергоутворення за рахунок запасів енергетичних субстратів і лімітує обсяг виконаної роботи.

Ефективність — це кількість енергії, яка накопичується (акумулюється) в молекулах АТФ по відношенню до всієї енергії, що виділяється. Велика частина енергії (> 50 %) речовини чи метаболічного процесу розсіюється у вигляді тепла. Ефективність механізму ресинтезу АТФ — це той показник, поліпшення якого свідчить про високий ступінь організації та регуляції метаболізму. За рахунок великої ефективності енергетичного процесу зростає економічність виконуваної роботи.

Швидкість розгортання процесу — це час, за який даний механізм виходить на максимальну потужність від початку роботи (рис. 22).

Порівняльну характеристику окремих механізмів енергозабезпечення виконання фізичних вправ за критеріями оцінки подано у табл. 7. Найбільшу потужність має креатинфосфокіназний механізм (3,6 моль·хв⁻¹ АТФ), найменшу — аеробний (до 1 моль·хв⁻¹).

Найбільшу метаболічну ємність має аеробний механізм, оскільки можуть використовуватись запаси вуглеводів та жирів, що становлять близько 15 кг. Ефективність найбільша у креатинфосфатного (до

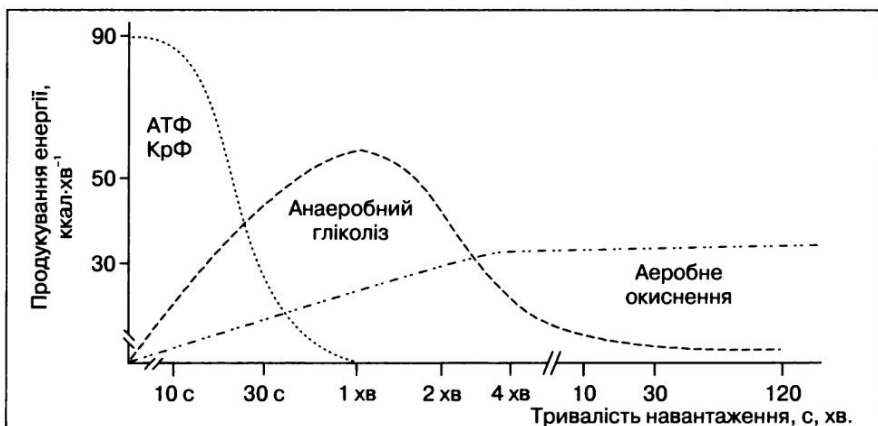


Рис. 22. Швидкість розгортання окремих механізмів ресинтезу АТФ залежно від терміну роботи

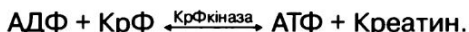
Таблиця 7. Характеристика механізмів енергозабезпечення м'язової діяльності за критеріями оцінки та час утримання їх максимальної потужності

Механізм ресинтезу АТФ	Максимальна потужність, моль·хв ⁻¹	Метаболічна ємність, моль·кг ⁻¹	Ефективність, %	Час розгортання	Час утримання максимальної потужності
Аеробний	1,0	90 (лише вуглеводи)	60	2—4 хв	Години
Креатинфосфокіназний	3,6	0,7	80	0,5—0,7 с	До 15 с
Гліколітичний	1,6	1,2	40	30 с	До 1—2 хв

80 %), оскільки креатинфосфат знаходиться безпосередньо на скоротливих нитках (міофібрилах) і відбувається проста реакція перефосфорилування між КрФ та АДФ в місцях використання АТФ.

АНАЕРОБНІ ТА АЕРОБНІ МЕХАНІЗМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

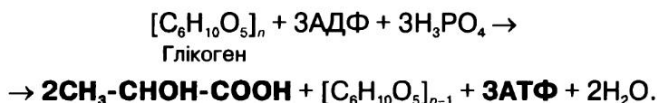
Креатинфосфокіназний механізм використовує клітинні запаси креатинфосфату (КрФ) та АДФ для підтримання постійності концентрації АТФ у випадках її швидкого використання. Як тільки зміщується рівновага АТФ ↔ АДФ у бік накопичення АДФ, активується ферментативна реакція перефосфорилування між КрФ та АДФ за участю ферменту креатинфосфокінази (КрФкіназа). При цьому утворюється АТФ та вільний креатин:



Ця реакція відбувається й у зворотному напрямку у мітохондріях, куди швидко дифундує креатин і взаємодіє з АТФ, яка там постійно синтезується за рахунок аеробного механізму. КрФ із мітохондрій знову надходить до міофібрил. Таким чином **КрФ виконує роль енергетичного буфера та носія енергії**. У зв'язку з цим у практиці спорту, фізичної реабілітації і клініки використовуються фармакологічні препарати креатину чи креатинфосфату для нормалізації або поліпшення енергетичного обміну в скелетних м'язах, серці тощо (Макарова, 2003).

Креатинфосфокіназний механізм забезпечує виконання короточасної роботи максимальної потужності протягом перших 6—15 с у нетренованих, а у спринтерів — до 20—30 с. На максимальну потужність він виходить у перші секунди напруженої роботи і тому забезпечує енергетичну основу проявів швидкості та сили. Він є основним в енергозабезпеченні бігу на 100 м, плавання на короткі дистанції, важкоатлетичних вправ, а також забезпечує можливість швидкого включення в роботу на старті та фініші. При адаптації організму до інтенсивних та силових фізичних навантажень у м'язах збільшується вміст КрФ у 1,5—2 рази та активність ферментів його обміну, що підвищує швидкісні та силові здатності людини.

Якщо інтенсивна робота триває більше 10—15 с, то енергозабезпечення її відбувається за рахунок іншого анаеробного **механізму гліколітичного ресинтезу АТФ**, який характерний, більшою мірою, для скелетних м'язів. Цей механізм також називають гліколізом та глікогенолізом. У процесі гліколізу відбувається анаеробне окиснення глікогену м'язів чи глюкози, що надходить з крові (детально цей процес розглядався в розділі 9, див. рис. 16). При цьому утворюється молочна кислота та 2 чи 3 молекули АТФ згідно з рівняннями:



Цей механізм має меншу максимальну потужність та швидкість розгортання, ніж креатинфосфокіназний. Він включається в енергозабезпечення в перші секунди роботи, але на максимальну потужність виходить на 30-й секунді інтенсивної м'язової роботи і може підтримувати її виконання протягом 1—2 хв (у тренуваних до 5 хв). Тому гліколіз забезпечує енергією біг на 200—400 м, плавання на 100—200 м, велогонки на короткі дистанції, інші, фізичні вправи субмаксимальної потужності, які виконуються за умов нестачі кисню у тканинах (гіпоксії). Гліколіз є біоенергетичною основою швидкісної та силової витривалості людини.

Під час гліколізу в скелетних м'язах накопичується молочна кислота, яка пригнічує діяльність ферментів цього процесу. Вона швид-

ко виходить у кров, де у нормі рівень її становить 1—1,5 ммоль·л⁻¹, а після виконання граничних інтенсивних вправ може збільшуватись у нетренованому організмі до 6—10 ммоль·л⁻¹, а у тренovanому до 10—20 ммоль·л⁻¹ і більше.

Молочна кислота викликає больові відчуття в м'язах під час роботи, тому що закиснує внутрішнє середовище. Вона дисоціює на іон лактату та іон гідрогена: $\text{CH}_3\text{CHOCOOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHONCOO}^- + \text{H}^+$. Закиснення спричиняють іони гідрогена, які викликають набухання субклітинних білкових структур, що стискає нервові закінчення та викликає біль і розвиток м'язового стомлення. При цьому може змінюватись величина рН у м'язах від 7,0 до 6,5 та у крові від 7,36 до 6,8 (6,5) у тренovanому організмі, а у нетренованому меншою мірою. Помірні зміни рН у бік закиснення активують ферменти аеробного енергоутворення, за рахунок якого виконується подальша робота.

Метаболічна ємність гліколізу залежить від вмісту глікогену у скелетних м'язах та роботи буферних систем, тому збільшення їх запасів має суттєве значення для виконання відносно тривалої напруженої роботи, що дуже важливо для різних видів спорту, а також м'язової діяльності неспортсменів.

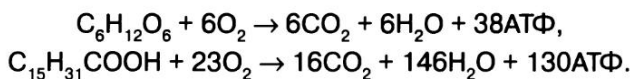
Міокіназний механізм ресинтезу АТФ відбувається у м'язах при значному збільшенні концентрації АДФ у клітинах. Це спостерігається лише у критичних станах організму за умов виснажливої роботи м'язів та стомлення. Суть цього механізму полягає в реакції перефосфорилування між двома молекулами АДФ з утвореннями АТФ та АМФ:



У результаті такої реакції організм втрачає одну молекулу АДФ, яка могла б бути перетворена на АТФ, тому що молекула АМФ може перетворюватися на інозинову кислоту (ІМФ) і не використовуватися в обміні енергії.

Аеробний механізм ресинтезу АТФ забезпечує понад 90 % АТФ організму. Це повільний механізм енергоутворення, бо включає багато біохімічних перетворень. Поживні речовини — вуглеводи, жири та білки — розпадаються до мономерів. Далі мономери та деякі прості метаболіти (молочна кислота, кетоніві тіла) поступово перетворюються на молекули ацетил-КоА, які є інтегратором метаболізму. Ацетил-КоА окиснюється у мітохондріях у циклі лимонної кислоти

та у дихальному ланцюзі до кінцевих продуктів обміну CO_2 та H_2O . При цьому протони H^+ та електрони (e^-) відщеплюються від окиснювальної речовини та передаються на O_2 , що вдихаємо (див. рис. 7 та 17). На внутрішніх мембранах мітохондрій утворюється градієнт концентрації H^+ та електричний потенціал, енергія якого з участю ферменту **H^+ -АТФ синтетази** використовується для утворення молекули АТФ. Процес синтезу АТФ за рахунок енергії біологічного окиснення називають **окисним фосфорилуванням**. Схема рівнянь аеробного окиснення глюкози та жирної пальмітинової кислоти така:



Аеробний механізм енергоутворення найкраще відбувається у типах м'язових волокон, що скорочуються повільно. На максимальну потужність він виходить на 2—4-й хвилині помірної фізичної роботи у нетренованої людини та на першій хвилині — у тренованої і може підтримувати її декілька годин. Він є біоенергетичною основою загальної витривалості.

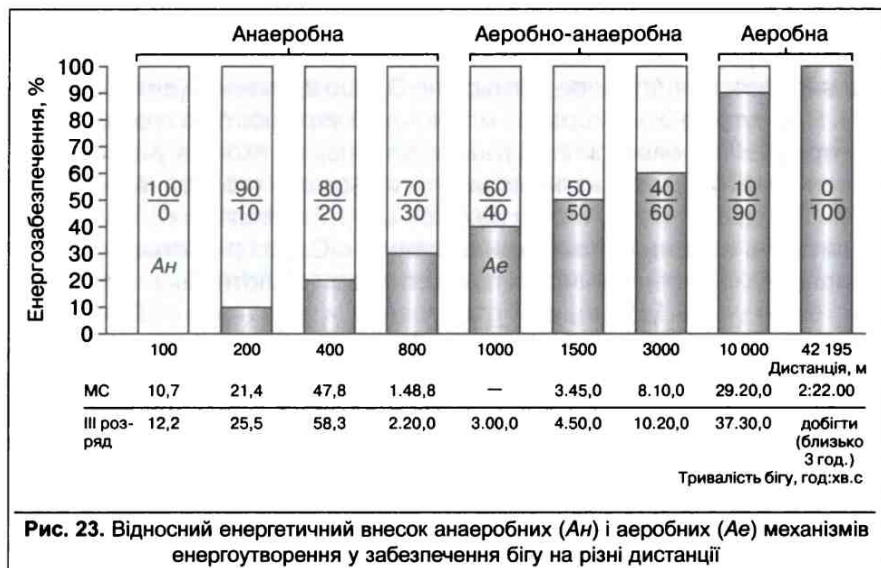
Ефективність роботи цього механізму залежить від багатьох факторів:

- співвідношення у клітинах АТФ/АДФ;
- надходження O_2 до скелетних м'язів та інших клітин, а також кількості білка міоглобіну, який зв'язує його;
- активності ферментів біологічного окиснення;
- кількості мітохондрій та стану їхніх мембран;
- наявності вітамінів (групи В, С, К та ін.), мінералів (Fe, Cu, Ca), переносників гідрогена — НАД та ФМН, гормонів, інших регуляторів метаболізму.

