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

БІОХІМІЯ РУХОВОЇ АКТИВНОСТІ

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

Електронний ресурс

Харків – 2026

УДК 577.1:612.769(072)
Б 63

Рецензенти:

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

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

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

Біохімія рухової активності : методичні рекомендації для самостійної роботи
Б 63 здобувачів вищої освіти 1-го курсу навчання медичного факультету з дисципліни «Біологічна хімія нормальна та рухової активності. Частина IV» за спеціальністю «Терапія та реабілітація» [Електронний ресурс] / уклад. С. О. Шерстюк, С. А. Наконечна, А. Б. Зотова, Т. О. Храмова. – Харків : Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2026. – (PDF 32 с.)

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

УДК 577.1:612.769(072)

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

ЗМІСТ

ВСТУП……4

Тема 12. Біохімія м’язів та м’язового скорочення……...6

Перелік питань для підготовки до теми 12 ……13

Тема 13. Механізми енергозабезпечення м’язової діяльності…..……....14

Перелік питань для підготовки до теми 13……22

Тема 14. Біохімічний контроль функціонального стану організму…..……...22

Перелік питань для підготовки до теми 14……29

Рекомендована література……..……..31

ВСТУП

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

Конктретні цілі:

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

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

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

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

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

Зміст навчальної дисципліни розділу 4:
«Біохімія рухової активності»

Тема 12. Біохімія м'язів та м'язового скорочення.

Структурна організація скелетних м'язів. Будова нервово-м'язового з'єднання, синапсу. Збудження м'язів та включення у роботу різних типів рухових одиниць. Хімічний склад м'язів. Будова міофібрил та скоротливих білків. Біохімічні процеси, які забезпечують скорочення та розслаблення скелетних м'язів. Вплив фізичних навантажень на метаболізм м'язів. Метаболічні зміни у скелетних м'язах за умов стомлення та гіпокінезії.

Тема 13. Механізми енергозабезпечення м’язової діяльності.
Поняття про макроергічні сполуки. Їх значення для виконання фізичних вправ. АТФ як представник макроергічних сполук. Його значення для життєдіяльності організму. Будова АТФ. Характеристика аденіну, рибози (аденозіну) та залишків фосфорної кислоти. Поняття про креатинфосфат, АДФ, АМФ. Ресинтез АТФ. Синтез АТФ у цитоплазмі та мітохондріях. Загальна характеристика механізмів енергоутворення. Анаеробні та аеробні механізми енергозабезпечення м’язової діяльності. Внесок окремих механізмів енергоутворення у забезпечення бігу на різні дистанції. Метаболічні зміни в організмі під час виконання вправ різної потужності.

Тема 14. Біохімічний контроль функціонального стану організму.
Об’єкти, методи та організація біохімічних досліджень.
Основні біохімічні показники крові та сечі.

Тема 15. Підсумкове заняття.

Практичні навички з розділу «Біохімія рухової активності». Підготовка до ліцензійного іспиту «Крок-1».

№	Тематичний план практичних занятть	Кільк. годин
	Розділ 4.	
12	Біохімія м’язів та м’язового скорочення.	2
13	Механізми енергозабезпечення м’язової діяльності.	2
14	Біохімічний контроль функціонального стану організму.	2
15	**Підсумкове заняття.**	**2**
	Разом	**8**

Завдання для самостійної роботи

№	Види, зміст самостійної роботи	Кільк. годин
	Розділ 4.	
12	Біохімія м'язової діяльності. Механізми м’язового скорочення. Хімічна складова скорочення скелетних м’язів. Робота м’язів у стані навантаження та спокою. Статичні та динамічні навантаження, біохімічні показники.	4
13	Уміти малювати схеми енергозабезпечення м’язової діяльності. Маніпулювати поняттям про макроергічні сполуки. Уміти малювати структурну формулу АТФ, креатиніну, креатинфосфату, інших макроергічних сполук .	3
14	Знати методи біохімічного контролю стану організму в нормі, при фізичних навантаження, при відновленні організму, при голодуванні, при виході із голодування, при загартовуванні, при	**3**

	усіляких дієтах (вегетаріанство, веганство), при метаболічному синдромі.	
15	Підготовка до підсумкового заняття. Написання контрольної роботи.	4
	Разом	**14**

Тема 12. Біохімія м'язів та м'язового скорочення.

