

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Полтавський національний педагогічний університет  
імені В. Г. Короленка  
Кафедра медико-біологічних дисциплін і фізичного виховання

**О. КВАК**

# **БІОХІМІЯ СПОРТУ**

*Навчальний посібник*

для підготовки здобувачів  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
зі спеціальності 014.11 Середня освіта (Фізична культура)  
та 017 Фізична культура і спорт

Полтава – 2023

УДК 796.01:577.1](075.8)

К32

*Схвалено до друку вченою радою  
Полтавського національного педагогічного університету  
імені В. Г. Короленка (протокол № 4 від 26 жовтня 2023 р.)*

**Укладач:**

**Квак Ольга Вікторівна** – кандидат біологічних наук, доцент, завідувач кафедри медико-біологічних дисциплін і фізичного виховання Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка.

**Рецензенти:**

**Фастівець Анна Віталіївна** – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри соціально-гуманітарних дисциплін та фізичної терапії, ерготерапії Полтавського інституту бізнесу Закладу вищої освіти «Міжнародний науково-технічний університет імені академіка Юрія Бугая»;

**Стрижак Світлана Володимирівна** – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри хімії та методики викладання хімії Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка.

**Біохімія спорту** : навч. посіб. [для підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 014.11 Середня освіта (Фізична культура) та 017 Фізична культура і спорт] / укл.: О. В. Квак. – Полтава : Астроя, 2023. – 98 с.

*У навчальному посібнику викладено стислий теоретичний матеріал курсу біохімія, а саме: процеси метаболізму під час м'язової діяльності. Розкрито біохімічні механізми скорочення, розслаблення і енергозабезпечення м'язів, а також біохімічні зміни під час виконання різних фізичних навантажень та можливості використання метаболічних показників для оцінки функціонального стану організму людини. До кожної теми подано контрольні запитання та тестові завдання, а також основні біохімічні поняття і терміни теми.*

*Навчальний посібник рекомендовано для студентів денної та заочної форми навчання факультету фізичного виховання, вчителів фізичної культури, тренерів.*

**УДК 796.01:577.1](075.8)**

© ПНПУ імені В. Г. Короленка, 2023

© Квак О., 2023

© Астроя, 2023

## ПЕРЕДМОВА

Сучасна теорія та практика фізичного виховання і спорту, фізичної реабілітації, рекреації та валеології вимагають від майбутніх спеціалістів знань біологічних основ фізичного виховання, 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.

Пропонований навчальний посібник «Біохімія спорту» містить стисло та доступно викладений лекційний матеріал зі змістовних модулів, що вивчаються згідно з робочою навчальною програмою студентами на базовому рівні підготовки усіх спеціалізацій. До кожної теми подано словник основних понять і термінів, контрольні-перевірочні питання, а також тестові завдання для самоперевірки. Це сприятиме ефективнішому засвоєнню матеріалу і дозволить студентам швидше вивчити та закріпити теоретичний матеріал, пов'язати його з майбутньою практичною діяльністю.

У навчальному посібнику розкрито сучасні 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.

# 1. ХІМІЯ М'ЯЗІВ ТА М'ЯЗОВОГО СКОРОЧЕННЯ

## Типи м'язових волокон і їх використання при м'язовій роботі

У скелетних м'язах розрізняють декілька типів м'язових волокон, що відрізняються скорочувальними і метаболічними властивостями. До основних типів волокон відносять повільноскоротливі або червоні і швидкоскоротливі, або білі. Повільноскоротливі і швидкоскоротливі волокна мають різну швидкість збудження, скорочення і стомлення.

Окремі типи волокон відрізняються між собою також механізмом енерготворення. Повільноскоротливі волокна, які мають малу швидкість скорочення, володіють великою кількістю мітохондрій, ферментів біологічного окислення вуглеводів і жирів, білка міоглобіну, який запасає кисень, а також великою кількістю капілярів, що забезпечують достатнє надходження кисню у м'язи, і великими запасами глікогену. Все це свідчить про те, що у ПС-волокнах переважають аеробні механізми енергозабезпечення, які забезпечують виконання довготривалої роботи на витривалість.

Швидкоскоротливі м'язові волокна характеризуються великим числом міофібрил, високою АТФ-азною активністю міозину і ферментів гліколізу, значною наявністю запасів глікогену. Вони мають слабо розвинену капілярну сітку і невелику кількість білка міоглобіну. У зв'язку з цим ресинтез АТФ у таких типах волокон здійснюється за рахунок анаеробних механізмів енергоутворення – креатинфосфатній реакції і гліколізу. Біохімічні особливості забезпечують високу швидкість скорочення і швидка втома цього типу м'язових волокон. ШС-волокна пристосовані до швидкісної інтенсивної роботи відносно невеликої довжини. Вміст окремих типів волокон у м'язах нижніх кінцівок людини: нетренованої – повільноскоротливих – 55%, швидкоскоротливих – 45%; бігуна-марафонця – 80% перших та 20% других; бігуна-спринтера – швидкоскоротливих – 77%, повільноскоротливих – 23%.

М'язове волокно є структурною одиницею скелетних м'язів, являючи собою багатоядерну клітину, а точніше без клітинне утворення – симпласт, так як в процесі розвитку м'язової клітини

утворюється шляхом злиття багатьох ембріональних окремих клітин – міобластів. М'язові клітини не здатні до ділення, тому зруйновані м'язові волокна не можуть відновитися простим подвоєнням. У випадку пошкодження, що спостерігається при напруженій м'язовій діяльності, самовідновлення м'язового волокна проходить із маленької клітини – сателіту, яка знаходиться у неактивному стані у тісному контакті із зрілими м'язовими волокнами. При порушенні структури м'язового волокна вона активується і починає проліферувати, що призводить до утворенні нового м'язового волокна.

### **Загальна характеристика м'язової тканини**

М'язова тканина складає більше 40% від загальної маси тіла. Головною функцією м'язової тканини є скорочення і розслаблення. Структурною і функціональною одиницею м'язової тканини є м'язові волокна. М'язові волокна, об'єднуючись, утворюють індивідуальні м'язи. З діяльністю м'язів пов'язані всі основні фізіологічні поправки організму – рух, дихання, травлення. Кровообіг, виділення, розмноження і ін.

Кожне волокно знаходиться в оболонці – сарколемі, в якій розміщуються нервові закінчення. Під сарколемою знаходиться саркоплазма, де знаходяться саркоплазматична сітка, мітохондрії, рибосоми, лізосоми, міофібрили й ін. Сарколема має білково-ліпідну природу. Саркоплазма представляє собою колоїдний розчин білків м'язового волокна.

Скорочувальний компонент м'язового волокна – міофібрили – розміщуються в саркоплазмі рівномірно або в вигляді скупчень. Основою кожної міофібрили є протофібрили – білкові нитки двох типів: товсті і тонкі. Товсті протофібрили складаються, головним чином, з білка міозина. Мають довжину близько 1500 нм і діаметром 10-15 нм. Тонкі протофібрили складаються, в основному, з білка актину, мають довжину 1000-1100 нм і діаметр 5-8 нм.

### **Хімічний склад скелетної мускулатури**

В скелетні м'язи теплокровних тварин містять 72-80% води і 20-28% сухого залишку. Сухий залишок в основному складається з білків. При перевтомі склад води в м'язах досягає 80-83%.

### **Білки**

Білки визначають специфічні функції м'язів. Вони поділяються на три групи: білки саркоплазми, міофібрил і м'язової стромы.

До білків саркоплазми відносяться міоген, міоглобін, глобулін X і міоальбумін.

**Міоген** представляє собою гетерогенну фракцію білків м'язів, складає в середньому близько 30% їх загальної маси. Складається з двох білків – міогена А і міогена В. Міоген А має ферментативну активність, міоген В ферментативно неактивний.

**Міоглобін** – червоний дихальний пігмент м'язової тканини, переносить кисень до окисно-відновних систем клітини. В м'язах міститься близько 2% міоглобіну в перерахунку на сухий залишок. У морських тварин його склад може сягати 20%. Структура білка з'ясована Дж. Кендрю в 1957-1960 рр. Молекула міоглобіну утворена з одного поліпептидного ланцюга, який складається з 153 залишків амінокислот. Молекулярна маса білка становить 17 тис. Активною частиною молекули міоглобіну є гем. Міоглобін з киснем утворює оксиміоглобін. У людини і більшості наземних хребетних з міоглобіном зв'язується близько 14% всього кисню, який потрапляє в організм.

**Глобулін X** – гетерогенний білок, який залишається в м'язовій тканині після виділення міогенової фракції. За хімічними властивостями нагадує глобулін. Володіє ферментативними властивостями. Складає в середньому 20% від загальної кількості білків тканини.

**Міоальбумін** за хімічними властивостями схожий з альбумінами крові. Найбільше міститься його у м'язах ембріонів і гладкій мускулатурі.

До білків міофібрил відносяться міозин, актин, актоміозин і тропоміозин.

**Міозин** – головний білок міофібрил, складає близько 40% всіх білків м'язового волокна. За хімічною природою міозин є глобуліном. Молекулярна маса білка може сягати 500 тис. Молекула міозину складається з 180 залишків 18 амінокислот. Білок має АТФ-азну активність, що дає змогу енергію АТФ перетворювати в механічну роботу м'язового скорочення. АТФ впливає на фізичні властивості міозинових ниток. Міозин має властивості АМФ-аміногідролази.

**Актин** існує в глобулярній (Г-актин) і фібрилярній (Ф-актин) формі. Складає близько 14% загальної кількості білків м'язів. Г-актин має молекулярну масу близько 70 тис. Ф-актин є продуктом полімеризації Г-актина. При переході Г-актина в Ф-актин змінюється форма, в'язкість, хімічна будова і хімічна активність білка.

**Актоміозин** – білковий комплекс, утворений актином і міозином, головний скорочувальний білок м'язової тканини. Молекулярна маса актоміозину складає близько 5 млн. Має властивості АТФ-ази. Головною біологічною особливістю білка є її здатність зжиматися під впливом АТФ і за наявності йонів  $K^+$  і  $Mg^{2+}$ . При цьому витісняється вода, після чого він розкладається на актин і міозин. Взаємодія актоміозину з АТФ є основою м'язового скорочення.

**Тропоміозин** існує у вигляді двох форм: водорозчинній і водонерозчинній. Складає 4-11% від загальної кількості білків м'язів. Молекулярна маса білка складає 50 тис. Молекула складається з залишків різних амінокислот, серед яких – глютамінова кислота, лізин і аланін. За хімічними властивостями подібний з міозином.

Білки м'язової строми – це білки, які залишаються в м'язовій тканині після екстракції білків саркоплазми і міофібрил сольовими розчинами. Вони мають сполучнотканинне походження (з сарколеми, стінок судин, оболонок нервів і закінчень нервових волокон). Склад цих білків складає 15-20% від загальної кількості білків м'язів. В їх склад входять структурні і ферментативні білки.

### **Ліпіди**

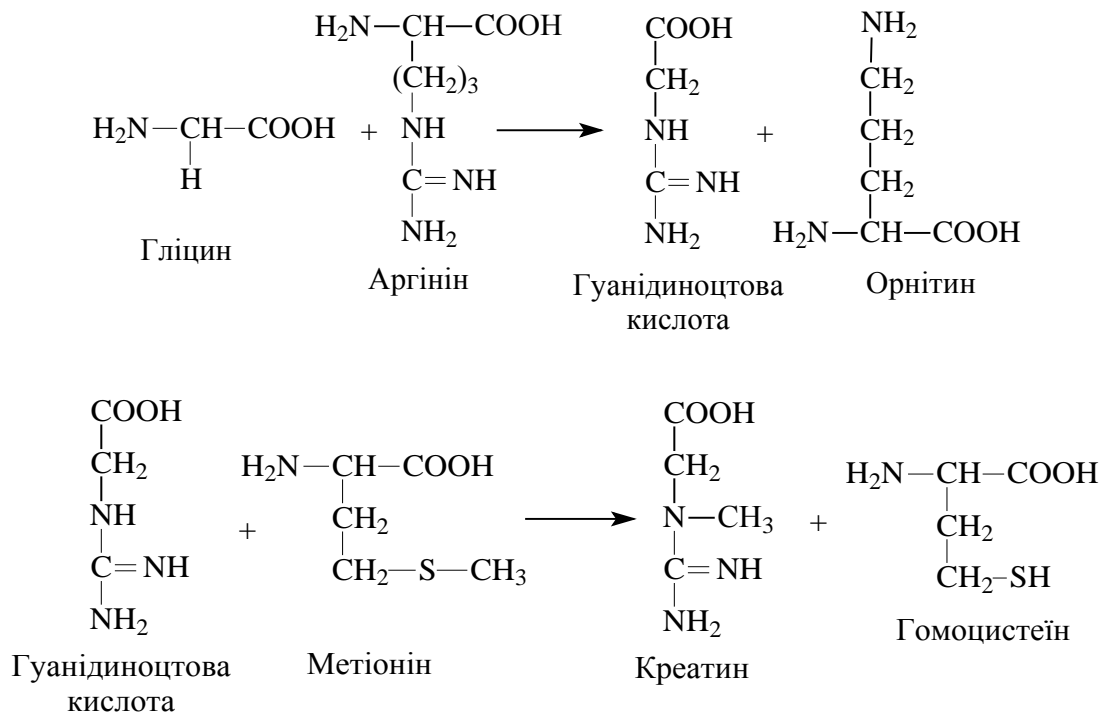
Склад ліпідів у м'язовій тканині залежить від виду, статі, віку, функціонального стану і умов харчування. До складу ліпідів входять нейтральні жири, стерини і стериди, фосфатиди і гліколіпіди. Склад тригліцеридів в міжм'язовій сполучній тканині змінюється в широких діапазонах. Загальний склад стеринів і стеридів у м'язовій тканині в межах 0,03-0,23%, фосфатидів – 0,4-1%.

### **Екстрактні речовини**

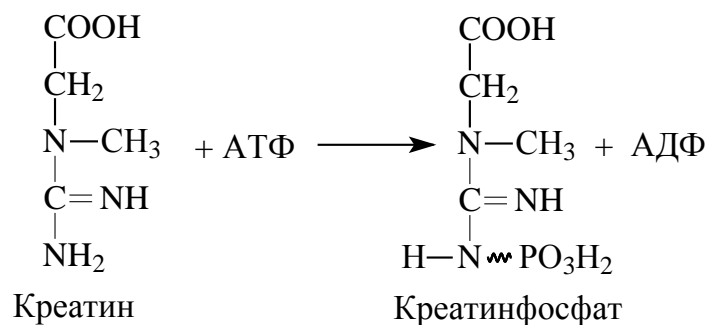
Екстрактні речовини представляють собою органічні і мінеральні сполуки, які добре екстрагуються водою з подрібненої м'язової тканини. Органічні екстрактні речовини поділяють на азотисті і безазотисті.

**Азотисті** екстрактні речовини складають близько 1% всієї маси м'язів. Склад небілкового азоту у м'язовій тканині може сягати 300-950 мг%. До азотистих екстрактних речовин відносяться креатин і креатинін, карнозин, карнітин і ансерин, пуринові і піримідинові основи, поліпептиди і амінокислоти й інші азотовмісні речовини. Більшість цих речовин знаходиться в фосфорильованому стані, складаючи кислоторозчинну і кислотонерозчинну фракцію.

**Креатин і креатинін.** Азот креатину складає близько 60% небілкового азоту м'язів. Його склад в м'язах різних тварин змінюється від 200-600 мг%. Більше 50% креатину знаходиться в вигляді креатинфосфату або фосфагену. Креатин утворюється з трьох амінокислот: гліцину, аргініну і метіоніну. Так, у нирках із гліцину і аргініну під впливом відповідних ферментних систем утворюється гуанідиноцтова кислота, а з неї і метіоніну в тканинах печінки синтезується креатин:

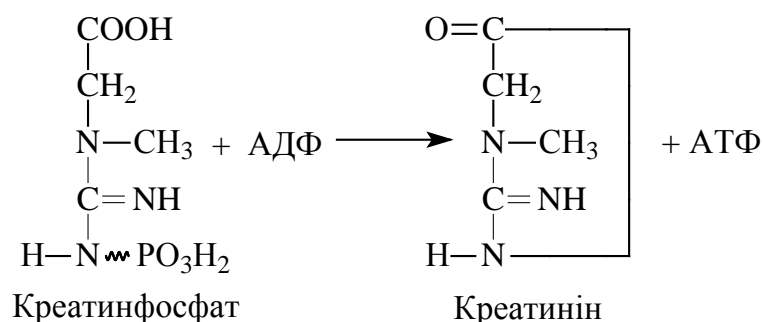


Креатин з током крові потрапляє в м'язову тканину, де фосфорилується під впливом ферменту креатинкінази:



Креатинфосфат (КрФ) є тимчасовим депо фосфору і енергії для біосинтезу АТФ. При використанні АТФ в м'язах відбувається регенерація АТФ за рахунок КрФ:





В м'язовій тканині креатину знаходиться 3-7 мг%. Надлишок його виділяється з організму з сечею.

**Карнозин, ансерин і карнітин.** В м'язах ссавців (в розрахунку на сиру масу) міститься 0,2-0,3% карнозину, 0,09-0,15% ансерину і 0,02-0,5% карнітину. Білки приймають участь в утворенні КрФ.

**Пуринові основи.** У м'язовій тканині містяться АМФ, АДФ, АТФ, НАД<sup>+</sup>, ГТФ, УТФ, ІТФ та ін.

**Амінокислоти.** М'язова тканина найбільше містить глютамінової кислоти і глютаміну, які складають 75% всіх амінокислот і їх амідів. Зв'язаний аміак в вигляді глютаміну може використовуватися тканиною для амінування пуринових і піримідинових основ, карбонових кислот, а його надлишок з потоком крові потрапляє в печінку, де з нього синтезується сечовина.

З інших азотистих речовин слід назвати сечовину, спермін, таурин. Гіпоксантин, інозитову кислоту, сечову кислоту, ксантин, тіамін та ін.

**Безазотисті екстрактні речовини** представляють собою перед усім глікоген (3-4%) і різні продукти анаеробного і аеробного обміну вуглеводів: молочна кислота, гексозофосфати, глюкоза, янтарна кислота й ін. У м'язовій тканині є вітамін С, інозит, ін.