Цей механізм поліпшується під час виконання навантажень великої та помірної потужності: бігу на 5000 та 10 000 м, плавання на 800 м і більше, бігу на ковзанах, лижних та велосипедних гонок.

ВНЕСОК ОКРЕМИХ МЕХАНІЗМІВ ЕНЕРГОУТВОРЕННЯ У ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БІГУ НА РІЗНІ ДИСТАНЦІЇ

Біг на різні дистанції — це хороший приклад виконання різної за потужністю та тривалістю роботи, яка забезпечується різним внеском в її виконання анаеробних та аеробних механізмів енергоутворення



(рис. 23). При цьому між інтенсивністю та тривалістю роботи існує зворотний зв'язок — чим інтенсивніше виконується робота, тим вона менш тривала. Тому зі збільшенням дистанції чи тривалості бігу збільшується частка аеробного механізму енергоутворення і зменшується анаеробного. Фізичні вправи, під час виконання яких внесок анаеробного енергозабезпечення становить понад 70 %, відносять до вправ анаеробного типу. Вправи, у виконанні яких енерговитрати на 70 % забезпечуються аеробним механізмом енергоутворення, відносять до вправ аеробного типу, а якщо вправи виконуються однаковою мірою з участю обох механізмів енергоутворення, то вони належать до змішаного анаеробно-аеробного типу (Волков и др., 2000).

МЕТАБОЛІЧНІ ЗМІНИ В ОРГАНІЗМІ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ВПРАВ РІЗНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Виходячи із інтенсивності фізичних навантажень та механізмів їх енергетичного забезпечення, усі циклічні вправи згідно з одною із багатьох класифікацій фізичних вправ поділяють на роботу в чотирьох зонах відносної потужності: максимальній, субмаксимальній, великій та помірній. При виконанні фізичних вправ у зоні кожної по-

Таблиця 8. Біохімічні зміни в організмі людини при виконанні фізичних вправ у різних зонах відносної потужності

(↑ збільшення, ↓ зменшення вмісту метаболіту чи показника)

Показник	Зона потужності			
	Максимальна	Субмаксимальна	Велика	Помірна
Час роботи	2—30 с	30 с — 3 (5) хв	3—50 хв	50 хв — 5 год
Шлях енергоутворення	КрФ — 95 %, гліколіз	Гліколіз, КрФ	Аеробний, 40—90 %	Аеробний
Джерела енергії, їх зміни після роботи (↑, ↓)	АТФ↓, КрФ↓, глікоген	КрФ↓, глікоген м'язів, печінки	Глікоген м'язів↓, печінки↓, жири	Глікоген↓, жири
Глюкоза у крові, г·л ⁻¹	0,8 (норма) до 1,2↑	до 2↑	до 1,5↑	0,8 0,6↓
Молочна кислота в крові, ммоль·л ⁻¹	1,5 (норма) до 2,5↑	У неспортсменів > до 6—12 У спортсменів >10—20 (28)	↑У межах 4—10	1,5
pH крові	7,36 або 7,2↓ (норма)	6,8↓	7,3↓	7,36
Білок у сечі, %	—	1,5 %	0,5 %	—
Кисневий борг	90—95 %	50—90 %	20—30 %	≈10 %
Час відновлення	до 1 год	2—5 год	5—24 год	24—72 год
Фактори стомлення	КрФ↓, АДФ↑	Порушення діяльності ЦНС, NH ₃ ↑, КрФ↓, pH↓	Глікоген↓, pH↓, pO ₂ ↓	Глікоген↓, кетоз, t = 42 °C, H ₂ O↓

тужності відбуваються певні біохімічні зміни, за якими можна характеризувати виконану роботу (табл. 8).

Оцінювати інтенсивність виконаної роботи можна також за іншими показниками, які часто використовуються у практиці фізичного виховання і спорту: енерговитратах, відносних одиницях енергетичних витрат — метаболічному еквіваленті (МЕТ), величиною ЧСС, що відобра-

Таблиця 9. Залежність величини ЧСС від інтенсивності навантаження

ЧСС, уд·хв ⁻¹	СК, % МСК	Відносна інтенсивність навантаження
110—130	40—45	Мала
130—150	50—55	
150—170	60—65	Середня
170—180	75—85	
180—190	85—90	Висока
190—210	90—100	

жає відносну інтенсивність роботи, виражену в відсотках МСК (максимального споживання кисню) тощо (Круцевич, 2003). Але необхідно знати, що величина енергетичних витрат під час фізичних навантажень індивідуальна і залежить від статі, віку, маси тіла, рівня фізичної підготовленості та спадкових ознак.

Під величиною МЕТ розуміють відношення енергетичної вартості навантаження

до інтенсивності основного обміну. 1 МЕТ відповідає рівню основного обміну і становить $1—1,4 \text{ ккал} \cdot \text{хв}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$ ($4,18—5,85 \text{ кДж} \cdot \text{хв}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$).

Відносне оцінювання інтенсивності навантаження аеробної спрямованості можна провести за величиною ЧСС, реєстрованої під час виконання роботи. Існує лінійна залежність між величинами ЧСС та споживанням кисню, яке залежить від інтенсивності роботи (табл. 9). Споживання кисню (СК) виражають у відсотках МСК, тобто відношення величини поточного спожитого кисню до його максимального значення.

Контрольні запитання

1. Які існують критерії оцінки шляхів ресинтезу АТФ?
2. Виконання якої роботи забезпечують анаеробні механізми ресинтезу АТФ? У чому полягають їхні переваги та недоліки?
3. Як можна охарактеризувати аеробний механізм відновлення АТФ та роботу, яку він забезпечує?
4. Які механізми ресинтезу АТФ беруть участь у енергозабезпеченні бігових дистанцій на 100, 1000 м та марафонську?
5. За якими біохімічними змінами у крові та сечі можна характеризувати виконану роботу та розвиток стомлення.

Ситуаційні завдання

1. Обґрунтуйте, у якій зоні потужності виконана робота та як вона перенесена, якщо після її виконання у крові рівень молочної кис-

лоти сягав $10 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$, вміст глюкози був підвищений і у сечі з'явився білок.

2. Необхідно покращити швидкісні здатності за рахунок збільшення метаболічної максимальної потужності алактатного механізму ресинтезу АТФ. Які вправи потрібно використовувати для цього?
3. Потрібно підвищити енергетичні запаси в м'язах спринтеру та марафонцю перед змаганнями. Які ергогенні препарати сприяють цьому? Поясніть їх вплив на процеси скорочення скелетних м'язів та фізичну працездатність.

Завдання для самостійної роботи студентів

- Ознайомтеся з ергогенними препаратами, що використовуються в практиці спорту і фізичної реабілітації для підвищення фізичної працездатності та прискорення процесів відновлення.

Тести для контролю знань

1. Назвати основний механізм енергозабезпечення роботи помірної потужності.
 - А. Аеробний.
 - Б. Гліколітичний.
 - В. Алактатний.
 - Г. Міокіназний.
2. Який механізм ресинтезу АТФ забезпечує виконання роботи максимальної потужності?
 - А. Міокіназний.
 - Б. Креатинфосфокіназний.
 - В. Аеробний.
 - Г. Гліколітичний.
3. За рахунок якого механізму енергоутворення забезпечуються прояви швидкісної та силової витривалості людини?
 - А. Гліколітичного.
 - Б. Аеробного окиснення.
 - В. Окисного фосфорилування.
 - Г. Міокіназного.
4. Які фізичні навантаження будуть поліпшувати гліколітичний шлях ресинтезу АТФ у м'язах?
 - А. Інтенсивні вправи протягом 1—2 хв.
 - Б. Довготривалі вправи помірної потужності.

В. Інтенсивні вправи протягом 5—10 с.

Г. Біг на 100 м.

5. Написати креатинфосфокіназний механізм утворення АТФ та час забезпечення роботи м'язів.

А. $\text{КрФ} + \text{АМФ} \rightarrow \text{АДФ} + \text{Кр}$, (2—5 с).

Б. $\text{КрФ} + \text{АДФ} \rightarrow \text{АТФ} + \text{Кр}$, (10—15 с).

В. $\text{КрФ} + \text{АТФ} \rightarrow \text{АДФ} + \text{Кр}$, (10—15 хв).

Г. $\text{Креатин} + \text{АТФ} \rightarrow \text{КрФ} + \text{АДФ}$, (20—30 хв).

6. Які є критерії оцінки механізмів ресинтезу АТФ?

А. Швидкість, довготривалість, об'єм.

Б. Інтенсивність, сила, швидкість.

В. Потужність, ємність, ефективність.

Г. Ємність, сила, реактивність

Розділ 14

БІОХІМІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОРГАНІЗМУ



Під час адаптації організму до фізичних навантажень, перетренування, а також при патологічних станах в організмі змінюється обмін речовин. Це веде до появи у різних тканинах і біологічних рідинах окремих метаболітів (продуктів обміну речовин), що відображають функціональні зміни і можуть слугувати біохімічними тестами або показниками їхньої характеристики. Тому у практиці спорту, фізичної реабілітації чи рекреації разом з медичним, педагогічним, психологічним і фізіологічним контролем використовується біохімічний контроль функціонального стану організму людини.

Визначення біохімічних показників обміну речовин у спортсменів дозволяє вирішувати такі завдання комплексного обстеження:

- оцінка функціонального стану організму;
- спостереження за адаптаційними змінами основних енергетичних та функціональних систем у процесі тренування;
- виявлення передпатологічних та патологічних змін метаболізму.

Біохімічний контроль дозволяє також вирішувати й окремі завдання: виявлення реакції організму на фізичні навантаження, визначення рівня тренуваності, ефективності застосування фармакологічних засобів відновлення чи підвищення працездатності, ролі енергетичних метаболічних систем у м'язовій діяльності, впливу кліматичних факторів та ін. У зв'язку з цим у практиці спорту широко використовується біохімічний контроль на різних етапах підготовки спортсменів.

ОБ'ЄКТИ, МЕТОДИ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ БІОХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктами біохімічного дослідження організму людини можуть бути повітря, яке видихається, та біологічні рідини — кров, сеча, слина, піт, а також м'язова тканина.

Повітря, що видихається — один з основних об'єктів дослідження процесів енергетичного обміну в організмі, визначення величини енерговитрат, а також використання окремих енергетичних джерел в енергозабезпеченні м'язової діяльності. Для цього визначають кількість O_2 , що споживається, та CO_2 , що видихається протягом певного відрізка часу. Так за співвідношенням об'ємів цих газів можна визначити дихальний коефіцієнт ($DK = V(CO_2) / V(O_2)$), який іще називають респіраторним відношенням (RR). Величина DK змінюється у межах 1—0,7 і вказує на внесок вуглеводів, жирів та білків в енергетику роботи. Якщо величина DK = 1, то окиснюються лише вуглеводи, якщо близько 0,7 — жири, якщо 0,8 — білки, а при рівноцінному обміні вуглеводів, жирів та білків це співвідношення становить 0,82—0,85.

Кров використовується як один з найважливіших об'єктів біохімічних досліджень людини, оскільки у ній віддзеркалюються всі метаболічні зміни, що відбуваються у тканинах організму. За змінами складу крові або рідкої її частини — плазми — можна судити про гомеостатичний стан внутрішнього середовища організму та його зміни під час спортивної діяльності (табл. 10).