За інтенсивністю роботи фізичні вправи поділяються на:

- Максимальної (найінтенсивніша робота до 25-30 с), наприклад, біг на 100-200 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 3000-10000 м.
- Помірної (аеробна робота від 50 хв до 5 год), біг на марафонську дистанцію.

Методи дослідження:

Лаборторні (фізичні та хімічні):

- Хроматографія
- Електрофорез
- Радіоізотопи
- Спектроскопія
- Ультрамікроскопія

Експрес-методи (швидкі та доступні)

- Біохімічний аналіз сечі або крові за допомогою індикаторних смужок (глюкометри, лактометри)

СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ СКЕЛЕТНИХ М'ЯЗІВ

М'язи складаються із м'язових волокон. Вони покриті мембраною, яка відділяє їх від сполучної тканини.

М'язове волокно – це структурно-функціональна рухова одиниця м'яза. 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. Волокна покриті складною мембраною – **сарколемою**, що має декілька шарів, у тому числі внутрішню мембрану, яка безпосередньо покриває цитозоль м'язового волокна.

Сарколема виконує різні функції, в тому числі:

- Кріпить волокно до сухожилля;
- Забезпечує обмін речовин між волокном та позаклітинним середовищем;
- Бере участь в утворенні та функціонуванні нервово-м'язового з'єднанння;

- Забезпечує регенерацію м’язових волокон у разі їх пошкодження шляхом стимуляції розвитку клітин-сателітів.

Важливу роль у функції м’язів виконують внутрішньоклітинні мембрани саркоплазматичного ретикулуму, які обвивають міофібрили і контактують із сарколемою.

Саркоплазматичний ретикулум:

- Передає збудження у середину волокна за допомогою Т-трубочок, якими з’єднуються із сарколемою;
- Депонує Ca^{2+} та вивільняє його шляхом дифузії під час збудження, збільшуючи вміст вільного Ca^{2+} усередині волокна, або закачує його назад за допомогою АТФ-залежного 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

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

Мотонейрон – це нервова клітина, яка складається із тіла, що знаходиться 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 м’язове скорочення. Довжина окремих аксонів може досягати 125 см. Тому скоротлива функція м’яза може змінюватися 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’єднаня. Синапс забезпечує передачу електричного нервового імпульсу на м’язове волокно за допомогою хімічного **нейромедіатора – ацетилхоліну.** Ацетилхолін синтезується із спирту холіну та ацетил-КоА:

$$CH_3\text{-}CO\text{-}KoA + HO\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}N{\equiv}(CH_3)_3 \rightarrow CH_3\text{-}CO\text{-}O\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}N{\equiv}(CH_3)_3$$

Зберігається він у нервових закінченнях у спеціальних міхурцях (везикулах). У кожному міхурці міститься майже 10000 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

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 до стану спокою (потенціалу спокою). Потенціал спокою зумовлений різною концентрацією K^+ усередині клітини та поза нею. Коли нервовий імпульс доходить до закінчення аксона, він стимулює відривання 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 нервове 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 каналів до іонів Na^+. Іони натрію проникають через мембрану всередину волокна і деполяризують мембрану. Створюється електричний потенціал, завдяки якому збуджується усе м'язове волокно.

Синаптична передача припиняються 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 руховій одиниці може коливатися у межах від кількох одиниць до кількох тисяч. 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**, або **червоні.**
- Ті, що **швидко скорочуються**, 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 повільних волокнах** переважає аеробний малопотужний механізм утворення АТФ, котрий забезпечує виконання тривалої роботи низької потужності. Вони мають багато мітохондрій,

ферментів для біологічного окислення, великі запаси глікогену, білка міоглобіну, що зв'язує кисень, та розгалужену капілярну сітку. Проте активність ферменту АТФази міозину низька.

Швидкі волокна, у свою чергу, поділяються на два типи:

- *швидкі волокна А* – **окисно-гліколітичні**, що забезпечують виконання роботи на швидкісну витривалість, та
- *швидкі волокна Б* – **чисто анаеробні або гліколітичні**, що забезпечують швидкісну та силову роботу м'язів.