### Мінеральні речовини

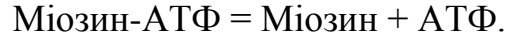
Після згорання м'язової тканини утворюється зола (1-1,5% загальної маси). М'язова тканина багата йонами К<sup>+</sup> (254-398 мг%), зосередженими, як правило, всередині м'язових волокон. Речовина між волокнами містить йони Na<sup>+</sup>. Йони Ca<sup>2+</sup> і Mg<sup>2+</sup> в основному, сконцентровані всередині м'язових волокон. Йони Fe<sup>3+</sup> входять до складу міоглобіну. М'язова тканина містить також йони Co<sup>2+</sup>, B<sup>3+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, вільний і зв'язаний фосфор.

### Хімізм м'язового скорочення

Обмін речовин у м'язовій тканині регулюється нервовою системою. Скорочення м'язів починається скороченням окремих м'язових волокон. Кожне м'язове волокно має нерве закінчення мотонейрона. Воно разом з контактуючою частиною м'язового волокна утворює моторну бляшку – синапс. Пресинаптичною мембраною слугує цитомембрана нервового закінчення, постсинаптичної – сарколема.

Під впливом нервового імпульсу з пор пресинаптичної мембрани виділяється ацетилхолін. Він потрапляє в синаптичну щілину, де взаємодіє з холінорецепторами цитомембрани м'язового волокна. Під впливом медіатора комплекс міоген- $K^+$  розпадається на міоген і йони  $K^+$ . Підвищується проникність сарколеми для йонів  $K^+$  і  $Na^+$ , що призводить до її деполяризації і виникнення постсинаптичного потенціалу. Виникає хвиля збудження, яка охоплює все м'язове волокно, сарколему, саркоплазму і міофібрили.

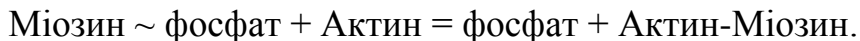
Під час проходження нервового імпульсу з структур саркоплазматичної сітки м'язового волокна в гіалоплазму виділяються йони  $Ca^{2+}$ . Які і активізують АТФ-азну функцію міозину. Молекула міозину до збудження зв'язує АТФ. При збудженні відбувається реакція:



Далі міозин фосфорилується з участю АТФ-азної частини його молекули. В булавовидних розширеннях міозинових протофібрил виникає макроергічний зв'язок:



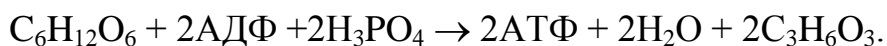
Фосфорильований міозин зв'язується з актином:



Потім енергія макроергічного зв'язку використовується м'язом для виконання роботи, а комплекс актин – міозин розкладається до вихідних речовин:

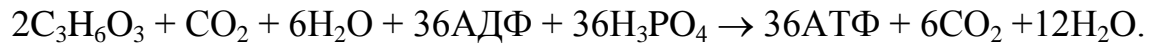


АТФ є головним джерелом енергії для м'язового скорочення. М'язова тканина має невеликий запас АТФ, який швидко використовується. Реакції гліколізу (глікогенолізу) і клітинного дихання йдуть до відновлення запасу АТФ у м'язовій тканині. Так, при гліколізі з однієї молекули глюкози синтезується дві молекули АТФ:

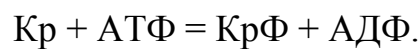


Якщо джерелом глюкози є глікоген, то при гліколізі з однієї молекули утворюється три молекули АТФ.

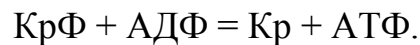
80-85% молочної кислоти йде на ресинтез глікогену, інша частина є джерелом енергії в циклі трикарбонових кислот. З сумарного рівняння клітинного дихання бачимо:



Отже, головним джерелом хімічної енергії для м'язової тканини є цикл трикарбонових кислот. Постійний вміст АТФ у м'язовій тканині пов'язаний з утворенням і розкладом креатинфосфорної кислоти (КрФ). Так, при надлишку в тканині АТФ вона під впливом креатинкінази взаємодіє з креатином (Кр):



При недостатній кількості АТФ, наприклад, у працюючій м'язовій тканині, здійснюється регенерація АТФ:



Деяка кількість АТФ може синтезуватися також з двох продуктів анаеробного розщеплення вуглеводів: 1,3-дифосфогліцеринової і фосфопіровиноградної кислот.

### **Деякі дані біохімії розслаблених м'язів**

Головною функцією м'язів є їх скорочення і розслаблення. Після скорочення м'язів комплекс актин-міозин розщеплюється до вихідних речовин: актину і міозину. Саркомера і міофібрила відновлюються до початкового стану. В гіалоплазмі м'язового волокна різко зменшується кількість іонів  $Ca^{2+}$ . Після цього гальмується діяльність міозинової АТФ-ази. М'язове волокно відновлює попередній запас АТФ і креатинфосфорної кислоти.

### **Роль ацетилхоліну, іонів кальцію, тропоніну і тропоміозину у м'язовому скороченні і розслабленні**

Скорочення м'язів – це зближення ниток актину і міозину. Протягом сотих долі секунди спрацьовує довгий ланцюг хімічних і фізико-хімічних процесів. Це проходить по команді імпульсу. У пресинаптичній мембрані міститься до мільйону позирків з ацетилхоліном, який є медіатором, – хімічним передатчиком сигналу. Ці пузирчики передають сигнал м'язовому волокну. Дія на постсинаптичну мембрану ацетилхоліну викликає її деполяризацію, з чого починається ланцюг подій, що призводить до скорочення

м'язового волокна. Деполяризація підвищує проникність клітинних мембран, в тому числі і мембран внутрішньоклітинних каналів, цистерн, у яких концентрація іонів  $\text{Ca}^{2+}$  у 10000 раз вища, ніж у саркоплазмі. Збільшення проникності призводить до того що іони  $\text{Ca}^{2+}$  «виливаються» із цистерн і концентрація їх у саркоплазмі зростає.

Іони  $\text{Ca}^{2+}$  зв'язуються з комплексом тропонін-тропоміозин і інактивують його. В результаті чого вивільняються заблоковані реакційно здатні ділянки актину і головки молекул міозину.

Поки у щілині є ацетилхолін, деполяризація м'язового волокна продовжується, і воно не реагує на нові сигнали центральної нервової системи. Для нового скорочення необхідно зруйнувати медіатор. Коли розпочинається реполяризація. За допомогою так званого кальцієвого насосу іони  $\text{Ca}^{2+}$  закачуються в цистерни проти дифузного градієнту із затратою енергії АТФ. Зникнення іонів  $\text{Ca}^{2+}$  із саркоплазми вивільняє тропонін, який інгібує АТФ-азну активність міозину і відповідно утворення енергії. Актин і міозин повертаються на свої місця.

### Основні поняття і терміни теми:

**Білки фібрилярні** – білки, які мають нитковидну форму (м'язів білок міозин, білок сухожилок колаген).

**Ресинтез** – зворотній синтез якої-небудь хімічної сполуки, що розщеплюється в організмі.

**Сарколема** – двохшарова ліпопротеїдна плазматична мембрана м'язової клітини або волокна.

**Саркоплазматичний ретикулум** – система внутрішньоклітинних мембран у м'язах. Приймає участь в передачі нервового імпульсу до міофібрил, а також в обміні речовин; є депо іонів  $\text{Ca}^{2+}$ , який запускає процес скорочення м'язів.



### Питання і завдання:

1. Назвіть типи м'язової тканини і їх різницю.
2. Як проходить відновлення пошкодженого м'язового волокна?
3. Що розуміють під руховою одиницею м'язів?
4. Яка роль катіонів  $\text{Ca}^{2+}$  у м'язовому скороченні?



### **Перевірте себе:**

1. Структурними одиницями м'язового волокна є:
  - а) полісахариди;
  - б) міофібрили;
  - в) ліпопротеїди;
  - г) біологічні мембрани.
2. Сарколема являє собою:
  - а) мембрану;
  - б) поліпетид;
  - в) мультиензимний комплекс;
  - г) рибонуклеопротеїновий комплекс.
3. Ведучу роль у м'язовому скороченні відіграють катіони:
  - а) магнію;
  - б) натрію;
  - в) калію;
  - г) заліза;
  - д) кальцію.
4. Запасним джерелом енергії у м'язах є:
  - а) холестерин;
  - б) глікоген;
  - в) молочна кислота;
  - г) глюкоза;
  - д) креатин фосфат.

## 2. БІОЕНЕРГЕТИКА М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Тканинне дихання – це основний спосіб отримання АТФ, що використовується всіма клітинами організму (окрім червоних клітин крові). В процесі тканинного дихання від окислювальної речовини відщеплюється два атоми водню (два протони і два електрони) і по дихальному ланцюгу, що складається з ферментів і коферментів, передаються на молекулярний водень –  $O_2$ , що доставляється кров'ю з повітря у всі тканини організму. В результаті приєднання атомів водню до кисню утворюється вода. За рахунок енергії, що виділяється при русі електронів по дихальному ланцюгу, в мітохондріях здійснюється синтез АТФ з АДФ і фосфорної кислоти. Звичайне утворення однієї молекули води супроводжується синтезом трьох молекул АТФ.

Як субстрати окислення (тобто речовин, від яких відщеплюється водень) в тканинному диханні використовуються різноманітні проміжні продукти розпаду білків, вуглеводів і жирів. Проте найчастіше окисленню піддаються проміжні продукти циклу трикарбонових кислот (ЦТК) – циклу Кребса (ізолимонна, кетоглутарова, янтарна і яблучна кислоти). Цикл Кребса – це завершальний етап катаболізму, в ході якого відбувається окислення залишку оцтової кислоти, що входить в ацетил-кофермент А, – це універсальний метаболіт організму, який при своєму розпаді перетворює головні органічні речовини – білки, вуглеводи і жири.

В деяких випадках відщеплення атомів водню від окислювальних речовин відбувається в цитоплазмі і тут же відщеплений водень приєднується не до кисню (як у разі тканинного дихання), а до якоїсь іншої речовини. Найчастіше таким акцептором водню є пірвіноградна кислота, що утворюється при розпаді вуглеводів і амінокислот. В результаті приєднання атомів водню пірвіноградна кислота перетворюється на молочну кислоту (лактат). Таким чином, при даному типі окислення замість кінцевого продукту – води – утворюється інший кінцевий продукт – молочна кислота, причому це відбувається без споживання кисню, тобто анаеробно. За рахунок енергії, що виділяється при цьому, в цитоплазмі здійснюється синтез АТФ, який отримав назву анаеробне, або субстратне

фосфорилування, або ж анаеробний синтез АТФ. Біологічне призначення даного типу окислення – отримання АТФ без участі тканинного дихання і кисню.

М'язове скорочення є складним механохімічним процесом, в ході якого відбувається перетворення хімічної енергії гідролітичного розщеплювання АТФ в механічну роботу, що здійснюється м'язом.

Процес м'язового розслаблення, або релаксація, так само як і процес м'язового скорочення, здійснюється з використанням енергії гідролізату АТФ. Обидві фази м'язової діяльності – скорочення і розслаблення – протікають при обов'язковому використанні енергії, яка виділяється при гідролізаті АТФ.

Проте запаси АТФ в м'язових клітинах незначні (у спокої концентрація АТФ в м'язах близько 5 ммоль/л) і їх досить для м'язової роботи протягом 1-2 с. Тому для забезпечення тривалішої м'язової діяльності в м'язах повинне відбуватися поповнення запасів АТФ. Утворення АТФ в м'язових клітинах безпосередньо під час фізичної роботи називається ресинтезом АТФ і йде із споживанням енергії. Залежно від джерела енергії виділяють декілька шляхів ресинтезу АТФ.

Для кількісної характеристики різних шляхів ресинтезу АТФ зазвичай використовуються наступні критерії:

- максимальна потужність, або максимальна швидкість, – це найбільша кількість АТФ, яка може утворитися в одиницю часу за рахунок даного шляху ресинтезу. Вимірюється максимальна потужність в калоріях або джоулях, виходячи з того, що 1 ммоль АТФ (506 міліграм) відповідає у фізіологічних умовах приблизно 12 кал або 50 Дж (1 кал = 4,18 Дж). Тому даний критерій має розмірність кал/хв на кг м'язової тканини або відповідно Дж/хв на кг м'язової тканини;

- час розгортання – це мінімальний час, необхідний для виходу ресинтезу АТФ на свою найбільшу швидкість, тобто для досягнення максимальної потужності. Цей критерій вимірюється в одиницях часу (с, хв);

- час збереження або підтримки максимальної потужності – це найбільший час функціонування даного шляху ресинтезу АТФ з максимальною потужністю. Одиниці вимірювання – с, хв, год.;

- метаболічна ємкість – це загальна кількість АТФ, яка може утворитися під час м'язової роботи за рахунок даного шляху ресинтезу АТФ.

Залежно від споживання кисню шляхи ресинтезу діляться на аеробний і анаеробний.

## **Аеробний шлях ресинтезу АТФ**

Аеробний шлях ресинтезу АТФ (аеробне або окислювальне фосфорилування) – це основний, базовий спосіб утворення АТФ, що протікає в мітохондріях м'язових клітин. В ході тканинного дихання від окислювальної речовини відщеплюється два атоми водню (два протони і два електрони) і по дихальному ланцюгу передаються на молекулярний кисень –  $O_2$ , що доставляється кров'ю в м'язи з повітря, внаслідок чого виникає вода. За рахунок енергії, що виділяється при утворенні води, відбувається синтез АТФ з АДФ і фосфорної кислоти. Зазвичай на кожен молекулу води, що утворилася, припадає синтез трьох молекул АТФ. У свою чергу, ацетил – КоА може утворюватися з вуглеводів, жирів і амінокислот, тобто через ацетил – КоА до циклу Кребса залучаються вуглеводи, жири і амінокислоти.

Швидкість аеробного шляху ресинтезу АТФ контролюється вмістом в м'язових клітинах АДФ, який є активатором ферменту тканинного дихання. В стані спокою, коли в клітинах майже немає АДФ, тканинне дихання протікає з дуже низькою швидкістю. При м'язовій роботі за рахунок інтенсивного використання АТФ відбувається утворення і накопичення АДФ. Надлишок АДФ, що з'явився, прискорює тканинне дихання, і воно може досягти максимальної інтенсивності.

Іншим активатором аеробного шляху ресинтезу АТФ є  $CO_2$ , що виникає при фізичній роботі, в надлишку вуглекислий газ активізує дихальний центр мозку, що у результаті приводить до підвищення швидкості кровообігу і поліпшення постачання м'язів киснем.

Аеробний шлях утворення АТФ характеризується наступними критеріями:

- максимальна потужність (складає 350-450 кал/хв кг);
- час розгортання (3-4 хвилини, у добре тренованих спортсменів може бути близько 1 хв.);
- час роботи з максимальною потужністю (складає десятки хвилин).

Як вже вказувалося, джерелами енергії для аеробного ресинтезу АТФ є вуглеводи, жири і амінокислоти, розпад яких завершується циклом Кребса. Причому для цього використовуються не тільки внутрішньо м'язові запаси даних речовин, але і вуглеводи, жири, кетоніві тіла і амінокислоти, що доставляються кров'ю в м'язи під час фізичної роботи. У зв'язку з цим даний шлях ресинтезу АТФ функціонує з максимальною потужністю перебігу такого тривалого часу.



У порівнянні з іншими процесами ресинтезу, що йдуть в м'язових клітинах, аеробний ресинтез АТФ має ряд переваг. Він відрізняється високою економічністю: в ході цього процесу йде глибокий розпад окислювальних речовин до кінцевих продуктів –  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  і тому виділяється велика кількість енергії. Іншою перевагою цього шляху ресинтезу є універсальність у використанні субстратів. В ході аеробного ресинтезу АТФ окислюються всі основні органічні речовини організму: амінокислоти (білки), вуглеводи, жирні кислоти, кетонів тіла. Ще однією перевагою цього способу утворення АТФ є дуже велика тривалість його роботи: практично він функціонує постійно протягом всього життя.

Проте аеробний спосіб утворення АТФ має і ряд недоліків. Функціональний стан кардіо-респіраторної системи є лімітуючим чинником, що обмежує тривалість роботи аеробного шляху ресинтезу АТФ з максимальною потужністю і величину самої максимальної потужності. Можливості аеробного шляху обмежені ще і тим, що всі ферменти тканинного дихання вбудовані у внутрішню мембрану мітохондрій у формі дихальних ансамблів і функціонують тільки за наявності непошкодженої мембрани. Будь-які чинники, що впливають на стан і властивості мембран, порушують утворення АТФ аеробним способом. Наприклад, порушення окислювального фосфорилування спостерігаються при ацидозі (підвищення кислотності), набуханні мітохондрій, при розвитку в м'язових клітинах процесів вільно радикального окислення ліпідів, що входять до складу мембран мітохондрій.

Ще одним недоліком аеробного утворення АТФ можна вважати великий час розгортання (3-4 хв.) і невелику по абсолютній величині максимальну потужність.

### **Анаеробні шляхи ресинтезу АТФ**

Анаеробні шляхи ресинтезу АТФ (креатинфосфатний, гліколітичний) є додатковими способами утворення АТФ в тих випадках, коли основний шлях отримання АТФ – аеробний – не може забезпечити м'язову діяльність необхідною кількістю енергії. Це буває на перших хвилинах будь-якої роботи, коли тканинне дихання ще повністю не розвернулося, а також при виконанні фізичних навантажень високої потужності.

*Креатинфосфатний шлях ресинтезу АТФ (креатинкіназний, алактатний)*

У м'язових клітинах завжди є креатинфосфат – сполука, що містить фосфатну групу, зв'язану із залишком креатину макроергічним зв'язком. Вміст креатинфосфату в м'язах у спокої – 15-20 ммоль/кг.

Креатинфосфат володіє великим запасом енергії і високою спорідненістю до АДФ. Тому він легко вступає у взаємодію з молекулами АДФ, що з'являються в м'язових клітинах при фізичній роботі в результаті гідролізу АТФ.

Креатинфосфатна реакція оборотна, але її рівновага зміщена у бік утворення АТФ, і тому вона починає здійснюватися відразу ж, як тільки в міоцитах з'являються перші порції АДФ. Ця реакція каталізується ферментом креатинкіназою. При м'язовій роботі активність креатинкінази значно зростає за рахунок активуючої дії на неї іонів кальцію, креатину, що утворюється в ході даної реакції. За рахунок цих механізмів активність креатинкінази на початку м'язової роботи різко збільшується і креатинфосфатна реакція дуже швидко досягає максимальної швидкості.