Сеча як рідина, що містить воду та різні органічні і неорганічні речовини організму, деякою мірою відображає роботу нирок — основного видільного органу організму, а також динаміку обмінних процесів у різних органах і тканинах і, зокрема у плазмі крові (табл. 11). Тому за змінами кількісного і якісного її складу можна судити про стан окремих компонентів обміну речовин, надлишкове їх надходження, порушення гомеостатичних реакцій в організмі, у тому числі пов'язаних із м'язовою діяльністю. Із сечею з організму виводяться різні хімічні речовини: *надлишок води та електrolітів, проміжні і кінцеві продукти обміну речовин, гормони, вітаміни, чужорідні речовини*. Важливим показником азотного балансу в організмі, який характеризує обмін тканинних білків та засвоєння білків їжі, є величина виділеного *загального азоту* з сечею, яка в нормі становить близько 16 г. У практиці спорту часто

Таблиця 10. Основні хімічні компоненти цільної крові і плазми здорової дорослої людини

Компонент крові	Цільна кров	Плазма
Вода, %	75—85	90—91
Сухий залишок (білок крові), %	15—25	9—10
Загальний білок, г·л ⁻¹	—	65—80
Гемоглобін, г·л ⁻¹	120—140 (жін.)	—
	140—160 (чол.)	
Гематокрит, мл·100 мл ⁻¹	37—47 (жін.)	—
	40—54 (чол.)	
Глобуліни, г·л ⁻¹	—	20—30
Альбуміни, г·л ⁻¹	—	40—50
Сечовина, ммоль·л ⁻¹	3,30—6,60	3,30—6,60
Сечова кислота, ммоль·л ⁻¹	0,18—0,24	0,24—0,29
Креатин, ммоль·л ⁻¹	0,23—0,38	0,08—0,11
Креатинін, ммоль·л ⁻¹	0,06—0,067	0,06—0,067
Глюкоза, ммоль·л ⁻¹	3,30—5,50	3,60—5,50
Молочна кислота, ммоль·л ⁻¹	—	1,00—2,50
Піровиноградна кислота, ммоль·л ⁻¹	—	0,07—0,14
Нейтральні жири, ммоль·л ⁻¹	1,00—2,60	1,20—2,80
Вільні жирні кислоти, ммоль·л ⁻¹	—	0,10—0,40
Холестерин загальний, ммоль·л ⁻¹	3,90—5,20	3,90—6,50
Кетоніві тіла, ммоль·л ⁻¹	—	8—30
Ацетооцтова кислота, ммоль·л ⁻¹	—	0,05—0,19
Ацетон, ммоль·л ⁻¹	0,20	0,20—0,30
Лимонна кислота, ммоль·л ⁻¹	—	0,10—0,15
Аскорбінова кислота, ммоль·л ⁻¹	—	0,05—0,10
Білірубін загальний, ммоль·л ⁻¹	—	4—26
pH	7,35—7,45	—

досліджується вміст *креатину* та *креатиніну* в сечі. Їх добове виділення залежить від маси тіла і тому може характеризувати спортивну гіпертрофію м'язів під час окремих видів тренувань, а також швидкість метаболізму креатину в м'язах, у клінічній практиці — зміни функції нирок. У сечі досліджують вміст вітамінів, що розчиняються у воді, для того, щоб оцінити вітамінну забезпеченість

Таблиця 11. Хімічний склад сечі здорової дорослої людини

Компонент сечі	Вміст у нормі	
	г·доба ⁻¹	ммоль·доба ⁻¹
Органічні речовини:	22—46	—
сечовина	20—35	333—583
амінокислоти	До 1,1	8,8
креатинін	1,0—2,0	8,8—17,7
сечова кислота	0,2—1,2	1,2—7,1
глюкоза	0	0
білок	0	0
Неорганічні речовини:	15—25	—
хлорид	3,6—9,0	100—250
фосфор неорганічний	0,9—1,3	29—45
фосфати	2,0—6,7	—
натрій	3,0—6,0	130—260
калій	1,5—3,2	38—82
кальцій (загальний)	0,1—0,25	2,5—6,2
магній	0,1—0,2	4,2—8,4
бікарбонати	—	0,5 ммоль·л ⁻¹ (при рН 5,6)
азот аміаку	0,5—1,0	36—71
рН	4,6—8,0	—

організму. Так за нормальної забезпеченості організму людини вітаміном С, він виділяється з сечею у межах 20—30 мг або 113,5—170,3 мкмоль на добу.

Важливе діагностичне значення мають фізико-хімічні властивості сечі: її добовий **об'єм, колір** (у нормі солом'яно-жовтий), **запах** специфічних летких речовин, **прозорість** та **густина** (в нормі коливається від 1,014 до 1,025). Вони змінюються під час фізичних навантажень, при специфіці харчування, різних патологіях нирок, печінки тощо. Протягом доби виділяється в середньому близько **1—1,5 л** сечі, яка у нормі має слабкокисло реакцію (рН = 5—6), не містить глюкози, білка та елементів крові. Виділення сечі за певний проміжок часу називають **діурезом**. Припинення виділення сечі при порушенні сечовидільної функції нирок називають **анурією**, а зменшення об'єму її виділення до 0,5 л — **олігурією**.

Слина звичайно використовується паралельно з іншими біохімічними об'єктами. У слині визначають електроліти (Na^+ і K^+), активність ферментів (амілази), величину рН, вміст різних метаболітів.

М'язова тканина є дуже показовим об'єктом біохімічного контролю м'язової діяльності, однак використовується рідко, тому що потрібно брати шматочок м'язової тканини методом біопсії — вищипування шприцом. У пробах визначають кількість скоротливих білків (актину і міозину), АТФазну активність міозину, показники енергетичного потенціалу (вміст АТФ, креатинфосфату, глікогену), продукти енергетичного обміну, електроліти й інші речовини. За їх вмістом визначають склад та функціональну активність м'яза, його енергетичний потенціал, а також зміни, що відбуваються під впливом одноразового фізичного навантаження чи довготривалих тренувань.

Вибір методів біохімічного обстеження має важливе значення, тому що вони можуть різнитися точністю і вірогідністю. Останнім часом у практиці спорту, особливо при самоконтролі функціонального стану організму, широко використовуються експрес-методи визначення багатьох (близько 10) різних біохімічних показників у плазмі крові та сечі за допомогою спеціальних діагностичних смужок. Основані вони на здатності певної речовини (глюкози, білка, вітаміну С, кетонів, сечовини, гемоглобіну, нітратів і ін.) реагувати з нанесеними на індикаторну смужку реактивами і змінювати її колір. Звичайно наноситься крапля досліджуваної крові чи сечі на індикаторну смужку "Глюкотесту", "Пентафану", "Меді-тесту" чи інших діагностичних тестів і за 1 хв її колір порівнюється з індикаторною шкалою даного тесту чи вимірюється глюкометром, лактометром чи рН-метром.

У практиці спорту широко використовується під час біохімічного обстеження лабораторна система LP-400, за допомогою якої можна швидко та точно визначити в крові до 60 різних біохімічних показників.

Одні і ті самі біохімічні методи та показники можуть використовуватися для вирішення різних завдань. Так, визначення вмісту лактату в крові використовується для оцінки рівня тренуваності, спрямованості й ефективності застосовуваної вправи, а також під час відбору людей для занять окремими видами спорту, оцінки впливу засобів фізичної реабілітації чи оздоровчої фізичної культури.

Організація і проведення біохімічного обстеження включає час і місце, вибір досліджуваних біохімічних показників, вони мають бути

надійними — повторюватися під час багаторазового контрольного обстеження та інформативними — відобразити сутність досліджуваного процесу.

У кожному конкретному випадку визначаються різні біохімічні показники обміну речовин. Більшість біохімічних показників у тренуваних і нетренуваних людей у стані спокою мало різняться, тому для виявлення тренуваності **обстеження слід проводити перед та після виконання стандартних чи граничних фізичних вправ**, які добираються залежно від поставленої мети дослідження.

ОСНОВНІ БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ КРОВІ ТА СЕЧІ

Показники вуглеводного обміну. Глюкоза у крові підтримується на відносно постійному рівні спеціальними регуляторними механізмами в межах $3,3\text{—}5,5\text{ ммоль}\cdot\text{л}^{-1}$.

Зміна її вмісту в крові під час м'язової діяльності індивідуальна і залежить від рівня тренуваності організму, потужності та тривалості фізичних вправ. Короточасні фізичні навантаження максимальної і субмаксимальної інтенсивності можуть підвищити вміст глюкози в крові за рахунок посиленого розщеплення глікогену печінки під впливом адреналіну. Тривалі фізичні навантаження ведуть до зниження вмісту глюкози в крові. У нетренуваних людей це зниження більш виражене; ніж у тренуваних. Знижений її вміст свідчить про вичерпання запасів глікогену печінки або інтенсивне використання глюкози тканинами організму.

За зміною вмісту глюкози в крові судять про швидкість аеробного окиснення її у тканинах організму під час м'язової діяльності та інтенсивність мобілізації глікогену печінки. У спортивній діагностиці цей показник обміну вуглеводів рідко використовується самостійно, тому що рівень глюкози в крові залежить також від емоційного стану людини, гуморальних механізмів регуляції, харчування та інших факторів.

Стойке підвищення рівня глюкози в крові вранці натщесерце свідчить про порушення обміну вуглеводів через зміну у гормональній системі регуляції та розвиток захворювань (цукровий діабет тощо).

Сеча здорової людини не містить глюкози. Вона може з'явитися за інтенсивної м'язової діяльності, емоційного напруження перед стартом та надлишкового надходження вуглеводів з їжею (алімен-

тарна глюкозурія) у результаті підвищення її рівня у крові (стан гіперглікемії). Поява глюкози у сечі під час фізичних навантажень свідчить про інтенсивну мобілізацію глікогену печінки. Постійна наявність глюкози в сечі є діагностичним тестом захворювання на цукровий діабет.

Молочна кислота — є продуктом гліколітичного механізму ресинтезу АТФ у скелетних м'язах, який активується за умов виконання інтенсивних фізичних вправ та гіпоксичному стані організму. Вміст молочної кислоти в крові у нормі в стані відносного спокою становить $1\text{—}1,5\text{ ммоль}\cdot\text{л}^{-1}$, а під час виконання інтенсивної фізичної роботи значно зростає. Після роботи молочна кислота виходить у кров поступово, досягаючи максимуму на $3\text{—}7$ -й хвилині після її закінчення. Тому саме в цей час її визначають. Накопичення її в крові співпадає з посиленням утворенням у м'язах і може досягати у спортсменів $30\text{ ммоль}\cdot\text{л}^{-1}$ за умови виснаження. Кількість молочної кислоти більша у венозній крові, ніж в артеріальній. Після виконання інтенсивної роботи вміст її у крові може зростати у нетренованої людини до $5\text{—}6$ (13) $\text{ммоль}\cdot\text{л}^{-1}$, у тренуваної — до $20\text{ ммоль}\cdot\text{л}^{-1}$ і вище.

Під час контролю ефективності тренувального процесу доцільно визначати рівень молочної кислоти у крові після виконання стандартних фізичних навантажень на різних етапах цього процесу. Зниження вмісту молочної кислоти у крові від одного етапу тренувань до іншого свідчить про підвищення рівня тренуваності, а підвищення — про його неефективність.

Якщо виявляються великі концентрації молочної кислоти в крові після виконання граничної роботи субмаксимальної потужності, то це свідчить про високий рівень тренуваності або збільшення метаболічної ємності гліколізу та більшу стійкість гліколітичних ферментів до закиснення середовища.

Таким чином, зміна концентрації молочної кислоти в крові після виконання фізичних вправ залежить від стану тренуваності людини. Тому за змінами її вмісту в крові визначають ступінь тренуваності організму, його анаеробні гліколітичні спроможності, що важливо під час відбору спортсменів, а також максимальну потужність аеробного механізму енергоутворення та перебіг процесів відновлення організму після фізичної роботи.

Показники ліпідного обміну. Вільні жирні кислоти (ВЖК) утворюються під час розпаду у тканинах нейтральних жирів, структурними компонентами яких вони є. Тому рівень вільних жирних кислот

у крові відображає швидкість ліполізу триглицеридів у печінці і жирових депо. В нормі їх вміст у крові становить $0,1\text{—}0,4$ ммоль·л⁻¹ і збільшується під час тривалих фізичних навантажень.

За змінами вмісту ВЖК у крові контролюють ступінь підключення ліпідів до процесів енергозабезпечення м'язової діяльності, а також економічність енергетичних систем чи ступінь взаємозв'язку між ліпідним і вуглеводним обміном. Високий ступінь сполучення цих механізмів енергозабезпечення під час аеробних навантажень є показником високого рівня функціональної підготовки спортсмена.

Кетонові тіла (ацетооцтова кислота, бета-гідроксимаєляна кислота, ацетон) утворюються у печінці з ацетил-КоА за посиленого окиснення жирних кислот у тканинах організму. Кетонові тіла з печінки надходять у кров і доставляються до тканин, де більша частина їх використовується як енергетичний субстрат, а менша виводиться з сечею. Вміст кетонових тіл у крові у нормі відносно невеликий — 8 ммоль·л⁻¹. Під час тривалих фізичних вправ рівень кетонових тіл у крові збільшується до 20 ммоль·л⁻¹ (кетонемія). Вони можуть з'явитися у сечі, тоді як у нормі у сечі кетонові тіла майже не виявляються простими методами ($20\text{—}40$ мг за добу).

Поява кетонових тіл у сечі (кетонурія) у здорових людей спостерігається під час голодування, виключення вуглеводів з раціону харчування, виконання тривалих фізичних навантажень помірної потужності. Цей показник має також діагностичне значення для виявлення захворювань на цукровий діабет та тиреотоксикоз.