Ці типи волокон, особливо типу Б, містять менше мітохондрій, білка міоглобіну та ферментів біологічного окислення поживних речовин, але мають великі запаси глікогену та високу активність ферментів гліколізу і АТФази міозина. Тому ресинтез АТФ у них відбувається за рахунок анаеробних механізмів.

Різні м'язові волокна мають різний поріг збудження і тому втягуються в роботу різної потужності неодночасно. Якщо потужність роботи сягає не більше 25% максимальної, то працюють ***повільні волокна***, від 25% до 40% - підключаються ***швидкі волокна типу А***, а вище 40% - ***швидкі волокна типу Б***. при цьому у нетренованої людини в роботу м'язів втягуються 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 пересічної особи у середньому таке:

55% - повільні волокна,
35% - швидкі волокна типу А,
10% - швидкі волокна типу Б.

У спортсменів-марафонців кількість повільних 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 швидких волокон типу А на інші типи, але у невеликій кількості. Біологічною передумовою успіху у спорті є перевага окремого типу м'язових волокон у людини.

Окремі м'язи складаються із багатьох рухових одиниць, які підключаються до роботи неодночасно. Їх включення залежить від частоти нервових імпульсів. 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. 14. Хімічні компоненти скелетних м'язів організму людини

Компонент	Вміст (усереднені дані), %
Вода	70-80
Білки: міофібрилярні розчинні	16-20, із них: 45 35

білки строми	20
Вуглеводи	0,3-3,0 (350 – 450 г)
Ліпіди (нейтральні жири)	0,4 – 1,0
Холестерин	0,06 – 0,20
АТФ	0,25 – 0,4 (5 ммоль/кг$^{-1}$)
АДФ	0,05
Креатининфосфат	0,2 – 1,0 (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+}	1,0 – 1,5

Скелетні м'язи дорослої людини складають понад 40% маси тіла, з віком вона зменшується до 30%, у дітей 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 тонких та товстих ниток. Товсті нитки містять білок – **міозин,** тонкі – **актин.** Актинові нитки посередині фіксуються Z-мембранами. Ділянка між двома Z-мембранами має назву **САРКОМЕР.**

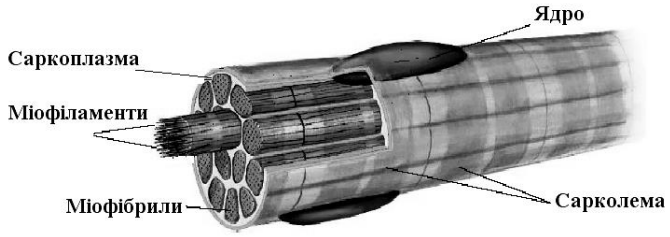


Рис.26. Будова міофібрили.

Саркомер – це скоротлива одиниця міофібрили, тому що скорочення відбувається шляхом руху (ковзання) актинових ниток уздовж міозинових до центру саркомера за рахунок утворення актоміозинового комплексу та зміни структури білків, що зумовлює процес скорочення.

Міозин – це фібрилярний або ниткоподібний білок. Вміст його у скелетних м'язах найбільший (близько 55%). Складається він із довгої фібрилярної частини та кулькоподібної голівки, яка знаходиться під певним кутом до фібрилярної частини й утворює поперечні виступи. 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 знаходиться фермент АТФаза, який

каталізує цю реакцію розпаду з виділенням енергії. Молекули міозину зібрані у пучки так, що голівки виступають і здатні контактувати з 6-актиновими нитками.

Актин – це глобулярний білок, молекули якого здатні об'єднуватися й утворювати тонку нитку. Тонкі нитки актину складаються із двох 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 напочатку скорочення м'яза, коли збільшується вміст вільного кальцію у волокні, з яким він з'єднується.