Креатинфосфат, володіючи великим запасом хімічної енергії, є речовиною неміцною. Від нього легко може відщеплюватися фосфорна кислота, внаслідок чого утворюється креатину.

Утворення креатину відбувається без участі ферментів, спонтанно. Ця реакція необоротна. Креатинін, що утворився, в організмі не використовується і виводиться з сечею.

Синтез креатинфосфату в м'язових клітинах відбувається під час відпочинку шляхом взаємодії креатину з надлишком АТФ. Частково запаси креатинфосфату можуть відновлюватися і при м'язовій роботі помірної потужності, при якій АТФ синтезується за рахунок тканинного дихання в такій кількості, якої вистачає і на забезпечення скоротливої функції міоцитів, і на поповнення запасів креатинфосфата. Тому під час виконання фізичної роботи креатинфосфатна реакція може включатися багато разів. Утворення креатину відбувається в печінці з використанням таких амінокислот: гліцину, метіоніну і аргініну.

Креатинфосфатний шлях синтезу АТФ характеризується наступними величинами критеріїв:

- максимальна потужність (складає 900-1100 кал/хв кг);
- час розгортання (всього 1-2 с);
- час роботи з максимальною швидкістю (всього лише 8-10 с).

Головними перевагами креатинфосфатного шляху утворення АТФ є дуже малий час розгортання і висока потужність, що має вкрай важливе значення для швидко-силових видів спорту. Головним недоліком цього способу синтезу АТФ, що істотно обмежує його можливості, є короткий час його функціонування. Час підтримки максимальної швидкості всього 8-10 с, до кінця 2-ої хвилини його

швидкість знижується удвічі, а до кінця 3-ої хвилини інтенсивної роботи креатинфосфатна реакція в м'язах практично припиняється.

Біохімічна оцінка стану креатинфосфатного шляху ресинтезу АТФ зазвичай проводиться за двома показниками: креатиновому коефіцієнту і алактатному кисневому боргу.

Креатиновий коефіцієнт характеризує запаси креатинфосфату в м'язах, оскільки між вмістом креатинфосфату і утворенням його з креатиніну існує лінійна залежність, оскільки це перетворення протікає не ферментативним шляхом і є необоротним.

Алактатний кисневий борг – це підвищення (понад рівень спокою) споживання кисню в найближчі 4-5 хв після виконання короткочасної вправи максимальної потужності. Цей надлишок кисню потрібний для забезпечення високої швидкості тканинного дихання відразу після закінчення навантаження для створення в м'язових клітинах підвищеної концентрації АТФ. Таким чином, використання креатинфосфату під час роботи приводить до накопичення креатину, перетворення якого знову на креатинфосфат вимагає певної кількості кисню.

#### *Гліколітичний шлях ресинтезу АТФ (гліколіз)*

Гліколіз так само є анаеробним способом утворення АТФ. Джерелом енергії, необхідної для ресинтезу АТФ є м'язовий глікоген. При анаеробному розпаді глікоген під впливом ферменту фосфорилази через ряд послідовних стадій перетворюється на молочну кислоту. В процесі гліколізу утворюються проміжні продукти, що містять фосфатну групу з макроергічним зв'язком, який легко переноситься на АДФ з утворенням АТФ.

Всі ферменти гліколізу знаходяться в саркоплазмі м'язових клітин. Гліколізу може також піддаватися глюкоза, що поступає в м'язи з кров'яного русла.

Ферменти фосфорилаза і фосфофруктокіназа регулюють швидкість гліколізу. Причому у спокої гліколіз протікає дуже повільно, при інтенсивній м'язовій роботі його швидкість різко зростає і може збільшуватися в порівнянні з рівнем спокою майже в 2000 разів, причому підвищення швидкості гліколізу може спостерігатися вже в передстартовому стані за рахунок виділення адреналіну.

Максимальна потужність – 750-850 кал/хв кг.

Час розгортання – 20-30 с.

Час роботи з максимальною потужністю – 2-3 хв.

Переваги гліколізу перед аеробним шляхом утворення АТФ: швидше виходить на максимальну потужність, протікає з високою швидкістю, має вищу величину максимальної потужності і не вимагає, в процесі, участі мітохондрій і кисню.

Недоліки гліколізу: висока швидкість проходження процесу швидко приводить до зменшення в м'язах концентрації глікогену, а накопичення в процесі гліколізу молочної кислоти приводить до підвищення кислотності всередині м'язових клітин, що знижує каталітичну активність ферментів гліколізу; гліколіз малоекономічний. Підвищення концентрації лактату в м'язових волокнах викликає зрушення рН в кислу сторону, при цьому проходять конформаційні зміни м'язових білків, що призводять до зниження їх функціональної активності, тобто веде до розвитку стомлення.

При зниженні інтенсивності фізичної роботи, а також в проміжках відпочинку під час тренування лактат, що утворився, може частково виходити з м'язових клітин в лімфу і кров, що робить можливим повторне включення гліколізу.

#### *Міокіназний шлях ресинтезу АТФ*

Ресинтез АТФ за рахунок АДФ (міокіназна або аденілаткіназна кислота) шляхом взаємодії двох молекул АДФ, одна з яких при участі ферменту міокінази передає свою кінцеву фосфатну групу другій молекулі, перетворюючись в АМФ:



В процесі м'язової діяльності міокіназна реакція вступає в дію тільки при значній втомі, коли інші способи ресинтезу АТФ стають затрудненими. З цієї точки зору міокіназну реакцію можна розглядати як аварійний механізм, що забезпечує ресинтез АТФ в умовах, коли інші шляхи не можливі. При підсиленні міокіназної реакції частина АМФ, що утворилася може необоротно дезамінувати і перетворюватися в інозинову кислоту, яка не використовується у енергетичному обміні. Міокіназна реакція як і креатин фосфатна легко оборотна і може бути використана для підтримання постійного рівня АТФ у м'язах при зміні швидкості утворення і використання АТФ. Поява надлишку АТФ у клітині швидко знешкоджується оборотною міокіназною реакцією.

### **3. БІОХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФІЗИЧНИХ ВПРАВ**

У залежності від кількості м'язів, що беруть участь у роботі, її ділять на локальну (якщо в ній задіяно менше  $\frac{1}{4}$  всіх м'язів тіла), регіональну і глобальну (якщо в ній працює більше  $\frac{3}{4}$  всіх м'язів тіла). Локальна робота (спуск курка при стрільбі, переставляння шахових фігур) може викликати зміни в м'язах, що працюють, в цілому в організмі зміни незначні. Регіональна робота (елементи різних гімнастичних вправ, удар по м'ячу, стоячи на місці) викликає більші зміни, ніж локальна м'язова діяльність, що залежить від частки анаеробних реакцій в її енергетичному забезпеченні. Глобальна робота (ходьба, біг, плавання) викликає великі біохімічні зрушення у всіх органах і тканинах організму. Глобальна робота викликає значне підсилення діяльності серцево-судинної системи і дихальної системи, м'язи при її виконанні краще забезпечуються киснем, звідси, в її енергетичному забезпеченні більша частка аеробних реакцій ресинтезу АТФ.

На метаболічні зрушення в організмі впливає режим м'язової діяльності. Виділяють статичний і динамічний режими роботи. Статичний (ізометричний) режим м'язового скорочення призводить до передавлювання капілярів при значній силі скорочення і, наслідок, погіршення постачання м'язів киснем і поживними речовинами. Велика участь при цьому анаеробних реакцій. Динамічний (ізотонічний) режим роботи забезпечує краще постачання кисню.

У спортивній практиці вправи, у яких загальна частка алактатного і гліколітичного анаеробних процесів складає більше 60% від енергетичного запиту, визначають як вправи анаеробного характеру. Довготривалі вправи, де відносна частка аеробного процесу у витратах енергії перевищує 70%, називають вправами аеробного характеру. До проміжних відносять вправи змішаного типу енергозабезпечення, де аеробні і анаеробні процеси мають приблизно рівні значення. До таких вправ відносять біг на дистанції від 1000 до 3000 м.

### *Зони відносної потужності м'язової роботи*

В даний час прийняті різні класифікації потужності м'язової діяльності. Одна з них – класифікація по В.С. Фарфелю, що базується на положенні про те, що потужність фізичного навантаження, яке виконується обумовлено співвідношенням між трьома основними шляхами ресинтезу АТФ, що функціонують в м'язах під час роботи. Згідно цієї класифікації виділяють чотири зони відносної потужності м'язової роботи: максимальну, субмаксимальну, велику і помірну.

Робота в зоні максимальної потужності може продовжуватися протягом 15-20 с. Основне джерело АТФ в цих умовах – креатинфосфат. Тільки в кінці роботи креатинфосфатна реакція заміщається гліколізом.

Робота в зоні субмаксимальної потужності має тривалість до 5 хв. Провідний механізм ресинтеза АТФ – гліколітичний. На початку роботи, поки гліколіз не досяг максимальної швидкості, утворення АТФ йде за рахунок креатинфосфату, а в кінці роботи гліколіз починає замінюватися тканинним диханням. Робота в зоні субмаксимальної потужності характеризується найбільшим кисневим боргом.

Робота в зоні великої потужності має тривалість до 30 хв. Для роботи в цій зоні характерний приблизно однаковий внесок гліколізу і тканинного дихання. Креатинфосфатний шлях ресинтезу АТФ функціонує тільки на самому початку.

Робота в зоні помірної потужності продовжується більше 30 хв. Енергозабезпечення м'язової діяльності відбувається переважно аеробним шляхом.

## 4. БІОХІМІЧНІ ЗМІНИ В ОРГАНІЗМІ ПРИ М'ЯЗОВІЙ РОБОТІ

При виконанні фізичної роботи в м'язах відбуваються глибокі зміни, обумовлені перш за все інтенсифікацією процесів ресинтезу АТФ.

Використання креатинфосфату як джерела енергії призводить до зниження його концентрації в м'язових клітинах і накопичення в них креатиніну.

Практично при будь-якій роботі для отримання АТФ використовується м'язовий глікоген. Тому його концентрація в м'язах знижується незалежно від характеру роботи. При виконанні інтенсивних навантажень в м'язах спостерігається швидке зменшення запасів глікогену і одночасна утворення і накопичення молочної кислоти. За рахунок накопичення молочної кислоти підвищується кислотність усередині м'язових клітин (рН знижується). Збільшення вмісту лактату в м'язових клітинах викликає також підвищення в них осмотичного тиску, унаслідок чого в міоцити з капілярів і міжклітинного простору поступає вода і розвивається набухання м'язів.

Іншою характерною зміною, яку викликає м'язова діяльність, є зниження активності ферментів м'язових клітин. Однією з причин зменшення ферментативної активності може бути підвищена кислотність, викликана накопиченням у м'язах лактату.

І, нарешті, м'язова діяльність може привести до пошкоджень внутрішньоклітинних структур – міофібрил, мітохондрій, різноманітних біомембран. Так, пошкодження мембран саркоплазматичного ретикулума веде до порушення проведення нервового імпульсу до цистерн, що містять іони кальцію. Порушення цілісності сарколеми (оболонки м'язових клітин) супроводжується втратою м'язами багатьох різних речовин, зокрема ферментів, які через пошкоджену сарколему йдуть з м'язових клітин в лімфу і кров.

Пошкодження мембран також негативно впливає на активність імубілізованих ферментів, тобто ферментів, вбудованих в мембрани. Ці ферменти можуть повноцінно функціонувати тільки за наявності непошкодженої, цілісної мембрани. Наприклад, при м'язовій роботі може знижуватися активність кальцієвого насоса – ферменту, що вбудований в мембрану цистерн і забезпечує транспорт іонів кальцію з

саркоплазми всередину цистерн. Інший приклад: при тривалій фізичній роботі зменшується активність ферментів тканинного дихання, локалізованих у внутрішній мембрані мітохондрій.

Утворення АТФ в нервових клітинах відбувається аеробно, шляхом окислювального фосфорилування. Тому при м'язовій роботі збільшується споживання мозком кисню, який переносить кров. Іншою особливістю енергетичного обміну в нейронах є те, що основним субстратом окислення є глюкоза, що поступає з потоком крові.

У зв'язку з такою специфікою енергопостачання нервових клітин будь-яке порушення постачання мозку киснем або глюкозою неминуче веде до зниження його функціональної активності, що у спортсменів може виявлятися у формі запаморочення або непритомного стану.

Енергозабезпечення серцевого м'яза здійснюється головним чином за рахунок аеробного ресинтезу АТФ. Анаеробні шляхи ресинтезу АТФ включаються лише при дуже інтенсивній роботі (ЧСС більше 200 уд/хв). Великі можливості аеробного енергозабезпечення в міокарді обумовлені особливістю будови цього м'яза. На відміну від скелетних м'язів в серцевому є розвиненіша, густіша мережа капілярів і в клітинах міокарду є більше мітохондрій, що містять ферменти тканинного дихання. Як джерела енергії міокард використовує різні речовини, що доставляються кров'ю: глюкозу, жирні кислоти, кетонів тіла, гліцерин. Власні запаси глікогену практично не використовуються; вони необхідні для енергозабезпечення міокарду при навантаженнях, що виснажують. Під час інтенсивної роботи, що супроводжується збільшення концентрації лактату в крові, міокард споживає лактат крові і окисляє його до вуглекислого газу і води.

При м'язовій діяльності активуються функції печінки, направлені переважно на поліпшення забезпечення працюючих м'язів не м'язовими джерелами енергії, що переносяться кров'ю:

1. Під впливом адреналіну підвищується швидкість глікогенеза – розпаду глікогену з утворенням вільної глюкози.

2. Під час виконання фізичних навантажень клітини печінки активно споживають жир і жирні кислоти крові, вміст яких в крові зростає унаслідок мобілізації жиру з жирових депо.

3. Ще один біохімічний процес, що проходить в печінці під час роботи, глюконеогенез. За рахунок глюконеогенезу в клітинах печінки з гліцерину, амінокислот і лактату здійснюється синтез глюкози.

4. При фізичній роботі посилюється розпад м'язових білків, що приводить до утворення вільних амінокислот, які далі дезамінуються, виділяючи  $\text{NH}_3$ . Аміак є клітинною отрутою, його знешкодження відбувається в печінці, де він перетворюється на сечовину.



Зміни хімічного складу крові є віддзеркаленням тих біохімічних зрушень, які виникають при м'язовій діяльності в різних внутрішніх органах, скелетних м'язах і міокарді. Найбільш важливими з них є:

1. Підвищення концентрації білків в плазмі крові.
2. Зміна концентрації глюкози в крові під час роботи.
3. Підвищення концентрації лактату в крові спостерігається практично при будь-якій спортивній діяльності, проте ступінь зростання концентрації лактату значною мірою залежить від характеру виконаної роботи і тренуваності спортсмена.
4. Водневий показник (рН). У міру вичерпання ємкості буферних систем, спостерігається підвищення кислотності крові, виникає так званий некомпенсований ацидоз.
5. Підвищення концентрації вільних жирних кислот і кетонових тіл спостерігається при тривалій м'язовій роботі унаслідок мобілізації жиру з жирових депо і подальшим кетогенезом в печінці.
6. Сечовина. При короткочасній роботі концентрація сечовини в крові збільшується не значно, а при тривалій фізичній роботі рівень сечовини в крові може зрости в 4-5 разів.

### Основні поняття і терміни теми:

**Алактатний анаеробний процес** – проходить за рахунок розщеплення фосфорних сполук, що утворюють і містять у м'язах, прикладом є креатин фосфат.

**Креатинін** – кінцевий продукт обміну білків. Креатинін утворюється в м'язах і потім виділяється в кров.

**Міоцит** – одноядерна м'язова клітина, яка є структурно функціональною одиницею м'язової тканини.

**Субстратне фосфорилування** – утворення АТФ шляхом ферментативного переносу фосфату з окислюючого фосфату на АДФ.

**Цикл Кребса** – система хімічних реакцій, в ході яких молекула ацетил-КоА окислюється до  $H_2O$  і  $CO_2$ . вивільняється 12 молекул АТФ.



### Питання і завдання:

1. У яких типах м'язових волокон добре функціонують анаеробні механізми ресинтезу АТФ?

2. Назвати основні енергетичні субстрати, реакції і енергетичний вихід аеробного механізму ресинтезу АТФ.

3. Що лежить в основі класифікації фізичних вправ по зонах відносної потужності?

4. Чим визначається характер біохімічних процесів енергозабезпечення при м'язовій діяльності?

5. Яка роль гемоглобіну і міоглобіну у забезпеченні організму киснем?



### **Перевірте себе:**

1. Загальна кількість зв'язаного кисню, кров'ю – це:

- а) кисневий попит;
- б) кисневий борг;
- в) кисневий дефіцит;
- г) киснева ємність крові.

2. До механізмів анаеробного забезпечення м'язів відносять:

- а) окисне фосфорилування;
- б) гліколіз і глікогеноліз;
- в) глюконеогенез.

3. За рахунок запасів глікогену печінки м'язи можуть виконувати роботу великої потужності протягом:

- а) 10-30 хвилин;
- б) 20-40 хвилин;
- в) 30-50 хвилин.

4. Яка роль глютамінової кислоти у функціонуванні головного мозку:

- а) утворює кінцеві продукти обміну;
- б) приймає участь в обмінних процесах у головному мозку;
- в) покращує кровообіг у мозку, пам'ять;
- г) декарбоксилується і утворює  $\gamma$ -аміномасляну кислоту.

5. Порогом анаеробного обміну є:

- а) початок креатинфосфокіназного обміну;
- б) підсилення аеробного обміну;
- в) підсилення анаеробного обміну.

## **5. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ УРОКУ ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ ТА СПОРТИВНОГО ТРЕНУВАННЯ**

### **Біохімічне обґрунтування принципів занять фізичними вправами**

Повторність виконання фізичних вправ – важливий принцип спортивного тренування. Необхідність цього принципу полягає в тому, що одноразове виконання фізичної вправи, буде супроводжуватись зверх відновленням, але цей надлишок відновних речовин зросте до вихідного рівня. У процесі тренування необхідна багаторазова повторюваність виконання фізичних вправ.