За збільшенням вмісту кетонових тіл у крові та появи їх у сечі під час м'язової діяльності визначають перехід енергоутворення з вуглеводних джерел на ліпідні. Більш раннє підключення ліпідних джерел свідчить про більшу економічність аеробних механізмів енергозабезпечення м'язової діяльності, а отже підвищення рівня тренуваності організму.

Холестерин. Це представник стероїдних ліпідів, що не бере участі у процесах енергоутворення в організмі. Вміст холестерину у плазмі крові у нормі становить $3,9\text{—}6,5$ ммоль·л⁻¹ і залежить від статі, віку, дієти, рухової активності. Постійне збільшення рівня холестерину і його окремих ліпопротеїдних комплексів у плазмі крові слугує діагностичним тестом розвитку важкого захворювання — атеросклерозу, що супроводжується пошкодженням стінок кровоносних судин. Тому для раннього діагностування таких порушень *необхідно один раз на рік проводити контроль обміну холестерину.*

Фосфоліпіди. Вміст фосфоліпідів у крові у нормі становить 1,5—3,6 г·л⁻¹. Підвищення їхнього рівня спостерігається при діабеті, захворюваннях нирок, гіпофункції щитовидної залози та інших порушень обміну, а зниження — при жировій дистрофії печінки, тобто коли пошкоджуються структури печінки, в яких вони синтезуються. Під час занять спортом можливі порушення функції печінки, тому цей показник теж потрібно контролювати.

Продукти пероксидного окиснення ліпідів. Активація процесів пероксидного окиснення ліпідів у скелетних м'язях та інших тканинах спостерігається не тільки під час інтенсивних фізичних навантажень, але й при різних захворюваннях. Ці продукти метаболізму у тканинах викликають стомлення, пошкоджують мембрани тканин тощо. Тому під час біохімічних обстежень для оцінки підготовленості спортсменів або інтенсивності деструктивних процесів у тканинах визначається вміст цих продуктів у крові та активність ферментів антиоксидантного захисту, які знешкоджують їх або протидіють утворенню.

Показники білкового обміну. Гемоглобін є основним білком еритроцитів крові, що виконує кисневотранспортну функцію. Концентрація його в крові залежить від статі і становить у середньому 120—140 г·л⁻¹ — у жінок і 140—160 г·л⁻¹ — у чоловіків, а також від ступеня тренуваності, зокрема фізичної витривалості. З ростом рівня тренуваності спортсменів у видах, спрямованих на витривалість, концентрація гемоглобіну в крові в жінок зростає в середньому до 130—150 г·л⁻¹, у чоловіків — до 160—180 г·л⁻¹. Збільшення вмісту гемоглобіну в крові деякою мірою відображає адаптацію організму до фізичних навантажень на витривалість та умов гіпоксії.

У разі інтенсивних тренувань, а також за нераціонального харчування відбувається руйнування еритроцитів крові і зниження концентрації гемоглобіну до 90 г·л⁻¹ і нижче, що розглядається як залізодефіцитна "спортивна анемія". У такому випадку варто змінити програму тренувань, а у раціоні харчування збільшити вміст білків, заліза і вітамінів групи В, або використати феромісні препарати.

Альбуміни і глобуліни. Це низькомолекулярні основні білки плазми крові. Альбуміни становлять 50—60 % усіх білків сироватки крові (вміст у сироватці в нормі близько 30—50 г·л⁻¹), глобуліни — 35—40 % (4—12 г·л⁻¹). Вони виконують різноманітні функції в організмі: у складі імунної системи (особливо глобуліни) захищають організм від інфекцій, беруть участь у підтриманні рН крові, транспортують різні органічні і неорганічні речовини, використовуються для

побудови інших речовин. Підвищення їх вмісту спостерігається у разі зневоднення організму. Кількісне співвідношення їх у плазмі крові у нормі відносно постійне і відображає стан здоров'я людини. Співвідношення цих білків змінюється у разі стомлення, при багатьох захворюваннях і може використовуватися у спортивній медицині як діагностичний показник стану здоров'я.

Сечовина. Рівень сечовини в крові характеризує інтенсивність розпаду тканинних білків та дезамінування амінокислот, у результаті чого утворюється токсичний аміак (NH_3), який у печінці перетворюється на нетоксичну сечовину. З печінки сечовина надходить у кров і виводиться із сечею.

Концентрація сечовини в крові у нормі індивідуальна — у межах $3,5\text{—}6,5$ ммоль·л⁻¹. Вона може збільшуватися у разі значного надходження білків з їжею до $7\text{—}8$ ммоль·л⁻¹, за умов порушення видільної функції нирок — до $16\text{—}20$ ммоль·л⁻¹, а також після виконання тривалої фізичної роботи за рахунок посилення катаболізму білків — до 9 ммоль·л⁻¹ і більше.

У практиці спорту цей показник широко використовується для оцінки перенесення спортсменом тренувальних і змагальних фізичних навантажень, перебігу тренувальних занять, але найчастіше для контролю процесів відновлення організму після фізичних тренувань. Для одержання об'єктивної інформації концентрацію сечовини визначають наступного дня після тренування ранком натще-серце, тобто через 12 год після роботи. Якщо виконане фізичне навантаження адекватне функціональним можливостям організму і відбулося відносно швидке відновлення метаболізму, то вміст у крові вранці буде у нормі. Якщо вміст сечовини вранці залишається вище норми, то це свідчить про недовідновлення організму або його стомлення.

Наявність білка у сечі. У здорової людини білок у сечі не міститься. Поява його (протеїнурія) можлива при захворюванні нирок (нефрозі), пошкодженні сечових шляхів, а також при надлишковому надходженні білків з їжею чи після м'язової діяльності анаеробної спрямованості. Це пов'язано з порушенням проникності клітинних мембран нирок через закислення середовища організму і виходу білків плазми в сечу. При цьому може спостерігатися помутніння сечі під час відстоювання. За величиною концентрації білка в сечі після виконання фізичної роботи можна визначити її потужність. Так, після виконаної роботи в зоні великої потужності концентрація

білка становить 0,5 %, а у зоні субмаксимальної потужності може досягати 1,5 %.

Креатинін у сечі. Ця речовина утворюється у м'язах у процесі розпаду креатинфосфату. Добове виділення його із сечею відносно постійне для кожної людини і залежить від м'язової маси тіла. У чоловіків воно становить 18—32 мг·кг⁻¹ на добу, у жінок — 10—25 мг·кг⁻¹. За вмістом креатиніну у сечі можна побічно оцінити швидкість креатинфосфокіназної реакції, а також м'язову масу тіла.

Креатин. У нормі у сечі дорослих людей креатин відсутній. Виявляється він у разі перетренування і патологічних змін у м'язах, тому наявність креатину у сечі може використовуватися як тест для виявлення реакції організму на фізичні навантаження.

Контрольні запитання

1. Які існують основні об'єкти біохімічних досліджень?
2. Що потрібно враховувати під час організації обстеження спортсменів?
3. Які існують основні біохімічні показники крові та сечі, та як можна пояснити їх інформативність для спеціаліста у галузі фізичного виховання і спорту?
4. За якими показниками та як можна визначити реакцію організму на фізичне навантаження?
5. За якими біохімічними показниками можна оцінити рівень функціональної підготовленості спортсмена?
6. За якими показниками можна виявити захворювання на цукровий діабет?
7. Яку інформацію можна одержати в спортивній практиці за результатами визначення рівня сечовини у крові?

Ситуаційні завдання

1. Дайте характеристику метаболічних змін в організмі людини та реакції її на виконане фізичне навантаження, якщо після інтенсивного навантаження у першого обстежуваного рівень молочної кислоти у крові збільшився лише на 40 %, сечовини не змінився, а у другого — рівень молочної кислоти підвищився на 100 % і сечовина збільшилась на 20 %.

2. Який із двох спортсменів може показати гірший результат, якщо біохімічне обстеження перед змаганнями зі спринту показало, що у першого спортсмена концентрація гемоглобіну в крові становить $100 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, глюкози $3,5 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$ та молочної кислоти — $4 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$, тоді як у другого спортсмена концентрація гемоглобіну — 140 , глюкози — $6,5$, а молочної кислоти — $1 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$?

Завдання для самостійної роботи студентів

- Опишіть, які метаболічні показники можуть змінюватися у крові та сечі після виконання змагальних вправ з обраного виду спорту та з якими біохімічними процесами це пов'язано.
- Опишіть як потрібно провести біохімічне обстеження спортсменів, щоб оцінити ступінь тренуваності або дати характеристику стану відновлення організму після виконаного тривалого навантаження помірної потужності.
- Складіть структурну карту ролі знань з біохімії для спеціаліста галузі фізичного виховання і спорту: тренера, реабілітолога, рекреатора.

Тести для контролю знань

1. Який метаболіт визначають у крові та сечі для виявлення захворювання на цукровий діабет, а який для відновлення організму після фізичних вправ?
 - А. Ацетон, амінокислоти.
 - Б. Білок, сечовину.
 - В. Глюкозу, сечовину.
 - Г. Молочну кислоту, рН.
2. За якими біохімічними показниками можна визначити адекватність виконаного фізичного навантаження?
 - А. Сечовина і лактат у крові.
 - Б. Ацетон і рН сечі.
 - В. Гемоглобін та глюкоза в крові.
 - Г. Холестерин та білки крові.
3. За появою якого показника у сечі можна визначити потужність виконаної роботи?
 - А. Білок.
 - Б. Глюкоза.

В. Сечовина.

Г. Вітаміни.

4. Які з біохімічних показників є найбільш інформативними для визначення рівня тренуваності та завершення відновлення організму під час м'язової діяльності?

А. рН та глюкоза.

Б. Гемоглобін та кетонові тіла.

В. КрФ та жирні кислоти.

Г. Молочна кислота та сечовина.

5. Як організм переніс фізичне тренування, якщо рівень сечовини у крові збільшується від 4 до 8 ммоль·л⁻¹, а вранці залишився на рівні 6?

А. Добре, тому що рівень сечовини повинен збільшуватись після тренування.

Б. Занадто сильне навантаження, тому що організм не відновлюється на ранок.

В. Нормальна реакція на навантаження, але затягнувся процес відновлення.

Г. Всі тренування показують такі зміни.

6. Чи впливає характер харчування та фізичні навантаження на фізико-хімічні властивості сечі? Які можливі зміни?

А. Не впливає, вони постійні.

Б. Впливає тільки їжа, змінюється прозорість та кислотність.

В. Впливає, особливо змінюється кислотність, густина та колір.

Г. Не виявлено змін.

**ВІДПОВІДІ НА ТЕСТИ
ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ**

- Розділ 1. 1. **А**, 2. **Б**, 3. **В**, 4. **В**, 5. **А**, 6. **Б**.
Розділ 2. 1. **В**, 2. **Б**, 3. **В**, 4. **А**, 5. **Б**, 6. **А**.
Розділ 3. 1. **А**, 2. **В**, 3. **А**, 4. **Б**, 5. **В**, 6. **Б**.
Розділ 4. 1. **Б**, 2. **С**, 3. **В**, 4. **Б**, 5. **Б**, 6. **Г**.
Розділ 5. 1. **А**, 2. **Б**, 3. **А**, 4. **Г**, 5. **Б**, 6. **В**.
Розділ 6. 1. **А**, 2. **Б**, 3. **В**, 4. **А**, 5. **Б**, 6. **В**.
Розділ 7. 1. **А**, 2. **Б**, 3. **В**, 4. **А**, 5. **Б**, 6. **В**.
Розділ 8. 1. **В**, 2. **Б**, 3. **В**, 4. **А**, 5. **Б**, 6. **В**.
Розділ 9. 1. **Г**, 2. **Б**, 3. **В**, 4. **А**, 5. **Б**, 6. **В**.
Розділ 10. 1. **Б**, 2. **Б**, 3. **А**, 4. **В**, 5. **В**, 6. **Б**.
Розділ 11. 1. **Г**, 2. **Г**, 3. **В**, 4. **А**, 5. **Б**, 6. **В**.
Розділ 12. 1. **В**, 2. **А**, 3. **В**, 4. **А**, 5. **Б**, 6. **Б**.
Розділ 13. 1. **А**, 2. **Б**, 3. **А**, 4. **А**, 5. **Б**, 6. **В**.
Розділ 14. 1. **В**, 2. **А**, 3. **А**, 4. **Г**, 5. **Б**, 6. **В**.