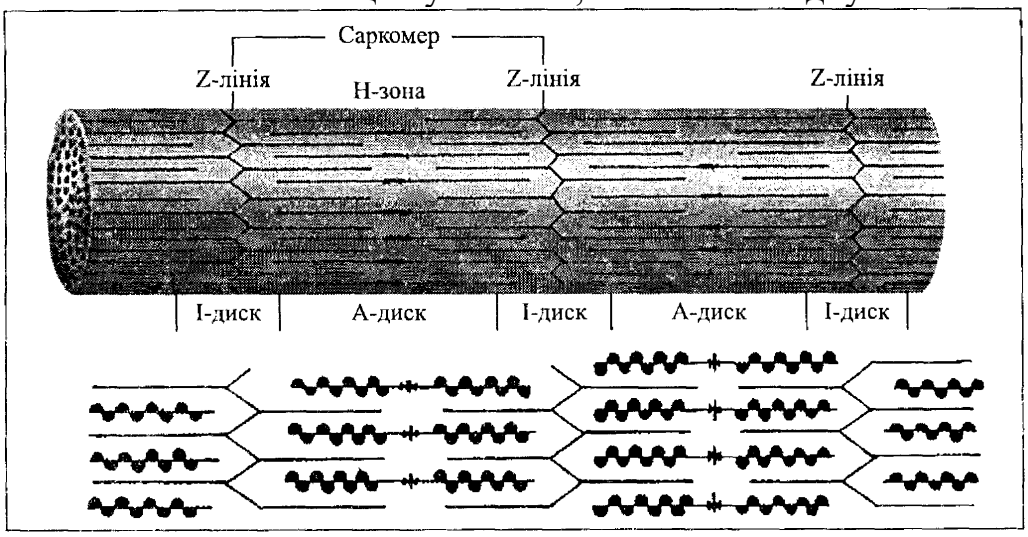


Рис.27. Структура саркомеру.

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 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 мемебран ретикулума іони Ca^{2+} виходять у саркоплазму. Їхня концентрація збільшується майже в 100 разів. Ca^{2+} запускає процес скорочення міофібрил і м'яза в 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;
- Активую АТФазу міозину і прискорює реакцію розпаду АТФ.

Реакція гідролізу АТФ ($АТФ + H_2O \xrightarrow{Ca2+ - АТФаза\ міозину} АДФ + H_3PO_4 + \Delta Q$) надає енергію для утворення акто-міозинового комплексу і зменшення кута

нахилу голівки міозину, що викликає проягування актинових ниток уздовж міозинових, яке і забезпечує процес скорочення. При цьому компоненти розпаду АТФ відходять від голівок міозину.

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

- розслабленню передує 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+}-насосу цих мемебран, 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 швидкісно-силових волокнах. При такій формі гіпертрофії спостерігається значне збільшення сили м'язів (у 2-4 рази).

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 більшується також капіляризація м'язових волокон (особливо червоних) та кровообіг унаслідок розширення судин у скелетних м'язах під дією метаболічного оксиду нітрогену. Спостерігається збільшення кількості та щільності мітохондрій, а також швидкості окиснення жирів під час м'язової діяльності.

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

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

- діяльності нервової системи та процесів збудження;
- метаболізму у м'язах;
- функції м'язів;

Основними біохімічними змінами, що викликають стомлення 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 синтез біосинтезу білка у тканинах, що призводить до зменшення вмісту структурних та скоротливих білків у 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.

Перелік питань для підготовки до теми 12:

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?
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 в м'язах за різних фізичних тренувань?
7. Які метаболічні зміни відбуваються в скелетних м'язах у період стомлення?
8. Які основні зміни метаболізму відбуваються у скелетних м'язах, що виникають за умов гіпокінезії?

Тема 13. Механізми енергозабезпечення м'язової діяльності.

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:

$$АТФ + H_2O \xrightarrow{Ca2+ - АТФаза} АДФ + H_3PO_4 + \Delta Q \ (\Delta Q=-7,3 \text{ ккал, або } 30 \text{ кДж}).$$

Вміст АТФ у скелетних м'язах відносно невеликий і вичерпується протягом 1,0-1,5 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:

$$АДФ + H_3PO_4 + \Delta Q \rightarrow АТФ$$

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, сталість концентрації АТФ у м'язовому волокні – є метаболічною основою нормального його скорочення та розслаблення. Навіть незначне зниження концентрації АТФ погіршує процеси розслаблення і скорочення, а підвищення – поліпшення 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 фосфорилювання) 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 фосфорилювання**.