Регулярність виконання фізичних вправ є важливою умовою підвищення працездатності організму спортсменів. Суть цього принципу в тому, що кожне наступне виконання тренувального навантаження необхідно починати у фазі повної суперкомпенсації. При дотриманні такої регулярності величина і довжина фази зверх відновлення буде зростати після кожного виконання вправи. Якщо роботу починати після закінчення фази суперкомпенсації, працездатність організму при такій організації тренування буде залишатися на одному рівні. Виконання повторних навантажень в період неповного відновлення буде викликати виснаження організму. Така організація тренування застосовується у спортивній практиці, особливо при змаганнях.

Принцип правильного співвідношення роботи і відпочинку полягає в тому, що виконання різних по своєму характеру і довжині фізичних навантажень потребує певного по довжині періоду відпочинку. Така необхідність визначається перш за все тим, що після виконання роботи, неоднакової по довжині і інтенсивності, фаза зверх відновлення настає в різні періоди відпочинку. Виконання короткочасних фізичних вправ інтенсивної потужності, при яких ре синтез АТФ використовується в основному креатин фосфат, може чергуватися з відносно коротким періодом відпочинку. Довга робота, при якій використовується глікоген і білки, потребує більш довгого періоду відпочинку.

Згідно принципу гетерохронності найшвидше відновлюється креатин фосфат. Тому фаза суперкомпенсації цієї сполуки настає швидко і триває протягом короткого проміжку часу.

Знання цих закономірностей є важливою для правильної регламентації довжини роботи і відпочинку спортсмена. Організація правильного співвідношення роботи і відпочинку в процесі тренування сприяє швидкому розвитку спритності, сили і витривалості.

Поступове збільшення тренувальних навантажень є важливим принципом, що підвищує ефективність спортивного тренування. При виконанні вправ однакової потужності організм людини поступово пристосовується до них шляхом вироблення певних біохімічних змін. З часом ступінь біохімічного пристосування стає настільки високою, що при виконанні аналогічних навантажень кількість використаних на роботу речовин буде мінімальною. Це у свою чергу здійснює відповідний вплив на фазу суперкомпенсації, яка стає менш вираженою і більш короткою

### **Біохімічна характеристика уроку фізичної культури**

Передстартові зміни мають умовно-рефлекторний характер. В передстартовому стані відбувається підсилення діяльності ряду залоз внутрішньої секреції, зокрема, наднирників. Особливо підсилюється синтез адреналіну. Під його впливом активізується процес розпаду глікогену в печінці, мобілізація депонованого жиру, підвищується активність ферментів, зокрема ферментів енергетичного обміну. В крові підвищується кількість енергетичних субстратів: глюкози, вільних жирних кислот, кетонових тіл. Підсилюється діяльність серцево-судинної та дихальної систем, підвищується кількість гемоглобіну в крові за рахунок виходу з депо багаті еритроцитами крові. Все це забезпечує споживання організмом кисню, підвищує кисневу ємність, поліпшує забезпечення тканин киснем та енергетичними субстратами.

Передстартові зміни в організмі знаходяться у відповідності з наступною роботою та відповідають їм по характеру та глибині. Чим більш важкою є наступна робота, тим глибше біохімічні зміни в передстартовому стані.

Рівень передстартових реакцій організму залежить від віку та статі спортсмена. Більш значні передстартові зміни спостерігаються в організмі підлітків та жінок у зв'язку з чим їм не рекомендується виконувати роботу з високим емоційним напруженням.

Крім того, величина передстартових змін може залежати від рівня підготовленості спортсмена, типу його нервової діяльності, а також особливостей проведення змагань.

Таким чином, передстартовий стан слід розуміти як сформовану сукупність біохімічних змін в організмі людини, що виникла в процесі постійного тренування визначеним видом фізичних вправ і приводить до формування умовних рефлексів на роботу, що виконувалась.

Величина передстартових біохімічних змін в організмі залежить від рівня збудження центральної нервової системи. Надмірне, так як і недостатнє нервове збудження перед навантаженням не може забезпечити утворення рухової навички корі головного мозку, і тим самим – нормальної працездатності організму.

Передстартові зміни в організмі, особливо відповідні наступній роботі, слід розглядати як явище позитивне. Вони готують організм до наступної роботи. При недостатньо виражених передстартових змінах організм виявляється погано підготовленим до роботи. Надмірні біохімічні зміни можуть привести до виснаження залоз внутрішньої секреції, витраченню енергетичних субстратів та інших змін, результатом яких може бути зниження працездатності та спортивного результату.

Розминка може виявляти нормалізуючий вплив на передстартові зміни у організмі. При недостатньо глибоких змінах енергійно виконана розминка буде сприяти поглибленню біохімічних змін, приведенню їх у більшу відповідність з наступною роботою. При надмірно високих змінах розминка повинна бути помірно інтенсивною, більш спокійною, що забезпечить нормалізацію біохімічних змін в організмі і дозволить запобігти післядії надмірних реакцій.

Для того щоб працездатність спортсмена досягла необхідного високого рівня, потрібно деякий період впрацювання. Це проходить під час розминки, передуює заняттю або змаганням. Розрізняють дві сторони розминки, з біохімічної сторони розглядають метаболічні процеси. Було виявлено, що повторна робота після короткої фази відпочинку супроводиться економною витратою енергії, меншим підвищенням молочної кислоти, менш значним пониженням резервної лужності і збільшенням працездатності. Робота, яка виконується після розминки, характеризується значно меншим підвищенням рівня молочної кислоти і пірвіноградної кислоти у крові, ніж та що виконується без розминки. Повторне виконання роботи у фазу

неповного відновлення після короткочасного інтенсивного навантаження починається на фоні підвищеної активності ряду окислених ферментів і супроводиться більш економною витратою креатинфосфату і менш підсиленням гліколізом. Розминка замінює початкову, «пускову», фазу м'язової діяльності, коли переважає анаеробний ресинтез АТФ, і спостерігається частковий розрив дихання і фосфорилуванням, підвищується активність окисних ферментів. Важливою є величина інтервалу між розминкою і основною роботою. Вона повинна бути такою, щоб за цей час встиг пройти ресинтез фосфатних макроергічних сполук, що розчепилися під час розминки, але не встигли перейти до активування розминкою окисних процесів. Надто короткий і надто довгий інтервал понижує ефективність виконання основних вправ. Величина інтервалу також визначається довжиною розминки і характером вправ, які виконуються.

### **Характеристика біологічних закономірностей формування адаптаційних зрушень в процесі тренування**

Спрямованість і величина біохімічних змін, що відбуваються у відповідь на застосовані фізичні навантаження, визначають тренувальний ефект. Ступінь впливу фізичного навантаження на організм залежить від: інтенсивності й тривалості навантаження, числа повторень, пауз відпочинку між ними і їх характером, а також типу навантаження. Зміна кожної з наведених характеристик фізичного навантаження викликає певні біохімічні зрушення в організмі, а сукупний вплив приводить до істотних перебудов обміну речовин – адаптації, що виражається в поліпшенні функціональної підготовленості (тренованості) і підвищенні рівня спортивних досягнень.

Під біохімічною адаптацією організму розуміють сукупність біохімічних процесів, які забезпечують ефективну й економічну його діяльність в умовах впливу різних факторів середовища, збереження відносного рівня гомеостазу. Чільним фактором адаптації є високоефективна робота регуляторних систем метаболізму й фізіологічних систем.

Адаптація організму до впливу фізичних навантажень, як і до будь-якого іншого подразника, носить фазний характер. Залежно від характеру й часу реалізації пристосувальних змін в організмі виділяються два етапи адаптації – етап термінової й етап довгострокової (хронічної) адаптації. Етап термінової адаптації – це

безпосередня відповідь організму на однократний вплив фізичного навантаження. Реалізується він на основі готових, що раніше сформувалися біохімічних механізмів і зводиться переважно до змін енергетичного обміну й функцій вегетативного його обслуговування. Етап довгострокової адаптації охоплює великий проміжок часу, розвивається поступово (на основі багаторазової реалізації термінової адаптації) як результат підсумовування слідів повторюваних навантажень, пов'язаний з виникненням в організмі структурних і функціональних змін, які формуються завдяки активації під впливом навантаження генетичного апарата функціонуючих клітин і посиленню в них синтезу специфічних білків.

Посилення скорочувальної активності м'язів під час фізичних навантажень приводить до помітних зрушень у системах енергозабезпечення, зокрема змінюється баланс макроергічних фосфатів у клітині, що супроводжується, посиленням процесів синтезу АТФ і відновленням порушеного балансу макроергічних речовин. Ці процеси становлять початкову ланку термінової адаптації. Разом з тим порушений баланс макроергічних сполук у момент дії фізичного навантаження активує інший, більше складний рівень регуляції. Фактор-регулятор, контролює активність генетичного апарата й визначає швидкість синтезу нуклеїнових кислот і специфічних білків у клітині. У ролі фактору-регулятора в скелетних м'язах можуть виступати вільний креатин, цАМФ, а також деякі пептиди або стероїдні гормони. Таким шляхом у процесі довгострокової адаптації під впливом фізичних навантажень активується синтез нуклеїнових кислот і білків, що веде до росту скорочувальних структур у м'язі, підвищенню ефективності її функціонування.

У відповідності з фазовим характером проходження процесів адаптації до фізичних навантажень у теорії й практиці спорту прийнято виділяти три різновиди тренувального ефекту: терміновий, відставлений (продовжений) і кумулятивний (накопичувальний). Терміновий тренувальний ефект визначається величиною й характером біохімічних змін в організмі, що відбуваються безпосередньо під час дії фізичного навантаження й у період термінового відновлення (найближчі 0,5-1 год. після навантаження), коли відбувається ліквідація кисневого боргу, що утворився під час роботи. Відставлений тренувальний ефект спостерігається на пізніх фазах відновлення після фізичного навантаження. Його сутність становлять стимульовані роботою пластичні процеси, спрямовані на

заповнення енергетичних ресурсів організму й прискорене відтворення зруйнованих при роботі й знову синтезованих клітинних структур. Кумулятивний тренувальний ефект виникає як результат послідовного підсумовування слідів багатьох навантажень або великого числа термінових і відставлених ефектів. У кумулятивному тренувальному ефекті втілюються біохімічні зміни, пов'язані з посиленням синтезу нуклеїнових кислот і білків, які спостерігалися протягом тривалого періоду тренування. Кумулятивний тренувальний ефект виражається у прирості показників працездатності й поліпшенні спортивних результатів.

Всі біохімічні зміни, що виникають в організмі людини в процесі спортивного тренування й спрямовані на його швидке пристосування до умов підвищеної м'язової діяльності, наступають у різний час й у певній послідовності.

При систематичних заняттях фізичними вправами організм найбільше швидко адаптується до тривалої роботи (аеробні процеси, що супроводжуються нагромадженням глікогену). Потім відбувається збільшення м'язової маси за рахунок інтенсивного синтезу структурних м'язових білків (в основному міозину) і активація анаеробних процесів гліколізу. І, нарешті, у м'язах накопичується підвищений вміст креатинфосфату.

Розтренованість – такий стан тренованого організму, при якому його підвищені біохімічні й фізіологічні можливості повертаються до вихідного рівня. Цей зворотний процес спостерігається при повному припиненні занять фізичними вправами. Біохімічні зміни, що наступають в організмі спортсменів при розтренованості, по послідовності зовсім протилежні тренувальним біохімічним зрушенням.

Після припинення спортивного тренування в організмі найбільше швидко повертається до вихідного рівня вміст креатинфосфату, потім інтенсивність реакцій гліколізу, вміст глікогену й структурних білків м'язів, і в останню чергу знижується інтенсивність аеробних процесів.

Отже, в організмі, що тренується, найбільше швидко розвиваються й довше всього зберігаються біохімічні зміни, характерні для такої якості рухової діяльності, як витривалість до тривалої роботи. Найбільше повільно розвиваються й зберігаються протягом самого короткого проміжку часу біохімічні основи швидкості й швидкісної витривалості. Сила як якість рухової діяльності займає при цьому проміжне місце.



Перетренування – такий стан організму спортсменів, при якому настають глибокі біохімічні зрушення, що супроводжуються порушенням діяльності центральної нервової системи, органів кровообігу, частково органів дихання, травлення й різким зниженням рухової якості – витривалості.

Стан перетренованості розвивається найчастіше у висококваліфікованих або юних спортсменів з нервовою системою слабого типу при неправильній організації тренувальних занять: недотриманні поступовості в підвищенні обсягу й інтенсивності навантажень, відсутності достатнього відпочинку після максимальної роботи. Перетренування спортсменів часто спостерігається перед відповідальними змаганнями в період форсованого тренування. Біохімічні зміни, що відбуваються в перетренованому організмі, відрізняються від зрушень, викликаних розтренованістю, як по послідовності їхньої появи, так і по глибині. З розвитком стану перетренування в організмі, насамперед, відбувається порушення процесів аеробного окислювання, у зв'язку із чим значно пригнічується функціонування нервової системи, що супроводжується порушенням сну й реакції організму на фізичні навантаження. Відсутність нормального нічного відпочинку, а також достатнього ресинтеза енергії аеробним шляхом веде до активного розпаду аденозілової кислоти, нагромадженню аміаку в м'язах, зменшенню маси тіла, а також до різкого зниження витривалості організму до тривалої роботи. У крові перетренованого організму значно зменшується вміст аскорбінової кислоти. При більше важких формах перетренованості в організмі спостерігаються порушення реакцій гліколізу й зниження рівня глікогену в м'язах, що значно зменшує можливість швидкісної витривалості. Однак такі якості, як швидкість і сила, у перетренованому організмі змінюються незначно. Для ліквідації легких форм перетренування необхідно знизити обсяг й інтенсивність тренувальних навантажень. При більше важкому стані перетренованості спортсменів переводять на активний відпочинок (переключення на інший вид спортивної діяльності) або надають їм повний відпочинок з медикаментозним лікуванням.

### **Оборотність адаптаційних змін при тренуванні**

Оборотний характер адаптаційних змін, що виникають у відповідь на застосовуване навантаження, найбільше яскраво проявляється у феномені суперкомпенсації. Звичайно стверджується,

що позитивний тренувальний ефект досягається тільки в тому випадку, якщо повторне навантаження буде задаватися у фазі суперкомпенсації після попереднього навантаження.

При короткочасних інтервалах між повторними навантаженнями, недостатніми для виникнення суперкомпенсації, як і при занадто тривалих інтервалах, при яких викликані навантаженням зрушення встигають повернутися до норми, не може бути досягнуте прогресуюче збільшення адаптаційних змін в організмі. Слід зазначити, що повною мірою правило повторного навантаження у фазу суперкомпенсації застосовується тільки до великих циклів тренування – тижневих або навіть місячних. У даних тимчасових рамках головне завдання тренування зводиться до того, щоб повніше завантажити провідну функцію й цим стимулювати подальше розгортання адаптаційних процесів в організмі з відставленим досягненням більше вираженої фази суперкомпенсації. Тому на окремих тренувальних заняттях або в окремі мікроцикли тренування, де повторні навантаження задаються у фазу неповного відновлення, має місце прогресивне зниження показників побудови тренування.

У кожному мікроциклі тренування повторні навантаження задаються при неповнім відновленні, що веде до вираженого зниження показників провідної функції. У той же час відпочинок між окремими циклами тренування забезпечує досягнення суперкомпенсації провідної функції. Тому з кожним черговим повторенням мікроциклу помітне посилення тренувального ефекту.

Найбільш чітко оборотність адаптаційних змін, що відбуваються в організмі при систематичному застосуванні інтенсивних навантажень, проявляється в показниках кумулятивного тренувального ефекту. Помітне поліпшення показників провідної функції втрачається після припинення тренування приблизно з тією ж швидкістю, з якою воно зростало у період застосування навантажень. Для досягнення вираженого поліпшення більшості біоенергетичних показників звичайно потрібно 4-8 тижнів тренування. Зниження цих показників після припинення тренування до вихідного рівня відбувається приблизно в ті ж строки.

### **Вікові особливості біохімічної адаптації до фізичних навантажень**

У процесі виховання молодих осіб, що направлено на укріплення здоров'я і гармонійного їх розвитку, необхідно

враховувати всі біохімічні особливості організму, який росте. При цьому слід пам'ятати, що ріст – це не просто збільшення маси і розмірів організму, а строго послідовна зміна стадій його розвитку, кожна з яких характеризується своїми морфологічними, фізіологічними і біохімічними змінами. З цією метою необхідно рекомендувати такі фізичні вправи, які сприяли б нормальному зростанню і розвитку дитячого організму і підвищенню його функціональних можливостей. Це особливо важливо при підготовці високо розрядних юних спортсменів. Знання фізіологічних і біологічних закономірностей зростання і розвитку організму, що росте, має також велике значення для удосконалення їх тренування, тим більше що останнім часом в деяких видах спорту відбулося омолодження спортсменів.

Починаючи з 1971 року, протягом 5-6 років, середній вік гімнастів і плавців зменшився на 2 роки, фехтувальників – на 1 рік. Значно знизився середній вік спортсменів, що виконують норми майстра спорту. Тенденція до омолодження сучасних видів спорту продовжується.

Висока емоційна напруга в сучасному спорті вимагає виключно обережного індивідуального підходу при визначенні величини і характеру навантаження в процесі тренування юних спортсменів.

В процесі фізичного виховання дітей і підлітків необхідно пам'ятати, що високий рівень синтетичних реакцій (перш за все реакції синтезу білків) і окислювальних процесів, знижена киснева ємність, енергетичний потенціал м'язів, анаеробна і аеробна працездатність організму, що росте, виключають застосування великих фізичних навантажень. Особливо важкими для них є менш інтенсивні, але тривалі фізичні вправи (від 20-30 с до 4-5 хв. наприклад, швидкісний тривалий біг), при яких енергозабезпечення організму відбувається в основному за рахунок гліколізу. Виконання таких навантажень несприятливо позначаються на діяльності серцево-судинної системи, що ще не окріпнула, яка в умовах гіпоксії проявляє надмірне функціонування, що іноді приводить до різних патологічних змін

Якщо тривалість роботи перевищує 4-5 хв. енергетичне забезпечення організму здійснюється виключно за рахунок аеробних реакцій. При цьому енергозабезпечення біосинтетичних процесів, завдяки яким здійснюються зростання і розвиток молодого організму, майже припиняється. У таких випадках працездатність молодих людей

наближається до працездатності дорослих. При тривалішій роботі (понад 30-40 хв.) вона значно знижується.