СЛОВНИК БІОХІМІЧНИХ ТЕРМІНІВ ТА ПОНЯТЬ

- Авітаміноз** — порушення біохімічних та фізіологічних процесів унаслідок тривалої відсутності одного або декількох вітамінів в організмі, що веде до захворювання.
- Аденілатциклаза** — фермент, що каталізує реакцію утворення цАМФ із АТФ у клітинах організму.
- Аденін** — пуринова нітрогенна основа, що входить до складу нуклеїнових кислот та аденілових нуклеотидів.
- Аденозин** — сполука аденіну з рибозою або дезоксирибозою, входить до складу аденозинфосфорних кислот, нуклеїнових кислот та деяких ферментів, використовується для стимуляції серцевої діяльності.
- Аденозиндифосфорна кислота (АДФ)** — сполука аденозину з двома залишками фосфорної кислоти, містить один багатий енергією (макроергічний) хімічний зв'язок і є основним субстратом для синтезу АТФ.
- Аденозинмонофосфат циклічний (цАМФ)** — сполука аденіну, рибози та фосфорної кислоти, яка має з'єднання фосфатної групи з рибозою. цАМФ синтезується у клітинах організму з АТФ і виконує роль універсального передавача дії гормонів на внутрішньоклітинні процеси, наприклад адреналіну.
- Аденозинмонофосфорна кислота (АМФ)** — нуклеотид, що складається із аденіну та рибози, з'єднаних із залишком фосфорної кислоти. Відіграє важливу роль в обміні речовин та енергії, оскільки входить до складу коферменту дегідрогеназ (ФАД).
- Аденозинтрифосфорна кислота (АТФ)** — сполука аденозину з трьома залишками фосфорної кислоти, дві з яких приєднані макроергічними хімічними зв'язками. АТФ є основним акумулятором хімічної енергії в клітинах організму, яка використовується під час скорочення м'язів, у діяльності вищої нервової системи тощо. У медицині застосовується для лікування серцево-судинних захворювань.
- Аденозинфосфорні кислоти** — нуклеотиди, які складаються з аденозину та 1, 2 або 3 залишків фосфорної кислоти.
- Адреналін** — гормон, який синтезується наднирковими залозами з амінокислоти тирозину та фенілаланіну. Активує розпад глікогену в м'язах та печінці, а також розпад ліпідів. Підвищує силу серце-

вих скорочень. Як нейромедіатор симпатичного відділу нервової системи регулює тонус кровоносних судин. Відіграє важливу роль у запуску реакцій адаптації організму до стресу, фізичних навантажень.

Адренокортикотропний гормон (АКТГ) — гормон передньої частки гіпофіза, має білкову хімічну природу, регулює функцію кіркової речовини надниркових залоз.

Аеробне окиснення вуглеводів — розпад і окиснення глюкози у тканинах організму з участю кисню (аеробно) до кінцевих продуктів CO_2 і H_2O з вивільненням енергії, яка зосереджується в молекулах АТФ (38), забезпечує роботу на витривалість.

Азотисті основи — включають пуринові (похідні пурину — аденін, гуанін) та піримідинові основи (похідні піримідину — цитозин, урацил, тимін), входять до складу нуклеотидів та нуклеїнових кислот.

Активна реакція середовища — кисла, лужна чи нейтральна, характеризується співвідношенням концентрації іонів гідрогена (H^+) та гідроксильних іонів (OH^-) у розчині або біологічній рідині, визначається водневим показником (рН).

Актин — скоротливий білок м'язової тканини, що знаходиться в тонких нитках міофібрил і взаємодіє з міозином з утворенням актоміозину, який скорочується.

Акцептори атомів гідрогена — речовини, що приєднують протони (H^+) і електрони (e^-). Акцепторами можуть бути ферменти, кисень та інші речовини.

Алкалоз — залуження внутрішнього середовища організму.

Аміак (NH_3) — сполука нітрогену з киснем, утворюється в організмі під час розпаду білків і дезамінуванні амінокислот, особливо у м'язах під час тривалих напружених фізичних навантажень. Токсичний, знешкоджується та виводиться з організму у вигляді сечовини, що синтезується у печінці.

Амінокислоти — органічні кислоти, які містять одну або кілька аміногруп ($-\text{NH}_2$) і карбоксильну групу ($-\text{COOH}$), є структурним компонентом білків.

Амінокислоти замінні — ті, що можуть синтезуватися в організмі людини.

Амінокислоти незамінні — ті, що не синтезуються у тканинах організму. До них належать: валін, гістидин, лейцин, ізолейцин, лізин, метіонін, треонін, фенілаланін.

Анаболіки — речовини різної хімічної природи, частіше гормональної (стероїди та нестероїди), стимулюють синтез білка у тканинах організму, збільшують масу м'язів. Анаболічну дію виявляють чоловічий статевий гормон (тестостерон), гонадотропний та соматотропний гормони гіпофізу тощо.

Анаеробне окиснення вуглеводів (гліколіз або глікогеноліз) — складний ферментативний процес розщеплення глюкози у тканинах організму до молекул молочної кислоти та енергії у вигляді тепла і АТФ. Відбувається без участі кисню (анаеробно): $C_6H_{12}O_6 \rightarrow \rightarrow 2$ молекули молочної кислоти + 2 АТФ. Якщо процес окиснення починається з розпаду глікогену, то він має назву глікогеноліз. Це основний механізм енергозабезпечення інтенсивної фізичної роботи тривалістю від 30 с до 1—3 хв.

Андрогени — група стероїдних гормонів, які синтезуються у чоловічих статевих залозах, найактивніший представник — тестостерон. Він впливає на нормальний ріст та розвиток чоловічих статевих органів і вторинних статевих ознак — андрогенна дія, а також стимулює біосинтез білка та обмін кальцію, сприяє нарощуванню м'язів — анаболічна дія.

Антиоксиданти — речовини, які гальмують реакції пероксидного окиснення ліпідів мембран, чи зв'язують пероксидні сполуки. Використовуються в практиці спорту та клініці для запобігання накопичення пероксидних сполук, що є токсичними і можуть пошкоджувати клітини. До них належать, наприклад, вітаміни Е, А, С та мінерали Zn, Se, ін.

Асиміляція (анаболізм) — засвоєння необхідних для організму речовин та синтез специфічних для нього складних речовин. Відбувається з поглинанням великої кількості енергії.

Аскорбінова кислота (вітамін С) — за будовою подібна до моносахаридів (гексоз), розчинна в воді, термонестійка, має велике значення у процесах біологічного окиснення поживних речовин, підвищує фізичну працездатність, стійкість організму до інфекцій. Відсутність її у їжі веде до захворювання *цингою*.

АТФаза (аденозинтрифосфатаза) — фермент, що розщеплює молекули АТФ до АДФ і H_3PO_4 . Від її активності у м'язах залежать швидкісні та силові якості людини.

Ацетил-Кофермент А (ацетил-КоА) — активна форма оцтової кислоти, сполука її з коферментом ацетилювання (КоА-SH) через сульфгідрильну групу коферменту ($CH_3-CO-S-CoA$). Утво-

роюється в клітинах під час розщеплення вуглеводів, жирів та білків.

Ацетилхолін — складний естер холіну й оцтової кислоти, синтезується у нервовій тканині під дією ферменту холінацетилази. Він є хімічним передавачем парасимпатичної нервової системи, забезпечує збудження скелетних м'язів.

Ацетилхоліністераза — фермент, що каталізує розщеплення ацетилхоліну у синапсах та усуває його фізіологічну дію.

Ацидоз — стан закиснення організму, що пов'язаний із накопиченням у тканинах кислих продуктів обміну речовин. Буває ацидоз *компенсаторний*, коли рН крові залишається в межах 7,3—7,4, зменшуються лише лужні резерви, а також *некомпенсаторний*, коли значення рН внутрішнього середовища знижується. Виникає при напруженій м'язовій діяльності та викликає стомлення.

Бікарбонатна буферна система — складається зі слабкої вугільної кислоти (H_2CO_3) та її натрієвої солі від сильної основи ($NaHCO_3$) у співвідношенні 1:20. Є одною з основних буферних систем крові, що перешкоджає змінам рН внутрішнього середовища.

Білки — високомолекулярні органічні сполуки, які складаються з амінокислот, з'єднаних між собою пептидними зв'язками. Білки є найважливішою складовою усіх живих організмів.

Білки повноцінні — білки їжі, що містять усі незамінні амінокислоти, в основному, це білки тваринного походження.

Біологічна хімія — розділ біології, що вивчає хімічний склад організмів, властивості і хімічні перетворення речовин у тканинах під час їх життєдіяльності.

Біологічне окиснення — процес ферментативного відщеплення та перенесення електронів і протонів гідрогена від окиснюваної речовини (донора), до речовини, що відновлюється (акцептора), за рахунок чого вивільнюється потенційна енергія окиснюваних речовин.

Біосинтез білка — процес утворення нових молекул білка, що відбувається на рибосомах з участю нуклеїнових кислот у два основні етапи: *транскрипція* — синтез у ядрі клітини інформаційної РНК на ДНК як матриці; *трансляція* — зчитування інформації, що закодована в молекулах іРНК, і переведення її у певну послідовність амінокислотних залишків у молекулі білка (синтез білка на рибосомах).

Буферні системи — суміші розчинів слабких кислот або основ з їхніми солями, різних солей фосфатів, білків, які здатні підтримува-

- ти сталість активної реакції середовища або рН. Основні буферні системи організму: бікарбонатна, фосфатна, білкова.
- Вазопресин** — гормон задньої частки гіпофіза, який підтримує сталість водно-сольового обміну (затримує воду — антидіуретичний), підсилює процес скорочення гладких м'язів, судин, підвищує кров'яний тиск.
- Вітаміни** — органічні сполуки, які в організмі, в основному, не синтезуються і мають надходити із продуктами харчування, оскільки є регуляторами обміну речовини. Поділяються на водорозчинні (група В, С, Р, РР та ін.) та жиророзчинні (А, D, Е, К). За відсутності в організмі окремих вітамінів (авітамінози) можуть виникати певні захворювання.
- Водневий показник (рН)** — від'ємний десятковий логарифм концентрації іонів гідрогена, що позначається у грам-іонах на 1 л. Показник активної реакції рідкого середовища. Змінюється від 0 до 14. Водні розчини, в яких величина рН дорівнює 7 — нейтральні, понад 7 — лужні, менше 7 — кислі.
- Вуглеводи** — великий клас органічних речовин, побудованих з атомів карбону, гідрогена та кисню з загальною формулою $C_nH_{2n}O_n$. В організмі людини виконують головну енергетичну роль, забезпечуючи понад 50 % енерговитрат. Основні представники простих вуглеводів організму — глюкоза, фруктоза, рибоза і дезоксирибоза, складних — глікоген.
- Гама-аміномасляна кислота (ГАМК)** — складова частина головного мозку, утворюється під час декарбоксілювання глутамінової кислоти, є фактором гальмування діяльності ЦНС, підсилює окиснення глюкози, покращує енергоутворення в мозку.
- Гексози** — прості вуглеводи, у молекулах яких містяться шість атомів карбону. Гексози становлять найпоширенішу групу моносахаридів. В організмі людини — це глюкоза і фруктоза.
- Гемоглобін (Hb)** — складний білок крові, який складається із небілкової частини — гему та білкової частини — глобіну. До складу гему входять атоми феруму. Hb знаходиться в еритроцитах і транспортує O_2 від легень до тканин та CO_2 від тканин до легень, тобто забезпечує дихальну функцію тканин. Киснева ємність крові залежить від вмісту гемоглобіну.
- Гідроліз** — реакція розщеплення речовин під дією молекул води. Гідроліз відіграє важливу роль у процесах травлення та внутрішньоклітинного обміну енергії.

Гіпервітаміноз — захворювання, що викликаються надлишковим надходженням в організм окремих вітамінів. Характерний для жиророзчинних вітамінів.

Гіперглікемія — підвищений вміст глюкози в крові, вище верхньої межі норми — $6 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$ (120 мг в 100 мл). Спостерігається у здорових людей і спортсменів за підвищеної м'язової діяльності, емоційному напруженні, сильних болях, а також після прийняття їжі, що містить багато глюкози. Стійка гіперглікемія спостерігається при захворюванні на цукровий діабет.

Гіповітаміноз — комплекс патологічних симптомів, які виникають в організмі у разі недостатнього надходження протягом тривалого часу одного або декількох вітамінів. Це може бути пов'язано або з недостатністю вітамінів в їжі, або із незасвоюванням їх організмом.