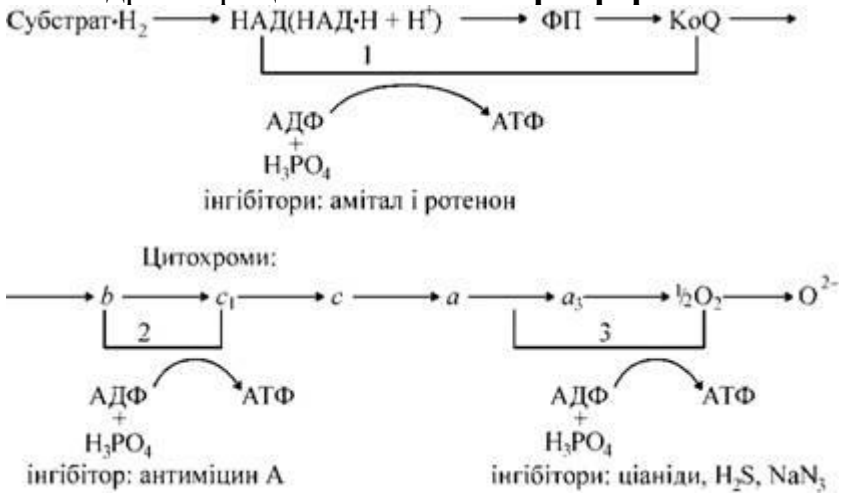


Рис.28. Окисне фосфорилювання.

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 (дактатний);
- 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 утворення АТФ, яка ресинтезується у даному механізмі енергоутворення за рахунок запасів енергетичних субстратів і лімітує обсяг виконаної роботи.

Ефективність – це кількість енергії, яка накопичується в молекулах АТФ по відношенню до всієї енергії, що виділяється. Велика частина енергії (більш 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.

Порівняльну характеристику окремих механізмів енергозабезпечення виконання фізичних вправ за критеріями оцінки подано у табл.

Табл. 15. Характеристика енергозабезпечення м'язової діяльності за критеріями оцінки та час утримання їх максимальної потужності:

Механізм ресинтезу АТФ	Максимальна потужність, моль▪хв$^{-1}$	Метаболічна ємність, моль▪хв$^{-1}$	Ефектив-ність, %	Час розгор-тання	Час утримання максимальної потужності
Аеробний	1,0	90(лише вуглеводи)	60	2-4 хв	Години
Креатинфос-фокіназний	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

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 80%), оскільки креатинфосфат знаходиться безпосередньо на скоротливих нитках (міофібрилах) і відбувається проста реакція перефосфорилювання 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 постійної концентрації АТФ у випадках її швидкого використання. Як тільки зміщується рівновага АТФ ↔ АДФ у бік накопичення АДФ, активується ферментативна реакція перефосфорилювання між КрФ та АДФ за участю ферменту креатинфосфокінази (КрФкіназа). При цьому утворюється АТФ та вільний креатин:

$$\text{АДФ} + \text{КрФ} \xrightarrow{\text{КрФкіназа}} \text{АТФ} + \text{креатин}.$$

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.

Креатинфосфокіназний механізм забезпечує виконання короткочасної 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%-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 окислення глікогену м'язів чи глюкози, що надходить з крові. При цьому утворюється молочна кислота та 2 чи 3 молекули АТФ згідно з рівняннями:

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

глюкоза — молочна кислота

$$[C_6H_{10}O_5]_n + 3АДФ + 3H_3PO_4 \rightarrow 2CH_3\text{-}CHOH\text{-}COOH + [C_6H_{10}O_5]_{n-1} + 3АТФ + 2H_2O$$

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 тренованих 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.



Рис.29. Енергетика м’язового скорочення.

Під час гліколізу в скелетних м’язах накопичується молочна кислота, яка пригнічує діяльність ферментів цього процесу. Вона швидко 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 тренованому організмі до 10-20 ммоль▪$л^{-1}$ і більше.