Шкідливу дію на організм, що росте, надають великі силові навантаження статичного характеру (штанга, плавання, велоспорт), які пригнічують розвиток окислювальних процесів, що негативно позначається на синтезі білків. Не рекомендується застосовувати для дітей тривалі одноманітні фізичні вправи, які дуже швидко приводять до розвитку охоронного гальмування нервової системи і зниження функціонування ендокринних залоз, що обмежує працездатність організму. При фізичному вихованні дітей і підлітків найбільш доцільні відносно короткочасні (швидкісний біг на 50-60 м) і різноманітні вправи з достатньо тривалими періодами відпочинку. З метою підвищення емоційності занять необхідно проводити їх у формі різних ігор і змагань в красиво оформленому залі або на повітрі. При такій організації фізичних занять забезпечується активна мобілізація енергетичних ресурсів і постачання енергією працюючих м'язів і органів дитячого організму. Вправи на розвиток загальної витривалості рекомендується застосовувати з 10-річного віку, швидкісній витривалості – не раніше 17-18 років. При довготривалому тренуванні юних спортсменів тренувальні навантаження слід підвищувати за рахунок збільшення їх об'єму, але не інтенсивності.

У зв'язку з швидким розвитком молодого організму (акселерацією), сприйняттям більшого об'єму інформації, дією різних стресових чинників, діти і підлітки швидко втомлюються і стомлюються. Це особливо помітно під час занять в школі. Найвищий рівень сприйняття знань учнями наголошується на другому і третьому уроках, на першому – посереднє, на четвертому – шостому уроках спостерігається різкий спад. Протягом тижня високу розумову продуктивність учні проявляють в середу, четвер і суботу, в решту днів тижня сприйняття знань значно слабкіше. Тому в молодших і середніх класах необхідно правильно планувати чергування уроків із заняттями фізичною культурою. Для підвищення розумового сприйняття у дітей цього віку дуже важливо проводити з ними ранкову гімнастику, фізкультурні паузи в школі, забезпечити щоденні прогулянки перед сном і перебування на свіжому повітрі у вихідні дні.

## Основні поняття і терміни теми:

**Адаптація** – процес, що проходить протягом життя, в результаті якого організм набуває стійкість до певного фактора навколишнього середовища.

**Гетерохронність** – біохімічні процеси проходять в організмі з різною швидкістю і завершаються в різний час.

**Передстартовий стан організму** – посилення ряду фізіологічних функцій перед початком змагальної роботи, незважаючи на те, що в цей час організм ще знаходиться в стані спокою

**Довготривала адаптація** – структурні і функціональні зміни в організмі, що розвивається на основі багаторазової реалізації термінової адаптації.

**Термінова адаптація** – відповідь організму на однократне дію фізичного навантаження.



### Питання і завдання:

1. В чому полягає суть процесу адаптації організму до фізичних навантажень?
2. У чому суть принципу повторення викання фізичних вправ?
3. Які біохімічні процеси проходять під час розминки в організмі учня?
4. У чому проявляється феномен суперкомпенсації при виконанні повторних навантажень в процесі тренування?
5. Як взаємодіють термінові і відставлені адаптаційні зміни в організмі в процесі тренування?



### Перевірте себе:

1. Дія фізичних навантажень на організм залежить від:
  - а) інтенсивності, довжини вправи, періоду відпочинку, типу вправи;
  - б) інтенсивності і довжини вправи;
  - в) періоду відпочинку і типу вправи.

2. *Вибрати правильно, що відноситься до термінової адаптації:*

а) період впрацювання, синтез глікогену, суперкомпенсація, відновлення;

б) період впрацювання, стаціонарний стан, розвиток втоми, відновлення;

в) активація генетичного апарату, підсилення синтезу білків, підсилення потужності м'язів.

3. *Адаптаційні зміни в організмі проходять:*

а) одночасно і з однаковою швидкістю;

б) одночасно і з різною швидкістю;

в) не одночасно і з різною швидкістю.

4. *Найбільше чітко оборотність адаптаційних змін, що відбуваються в організмі при систематичному застосуванні інтенсивних навантажень, проявляється:*

а) в показниках термінового тренувального ефекту;

б) в показниках кумулятивного тренувального ефекту;

в) в показниках кумулятивного тренувального ефекту.

5. *В процесі розтренованості в організмі біохімічні і фізіологічні можливості повертаються:*

а) до робочого рівня;

б) до вихідного рівня;

в) до рівня виснаження;

г) до зверх відновлення.

## **6. БІОХІМІЧНІ ЗМІНИ В ОРГАНІЗМІ ПІСЛЯ ФІЗИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

### **Біохімічні фактори втоми**

Втома – це стан організму, який виникає внаслідок довгої і напруженої діяльності і характеризуються пониженням працездатності. Це нормальний для організму стан, що відіграє захисну роль. Втома попереджує про настання несприятливих біохімічних і функціональних зрушень, які виникають під час роботи, і для їх попередження автоматично знижується інтенсивність м'язової роботи.

Розрізняють чотири типи втоми:

- 1) розумова (гра в шахи);
- 2) сенсорна – втом органів чуття, що настає при стрільбі, слаломі;
- 3) емоційна – при роботі з емоційним підйомом (спортивні ігри);
- 4) фізична, настає при довгій напруженій фізичній діяльності.

При фізичній втомі, що викликана довготривалою роботою, в організмі людини проходять біохімічні зрушення. Понижується концентрація АТФ у нервових клітинах і порушується синтез ацетилхоліну в синапсах, в результаті цього порушується формування рухових імпульсів.

При втомі пригнічується діяльність залоз внутрішньої секреції, результатом якої є зменшення продукції гормонів і активності їх ферментів. В першу чергу знижується активність міози нової АТФ-ази, яка контролює перетворення хімічної форми енергії в механічну роботу. Пониження швидкості розщеплення АТФ у міофібрилах автоматично призводить до зменшення потужності роботи. В стані втоми падає активність ферментів аеробного окислення, що призводить до порушення окисного фосфорилування, зв'язаних з ре синтезом АТФ. Розвивається гіпоксія, і для підтримання необхідного рівня АТФ проходить нове підсилення гліколізу, що призводить до підвищення рівня молочної кислоти. Різко пригнічується використання ліпідів і синтез фосфоліпідів,

послаблюється мобілізація вуглеводів. В результаті активного розпаду білків і амінокислот в крові значно підсилюється рівень сечовини.

При втомі в працюючих м'язах вичерпуються запаси креатин фосфату, глікогену, накопичується молочна кислота, кетонові тіла. При цьому порушується регуляція тих процесів, які пов'язані з енергозабезпеченням м'язів, а також систем легеневого кровообігу.

Однією з причин втоми може стати пониження енергоресурсів організму, і пониження активності ключових ферментів у зв'язку з пригніченою дією продуктів метаболізму, і порушенням цілісності функціонуючих структур, сповільнені пластичного обміну, і зміні нервової або гуморальної регуляції функцій.

При короточасній роботі основною причиною втоми є розвиток охоронного гальмування в ЦНС у зв'язку з порушенням співвідношення АТФ/АДФ на користь АДФ, а також пониження активності АТФ-ази міозину під впливом продуктів обміну, що накопилися під час роботи. При відносно помірній і довготривалій роботі основними причинами втоми є вичерпання внутрішньо м'язових запасів глікогену або накопичення продуктів неповного окислення жирів, а також пониження збудження м'язів.

При виникненні в організмі під час м'язової роботи біохімічних і функціональних зрушень з різних рецепторів (хеморецепторів, осморорецепторів, пропріорецепторів) в центральну нервову систему по аферентних нервах (чутливих) поступають відповідні сигнали. Досягнувши значної глибини цих зрушень в головному мозку формується охоронне гальмування, що розповсюджується на рухові центри, іннервує скелетні м'язи. В результаті в мотонейронах зменшується вироблення рухових імпульсів, що у результаті призводить до зниження фізичної працездатності. Зниження функціональної активності мотонейронів спостерігається також при зменшенні утворення в них АТФ. Суб'єктивне охоронне гальмування сприймається як відчуття втоми. Залежно від поширеності виниклих в організмі змін втома може бути локальною (місцевою) або загальною. При локальній втомі (рука або нога) біохімічні зрушення виявляються в окремих групах м'язів, а загальна втома відображає біохімічні і фізіологічні зрушення, що виникають не тільки в працюючих м'язах, але і в інших органах, що супроводжуються зниженням працездатності кардіореспіраторної системи, порушенням функціонування мозку і печінки, зміною хімічного складу крові.



Охоронне гальмування і, отже, втома можуть бути понижені за рахунок емоцій. Високий емоційний підйом (наприклад, відчуття небезпеки у тварини, висока мотивація і сила волі у спортсмена) дозволяє організму зберігати високу працездатність, не дивлячись на виникнення і наростання небезпечних для життєдіяльності біохімічних і функціональних змін, які можуть привести до тяжких наслідків. Відсутність емоційного фону при виконанні монотонної, одноманітної роботи прискорює виникнення охоронного гальмування.

У забезпеченні м'язової діяльності, разом з нервовою системою, найактивнішу участь бере кардіореспіраторна система, що відповідає за доставку кисню і енергетичних субстратів до працюючих м'язів, а також за виведення з них продуктів обміну. Тому зниження працездатності серцево-судинної і дихальної систем, природно, вносить істотний внесок до розвитку стомлення. У печінці під час м'язової роботи протікають такі важливі процеси, як глікогенез,  $\beta$ -окислення жирних кислот, кетогенез, гліоконеогенез, знешкодження аміаку шляхом синтезу сечовини. Тому зменшення функціональної активності цього органу також веде до зниження працездатності і розвитку стомлення.

### **Біохімічна характеристика процесів відновлення після м'язової роботи**

Після втоми настає період відпочинку після якого відновлюються всі зрушення нормального біохімічного стану організму, що виникло в період фізичного навантаження. Для періоду відпочинку характерно високоінтенсивне протікання реакцій аеробного окислення і окисного фосфорилування, що супроводжується значним споживанням кисню. Енергія, що вивільняється при цьому інтенсивно використовується організмом на біосинтез речовин, що витратились під час роботи.

У ході процесів відновлення після м'язової роботи виділяють три фази – термінове, відставлене, сповільнене. Фаза термінового відновлення охоплює перші 30 хв після закінчення вправи і пов'язана з використанням внутрішньо м'язових резервів АТФ і креатин фосфату, а також з поповненням алактатного компонента кисневого боргу. У фазі відставленого відновлення, що триває від 30 хв до 6-12 год, після закінчення вправи, проходить збагачення втрачених вуглеводних та жирових резервів, повернення до початкового стану водно-електролітної рівноваги організму. У фазі сповільненого відновлення, яка може тривати до 2-3 діб, збільшуються процеси протеїносинтезу

та проходять формування та закріплення в організмі адаптаційних здвигів, що викликані виконанням вправ. Кожна фаза відновлення має свої особливості в динаміці метаболічних процесів, що проходять.

У процесі роботи у м'язах та інших тканинах понижується вміст енергетичних субстратів (креатинфосфату, глікогену, а при довготривалій роботі – ліпідів) і підвищується вміст продуктів внутрішньоклітинного метаболізму (АДФ, АМФ,  $H_3PO_4$ ), молочної кислоти, кетонівих тіл.

Процеси відновлення у період відпочинку після м'язової роботи, що допомагає відновленню протікає з різною швидкістю та закінчується у різний час (явище гетерохронізму). Швидше всього відновлюються резерви  $O_2$  та креатинфосфат, що використовувалися м'язами, потім – внутрішньом'язові запаси глікогену та глікогену печінки і в останню чергу – резерви жирів та порушені при роботі білкові структури.

Інтенсивність протікання відновних процесів та термін використання енергетичних запасів організму залежить від інтенсивності їх витрат під час виконання вправ. Інтенсифікація процесів відновлення приводить до того, що в певний момент відпочинку після роботи запаси енергетичних речовин перебільшують їх до робочий рівень. Це явище отримало назву суперкомпенсації або зверхвідновлення.

Чим більша розтрата енергії при роботі тим швидше проходить ресинтез енергетичних речовин і тим значніше перевищення вихідного рівня у фазі суперкомпенсації.

Після сильної короткочасної роботи ця фаза швидко починається і швидко закінчується. При відновленні внутрішньо м'язових запасів креатинфосфату вона прослідковується вже на 3-4 хвилині відпочинку і завершується через 1,5-2 години після закінчення вправи; відновлення АТФ проходить ще швидше, тому що здійснюється за рахунок енергії аеробного метаболізму. Після виконання довгих вправ, коли має місце виражений ацидоз із-за підсилення гліколізу у працюючих м'язах, суперкомпенсація вмісту креатинфосфату настає тільки через 12 хв після закінчення вправи і продовжується протягом декількох годин. Причини явища суперкомпенсації пов'язані з підвищенням концентрації гормонів анаболічної дії в період відпочинку після роботи.

Загальні закономірності динаміки біохімічних процесів в період відпочинку після м'язової роботи найбільш повно проявляють свою

дію в ході відновлення витрачених при роботі енергетичних субстратів, а саме при відновленні внутрішньо м'язових запасів фосфогенів (АТФ і КрФ) і глікогену. Максимальне значення швидкості відновлення внутрішньо м'язових запасів фосфогенів зафіксовано зразу після закінчення вправи і складає близько 20-25 ммоль/л хв. У момент закінчення роботи запаси креатинфосфату у м'язах можуть бути знижені на 79-90% від вихідного рівня.

Відновлення внутрішньо м'язових запасів глікогену проходить протягом багатьох годин або днів. На процеси відновлення запасів вуглеводів помітний вплив здійснює тип виконання вправи, її інтенсивність та тривалість, а також характер та об'єм вуглеводного харчування у період відпочинку після роботи.

Попередження в прийомі вуглеводів у період відпочинку після роботи або введення режиму повного голодування в цей період негативно проявляються на темпах та розмірах поповнення вуглеводних ресурсів. Для ресинтезу глікогену у м'язах після роботи можуть використовуватися як внутрішні субстрати, молочна кислота і глюкоза, що утворилася з речовин не вуглеводної природи.

Молочна кислота, що утворилася в працюючих м'язах в результаті підсилення анаеробного гліколізу, підлягає окислювальному процесу в перші хвилини відпочинку після закінчення вправи. У початковий період відновлення концентрація молочної кислоти у працюючих м'язах перевищує її концентрацію в крові, далі проходить швидкий відтік накопиченої у м'язах за час роботи молочної кислоти у кров. Звичайно до 7-10 хв відновлюючого процесу концентрація молочної кислоти у м'язах крові досягає рівноваги, а у найбільш пізніх етапах відновлення (від 20 хв та далі) її концентрація в крові перевищує вміст лактату у м'язах. У цей період м'язи є основним місцем окисної ліквідації надлишку молочної кислоти, що накопилася в організмі.

Частина молочної кислоти (більше 60%), що утворилася під час роботи, підлягає повному окисленню до вуглекислого газу і води. За рахунок енергії, що виділилася при аеробному окисненні частина молочної кислоти (до 20% загальної кількості за весь час роботи) перетворюється у глікоген у ході процесу глюконеогенезу, а інша частина використовується для новоутворення амінокислот та далі може бути виявлена у складі синтезуючих білків тканин і лише невелика її частина екскретується з сечею та потом.

Аланін та піровиноградна кислота, що утворилися в працюючих м'язах, в період відпочинку після закінчення роботи використовуються для синтезу глюкози в процесі глюконеогенезу. Ряд інших амінокислот можуть перетворюватися в аланін з участю глутамату і цей метаболічний шлях служить для підтримання постійної концентрації глюкози в крові і відновлення запасів глікогену у м'язах і печінці.

Виконання інтенсивних вправ протягом тривалого часу приводять до посилення розпаду білків у працюючих м'язах, у результаті чого в м'язах і крові збільшується концентрація кінцевого продукту білкового розпаду – аміаку. Максимальна концентрація аміаку у крові після напруженої м'язової роботи звичайно досягається на 5-6 хв відновного періоду та швидко зменшується зі збільшенням часу відпочинку.

Після інтенсивної м'язової діяльності в крові збільшується концентрація іонів водню. Динаміка цих змін дзеркально відсторонює картину змін концентрації молочної кислоти. Найбільша концентрація  $H^+$  спостерігається у перші 2-3 хв відпочинку після роботи та перетворюється до нормального рівня протягом 30 хв відновлення.

Динаміка неорганічного фосфору у період відпочинку після інтенсивних вправ тісно пов'язана з швидкістю ресинтезу КрФ у працюючих м'язах. Якщо робота супроводжується великим потовиділенням то у відновному періоді поновлюються запаси води та мінеральних речовин.

### Основні поняття і терміни теми:

**Суперкомпенсація** – перевищення запасів енергетичних речовин в період відпочинку вище їх доробочого рівня.



### Питання і завдання:

1. Які біохімічні зміни в організмі призводять до розвитку втоми?
2. Які основні причини втоми при довготривалій м'язовій роботі?
3. Яка направленість біохімічних процесів в період відпочинку після м'язової роботи?

4. В чому проявляється взаємозв'язок процесів розщеплення і ресинтезу речовин в організмі?

5. Від чого залежить швидкість відновлення внутрішньо м'язових резервів глікогену і скільки часу потрібно для цього?



### **Перевірте себе:**

*1. Розвиток втоми в м'язах залежить від:*

- а) втоми нервових центрів;
- б) зменшення кисню в організмі;
- в) втоми м'язових елементів.

*2. Біохімічними ознаками втоми є:*

- а) нестача АТФ в м'язах;
- б) підвищення рівня сечовини в крові;
- в) поява білку в сечі.

*3. Закон суперкомпенсації відповідає:*

- а) підвищенню рівня речовин до вихідного рівня;
- б) витраті речовин, з поступовим відновленням, в порядку потреби;
- в) відновленню речовин вище свого вихідного рівня.

*4. В яких умовах організм повністю задовольняється в потребі кисню:*

- а) при анаеробному окисненні;
- б) при аеробному окисненні;
- в) при субстратному фосфорилуванні.

## 7. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ РУХОВИХ ЯКОСТЕЙ

Кожен людський організм у певній степені володіє основними руховими якостями: силою, швидкістю і витривалістю. У зв'язку з цим, рухова діяльність людини являє собою цілісну реакцією організму. Проте в процесі спортивного тренування, залежно від характеру виконуваних вправ, окремі рухові якості можуть розвиватися в організмі більшою мірою.