Глікоген (тваринний крохмаль) — полісахарид, що складається з великої кількості молекул глюкози $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$. Відкладається (депонується) у печінці та скелетних м'язах. Є основним енергетичним резервом вуглеводів в організмі. У разі потреби енергії, він розщеплюється до молекул глюкози (мобілізуються вуглеводи), яка далі окиснюється.

Глікогеноліз та гліколіз — див. анаеробне окиснення вуглеводів.

Гліцерин — трьохатомний спирт $(\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH})$, один із основних структурних компонентів нейтральних жирів і фосфоліпідів. У тканинах організму окиснюється з виділенням енергії, шляхом аеробного окиснення вуглеводу.

Глутамінова кислота — моноамінодикарбонова амінокислота, структурний компонент багатьох білків, відіграє важливу роль у функції нервової системи, у зв'язуванні (знешкодженні) та перенесенні аміаку з тканин до печінки.

Глюкагон — гормон, який синтезується у клітинах підшлункової залози, підвищує концентрацію глюкози в крові, впливаючи на швидкість розпаду глікогену в печінці.

Глюкоза — основний простий вуглевод їжі та організму людини, моносахарид, використовується в організмі, в основному, як джерело енергії. Входить до складу складних вуглеводів: сахарози, крохмалю, глікогену.

Глюкокортикоїди — гормони стероїдної природи, синтезуються в кірковій речовині надниркових залоз, регулюють утворення глюкози з речовин неуглеводної природи (процес глюконеогенезу),

- підвищують кількість глюкози у крові та глікогену у печінці під час тривалої м'язової роботи — адаптогенна дія.
- Глюконеогенез** — процес утворення вуглеводів (глюкози) в тканинах організму з неуглеводних речовин (лактату, пірувату, гліцерину, амінокислот), є найважливішим шляхом відновлення глюкози і полісахаридів, особливо під час м'язової діяльності.
- Гормони** — біологічно активні речовини різної хімічної природи, які синтезуються в залозах внутрішньої секреції або тканинах і регулюють обмін речовин, а також функції організму.
- Дегідрогенази** — ферменти, які каталізують реакції біологічного окиснення різних речовин. Їх дія полягає в тому, що вони відщеплюють водень від речовини, яка окиснюється, і передають його на речовину, яка відновлюється. Кофактором цих ферментів часто є НАД і ФАД.
- Дегідрогенізація** — реакція відщеплення водню від молекул хімічних сполук.
- Дезамінування** — реакція, в результаті якої речовина втрачає аміногрупу ($-NH_2$).
- Дезоксирибоза** — моносахарид, продукт відновлення рибози. Входить до складу ДНК, надає молекулі нуклеїнової кислоти стійкості та консервативності структури.
- Дезоксирибонуклеїнова кислота (ДНК)** — тип нуклеїнових кислот, до складу якої входять дезоксирибонуклеотиди. ДНК зосереджена, переважно, в ядрі і є носієм спадкової (генетичної) інформації.
- Декарбоксілювання** — реакція відщеплення CO_2 від карбоксильної групи органічних кислот, що веде до утворення нових сполук у тканинах.
- Депонування вуглеводів** — відкладання молекул глюкози у печінці та скелетних м'язах у вигляді глікогену, що синтезується, який є основним вуглеводним енергетичним запасом в організмі.
- Дисахариди** — вуглеводи, що складаються з двох молекул моносахаридів, в основному гексоз. Основні представники: сахароза (буряковий цукор), лактоза (цукор молока) та мальтоза.
- Дисиміляція** (катаболізм) — розпад органічних речовин у тканинах до кінцевих продуктів і виведення їх із організму. Реакції розпаду відбуваються з виділенням вільної енергії, частина якої акумулюється в молекули АТФ.

Дисоціація — розпад простих молекул на іони під дією молекул води чи електричного струму. Мірою дисоціації є відношення кількості дисоційованих молекул до їх загальної кількості.

Дифузія — довільне переміщення молекул речовини з місць підвищеної у місця зниженої її концентрації — пасивний транспорт речовин в організмі. Впливає на швидкість хімічних реакцій, багато інших процесів в організмі. Особливим видом дифузії є осмос — рух молекул води.

Дихальний ланцюг — чітко впорядкована система окиснювально-відновних ферментів і передавачів протонів (H^+) та електронів (e^-), що знаходяться у внутрішніх мембранах мітохондрій, на яких закінчується процес біологічного окиснення речовин з участю кисню. Енергія, яка виділяється під час окиснення речовин, акумулюється у молекули АТФ або розсіюється у вигляді тепла.

Жири нейтральні — клас ліпідів, які складаються із трьохатомного спирту гліцерину та трьох залишків вищих жирних кислот (тригліцериди). Містяться в жировій тканині організму, являють собою резервний жир і використовуються як енергетичне джерело.

Жирні кислоти — існують декілька десятків, які відрізняються кількістю атомів карбону (від 10 до 24) та вмістом атомів гідрогена, входять до складу ліпідів рослин та тварин. До складу ліпідів організму людини входять вищі жирні кислоти, які містять 16—18 атомів карбону. Бувають насичені: пальмітинова кислота — $C_{15}H_{31}COOH$, стеаринова — $C_{17}H_{35}COOH$ та ін. Вони знаходяться в твердих жирах. Ненасичені жирні кислоти (олеїнова — $C_{17}H_{33}COOH$, лінолева — $C_{17}H_{31}COOH$ та ін.) зосереджені в рідких жирах. Солі жирних кислот називають милами. Вищі жирні кислоти в організмі людини відіграють суттєву енергетичну роль.

Жовчні кислоти — утворюються у печінці з холестерину, виділяються у кишечник із жовчю, необхідні для перетравлювання ліпідів їжі. Основні: холева (переважає в жовчі людини), дезоксихолева, літохолева, глікохолева, таурохолева. Жовчні кислоти сприяють емульгуванню жирів, активують фермент ліпазу, беруть участь у процесі всмоктування продуктів гідролізу жирів через стінку кишечника.

Інактивація (інгібування) ферментів, процесу — зниження активності ферментів або швидкості процесу під дією речовин, які називають інгібіторами. Часто це метаболіти або субстрати реакції.

Інозит — циклічний шестиатомний спирт циклогексану, вітаміноподібна речовина, входить до складу фосфоліпідів, особливо в тканинах нервової системи, регулює ліпідний і вуглеводний обмін. У медичній практиці використовується у фосфорильованому вигляді як фітін.

Інсулін — гормон, який, синтезується у β -клітинах підшлункової залози. За хімічною природою білок. Регулює вуглеводний обмін шляхом впливу на швидкість проникнення глюкози у тканини, що веде до зниження її концентрації в крові. За недостатнього синтезу інсуліну розвивається захворювання на цукровий діабет.

Інтерферон — видоспецифічний білок, що синтезується у лейкоцитах крові і виконує захисну функцію. Препарат цього білка використовується для профілактики та лікування гострих респіраторно-вірусних інфекцій.

Карбоангідраза — фермент, який каталізує зворотний розпад вугільної кислоти. Знаходиться в легенях та капілярах тканин, бере участь в реакціях зв'язування CO_2 та видалення його з легень.

Карбоксильна група — функціональна група органічних карбонових кислот ($-\text{COOH}$).

Катаболізм — див. *дисиміляція*.

Каталаза — фермент, що каталізує реакцію розкладу пероксиду гідрогена (H_2O_2) у тканинах організму, який утворюється в процесі пероксидного окиснення органічних речовин. H_2O_2 — шкідлива речовина. Дія каталази спрямована на знешкодження його у тканинах.

Каталізатори — речовини, які впливають на швидкість хімічних реакцій. Біологічні каталізатори називають ферментами.

Катехоламіни — група біологічно активних речовин (гормони і нейромедіатори), до яких належать адреналін і норадреналін, попередники їх синтезу — ДОФА і ДОФАмін.

Кетонові тіла (ацетонові тіла) — продукти інтенсивного розпаду та окиснення ліпідів, жирних кислот. До них належать ацетон, ацетооцтова кислота, бета-гідроксимаєляна кислота. Утворюються в печінці з ацетил-КоА, поступають в кров (кетоз), частково відбираються тканинами, де окиснюються з виділенням енергії. Частина кетонових тіл виводиться із сечею (кетонурія), особливо багато під час тривалих фізичних навантажень та захворюванні на цукровий діабет.

Кисотно-основна рівновага (КОР) — відносна сталість водневого показника (рН) внутрішнього середовища організму, що забезпечується буферними і фізіологічними системами. Під час м'язової діяльності можливі зміни КОР (див. *ацидоз*).

Клітковина (целюлоза) — найпоширеніший полісахарид $(C_6H_{10}O_6)_n$ рослинного походження. В організм людини надходить з їжею, але майже не засвоюється через відсутність ферментів її гідролізу в травній системі. Частково розщеплюються у кишечнику ферментами, що виділяються кишковою флорою. Регулює функцію системи травлення, підвищує перистальтику та активність її ферментів.

Колагени — білки сполучної тканини, які утворюють колагенові волокна, створюють міцність тканин.

Кофермент ацетилювання (КоА — Кофермент А) — складова багатьох ферментів, які каталізують реакції приєднання ацетильних груп до інших молекул. Його будова складна, містить вітамін B_3 .

Коферменти (кофактори або коензими) — небілкова частина молекули ферменту, яка може дисоціювати із ферментативного комплексу. Відіграють важливу роль у процесі каталізу. До їх складу можуть входити вітаміни, нуклеотиди, амінокислоти.

Креатинін — ангідрид креатину, що може утворюватися у тканинах організму із креатинфосфату. Виявляється у сечі, де його кількість залежить від кількості креатинфосфату та креатину у м'язах.

Креатинфосфат (КрФ) — високоенергетична нітрогенвмісна речовина, яка виступає енергетичним джерелом у м'язах та інших тканинах організму, оскільки використовується для утворення АТФ із АДФ.

Лактат (іон молочної кислоти) — $CH_3-CH(OH)-COO^-$ — кінцевий продукт гліколізу або анаеробного окиснення вуглеводів. В аеробних умовах лактат перетворюється на піровиноградну кислоту та або окиснюється до CO_2 та H_2O , або використовується для відновлення вмісту глюкози та глікогену в печінці.

Лактатдегідрогеназа — фермент, що каталізує окиснювально-відновні перетворення лактату на піруват і навпаки.

Лактоза — дисахарид, молекула якого складається із молекул глюкози і галактози. Найбільше її міститься у молоці.

Ліпази — ферменти, які гідролізують нейтральні жири в системі травлення і тканинах організму до гліцерину та вільних жирних кислот.

- Ліпіди** — клас органічних речовин, що не розчиняються у воді, а тільки в органічних розчинниках.
- Ліполіз** — процес розпаду нейтральних жирів до гліцерину та вищих жирних кислот.
- Ліпотропні речовини** — ті, що впливають на процеси обміну жирів у печінці, запобігають відкладанню у ній жирів. До них належать різні за хімічною природою речовини: фосфатидилхолін (лецитин), холін, метіонін, серин. Ці речовини використовуються у практиці спорту та медицині.
- Макроергічні сполуки** — високоенергетичні сполуки, які мають хімічні зв'язки, при розриві яких вивільнюється більше 7 ккал на моль речовини вільної енергії. Це такі: АТФ, АДФ, креатинфосфат та ін.
- Мальтоза** ($C_{12}H_{22}O_{11}$) — дисахарид, що складається з двох молекул глюкози. В організмі утворюється під час гідролізу крохмалю у системі травлення. Багато його міститься в солодових екстрактах.
- Метаболізм** (обмін речовин) — комплекс біохімічних і фізіологічних процесів, які забезпечують надходження до організму речовин із навколишнього середовища, засвоєння їх, перетворення у тканинах, виділення продуктів обміну (метаболітів) з організму у зовнішнє середовище.
- Міоглобін** — білок м'язів, який містить залізо і за будовою та функцією близький до гемоглобіну крові. Він зв'язує кисень у м'язах.
- Міозин** — міофібрилярний скоротливий білок м'язової тканини. Він має також АТФазну активність, яка гідролізує молекули АТФ. Кількість його в м'язах впливає на швидкісно-силові характеристики людини.
- Молочна кислота** — див. *лактат*.
- Моносахариди** — клас простих вуглеводів, молекули яких містять від 3 до 9 атомів карбону та мають формулу $C_nH_{2n}O_n$. Виконують енергетичну та інші функції в організмі. Основні моносахариди організму — це глюкоза і фруктоза (гексози), а також рибоза і дезоксирибоза (пентози).
- НАД** — (нікотинамідаденіндинуклеотид) — небілковий компонент (кофермент) ферментів біологічного окиснення, переносник гідрогена (H). До його складу входить вітамін РР (нікотинамід). Крім НАД в клітинах існує і НАДФ (нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат), відновлена форма (НАДН) якого використовується як донор гідрогена в процесах біосинтезу речовин.