Молочна кислота викликає больові відчуття в м’язах під час роботи, тому що закиснює внутрішнє середовище. Вона дисоцією на іон лактату та іон гідрогену:

$$CH_3\text{-}CHOH\text{-}COOH \rightarrow CH_3\text{-}CHOH\text{-}COO^- + H^+.$$

Закиснення спричиняють іони гідрогену, які викликають набухання субклітинних білкових структур, що стискає нервові закінчення та викликає біль і розвиток м’язового стомлення. При цьому може змінюватися величина pH у м’язах від 7,0 до 6,5 та у крові від 7,36 до 6,8 (6,5) у тренованому організмі, а у нетренованому меншою мірою. Помірні зміни pH 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 перефосфорилювання між двома молекулами АДФ з утвореннями АТФ та АМФ:

$$АДФ + АДФ \xrightarrow{\text{фермент міокіназа}} АТФ + АМФ$$

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, кетонові тіла) поступово перетворюються на молекули ацетил-КоА, які є інтегратом метаболізму. Ацетил-КоА окиснюється у мітохондріях у циклі лимонної кислоти та у дихальному ланцюзі до кінцевих продуктів обміну CO_2 та H_2O.

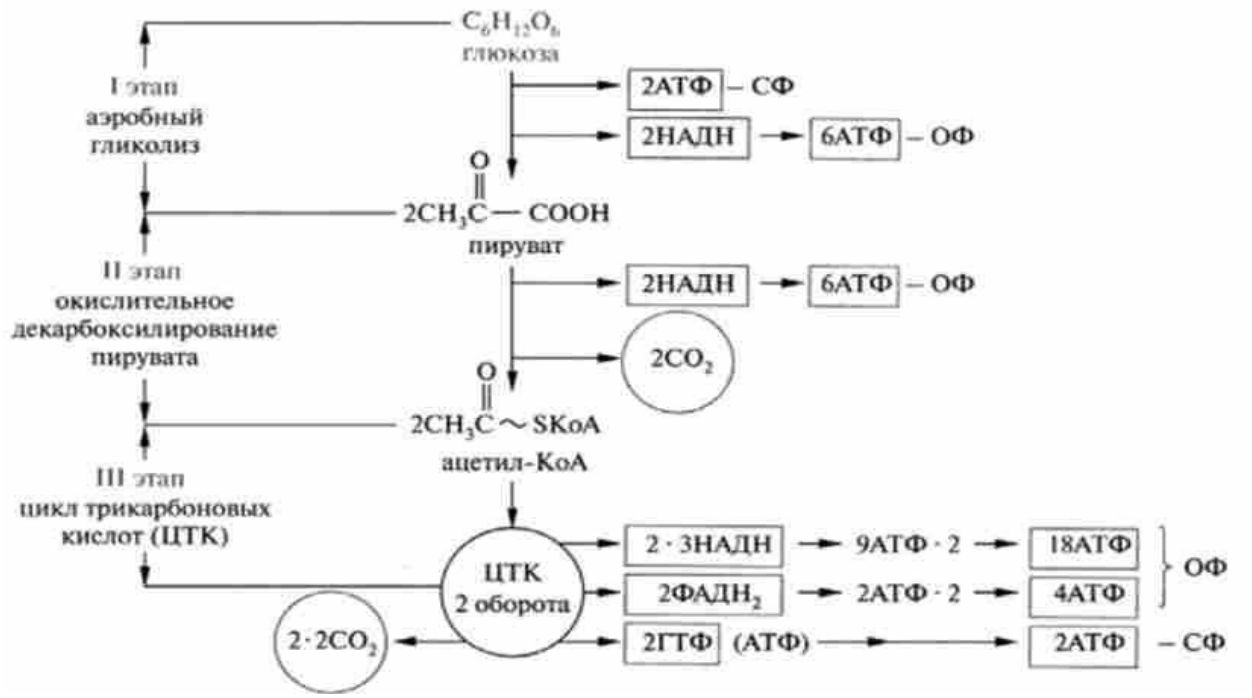


Рис.30. Аеробний механізм енергоутворення.