Оскільки прояв функціональних можливостей організму вимагає певної біохімічної адаптації його робочих органів, істотна роль в розвитку якостей рухової діяльності належить біохімічним змінам, що відбуваються під впливом тренування в м'язах, внутрішніх органах і крові.

**Сила** характеризується ступенем напруги, яку можуть розвивати м'язи при скороченні. У зв'язку з цим біохімічною основою цієї рухової якості є структурні білки м'язів (актин, міозин, актоміозин).

В процесі індивідуального розвитку людини, через 5-6 місяців після її народження кількість м'язових волокон досягає свого максимуму і в процесі всього подальшого життя практично не змінюється. Доросла ж людина в сотні разів сильніша за немовля. Причиною цього є гіпертрофія м'язів. Гіпертрофія – це пристосована реакція м'язових клітин на фізичні навантаження. В процесі адаптації в м'язових волокнах відбувається перебудова: збільшується маса саркоплазми і кількість включень, що містяться в ній, росте число міофібрил, що приводить до збільшення діаметру м'язового волокна і м'яза в цілому. У м'язі проростають нові пучки поживних кровоносних судин, розростаються сполучні тканини, зв'язки, сухожилля. Все це разом збільшує масу мускулатури.

Пристосовані перебудови залежать від характеру роботи, яка виконується і по-різному впливають на працездатність м'яза. Помірне збільшення об'єму саркоплазми і включень, у тому числі і поживних речовин, позитивно впливає на тривалість роботи м'язових клітин, їх здатність протистояти стомленню, тобто підвищує витривалість. Зростання судинної мережі покращує кровопостачання, що сприяє прискореній доставці кисню і поживних речовин, швидкому видаленню

непотрібних. Що ж до м'язової сили, то вона залежить від збільшення числа міофібрил – скоротливих елементів м'язових волокон.

Експериментальні дослідження, проведені на різних м'язах людини, показали, що величина максимального м'язового зусилля (сили) прямо пропорційна довжині саркомера, або довжині товстих міозинових ниток, тобто ступеню полімеризації міозину, і загальному вмісту в м'язі білка актину. Зусилля, що розвивається в процесі взаємодії актинових і міозинових ниток в міофібрилах, пропорційно числу утворених поперечних міозинових містків. Чим більша площа накладання глобулярних головок міозину на тонкі нитки актину в межах кожного саркомера, тим більша сила утворюється. У свою чергу, максимально можлива площа зіткнення ниток визначається довжиною товстих міозинових ниток або окремого саркомера. У природі щонайдовші саркомери виявлені в м'язах молюсків, що замикають стулки. Ці м'язи в 3-6 разів перевищують максимальну м'язову силу людини. За показником максимальної сили м'язи людини займають середнє положення між м'язами молюсків і літальними м'язами комах, у яких найкоротші саркомери.

Щоб порівнювати силові можливості різних м'язів, фізіологія оперує таким поняттям, як абсолютна м'язова сила. Це вага, що піднімається, відносно до фізіологічного поперечного перетину м'яза. Встановлено, що абсолютна сила литкового м'яза людини складає в середньому 5,9 кг/см; двохголові м'язи плеча - 11,4 кг/см; триголовою - 16,8 кг/см<sup>2</sup>, а очних м'язів – всього 1 кг/см<sup>2</sup>. Такі відмінності в абсолютній силі окремих м'язів пов'язані з їх складом. М'язи по своєму складу неоднорідні і містять швидкі і повільні волокна, співвідношення яких у різних людей коливається в широких межах. Це генетично обумовлений чинник. Швидкі волокна при скороченні створюють майже вчетверо більшу тягу, тобто вони в чотири рази сильніші повільних. Якщо врахувати, що в литковому м'язі в середньому міститься 58% повільних волокон, а в трицепсі плеча - 33%, то стане зрозумілим і відмінність їх абсолютної сили. У видатних силачів, наприклад, частка повільних волокон в деяких м'язах тулуба, ніг і рук не перевищує 14-15%.

Іншим чинником, що визначає таку рухову якість, як сила, є особливість центральної нервової системи, здатність миттєво посилати до м'язів щонайпотужніші імпульси дуже високої частоти. В цьому випадку в стан гладенького тетануса переходить максимальне число рухових одиниць. Причому потужні імпульси здатні примушувати навіть повільні волокна розвивати силу швидких. У спорті таку

властивість прийнято називати здатністю вибухати, або вибуховою силою. У результаті цього розвивається гранично можлива сила.

Оскільки сила – це робота максимальної потужності, то вона вимагає потужного енергоджерела. Таким джерелом є креатинфосфатний механізм. Отже, сила залежить від швидкості ресинтезу АТФ і накопичення в м'язах креатинфосфату і глікогену.

При розвитку, такої рухової якості, як сила в спортивному тренуванні застосовують як власне силові вправи (штанга), так і вправи швидкісно-силового характеру (біг, плавання).

**Швидкість** характеризується здатністю людини здійснювати ті або інші рухові дії в мінімально короткий відрізок часу. Прояв швидкості пов'язаний з виробленням цілої системи умовних рефлексів, а також з формуванням високої рухливості процесів збудження і гальмування нервової системи, що забезпечує швидку зміну скорочення і розслаблення різних груп м'язів.

Між величиною максимальної швидкості скорочення м'яза, довжиною саркомера і відносною АТФ-азною активністю міозину існує фундаментальна залежність. Найбільша швидкість скорочення спостерігається в дуже коротких саркомах (наприклад, у комах і колібрі), а найменша – в щонайдовших саркомах (замикальні м'язи моллюсків). Швидкість скорочення на молекулярному рівні залежить від кількості поперечних містків, що утворюються за одиницю часу, тобто від швидкості прикріплення глобулярних головок міозину до актину. Чим швидше скорочується м'яз, тим менше поперечних містків включається в роботу. Тобто виграш в швидкості супроводжується програшем в силі. Тому замикальні м'язи моллюсків скорочуються поволі, але сильно. Летальні м'язи комах і колібрі скорочуються дуже швидко, але їх м'язи дуже слабкі. Максимальна швидкість скорочення прямо пропорційна відносній трифосфатазній активності. Тому біохімічною основою швидкості (як і сили) є АТФ-азна активність міозину, яка забезпечує швидку і потужну мобілізацію хімічної енергії АТФ в м'язових волокнах з подальшим її використанням у скороченні м'язів.

У зв'язку з тим, що швидкість завжди виявляється в частій зміні процесів скорочення і розслаблення, після кожного чергового скоротливого акту в періоді м'язового розслаблення, що наступив, необхідне швидке і повне відновлення використаної АТФ, яке в основному забезпечується анаеробним шляхом. Тому швидкість визначається також ступенем розвитку в організмі креатинфосфатного і гліколітичного шляхів ресинтезу АТФ.



Успішний розвиток швидкості як якості рухової діяльності забезпечується в процесі тренування швидкісними вправами, що підвищують каталітичну активність міозину, ферментів анаеробних реакцій, ресинтезу АТФ і швидкості накопичення глікогену в м'язах.

Витривалість – це здатність організму здійснювати роботу протягом тривалого часу. Біохімічну основу цієї якості рухової діяльності людини складають потенційні можливості його організму здійснювати ресинтез багатих енергією сполук анаеробним і аеробним шляхами.

Як відомо, початковий період всякої м'язової діяльності супроводжується анаеробним енергозабезпеченням. Проте у міру виконання роботи анаеробний шлях ресинтезу енергії поступово змінюється аеробним, при якому, окрім вуглеводів, повному окисленню піддаються ліпіди, дезаміновані амінокислоти, а також проміжні продукти окислення (молочна і піровиноградна кислоти, кетонів тіла), утворюючи велику кількість багатих енергією сполук, необхідних для тривалого виконання роботи. Тому витривалість визначається перш за все потенційними можливостями окислювальних процесів і величиною енергетичних запасів організму.

Залежно від тривалості і характеру виконання навантажень розрізняють швидкісну витривалість і витривалість до тривалої роботи.

**Швидкісна витривалість** – це здатність організму здійснювати швидкі і інтенсивні м'язові скорочення. Вона характерна для більшості швидкісних вправ, що виконуються за короткий проміжок часу і максимальних або субмаксимальних по потужності.

Швидкісна витривалість, як і швидкість, пов'язана з анаеробними можливостями ресинтезу енергії, а також з адаптацією організму до роботи в умовах пониженого вмісту кисню. Виконання швидкісно-витривалих навантажень супроводжується високим кисневим боргом, при якому АТФ відновлюється переважно анаеробним шляхом.

Високий рівень швидкісної витривалості вимагає підвищених запасів глікогену в м'язах і великої швидкості реакцій його розщеплення. Отже, швидкісна витривалість залежить від величини запасів енергетичних джерел в м'язах, а також від потенційних можливостей процесу гліколізу в організмі.

Розвиток швидкісної витривалості відбувається в процесі тренування спортсменів із застосуванням швидкісних навантажень.

**Витривалість до тривалої роботи** – це здатність людини здійснювати м'язову діяльність протягом тривалого часу (біг на довгі і зверхдовгі дистанції) і характеризується пониженими показниками кисневого боргу. Тому біохімічну основу цієї витривалості складають в основному потенційні можливості аеробного шляху ресинтезу АТФ і загальна величина енергетичних запасів організму, особливо запасів глікогену в печінці і м'язах.

Таким чином, чим вища здатність організму енергетично забезпечувати фізичну діяльність за рахунок аеробних реакцій, тим значніше його витривалість до тривалої роботи. Це, у свою чергу, вимагає підвищеного функціонування органів дихання і кровообігу.

Формування цього виду витривалості відбувається в основному в процесі тренування тривалими фізичними навантаженнями в умовах стійкого стану організму.

Тренування з використанням різних вправ приводить до неоднакових змін у м'язах. Під впливом вправ на витривалість м'язова маса збільшується не суттєво, зовсім не змінюється товщина м'язових волокон, а також вміст міозину і міостромінів. Ледве помітні зрушення спостерігаються в сумарному вмісті міофібрилярних білків. Але істотно збільшується вміст білків саркоплазми і міоглобіну, кількість і щільність мітохондрій в м'язових волокнах, а також вміст ферментів аеробного окислення. Це свідчить про підвищення потенційних можливостей аеробного ресинтезу АТФ. Разом з тим показники, пов'язані з анаеробним ресинтезом АТФ (вміст КрФ, активність креатинфосфокінази і ферментів гліколізу), змінюються мало або зовсім не змінюються.

Під впливом швидкісних вправ істотно збільшується маса м'язів і товщина волокон. При цьому зростає вміст білків міофібрил, у тому числі і міозину, білків саркоплазми і міоглобіну. Не міняється тільки вміст міостромінів. Число мітохондрій і їх щільність в м'язових волокнах збільшуються, але в меншій мірі, чим під впливом вправ на витривалість. Разом з тим зростає активність АТФ-ази міозину і поглинання іонів  $\text{Ca}^{2+}$  ретикулоном. Значно підвищуються можливості анаеробного ресинтезу АТФ (вміст креатин фосфату, активність КФК, фосфорилази, ферментів гліколізу). В той же час можливості аеробного ресинтезу АТФ хоча і зростають, але значно менше, чим при тренуванні на витривалість.

Під впливом силових вправ відбуваються близькі по характеру зміни. Між цими двома видами тренування спостерігаються лише

кількісні відмінності. При тренуванні силовими вправами збільшення м'язової маси, товщина волокон, а також вміст білків міофібрил і міостромінів виражений більшою мірою. Кількість міоглобіну зростає майже так само, а рівень глікогену і білків саркоплазми значно менше. Все це створює сприятливі умови для швидкого розвитку скорочення м'язів при їх збудженні, прояву великої м'язової сили при скороченнях і швидкого розслаблення м'язів після припинення стимуляції. Під впливом силових вправ значно зростає вміст еластичних міостромінів в м'язах, що сприяє повнішому і швидшому їх розслабленню після скорочення. При тренуванні силовими вправами можливості анаеробного і аеробного ресинтезу АТФ збільшуються майже однаково, але у меншій мірі, чим під впливом швидкісних вправ.

Окрім вищезгаданих основних якостей рухової діяльності організму людини властиві також спритність і гнучкість.

**Спритність** – це здатність людини в процесі виконання фізичних вправ точно і раціонально справлятися з новим несподіваним завданням. Для успішного виконання кожної спортивної вправи потрібне досконале володіння руховими навичками і висока здатність швидко перемикатися з одних точно координованих рухів на інші. Спритність як якість рухової діяльності зумовлюється в основному природними завдатками людини. Тому біохімічна основа спритності на сьогоднішній день поки незрозуміла.

**Гнучкість** визначається амплітудою (величиною розмаху) рухів окремих ланок тіла в певному напрямі. Вона залежить від хімічної будови організму (особливо м'язів, кісткової системи, шкіри), функціонального стану м'язової тканини і її здібності до розслаблення. Це якість рухової діяльності визначається також наявністю структурного м'язового білка – міостроміна. Гнучкість тіла буває різною в різний час доби. Найбільшою вона виявляється в середині дня і зменшується вранці і увечері. Значне зниження гнучкості спостерігається з віком і розвитком організму людини.

У багатьох розвинених країнах з метою утримання цієї рухової якості професійні спортсмени високого рівня застосовують допінги, які одночасно затримують статевий розвиток організму, що часто приводить до безпліддя і інших патологій.

Гнучкість має дуже велике значення в таких видах спорту, як спортивна і художня гімнастика, фігурне катання, акробатика.

Таким чином, сила, швидкість, витривалість, спритність і гнучкість є необхідними якостями рухової діяльності спортсменів,

розвиток яких відбувається в процесі цілеспрямованого спортивного тренування. Проте при цьому фізичні вправи, що використовуються, направлені на розвиток якої-небудь однієї якості, хоча і створюють біохімічні передумови для розвитку інших якостей, але їх недостатньо для досягнення високих спортивних результатів. Тому підготовка спортсменів повинна бути різносторонньою, направленою на розвиток біохімічних основ всіх основних рухових якостей. Якщо у спортсмена-бігуна провідною якістю рухової діяльності є швидкість, а у бігуна-марафонця – витривалість до тривалих навантажень, то це не означає, що тренування цих спортсменів повинне бути направлена на розвиток в їх організмі тільки анаеробного або аеробного шляху ресинтезу енергії.

При розвитку швидкості необхідно паралельно розвивати в організмі аеробні процеси, що сприяють швидкому відновленню організму в період відпочинку. В організмі марафонця разом з добре розвиненим аеробним шляхом ресинтезу для успішного виконання прискорень на дистанції, фінішування необхідний на достатньому рівні розвиток анаеробного відновлення енергії. Учасники спортивних ігор (баскетбол, футбол) повинні у різній степені володіти швидкістю, витривалістю і проявляти велику силу при стрибках і ударі по м'ячу.

Тому, тренування спортсмена у кожному виді спорту повинно бути направлене на їх різносторонню фізичну підготовку, на базі якої необхідно у більшій мірі розвивати ведучі якості, характерні для визначеного виду спорту.

### **Основні поняття і терміни теми:**

**Максимальне м'язове зусилля** – величина, яка прямо пропорційна довжині сарком ера або довжині товстих міозинових ниток, і загальному вмісту у м'язах скоротливого білка актину.

**Метод повторних граничних вправ** – використовується для підсилення синтезу скоротливих білків і збільшення м'язової маси.

**Витривалість** – відношення величини енергетичних резервів, які доступні для використання, до швидкості витрати енергії при виконанні даного виду вправ.



### Питання і завдання:

1. Які біохімічні фактори впливають на прояв швидкісно-силових якостей?
2. Які вправи використовуються в процесі тренування для розвитку швидкісно-силових якостей?
3. У чому суть міоглобінового інтервального тренування?
4. Як змінюється метаболічний стан організму із збільшення довжини тренування?



### Перевірте себе:

1. *Максимальне м'язове зусилля пропорційне:*
  - а) довжині саркомера, довжині товстих міозинових ниток, вмісту актину;
  - б) кількості м'язових волокон та співвідношенню актину і міозину;
  - в) довжині міозинових ниток і актину.
2. *Максимальна швидкість скорочень найвища:*
  - а) у швидко скорочувальних білих волокнах;
  - б) у повільно скорочувальних червоних волокнах;
  - в) проявляється в обох типах волокон.
3. *Витривалість – фізична якість, яка визначає:*
  - а) біоенергетичні можливості спортсмена;
  - б) адаптаційні пристосування організму;
  - в) рівень працездатності спортсмена.

## **8. БІОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ХАРЧУВАННЯ У СПОРТІ**

### **Енергоспоживання організму і його залежність від роботи, що виконується**

Раціональне харчування передбачає дотримання енергетичної рівноваги в організмі відповідно до наступного принципу: кількість енергії, що надійшла, повинна відповідати кількості витраченої енергії.

Енергія в організм людини надходить із їжею у вигляді вуглеводів, жирів і білків. У клітинах організму в процесі їхніх хімічних перетворень енергія виділяється й використовується для різних потреб. Як відомо, при окислюванні 1 г вуглеводів, як і білків, виділяється 4 ккал (17 кДж), а жирів – 9 ккал (37 кДж) енергії. Знаючи хімічний склад харчових продуктів й їх калорійність, що наведено в спеціальних таблицях, можна розрахувати калорійність будь-якого меню або дієти.

Калорійність добового раціону людини змінюється залежно від кількості витраченої енергії. При короткочасному недонадходженні енергії (калорійності їжі) організм витрачає запасні речовини, головним чином жири й складні вуглеводи, а при тривалому – використовуються не тільки жири й вуглеводи, але й білки, що приводить до зменшення маси тіла, атрофії м'язів, анемії, затримці росту, зниженню фізичної працездатності. При надлишковому надходженні енергії зменшується її утилізація, тому частина вуглеводів і жирів відкладається в тканинах у вигляді жиру, що може привести до ожиріння.

Добові енерговитрати організму людини включають основний обмін (мінімальна кількість енергії, необхідне для підтримки основних функцій організму й процесів біосинтезу в стані відносного спокою), специфічне – динамічна дія їжі, або енерговитрати на травлення й усмоктування їжі (при змішаному харчуванні – у середньому 10-15% добової витрати енергії), а також енерговитрати на різні види діяльності.

Основний обмін залежить від віку, статі, маси тіла, зовнішніх умов, індивідуальних особливостей людини й становить у середньому у дорослого чоловіка з масою тіла 65 кг – 1600-1800 ккал, а у жінок з масою тіла 55 кг і 1300-1400 ккал. У дітей розраховуючи на одиницю маси тіла основний обмін в 1,5 рази вище, ніж у дорослих, а в людей похилого віку - нижче, ніж у дорослих.