Надвідновлення (суперкомпенсація) — відновлення енергетичних джерел вище доробочого рівня у певний період відпочинку після фізичної роботи, що створює умови для покращання працездатності.

Нікотинава кислота (вітамін РР, або В₅, нікотинамід або ніацин) — входить до складу коферментів дегідрогеназ НАД і НАДФ, які беруть участь у регуляції процесів біологічного окиснення та утворення АТФ, а також біосинтезу речовин.

Нуклеїнові кислоти — найважливіший клас органічних речовин, утворених нуклеотидами, які в організмі відповідають за збереження та передачу спадкової інформації від покоління до покоління, забезпечують синтез всіх білків. Існує два види нуклеїнових кислот — ДНК та РНК. Вони відрізняються будовою та виконуваними в клітині функціями. ДНК є носієм спадкової інформації, а РНК забезпечує зчитування інформації про структуру білка, закодованого у ДНК, і біосинтез його у тканинах організму.

Обмін речовин — див. *метаболізм*.

Окисне фосфорилування — утворення АТФ з АДФ та Н₃Р₄ на системі дихальних ферментів завдяки енергії біологічного окиснення поживних речовин.

Окиснення — див. *біологічне окиснення*.

Оксидоредуктази — клас ферментів, які каталізують окиснювально-відновні реакції.

Окситоцин — гормон задньої частки гіпофіза, за хімічною природою пептид, стимулює скорочення м'язів матки, активує процес утворення молока (лактації).

Орнітиновий цикл — замкнутий процес утворення сечовини з NH₃ та СО₂ у печінці з участю амінокислоти орнітин.

Оротова кислота — біологічно активна речовина, подібна до вітамінів (вітамін В₁₃), похідна піримідинових основ, яка прискорює біосинтез білка. У вигляді солі (оротат калію) вона використовується при захворюваннях печінки і серця, анеміях, а також у спорті як дозволений ергогенний засіб.

Осмо́с — одностороння дифузія розчинника (Н₂О) через напівпроникну мембрану, яка спрямована на вирівнювання концентрацій у розчинах і установаження осмотичної рівноваги (ізотонічність), що відіграє важливу роль в життєдіяльності клітин.

Пальмітинова кислота — вища жирна насичена кислота, що входить до складу жирів організму людини.

Пангамова кислота (вітамін B_{15}) — впливає на жирову інфільтрацію печінки (ліпотропний ефект), синтез креатинфосфату, окиснювальні процеси, виявляє детоксикаючу дію при отруєнні наркотиками та іншими речовинами. Використовується у лікуванні захворювань печінки, серцево-судинної системи, у спорті для підвищення швидкісних здатностей.

Пантотенова кислота (вітамін B_3) — дуже поширена в зелених рослинах речовина, яка регулює метаболічні процеси в організмі людини, оскільки є складовим компонентом коферменту ацилювання (КоА). В спорті використовується для підвищення економічності роботи, захисту від стресу.

Пентози — моносахариди, які містять п'ять атомів карбону. Основні в організмі — рибоза, дезоксирибоза.

Пепсин — основний протеолітичний фермент шлункового соку, який розщеплює білки їжі до менших поліпептидів, активний у кислому середовищі. У шлунку він знаходиться в неактивній формі у вигляді пепсиногену. Під впливом хлоридної кислоти (HCl) та аутокаталізу пепсиноген перетворюється на пепсин.

Пептиди — білковоподібні речовини, молекули яких містять не більше 50 амінокислот. В організмі пептиди утворюються при перетравлюванні білків їжі, а також синтезуються в клітинах у вигляді гормонів, нейропептидів, тканинних біологічно активних речовин.

Піридоксин (вітамін B_6) — об'єднує три споріднені сполуки: піридоксин, піридоксаль, піридоксамін. В організмі B_6 регулює реакції перетворення амінокислот, підсилює синтез білків, процеси тканинного дихання, функції нервової системи. Спортсмени використовують для нарощування м'язів, прискорення відновлення, особливо у силових видах спорту.

Піровиноградна кислота, піруват ($CH_3-CO-COOH$) — проміжний продукт внутрішнього клітинного окиснення вуглеводів та окремих амінокислот. На ній закінчується анаеробний гліколітичний етап окиснення глюкози в аеробних умовах, а в анаеробних умовах вона перетворюється на молочну кислоту. Займає одне із центральних місць у тканинному обміні речовин.

Полісахариди ($C_6H_{10}O_5)_n$ — високомолекулярні складні вуглеводи, молекули яких складаються із залишків моносахаридів, переважно глюкози (крохмаль, глікоген та ін.). В організмі відкладаються у печінці та скелетних м'язах у вигляді глікогену, відіграють енергетичну роль.

Прогестерон — гормон жіночих статевих залоз, впливає на проникність мембран клітин, процеси окиснювального фосфорилування, утворення матричної РНК.

Простагландини — група “тканинних гормонів”, які утворюються із вищих ненасичених жирних кислот та мають широкий спектр дії в організмі людини. Вони використовуються в медицині для розширення судин, запобігання тромбоутворенню, розслаблення м’язів бронхів.

Протеїди — складні білки, що містять білкову та небілкову частини, які можуть бути вуглеводами, ліпідами, нуклеїновими кислотами та ін.

Протеїни — прості білки, які складаються тільки з амінокислот.

Рекогніція — етап біосинтезу білків, який полягає в “упізнаванні” “своїх” амінокислот та приєднанні їх до транспортних РНК. Кожна тРНК переносить до місць синтезу білка тільки окрему амінокислоту та визначає її місце в білку, що синтезується.

Ретинол (вітамін А) — жиророзчинний вітамін, похідне каротиноїдів. В організмі людини регулює процеси зору, росту, засвоєння білків їжі, його обмін, а також обмін ліпідів та інших речовин.

Рибонуклеїнові кислоти (РНК) — тип нуклеїнових кислот, до складу яких входять рибонуклеотиди. РНК забезпечують процеси біосинтезу білків. У клітині є три види РНК, які відрізняються за нуклеотидним складом, молекулярною масою, функціями: інформаційна РНК, рибосомальна РНК і транспортна РНК.

Рибосоми — внутрішньоклітинні органели, на яких з участю РНК відбувається біосинтез білка.

Рибофлавін (вітамін В₂) — речовина складної структури, яскраво-жовтого кольору, стійка до температури. У клітинах організму регулює процеси окиснення поживних речовин та енергоутворення, входячи до складу коферментів ФАД і ФМН — ферментів біологічного окиснення. В спорті використовується для підвищення стійкості до гіпоксії, гостроти зору.

Рилізінг-фактори — низькомолекулярні пептиди, що утворюються у гіпоталамусі (ліберини та статини), які викликають синтез різних гормонів у передній частці гіпофіза за дії зовнішніх факторів середовища (холоду, гіпоксії та ін.). Ліберини підсилюють, а статини гальмують синтез гормонів у гіпофізі.

Роз’єднання процесів окиснення і фосфорилування — стан, коли процес окиснення речовин у мітохондріях відбувається, а вивільнювана енергія окиснення не акумулюється в молекули АТФ,

- тобто АТФ не синтезується. Роз'єднання можливе під дією деяких речовин (ненасичених жирних кислот, гормону щитовидної залози — тироксину, динітрофенолу тощо), а також у разі порушення структури внутрішніх мембран мітохондрій, наприклад, під час інтенсивної м'язової розминки, дії радіації, високих температур.
- Сарколема** — поверхнева оболонка м'язового волокна, що являє собою двошарову ліпопротеїдну мембрану, вкриту колагеновими волокнами.
- Саркомер** — ділянка на міофібрилі між двома Z-мембранами. Вважається скоротливим елементом міофібрили; від їх кількості та довжини залежать швидкісно-силові властивості м'язів людини, але саркомер під впливом тренування не змінюється.
- Саркоплазматичний ретикулум (СР)** — внутрішньоклітинна система мембран у м'язах, які оточують міофібрили. СР бере участь у передачі нервового імпульсу від сарколеми до міофібрил, в обміні речовин являє собою депо іонів Ca^{2+} , володіє АТФ-залежним механізмом викиду та поглинання кальцію, тобто регулює концентрацію вільного Ca^{2+} у саркоплазмі, який запускає процес скорочення м'язів.
- Сахароза** ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) — дисахарид, що складається із залишку глюкози та фруктози. Це найпоширеніший вуглевод у рослинах, особливо багато його у цукровому буряку, стеблах цукрової тростини, з якої і отримують сахарозу (харчовий цукор) .
- Сечова кислота** — продукт розпаду нуклеїнових кислот та азотних основ. Виділяється з організму з сечею (близько 0,6 г за добу). У разі порушення обміну вона відкладається у вигляді солей у хрящах та інших тканинах, у результаті чого розвивається захворювання подагра.
- Сечовина** — речовина, що містить нітроген і утворюється у печінці у процесі зв'язування та знешкодження аміаку у печінці. Сечовина нетоксична речовина, виводиться з сечею. Кількість її в сечі відображає інтенсивність розпаду білків у тканинах, в нормі становить близько 30 г за добу. За нормалізацією її рівня в крові спортсменів у період відпочинку визначають стан відновлення організму.
- Стероїди** — клас ліпідів, похідних стеранового циклу. У клітинах організмів більшою мірою представлені стерини — циклічні спирти (представник — холестерин), попередники для синтезу жовчних кислот, стероїдних гормонів, вітамінів групи D.
- Субстрати** — речовини, на які діють ферменти.

- Тестостерон** — основний представник чоловічих статевих гормонів (андрогенів). Синтезується у чоловічих статевих залозах із стероїдів — холестерину, впливає на розвиток вторинних статевих ознак, підвищує біосинтез білка у м'язах (анаболічна дія). Використовується у спортивній практиці для підсилення біосинтетичних процесів, нарощування м'язової маси, хоча належить до заборонених анаболічних стероїдів (допінг).
- Тироксин** — гормон щитовидної залози, похідне амінокислоти тирозину, містить атоми йоду, регулює основний обмін речовин.
- Тіамін** (вітамін В₁) — входить до складу коферментів декарбоксилаз та інших ферментів у вигляді тіамініпрофосфату. Бере участь у регулюванні обміну вуглеводів, окиснювально-відновних процесів.
- Токофероли** — група вітамінів Е, які розчиняються у жирах, впливають на багато процесів в організмі: дітородна функція, запобігають накопичуванню перекисів у тканинах (антиоксидант), підсилюють тканинне дихання, впливають на біосинтез у м'язах (анаболічна дія).
- Транскрипція** — етап синтезу білка, який полягає у синтезі інформаційної РНК (іРНК) на ділянці молекули ДНК, у ході якого зчитується генетична інформація про амінокислотну послідовність у білку у вигляді послідовності нуклеотидів у кодонах іРНК.
- Трансляція** — етап синтезу білка, який полягає в утворенні поліпептидного ланцюга білкової молекули на рибосомах з участю рибонуклеїнових кислот.
- Тропонін** — Ca²⁺-зв'язуючий регуляторний білок м'язів, який знаходиться на актинових нитках і блокує місця контакту його з міозином, при зв'язуванні із Ca²⁺ відкриває їх.
- Убіхінон** (кофермент Q) — небілковий компонент дихального ланцюга, який бере участь у передачі електронів та протонів на цитохроми, забезпечує утворення АТФ.
- Ферменти** (ензими) — білки-каталізатори, здатні специфічно змінювати швидкість хімічних реакцій у живому організмі, регулятори обміну речовин.
- Флавінаденіндинуклеотид** (ФАД) — небілкова частина флавіназалежних дегідрогеназ, яка міцно зв'язана з білковою частиною ферменту та містить вітамін В₂. Флавінові ферменти беруть участь в окиснювально-відновних реакціях, забезпечуючи процеси енергоутворення.

Фосфоліпід (фосфатиди) — клас ліпідів, молекули яких складаються з гліцерину або іншого спирту, жирних кислот, фосфорної кислоти та нітрогеновмісних речовин (холіну, серину та ін.). Є важливим компонентом мембран клітин, поліпшують, особливо, лецитин, обмін жирів.