При цьому протони H^+ та електрони (e^-) відщеплюються від окиснювальної речовини та передаються на O_2, що вдихаємо. 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 фосфорилюванням.** Схема рівнянь аеробного окиснення глюкози та жирної пальмітинової кислоти така:

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 38$ АТФ

$C_{15}H_{31}COOH + 23O_2 \rightarrow 16\ CO_2 + 146\ H_2O + 130$ АТФ

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 їх мембран;
- наявності вітамінів (групи В, С, К та ін.), мінералів (Fe, Cu, Ca), переносників гідрогену – НАД та ФМН, гормонів, інших регуляторів метаболізму.

Цей механізм поліпшується під час виконання навантажень великої та помірної потужності: бігу на 5000 та 10000 м, плавання на 800 м і більше, бігу на ковзанах, лижних та велосипедних гонок.

ВНЕСОК ОКРЕМИХ МЕХАНІЗМІВ ЕНЕРГОУТВОРЕННЯ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ БІГУ НА РІЗНІ ДИСТАНЦІЇ

Біг на різні дистанції – це хороший приклад виконання різною за потужністю та тривалістю роботи, яка забезпечується різним внеском в її виконання анаеробних та аеробних механізмів енергоутворення. При цьому між інтенсивністю та тривалістю роботи існує зворотний зв'язок – чим інтенсивніше виконується робота, тим вона менш тривала. Тому зі збільшення дистанції чи тривалості бігу збільшується частка аеробного механізму енергоутворення і зменшується анаеробного. Фізичні вправи, під час виконання яких 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.***

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;
- помірній.

При виконанні фізичних вправ у зоні кожної потужності відбуваються певні біохімічні зміни, за якими можна характеризувати виконану роботу.

Табл.16. Біохімічні зміни в організмі людини при виконанні фізичних вправ у різних зонах відносної потужності.

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 енерго-утворення	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 неспортсмені збільшується до 6-12 У спортсменів збільшується до 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^{0}C, H_2O↓

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 відображає відносну інтенсивність роботи, виражену в відсотках МСК (максимального споживання кисню) тощо. 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.

Табл.17. 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	

Під величиною МЕТ розуміють відношення енергетичної вартості навантаження до інтенсивності основного обміну. 1 МЕТ відповідає рівню основного обміну і становить 1-1,4 ккал/хв/кг (4,18 -5,85 кДж/хв/кг).

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. Споживання кисню (СК) виражають у відсотках МСК, тобто відношення величини поточного спожитого кисню до його максимального значення.

Перелік питань для підготовки до теми 13:

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?

Тема 14. Біохімічний контроль функціонального стану організму.

БІОХІМІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОРГАНІЗМУ

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 тренованості;
- визначення ефективності застосування фармакологічних засобів відновлення чи підвищення працездатності;
- визначення ролі енергетичних метаболічних систем у м’язовій діяльності;
- виявлення впливу кліматичних факторів.

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 часу. Так за співвідношенням об’ємів цих газів можна визначити дихальний коефіцієнт (ДК = $V(CO_2)/V(O_2)$), який іще називають респіраторним відношенням (RR). Величина ДК змінюється у межах 1-0,7 і вказує на внесок вуглеводів, жирів та білків в енергетику роботи. Якщо величина ДК = 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 усі 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.18. Основні хімічні компоненти цільної крові і плазми здорової 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▪100мл$^{-1}$	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

Кетонові тіла, ммоль▪л$^{-1}$	--	8,0-30,0
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$^{-1}$	--	4,0-26,0
pH	7,35-7,45	--

Сеча як рідина, що містить воду та різні органічні і неорганічні речовини організму, деякою мірою відображає роботу нирок – основного видільного органу, а також динаміку обмінних процесів у різних органах і тканинах, і зокрема у плазмі крові. Тому за змінами кількості 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 електролітів, 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 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 тренувань, а також швидкість метаболізму креатину в м'язах, у клінічній практиці – зміни функції нирок. У сечі досліджують вміст водорозчинних вітамінів для того, щоб оцінити вітамінну забезпеченість 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 і 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 слабко-кислу реакцію (pH = 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 – олігоурією.

Слина звичайно використовується паралельно з іншими біохімічними об'єктами. У слині визначають електроліти (Na^+ і K^+), активність ферментів (амілази), величину pH, 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. Вони основані на здатності певної речовини (глюкози, білка, вітаміну С, кетонових тіл, 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 pH-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 й ті самі біохімічні методи та показники можуть використовуватися для вирішення різних завдань. Так, визначення вмісту лактату в крові використовується для оцінки рівня тренованості, 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 – відображати сутність досліджуваного процесу.