Специфічне – динамічна дія їжі може мати різну витрату енергії залежно від вмісту в їжі білків, вуглеводів і жирів. Найбільша витрата енергії відбувається при травленні білків (до 30-40%). Для жирів вона становить 4-14%, а для вуглеводів – 4-7%. При збалансованому надходженні окремих компонентів їжі спостерігається збільшення основного обміну в середньому на 10-15%.

При різних видах діяльності, особливо при м'язовій активності, істотно збільшуються енерговитрати людини. Так, якщо при читанні книги основний обмін збільшується всього на 16%, та при фізичному навантаженні – у кілька разів більше.

Загальні енерговитрати й калорійність раціону харчування для населення визначаються відповідно до дієтичних норм, що рекомендуються Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ). Однак у різних країнах вони мають свої особливості, тому що в розрахунок беруться різні параметри: вік, маса тіла, основний обмін, фактор активності. Енерговитрати спортсменів різних спеціалізацій залежать від інтенсивності фізичної роботи, виду спорту й коливаються від 2000 ккал доб<sup>-1</sup> для шахістів і гімнастів до 7000 ккал доб<sup>-1</sup> для штангістів і спортсменів, що займаються видами спорту на витривалість (наприклад, для велогонщиків).

*Таблиця 1 – Середні добові потреби в енергії*

Категорія людей	Вік, років	Маса тіла, кг	Ріст, см	Основний обмін, ккал • доб <sup>-1</sup>	Середні енергетичні норми споживання (на 1 кг маси в добу)
<i>Діти</i>	1-3	13	90	740	102/1300
	4-6	20	112	950	90/1800
	7-10	28	132	1130	70/2000
<i>Чоловіки</i>	11-14	45	157	1440	55/2500
	15-18	66	176	1760	45/3000
	19-22	72	177	1780	40/2900
	23-50	79	176	1800	37/2900
	< 51	77	173	1530	30/2300

<i>Жінки</i>	11-14	46	157	1310	47/2200
	15-18	55	163	1370	40/2200
	19-22	58	164	1350	38/2200
	23-50	63	163	1380	36/2200
	51 +	65	160	1280	30/1900

Для представників ігрових видів спорту також характерно високе споживання енергії, оскільки її витрата в баскетболістів чоловіків може становити близько 5500 ккал доб<sup>-1</sup>. Найбільша витрата енергії визначається в спортсменів циклічних видів спорту, де потрібна більша загальна витривалість.

Як видно з наведених даних, витрата енергії в спортсменів порівнюється з людьми, що займаються важкою фізичною працею. Однак при виконанні роботи максимальної потужності витрачається дуже велика кількість енергії в одиницю часу. Така робота виконується в анаеробному режимі (в умовах кисневого боргу).

Витрата енергії в спортсменів залежить від їхньої спортивної майстерності. З ростом спортивної майстерності витрата енергії при виконанні стандартної роботи зменшується. На величину витрат енергії впливає також емоційний стан спортсмена. Так, у передстартовому стані або в період змагань енерговитрати при виконанні однакової роботи збільшуються на 26-29% у порівнянні із тренуванням.

Добова витрата енергії спортсменів різних видів спорту компенсується певним співвідношенням енергонадходження за рахунок вуглеводів, жирів і білків.

### **Збалансованість поживних речовин у раціоні спортсмена**

#### ***Збалансованість надходження вуглеводів, жирів і білків***

У цей час встановлено, що найбільш сприятливе задоволення енергетичних і пластичних потреб людини досягається при збалансованому надходженні в організм вуглеводів, жирів і білків у співвідношенні 4:1,2:1. Вуглеводи в такому випадку повинні становити 50-55%, жири – 30-35%, білки – 10-15% загальної калорійності раціону харчування.

Для спортсменів співвідношення вуглеводів, жирів і білків може варіюватися залежно від специфіки виду спорту, обсягу й інтенсивності, роботи що виконується й становити 40-70% загального споживання енергії вуглеводів, 20-42% – жирів й 10-22% – білків. Загальна закономірність збалансованості раціону харчування



спортсмена така, що у видах спорту на витривалість збільшується кількість вуглеводів до 55-65-70% загальної добової калорійності за рахунок зменшення кількості жирів до 20-30% і білків – до 10-12%.

З вуглеводів у раціоні харчування більша частина (до 65 %) повинна забезпечуватися складними вуглеводами (полісахаридами). Добова потреба жирів у раціоні харчування повинна забезпечуватися на 70% жирами тваринного походження й на 30% – рослинного походження, які містять моно- і поліненасичені жирні кислоти. Джерелами повноцінного білка є продукти тваринного походження.

Кислотність і лужність харчових продуктів. Харчові продукти містять певну кількість кислот і лугів, тому можуть впливати на кислотно-лужну рівновагу в організмі, зміщаючи його в кислу або лужну сторону. Буферні системи, що перебувають в організмі, протидіють цьому. Однак можливості їх обмежені, а при м'язовій діяльності накопичуються недоокислені продукти метаболізму. Тому необхідно обмежувати надходження в організм кислих продуктів харчування після інтенсивних фізичних навантажень, для того щоб запобігти посиленню закислення внутрішнього середовища організму спортсмена.

До закислюючих відносяться хліб й інші зернові продукти, а також м'ясо, риба, яйця, кислотність яких визначають по реакції золи харчових продуктів. На нагромадження кислих і лужних компонентів у тканинах впливають вітаміни. Так, при нестачі вітаміну В<sub>1</sub> в організмі обмежується окислення пірвіноградної й інших органічних кислот, що сприяє закисленню внутрішнього середовища організму і призводить до захворювань.

### **Роль окремих хімічних компонентів їжі в забезпеченні м'язової діяльності**

Основними хімічними компонентами їжі є наступні шість груп речовин: постачальники енергії (вуглеводи, жири, білки), незамінні амінокислоти, незамінні жирні кислоти, вітаміни, мінеральні речовини й вода. Кожна речовина виконує конкретну функцію в життєдіяльності організму й впливає на виконання фізичної роботи.

Основними джерелами енергії в тканинах організму є вуглеводи й жири. Жири виконують також структурну функцію. Білки можуть використовуватися як енергетичне джерело, однак основна їхня функція – структурна. Вітаміни входять до складу багатьох ферментів і є регуляторами різних метаболічних процесів. Мінеральні речовини

також виконують регуляторну роль і входять у структуру різних тканин, особливо кісткової, і крові. Вода створює внутрішнє середовище організму й забезпечує протікання хімічних реакцій.

Організм людини здатний синтезувати й запасати багато поживних речовин, однак деякі з них в організмі не синтезуються. Вони називаються незамінними есенціальними факторами харчування й повинні надходити з їжею. При їх недонадходженні порушуються багато обмінних процесів, а також процеси адаптації при м'язовій діяльності, можуть розвиватися захворювання.

### **Роль вуглеводів у забезпеченні м'язової діяльності**

Вуглеводи займають одне з найважливіших місць у харчуванні людини, оскільки є основним джерелом енергії при інтенсивній м'язовій діяльності. Від запасів вуглеводів у скелетних м'язах і печінці залежить тривалість аеробної фізичної роботи або прояв високого рівня витривалості, а також час настання стомлення. Вуглеводи їжі забезпечують певний рівень глюкози в крові, що є основним енергетичним субстратом мозку, а також нагромадження запасів глікогену в скелетних м'язах і печінці.

Особливості застосування окремих типів вуглеводів. Вуглеводи перебувають в основному в продуктах рослинного походження (хлібі, крупах, макаронах, картоплі, цукрі, овочах і фруктах) у вигляді моно-, ди- і полісахаридів. Ди- і полісахариди їжі в системі травлення піддаються ферментативному гідролізу й перетворюються переважно в глюкозу.

Моносахариди їжі представлені в основному глюкозою й фруктозою, які містяться у багатьох фруктах, меді й називаються цукрами. В організм вони надходять у вільному виді або утворюються в процесі травлення з ди- і полісахаридів їжі. Надходження в організм великої кількості вільної глюкози й швидке її усмоктування в кров (уже через 15-20 хв після прийому їжі вона виявляється в крові) приводить до гіперглікемії крові, що активує функцію підшлункової залози, що виділяє гормон інсулін, що забезпечує надходження глюкози в тканині, де вона використовується для синтезу глікогену, а при значному надлишку – й для синтезу жирів. Після дії інсуліну рівень глюкози в крові знижується, що може привести до гіпоглікемії й загальної слабкості. Систематична активація підшлункової залози може сприяти розвитку захворювання цукровим діабетом. Тому кількість моносахаридів у харчуванні людей, особливо в літньому віці,

повинне бути обмежене й не перевищувати 25-35% загальної кількості споживаних вуглеводів.

Вільна глюкоза використовується в клініці для швидкого підвищення її концентрації в крові й поліпшення харчування тканин. У спортивній практиці глюкозу застосовують під час фізичної роботи, а також у період відпочинку для прискорення відновлення запасів глікогену. Застосовувати глюкозу за 1,5-3 год до початку тривалих фізичних навантажень не рекомендується, особливо під час змагань, тому що це прискорює вичерпання запасів глікогену й пригнічує використання жирів. Часто замість глюкози для нагромадження глікогену в печінці використовують фруктозу. Фруктоза з меншою швидкістю всмоктується в кров зі шлунково-кишкового тракту й не активує функцію підшлункової залози, однак відновлює глікоген у два рази повільніше, ніж глюкоза й інші вуглеводи.

Дисахариди рослинної їжі представлені сахарозою – основним компонентом харчового цукру й багатьох солодоців (цукерок, тортів, варення). При розщепленні полісахаридів у системі травлення утворюється дисахарид мальтоза, що розщеплюється на дві молекули глюкози. Сахароза розпадається на глюкозу й фруктозу. Одночасне споживання великої кількості сахарози, як і моносахаридів, може викликати гіперглікемію і її наслідки.

У молоці й молочних продуктах перебуває дисахарид лактоза – «молочний цукор». Це основний вуглевод їжі дітей першого року життя. У дорослому організмі може порушуватися засвоєння лактози. У зв'язку із цим розроблені окремі рекомендації про виключення молочних продуктів з раціону харчування. Однак лікарі спростовують таку думку, тим більше що кисломолочні продукти не містять лактози.

Полісахариди їжі представлені в основному крохмалем, що перебуває в рослинних продуктах (картоплі, крупах, хлібі, рисі), а також глікогеном – «тваринним крохмалем». У системі травлення людини крохмаль повільно розщеплюється до молекул глюкози, які поступово всмоктуються в кров, що не викликає гіперглікемії в крові. Тому в раціоні харчування повинні переважати полісахариди (до 65%). Глікоген вноситься із продуктами харчування в малих кількостях 15 м л/доб<sup>-1</sup>.

Окремі групи вуглеводів розрізняються доступністю для гідролітичних ферментів у шлунково-кишковому тракті й швидкістю надходження глюкози в кров, що позначається як глікемічний індекс. Розрізняють продукти з високим, середнім і низьким глікемічним

індексом, використання яких приводить до різного збільшення рівня глюкози в крові.

Харчові волокна – це полісахариди рослин, які в організмі людини в процесі травлення не розщеплюються. До них відноситься целюлоза (клітковина), геміцелюлоза, а також пектин і лігнін. Вони проходять шлунково-кишковий тракт без змін і тому називаються баластовими речовинами.

Харчові волокна не є поживними речовинами, однак відіграють важливу регуляторну роль у процесах травлення різних речовин. Вони підсилюють просування харчової маси, утворення кишкового соку, жовчовиділення, стимулюють виведення з організму холестерину, сповільнюють процес усмоктування глюкози при великому споживанні цукру, а також зв'язують отруйні речовини й виводять їх з кишечника. Постійне надходження волокон в організм людини знижує ймовірність захворювання атеросклерозом, раком, а також поліпшує функцію шлунково-кишкового тракту. Проте надлишкова їхня кількість зменшує усмоктування мінеральних речовин (Fe, Ca, Mg, Cu), а також жиророзчинних вітамінів. Харчові волокна є у житньому хлібі, овочах (капусті, буряку, моркві), фруктах (яблуках, чорносливі). Норма споживання їх – 10-15 г доб<sup>-1</sup>.

*Споживання вуглеводів після фізичних навантажень.* Добова потреба у вуглеводах для дорослої людини залежить від енерговитрат організму й становить у середньому 300-400 г доб<sup>-1</sup>.

Для спортсменів норми споживання вуглеводів збільшуються у зв'язку з додатковою витратою енергії при виконанні роботи. В окремих видах спорту її витрата майже в 1,5-2 рази більше, ніж у людей, зайнятих фізичною працею. Тому потреба у вуглеводах збільшується й становить у середньому 400-700 г доб<sup>-1</sup>. Оскільки витрата енергії залежить від маси тіла й рівня рухової активності, кількість вуглеводів, необхідна для заповнення витраченої енергії, з урахуванням цих показників можна розрахувати, помноживши масу тіла (кг) на кількість вуглеводів (г·кг<sup>-1</sup>·доб<sup>-1</sup>), що відповідає рівню рухової активності.

У видах спорту на витривалість при інтенсивних тренуваннях й у першу добу після них рекомендується споживати 10 г вуглеводів на 1 кг маси тіла в добу, а в силових й швидко-силових – 7 г на 1 кг маси тіла, що становить 700 й 490 г доб<sup>-1</sup> відповідно при масі тіла 70 кг.

Для спортсменів допускається збільшення норми споживання простих вуглеводів (цукру) до 100 г доб<sup>-1</sup> і більше. Для людей, що ведуть малорухомий спосіб життя, і в літньому віці споживання цукру не повинне перевищувати 50 г.

Зменшення вмісту вуглеводів у їжі нижче 300 г підсилює розпад клітинних білків, окислювання жирів й утворення кетонових тіл, що може привести до ацидозу. Систематичне надлишкове надходження вуглеводів з їжею може привести до ожиріння, атеросклерозу, цукрового діабету, тому що частина вуглеводів перетворюється в жири й холестерин.

Запаси глікогену в скелетних м'язах і печінці вичерпуються після 2-3 год інтенсивного фізичного навантаження, що відповідає 60-80% МСК. Вони можуть вичерпатися й за більше короткий час при роботі високої потужності в межах 90-130% МСК, однак відновлюються досить повільно – 5% на годину. Тому в період відпочинку створюються умови для більш швидкого відновлення запасів глікогену.

Швидкість відновлення запасів глікогену в м'язах і печінці після фізичних навантажень залежить від швидкості надходження вуглеводів в організм, типу вуглеводів, вибору часу для прийому вуглеводів та періоду відпочинку.

Для повного відновлення запасів глікогену в м'язах після виснажливих фізичних навантажень при споживанні їжі, багатої вуглеводами, потрібно близько 20 годин, а при нераціональному харчуванні – ще більше. Правильний вибір часу прийому вуглеводів їжі після змагань або напруженого тренування сприяє більш ефективному протіканню відновлення запасів глікогену. Більш швидкий ресинтез глікогену м'язів відбувається при споживанні глюкози й сахарози (але не фруктози) при використанні продуктів з високим гліколітичним індексом.

Спортивний результат у циклічних видах спорту багато в чому залежить від запасів глікогену в м'язах і печінці, тому до змагань необхідно підходити з максимальними запасами глікогену в м'язах. Для цього використовують метод «глікогенного завантаження», або насичення вуглеводами. Спочатку виснажують запаси глікогену в м'язах і печінці під впливом напруженого тренування протягом декількох днів й обмеженим споживанням вуглеводів, а потім у наступні три дні використовують багату вуглеводами дієту, для того щоб до змагань досягти фази зверхвідновлення глікогену. Такий метод сприяє збільшенню запасів глікогену в м'язах на 20-40%.

У період змагань витрата енергії при виконанні, однакової за обсягом, роботи збільшується на 26-29% у порівнянні із тренуванням, тому прийом вуглеводів варто збільшити. Для запобігання розвитку стомлення, зв'язаного зі зниженням запасів глікогену при тривалих фізичних навантаженнях, необхідно через кожну годину з моменту початку змагань приймати близько 30-60 г високоглікемічних вуглеводів, бажано в рідкому вигляді.

### **Роль жирів у забезпеченні м'язової діяльності**

Жири їжі, як і вуглеводи, є важливими енергетичними субстратами при тривалій неінтенсивній роботі до 50%  $VO_2max$ . Крім того, вони поставляють ненасичені жирні кислоти, які не синтезуються в організмі, але виконують важливі біологічні функції. На противагу вуглеводам, запаси жирів в організмі людини практично невичерпні.

Біологічна цінність жирів їжі залежить від вмісту в них незамінних ненасичених, особливо поліненасичених, жирних кислот.

*Використання окремих типів жирів їжі.* До складу жирів їжі входять тригліцериди (нейтральні жири), які становлять близько 98% загальної кількості жирів, а також фосфоліпіди й холестерин (2%).

Тригліцериди, або нейтральні жири їжі надходять в організм людини із продуктами харчування тваринного й рослинного походження й можуть істотно розрізнятися складом жирних кислот. Так, жири тваринного походження (тверді жири), крім курячого і риб'ячого, містять в основному насичені жирні кислоти. З ненасичених жирних кислот у їхній склад може входити функціонально важлива арахідонова кислота. У цих жирах накопичуються також вітаміни А і D. Рослинні жири їжі містять велику кількість ненасичених жирних кислот, в основному лінолеву й ліноленову кислоти, які необхідні для синтезу в організмі інших ненасичених жирних кислот, а також регуляторів дії гормонів - простагландинів. Ненасичені жирні кислоти поліпшують вихід у кров жирів, що синтезувалися в печінці, і захищають її від ожиріння, проявляючи ліпотропний ефект.

Тригліцериди є основною формою запасання енергії, що використовується при фізичних навантаженнях. Головним енергетичним джерелом в енергозабезпеченні роботи м'язів є тригліцериди жирової тканини. Вони в процесі ліполізу розпадаються на гліцерин і вільні жирні кислоти, які відразу попадають у систему кровообігу й транспортуються до різних тканин. При виконанні м'язової роботи

вільні жирні кислоти інтенсивно надходять у скелетні м'язи й служать ефективним енергетичним субстратом для їхньої роботи.