Фосфорилування — приєднання залишку фосфорної кислоти до будь-якої органічної чи неорганічної сполуки.

Фосфороліз — розщеплення глікогену чи крохмалю під дією ферменту фосфорилази до глюкозо-1-фосфату без використання АТФ.

Фруктоза ($C_6H_{12}O_6$) — моносахарид, за хімічною будовою є кетоспиртом, багато її міститься у фруктах, плодах, меду. Вона є складовою частиною сахарози; використовується в харчуванні спортсменів для прискорення відновлення енергетичних вуглеводних запасів, хворих на цукровий діабет та при серцевих захворюваннях.

Цикл лимонної кислоти (цикл Кребса чи трикарбонових кислот — ЦТК) — замкнений складний шлях окиснення молекули ацетил-КоА, протягом якого вона окиснюється до CO_2 та H_2O з виділенням енергії — 12 молекул АТФ і тепла.

Цитохроми — білкові компоненти дихального ланцюга, які закінчують процес транспорту електронів та передають їх на кисень (процес біологічного окиснення), забезпечують енергоутворення в мітохондріях клітин. Препарати цитохромів активують тканинне дихання та енергоутворення.

ЛІТЕРАТУРА

Основна:

- Волков Н.И., Несен Э.Н., Осипенко А.А., Корсун С.Н. Биохимия мышечной деятельности. — К.: Олимпийская литература, 2000. — 504 с.
- Гонський Я.І. та ін. Біохімія людини. — Тернопіль: Укрмед книга, 2002. — 744 с.
- Губський Ю.І. Біологічна хімія. — К.; Тернопіль: Укрмедіздат, 2000. — 506 с.
- Кальман Я., Рем К.Г. Наглядная биохимия. — М.: Мир, 2000. — 490 с.
- Мохан Р., Глессо М., Гринхафф П.Л. Биохимия мышечной деятельности и физической тренировки: Пер. с англ. В.Л. Смутьского. — К.: Олимпийская литература, 2001. — 230 с.
- Практикум з біологічної хімії / За ред. О.Я. Склярова. — К.: Здоров'я, 2002. — 298 с.
- Проскурина И.К. Биохимия. — М.: Владос-Пресс, 2003. — 240 с.
- Спортивное питание / Под ред. Кристин А. Розенблюм. — К.: Олимпийская литература, 2006. — 536 с.

Додаткова:

- Березов Т.Т., Коровкин Б.Ф. Биологическая химия. — М.: Медицина, 2004. — 704 с.
- Биохимия (краткий курс с упражнениями и задачами) / Под ред. Е.С. Северина, А.Я. Николаева. — М.: ГЭОТАР-МЕД, 2001. — 448 с.
- Витамины и минеральные вещества. Полная энциклопедия. — СПб.: Весь, 2001. — 368 с.
- Вілмор Дж.Х., Костілл Д.Л. Фізіологія спорту: Пер. з англ. — К.: Олімпійська література, 2003. — 656 с.
- Вдовенко Н., Смутьський В., Олейник С. Фармакологічні властивості препарату "АТФ-лонг" // Спортивна медицина. — 2004. — № 1—2. — С. 105—109.
- Гордон Н. Диабет и двигательная активность. — К.: Олимпийская литература, 2000. — 144 с.
- Горн М., Хету У., Сверниген П. Водно-электролитный и кислотно-основной баланс: Пер. с англ. — СПб; М.: Невский диалект Бином, 1999. — 320 с.
- Допинг и эргогенные средства в спорте / Под общ. ред. В.Н. Платонова. — К.: Олимпийская литература, 2003. — С. 109—245.

- Ермолаев Ю.А.* Возрастная физиология. — М.: Спорт Академ. Пресс, 2001. — 444 с.
- Калинский М.И., Курский М.Д., Осипенко А.А.* Биохимические механизмы адаптации при мышечной деятельности. — К.: Вища шк., 1986. — 186 с.
- Кулиненко О.С.* Фармакология спорта. — М.: Советский спорт, 2001. — С. 34—60.
- Лекарства и БАД в спорте / Под общ. ред. Р.Д. Сейфуллы, З.Г. Орджоникидзе.* — М.: Литтера, 2003. — 314 с.
- Макарова Г.А.* Фармакологическое обеспечение в системе подготовки спортсменов. — М.: Советский спорт, 2003. — 158 с.
- Мак-Комас А.Дж.* Скелетные мышцы (строение и функции). — К.: Олимпийская литература, 2001. — 408 с.
- Метаболизм в процессе физической деятельности / Под ред. М. Харгривса.* — К.: Олимпийская литература, 1998. — 287 с.
- Платонов В.Н.* Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практическое приложение. — К.: Олимпийская литература, 2004. — 808 с.
- Полиевский С.А.* Основы индивидуального и коллективного питания спортсменов. — М.: Физкультура и спорт, 2005. — 384 с.
- Рогозкин В.А.* Биохимическая диагностика в спорте. — Л.: Наука, 1988. — 102 с.
- Солодков А.С., Сологуб Е.Б.* Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная. — М.: Олимпия Пресс, 2005. — 528 с.
- Спиричев В.Б.* Витамины, витаминоподобные и минеральные вещества. — М.: МЦФЭР, 2004. — 230 с.
- Теория и методика физического воспитания: В 2 т. / Под ред. Т.Ю. Круцевич.* — К.: Олимпийская литература, 2003.
- Уильямс М.* Эргогенные средства в системе подготовки спортсменов. — К.: Олимпийская литература, 1997. — 256 с.
- Gordon A.M., Regnier M., Homsher E.* Skeletal and Cardiac Muscle Contractile Activation: Tropomyosin, Rocks and Rolls // *News in Physiological.* — 2001. — V. 16. — P. 49—55.
- Jesper I., Schjerbing P., Saltin B.* Muscle, genes and athletic performance // *Scientific American.* — 2000. — P. 30—37.
- Seelley R.R., Stophens T.D., Tade Ph.* Anatomy and physiology. — Boston; New York: Mc-Graw-Hill Higher Education, 2003. — 1106 p.

Передмова	3
Розділ 1. Вступ до біохімії. Поняття про хімічний склад організму людини	5
Предмет та методи дослідження біохімії і біохімії спорту	6
Хімічний склад організму людини	10
Хімічні елементи організму та іони	11
Будова, класи та біологічне значення органічних сполук	11
Вміст неорганічних речовин	14
Розділ 2. Обмін води та мінеральних речовин	18
Вміст, стан та функції води в організмі	18
Водний баланс та його можливі зміни під час м'язової діяльності	20
Роль мінеральних речовин	22
Обмін води та мінеральних речовин під час м'язової діяльності	26
Розділ 3. Кислотно-основний стан організму	30
Кислотно-основний стан внутрішнього середовища організму	30
Показник водню, або рН	31
Значення та зміни буферних систем під час м'язової діяльності	33
Вплив на фізичну працездатність порушення КОР — ацидозу та алкалозу	34
Механізми транспорту речовин в організмі	35
Розділ 4. Обмін речовин в організмі	40
Процеси анаболізму та катаболізму	40
Особливості обміну речовин у людей різного віку	43
Обмін речовин під час м'язової діяльності та у період відновлення	45
Етапи розпаду поживних речовин та вивільнення енергії	46
Системи регуляції обміну речовин та зміни під впливом фізичних тренувань	49
Розділ 5. Обмін енергії в організмі	52
АТФ як універсальне джерело енергії, її будова та обмін	52

Окисно-відновні реакції у тканинах та участь у них кисню	56
Цикл лимонної кислоти (цикл Кребса)	57
Дихальний ланцюг та процес окисного фосфорилування	58
Вплив м'язової діяльності на енергетичний обмін	59
Порушення енергетичного обміну	60
Пероксидне окиснення речовин	61
Розділ 6. Ферменти — біологічні каталізатори	
процесів метаболізму	64
Будова, властивості та механізм дії ферментів	64
Класи та номенклатура ферментів	67
Вплив м'язової діяльності на властивості тканинних ферментів	67
Ферментні препарати, що використовуються у спорті та під час реабілітації	68
Розділ 7. Вітаміни	71
Класи, добова потреба та біологічна дія вітамінів	71
Поняття про авітаміноз, гіповітаміноз та гіпервітаміноз	76
Використання вітамінів під час м'язової діяльності та у період відновлення	77
Розділ 8. Гормони — специфічні регулятори	
обміну речовин	81
Хімічна природа та властивості гормонів	81
Механізм дії гормонів	83
Біологічна роль окремих гормонів в організмі та їх вплив на м'язову діяльність	83
Гормони, що регулюють анаболічні процеси	87
Участь гормонів у процесах адаптації організму до фізичних навантажень	87
Розділ 9. Обмін вуглеводів	91
Будова та біологічна роль вуглеводів	91
Моносахариди	93
Дисахариди	94
Полісахариди	95
Хімічне перетворення вуглеводів їжі у травній системі	98
Рівень глюкози у крові та механізми регуляції його сталості	99

Анаеробне окиснення вуглеводів	102
Аеробне окиснення вуглеводів	104
Глюконеогенез	106
Обмін вуглеводів під час фізичних навантажень	107
Молочна кислота та її обмін у тканинах	108
Розділ 10. Обмін ліпідів	112
Будова та біологічна роль ліпідів	113
Хімічний розпад жирів їжі у травній системі	117
Поняття про окиснення жирів у тканинах	118
Вплив фізичних навантажень на обмін жирів	120
Порушення процесів обміну ліпідів	121
Кетонові тіла, утворення та обмін у тканинах	121
Розділ 11. Обмін білків та амінокислот	125
Будова та біологічна роль білків та амінокислот	125
Хімічне перетворення білків їжі у травній системі	128
Біосинтез білка та його вплив на процеси відновлення й адаптації організму до м'язової діяльності	129
Вплив фізичних навантажень на біосинтез білка	131
Розпад тканинних білків	132
Сечовина — показник розпаду тканинних білків	132
Розділ 12. Біохімія м'язів та м'язового скорочення	136
Структурна організація скелетних м'язів	136
Будова нервово-м'язового з'єднання, або синапсу	139
Збудження м'язів та включення у роботу різних типів рухових одиниць	140
Хімічний склад м'язів	142
Будова міофібрил та скоротливих білків	143
Біохімічні процеси, які забезпечують скорочення та розслаблення скелетних м'язів	145
Вплив фізичних навантажень на метаболізм м'язів	146
Метаболічні зміни у скелетних м'язах за умов стомлення та гіпокінезії	147
Розділ 13. Механізми енергозабезпечення м'язової діяльності	151
Роль АТФ у функції м'язів	151
Загальна характеристика механізмів енергоутворення	152
Анаеробні та аеробні механізми енергозабезпечення м'язової діяльності	154

Внесок окремих механізмів енергоутворення у забезпечення бігу на різні дистанції	157
Метаболічні зміни в організмі під час виконання вправ різної потужності	158
Розділ 14. Біохімічний контроль	
функціонального стану організму	163
Об'єкти, методи та організація біохімічних досліджень	164
Основні біохімічні показники крові та сечі	168
Відповіді на тести для контролю знань	176
Словник біохімічних термінів та понять	177
Література	194

Навчальне видання

ОСИПЕНКО Ганна Антонівна

ОСНОВИ БІОХІМІЇ М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Редактор — *Валентина Авраменко*
Комп'ютерна верстка — *Анастасія Самченко*
Коректор — *Надія Отрох*

Підписано до друку 29.03.2007 р. Формат 60х84 1/16.
Папір офс. № 1. Гарнітура Прагматика. Друк офс.
Ум. друк. арк. 11,63. Ум. фарбо-відб. 12,10. Обл.-вид. арк. 12,21.
Наклад 3000 прим. Зам. № 2-1383.

Видавництво Національного університету
фізичного виховання і спорту України
"Олімпійська література"
03680, Київ-150, вул. Фізкультури, 1

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців
Серія ДК № 2078 від 27.01.2005 р.

Віддруковано у ПРАТ «Харківська книжкова фабрика "Глобус"»
61012, м. Харків, вул. Енгельса, 11.
Свідоцтво ДК № 3985 від 22.02.2011 р.
www.globus-book.com



ОСИПЕНКО Ганна Антонівна

Кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології спорту Національного університету фізичного виховання і спорту України. Після закінчення КДУ ім. Т.Г.Шевченка та аспірантури при кафедрі біохімії КДІФК працювала науковим співробітником відділу біохімії м'язів Інституту біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України. Автор понад 60 наукових праць — монографії, підручника, навчально-методичних посібників та наукових статей з питань біохімії м'язової діяльності.