У кожному конкретному випадку визначаються різні біохімічні показники обміну речовин. Більшість біохімічних показників у тренованих і нетренованих людей у стані спокою мало різняться, тому для виявлення тренованості ***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 3,3-5,5 ммоль/л.

Зміна її вмісту під час м’язової діяльності індивідуальна і залежить від рівня тренованості організму, потужності та тривалості фізичних вправ. Короткочасні 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 нетренованих людей це зниження більш виражене, ніж у тренованих. 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 окислення 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.

Стійке підвищення рівня глюкози в крові вранці натще 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 (аліментарна глюкозурія) у результаті підвищенні 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 гіпоксийному стані організму. Вміст молочної кислоти в крові у нормі в стані відносного спокою становить 1-1,5 ммоль/л, а під час виконання інтенсивної фізичної роботи значно зростає. Після роботи молочна кислота виходить в кров поступово, досягаючи максимуму на 3-7-й хвилині після її закінчення. Тому саме в цей час її визначають. Накопичення її в крові співпадає з посиленим утворенням у м'язах і може сягати у спортсменів 30 ммоль/л 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 5-6 (13) ммоль/л, у тренованої – до 20 ммоль/л 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 тренованості, 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 тренованості 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 тренованості людини. Тому за змінами її вмісту в крові визначають ступінь тренованості організму, його

анаеробні гліколітичні спроможності, що важливо під час підбору 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 тригліцеридів у печінці і жирових депо. В нормі їх вміст у крові становить 0,1-0,4 ммоль/л 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-гідроксимасляна кислота, ацетон) утворюються у печінці з ацетил-КоА за посиленого окислення 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 в крові у нормі відносно невеликий – 8 ммоль/л. Під час тривалих фізичних вправ рівень кетонових тіл у крові збільшується до 20 ммоль/л (кетонемія). Вони можуть з'явитися у сечі, тоді як у нормі у сечі кетонові тіла майже не виявляються простими методами (20-40 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 тренованості організму.

Холестерин. Це представник стероїдних ліпідів, що не бере участі у процесах енергоутворення в організмі. Вміст холестерину у плазмі крові у нормі становить 3,9-6,5 ммоль/л 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 в крові у нормі становить 1,5-3,6 г/л. Підвищення його рівня спостерігається при діабеті, захворюваннях нирок,

гіпофункції щитоподібної залози та інших порушеннях 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 перекисного окислення ліпідів у скелетних м'язах та інших тканинах спостерігається не тільки під час інтенсивних фізичних навантажень, але 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– у жінок і 140-160 г/л - у чоловіків, а також від ступеня тренованості, зокрема фізичної витривалості. З ростом рівня тренованості спортсменів у видах спорту, спрямованих на витривалість, концентрація гемоглобіну в крові в жінок зростає в середньому до 130-150 г/л, у чоловіків – до 160-180 г/л. 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 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 ферумвмісні 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), глобуліни – 35-40% (4-12 г/л). Вони виконують різноманітні функції в організмі: у складі імунної системи (особливо глобуліни) захищають організм від інфекцій, беруть участь у підтримці pH 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 3,5-6,5 ммоль/л. Вона може збільшуватися у разі значного надходження білків з їжею до 7-8 ммоль/л, за умов порушення видільної функції нирок – до 16-20 ммоль/л, а також після виконання тривалої фізичної роботи за рахунок посилення катаболізму білків – до 9 ммоль/л 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 надходженню 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 в 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 на добу, у жінок – 10-25 мг/кг. За вмістом креатиніну у сечі можна побічно оцінити швидкість креатинфосфокіназної раекції, 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.

Перелік питань для підготовки до теми 14:

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?

Рекомендована література:

Базова література:

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

Допоміжна література:

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

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

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

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

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

БІОХІМІЯ РУХОВОЇ АКТИВНОСТІ

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

В авторській редакції

Підписано до розміщення 21.05.2026. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 1,67. Обсяг 0,632 Мб. Зам. № 269/26.

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