Фосфоліпіди їжі подібні по хімічному складові з фосфоліпідами організму людини. З ними в організм надходять поліненасичені жирні кислоти, фосфор, холін, інозит й інші речовини.

Серед різних фосфоліпідів найбільше значення має лецитин, якому властивий ліпотропний ефект. Він також запобігає розвитку атеросклерозу, стимулює процеси кровотворення, росту й розвитку організму. Лецитин знаходиться в продуктах тваринного походження: мозку, ікрі риби, печінці, яєчному жовтку, вершковому маслі. Добова потреба людини в лецитині становить 0,5 г.

Холестерин не є енергетичним субстратом, однак виконує багато функцій в організмі. Порушення його обміну приводить до розвитку захворювання серцево-судинної системи. Однак прямий взаємозв'язок між надходженням холестерину з їжею й розвитком захворювань не підтверджений. Проте рекомендована раніше норма споживання холестерину в кількості 600 мг доб<sup>-1</sup> останнім часом знижена до 300 мг доб<sup>-1</sup>.

Джерелами холестерину є продукти тваринного походження: печінка, м'ясо, курячий жовток, вершкове масло, сметана. У рослинних продуктах холестерин майже відсутній. Поліпшують обмін холестерину вітаміни А, Е, С, РР, а також тривале фізичне навантаження.

*Споживання жирів при фізичних навантаженнях.* Добова потреба дорослої людини в жирах становить у середньому 80-100 г, тобто 30-35% загальної калорійності їжі. З них тваринні жири становлять 70%, рослинне масло – 30% (25-45 г залежно від інтенсивності роботи).

Споживання жиру залежить від добових енерговитрат і може бути: при енерговитратах, що становлять 1500 ккал, – 42 г, 2000 – 56 г, 2500 – 69 г, 3000 – 83 г, 3500 – 97 г, 4000 ккал – 111 г у добу. Орієнтовна кількість жиру, внесеного із продуктами харчування: в 1 столовій ложці майонезу – 23 г, в 50 г сиру – 16 г, в 85 г свинячий відбивний – 6 г, в 5 г вершкового масла – 4 г, в 100 г картопляного пюре – 0,1 г. Для жителів північних районів кількість споживаного жиру збільшується на 10%, а для жителів південних районів – зменшується приблизно на 5%.

Для спортсменів рекомендується деяке зниження частки жиру в добовому раціоні харчування до 20-30% загальної калорійності, тому

що застосування дієти з високим змістом жирів не сприяє підвищенню спортивної працездатності.

Жири інтенсивно використовуються для енергозабезпечення скелетних м'язів і серця переважно при аеробних режимах фізичної роботи, тобто у видах спорту на витривалість. У процесі адаптації організму до таких навантажень ліпіди для працюючих м'язів стають більше важливим джерелом енергії в порівнянні з вуглеводами.

Приєм їжі, багатой жирами, небажаний за 1,5-2 год до навантаження й відразу після припинення тривалого й напруженого фізичного навантаження, тому що вони будуть перешкоджати використанню мобілізованих з жирових депо жирних кислот і сприяти нагромадженню жиру в печінці. Надлишкове споживання жирів, як і виключення їх з раціону харчування, негативно позначається на стані здоров'я людини, її фізичної працездатності.

Окремі енерговитратні речовини здатні підсилювати мобілізацію жирів при м'язовій діяльності і їх утилізацію тканинами, що сприяє збереженню запасів м'язового глікогену. До таких відносять кофеїн, що сприяє розпаду тригліцеридів у тканинах, і карнітин, що прискорює транспорт жирних кислот у мітохондрії і їх окислювання.

### **Роль білків у забезпеченні м'язової діяльності**

Білки виконують в організмі численні біологічні функції, основними з яких є забезпечення побудови, росту, розвитку й відновлення всіх клітинних структур, регуляція обміну речовин (гормони й ферменти), в окремих випадках використовуються як джерело енергії. Все це викликає істотний інтерес до використання білків у харчуванні спортсменів.

*Біологічна цінність білків їжі.* Білки їжі в процесі травлення піддаються гідролізу й розпадаються на 20 різних амінокислот, які надходять у кров, доставляються в тканини де використовуються для утворення нових індивідуальних білків організму людини або в інших процесах. До складу білків входять 8 незамінних амінокислот, у яких організм дуже потребує, тому що не може їх синтезувати. Біологічна цінність білка їжі визначається двома параметрами: амінокислотним складом і засвоюваністю білка. Якщо в білку їжі є всі незамінні амінокислоти, тобто він повноцінний, і легко піддається ферментативному гідролізу в кишечнику, то біологічна цінність такого білка є максимальною. Високу біологічну цінність мають білки тваринного походження – яйця, м'ясо, риба, у яких біологічна цінність



прийнята за 100 одиниць, тоді як білки продуктів рослинного походження – картоплі, кукурудзи, білого хліба й овочів - мають більше низьку біологічну цінність: 67, 36, 30 одиниць відповідно. У них відсутні кілька незамінних амінокислот, особливо таких як триптофан і лізин.

Для нормального синтезу білка в організмі людини всі незамінні амінокислоти повинні надходити одночасно, тому що вони не запасуються в організмі. Тому білкове харчування повинне бути повноцінним. Якщо немає можливості одержувати білки тваринного походження, необхідно комбінувати рослинні білки, у яких утримуються різні амінокислоти.

Ненадходження в організм окремих незамінних амінокислот викликає порушення синтезу структурних, ферментативних білків або гормонів, що приводить до зниження швидкості або навіть до припинення процесів росту, самовідновлення, відновлення й зменшенню маси тіла, а отже, і працездатності організму.

*Споживання білків й їхній вплив на фізичну працездатність.* Кількість споживаного білка залежить від статі, маси тіла, інтенсивності роботи. Норми споживання білків, які рекомендуються ВОЗ для дорослого населення й повністю задовольняють його потреби, становлять 0,8 г кг маси тіла за добу, а для дітей й юнаків – 1 г·кг<sup>-1</sup>. Отже, для чоловіка з масою тіла 70 кг ця норма становить 56 г білка в добу, а для жінки з масою тіла 55 кг 44 г. Вони забезпечують 10-12% загального енергоспоживання. Однак є й інші рекомендації, згідно яким споживання білка повинне становити для дорослої людини не менш 1,5 м кг<sup>-1</sup>·доб<sup>-1</sup>.

Для спортсменів, що спеціалізуються у видах спорту на витривалість, потреба в білках становить 1-1,8 м кг<sup>-1</sup>·доб<sup>-1</sup>. Згідно з окремими даними, при тривалій м'язовій діяльності потреба в білках високотренованих спортсменів не повинна бути нижче 1,5 м кг<sup>-1</sup>·доб<sup>-1</sup>, оскільки тільки в такому випадку підтримується позитивний азотистий баланс в організмі спортсмена.

Для спортсменів, що спеціалізуються в силових видах спорту, необхідно додаткове надходження білків для збільшення м'язової маси в процесі тренувань. Норми споживання білка в різних рекомендаціях широко варіюються. У середньому потреба в білках для спортсменів, що спеціалізуються на витривалість залежно від енерговитрат становить 1,3-1,8 г·кг<sup>-1</sup>·доб<sup>-1</sup>, при більших тренувальних навантаженнях – 2 г·кг<sup>-1</sup>·доб<sup>-1</sup>, а для важкоатлетів – 3 г·кг<sup>-1</sup>·доб<sup>-1</sup>.

Загальна добова потреба для легкоатлета-бігуна-в межах 90-105 г·кг<sup>-1</sup>·доб<sup>-1</sup>, а важкоатлета – 250 г·кг<sup>-1</sup>·доб<sup>-1</sup>.

Надлишкове споживання білків з їжею (для людей, що не займаються фізичною роботою, – більше 2,5 кг<sup>-1</sup>, а для спортсменів – більше 5 г кг<sup>-1</sup>) приводить до перевантаження шлунково-кишкового тракту, гниттю їх у товстому кишечнику, а також до нагромадження в тканинах недоокислених і кінцевих продуктів розпаду білка, що змінюють кислотно-лужну рівновагу організму, що перешкоджає високій спортивній працездатності.

При недонадходженні білків з їжею відбувається тканинний перерозподіл білків. Особливо небезпечне недонадходження повноцінного білка для дітей: у них спостерігається затримка росту й розвитку, розвивається анемія, порушується водно-сольовий обмін, що може привести до летального результату.

Потреба в білках повинна задовольнятися продуктами харчування, що містять повноцінні білки (молоко й м'ясо нежирних сортів, яйця, риба).

### **Роль вітамінів у забезпеченні м'язової діяльності**

В умовах м'язової діяльності вітаміни виконують важливу регуляторну роль, тому що забезпечують високу швидкість метаболічних й окисних процесів, пов'язаних з механізмами енергоутворення, біосинтезу білка й вуглеводів, процесами перекисного окислювання ліпідів, обміну мінеральних речовин. Тому недостатнє забезпечення організму спортсмена окремими вітамінами приводить до зниження фізичної працездатності. При цьому знижуються як анаеробні, так й аеробні енергетичні можливості спортсменів.

Існує думка, що добова потреба у вітамінах спортсменів в окремих видах спорту істотно збільшена в порівнянні з людьми, що ведуть малорухомий спосіб життя. Це пов'язане з більшими енерговитратами спортсменів при фізичних навантаженнях, що досягають 5000 ккал доб<sup>-1</sup> і більше та збільшенням швидкості обміну вітамінів. У такому випадку для підтримки фізіологічного рівня вітамінів норми їхнього споживання можуть перевищувати рекомендації у 2-3 рази. Поповнення вітамінів при збільшенні фізичних навантаженнях можливо тільки при різноманітному харчуванні й додатковому надходженні вітамінів у вигляді полівітамінних комплексів. Однак споживання спортсменами більшої

кількості вітамінів у 5-10 разів перевищуючи добові норми, що рекомендують, не роблять позитивного ефекту на спортивну діяльність, а в окремих випадках можуть викликати захворювання (особливо жиророзчинні вітаміни).

Залежно від спрямованості харчування й специфіки м'язової діяльності в окремих видах спорту рекомендується споживання різних вітамінів. Так, у видах спорту на витривалість використовуються в основному вітаміни, що сприяють засвоєнню вуглеводів й утилізації кисню (В<sub>1</sub>, В<sub>3</sub>, С, Е), у швидкісно-силових видах спорту – вітаміни, що володіють анаболічним ефектом або підсилюють синтезом білка (В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>, С, Е). Установлено, що окремі вітаміни повинні надходити в організм у збалансованому вигляді. Надмірне споживання якого-небудь вітаміну викликає збільшення потреби в інших вітамінах. Якщо ця потреба не буде задоволена, можливе виникнення гіпо- або авітамінозу. Так, споживання вітаміну А підвищує потреба організму у вітамінах С і В<sub>1</sub>, вітаміну В<sub>1</sub>, - у вітаміні РР. Тому створені й широко використовуються полівітамінні комплекси, у яких спеціально збалансовані окремі вітаміни. До них відносять аєровіт, декамевіт, ундевіт, гендевіт, пенгексавіт, аскорутин, ревіт, пентавіт, гексавіт, глутамевіт і багато інших. Вони незамінні при збільшенні фізичних і нервово-емоційних навантажень особливо у змагальний період, а також в умовах зниженої або підвищеної температури навколишнього середовища. Застосування цих препаратів поліпшує енергетичні процеси, скорочувальну здатність серця, сприяє адаптації організму до фізичних навантажень.

Для підвищення ефективності дії вітамінів створено багато полівітамінних комплексів з мікроелементами (вітрум, юнікап, тріовіт, маневіт, оліговіт, комплевіт, глутамевіт й ін.). Сполучення полівітамінів з мінеральними речовинами впливає на обмін речовин, при цьому поліпшуються перенесення тренувальних навантажень і спортивний результат.

Додаткову вітамінізацію варто використовувати не тільки при інтенсивних тренуваннях і відповідальних змаганнях, але й наприкінці зими, а також навесні, коли вміст багатьох вітамінів у харчових продуктах знижується. Тільки постійно збалансований по вітамінах і мінеральних речовинах харчовий раціон дозволяє спортсменові поліпшувати спортивні результати без ускладнень стану здоров'я в процесі багаторічних тренувань.

## **Роль мінеральних речовин у режимі харчування спортсменів**

Для спортсменів характерна підвищена потреба в різних мінеральних речовинах, особливо фосфору, кальцію, калію й заліза, які інтенсивно виводяться з організму при м'язовій діяльності. Так, неорганічний фосфат необхідний для ресинтезу високоенергетичних фосфатних сполук у період відпочинку, а також відшкодування солей у кістковій тканині. Тому в раціоні харчування повинні бути продукти, що містять фосфор. Найбільша його кількість міститься в рибі і яйцях. Додаткове надходження може забезпечуватися гліцерофосфатом, лецитином, фосфатами натрію й ін.

Кальцій бере участь у процесах скорочення м'язів, побудові кісткової тканини, підсилює засвоєння фосфору. Тому кальцій повинен вноситися в організм із фосфором у співвідношенні 1:1,5. Основним джерелом кальцію є молоко й сир.

При напруженій м'язовій діяльності можливі втрати калію, що викликає зміни у функції серцевого м'яза, нервової системи й ін. Тому він повинен надходити в організм спортсмена в більшій кількості в порівнянні з не спортсменами. Основним джерелом калію є картопля, ізом, курага.

При тренуванні можуть порушуватися обмін заліза і його засвоєння організмом. Недостатнє надходження заліза, погане його засвоєння, особливо якщо надходить із рослинними продуктами (засвоюється лише 1-3%), може привести до розвитку анемії – різкого зниження гемоглобіну в крові, особливо в спортсменок. Недостача заліза негативно позначається на спортивних результатах, особливо у видах спорту на витривалість, а також на процесах відновлення.

Для добової потреби в залізі (1,5-2 мг) необхідно 10-кратне його надходження через труднощі усмоктування. Найціннішими джерелами заліза є тваринні продукти – печінка, «червоне» м'ясо. При надлишковому надходженні заліза утрудняється засвоєння цинку, зростає ризик виникнення ракових захворювань, серцевої недостатності.

Для задоволення організму у всіх мінеральних речовинах у раціон харчування варто включати велику кількість овочів і фруктів. Додаткове надходження їх можливо з мінеральною водою або з полівітамінними комплексами.

У спортсменів збільшується потреба у воді, особливо при тренуванні в суху жарку погоду, при сильному русі повітря (біг), надлишковому надходженні солей. Вода повинна надходити в організм у необхідній кількості. Рідину варто приймати часто, але невеликими порціями.

## **Харчові добавки й регулювання маси тіла**

У період напружених тренувань, під час змагань, при відновленні організму спортсмена заповнити енерговитрати (3000-7000 ккал) і забезпечити біосинтетичні процеси за допомогою звичайного харчування досить важко. Тому для спортсменів створені спеціальні продукти підвищеної біологічної цінності (ППБЦ) або харчові добавки з різним харчовим і хімічним складом. Такі продукти дуже концентровані, висококалорійні, мають специфічну метаболічну спрямованість – білкову, вуглеводну, жирову або вітамінно-мінеральну, а також певну цільову спрямованість:

- збільшення м'язової маси;
- корекція компонентного складу тіла (зменшення жирового компонента, збільшення м'язового й кісткового);
- збільшення швидкості метаболізму й енергоутворення;
- відновлення електролітичного балансу;
- активацію регуляторних механізмів енергообміну й інших метаболічних процесів;
- зниження маси тіла й ін.

Продукти підвищеної біологічної цінності використовуються в спорті для корекції незбалансованого добового раціону спортсменів, харчування на дистанції й між тренувальними навантаженнями, прискорення процесів відновлення, корегування маси тіла.

Для розвитку сили й швидкості, тобто для збільшення м'язової маси в період тренування, використовують білкові добавки у вигляді Сп-11-кофейний, шоколадний, фруктовий «Мультикрафка», «Астрофіт» і багато інших протеїновмісних комплексів.

Для забезпечення організму енергією при тривалих тренуваннях у видах спорту на витривалість і змаганнях застосовуються ППБЦ, що містять велику кількість вуглеводів, а також жири й вітаміни, що підсилюють окислювання енергетичних субстратів. Їхня невелика маса поставляє в організм достатню кількість енергії й знімає в спортсменів високу нервову напругу.

Для видів спорту, у яких фізичне навантаження супроводжується значними втратами рідини, використовуються спеціальні вуглеводно-мінеральні напої «Спартакіада», «Ізотонік», «Олімпік» й ін. Між тренуваннями напої вживають невеликими порціями – по 20-25 мл загальним обсягом 50-60 мл з концентрацією мінеральних речовин 6-10%. Після закінчення тренування або змагання кількість рідини може збільшуватися.

Регулювання маси тіла найбільш часто зв'язано зі зниженням маси тіла й досягається за рахунок зменшення кількості енергії (калорійності) і (або) збільшення енерговитрат. У практиці спорту масу тіла можна зменшити за рахунок збільшення обсягу тренувальних навантажень (енерговитрат) і тільки у видах спорту з великою кількістю тренувань – за рахунок зниження калорійності харчування. Однак різке зниження калорійності їжі не рекомендується, оскільки це приводить до зниження працездатності спортсменів: організм втрачає велику кількість води, мінеральних речовин, виснажуються запаси глікогену, структурні й скорочувальні компоненти м'язів.

Кращим способом зменшення маси тіла є сполучення поступового зниження калорійності харчування зі збільшенням енерговитрат при тренуваннях. При такому підході до корекції маси тіла м'язовий компонент не змінюється – змінюється тільки жировий, що не здійснює негативного впливу на спортивну діяльність. Однак зменшення маси тіла не повинне перевищувати 0,5-1,0 кг на тиждень, що досягається при зниженні калорійності їжі на 200-500 ккал у день у поєднанні з тренуваннями.

Іноді використовується зменшення маси тіла за рахунок обмеження надходження рідини й збільшення виведення води з потом. Такий прийом небажаний для спортсмена, оскільки приводить до зменшення обсягу крові, втраті електролітів, глікогену в м'язах і печінці, порушенню функції нирок, терморегуляції. У результаті знижується м'язова сила й загальна працездатність.

Основні принципи збалансованого харчування включають:

- рівновага між енергією, що надійшла з їжею, і енергією, що витрачається організмом у процесі життєдіяльності;
- задоволення потреб людини в певній кількості й збалансованому співвідношенні окремих харчових речовин;
- дотримання режиму харчування (певний час прийому й кількість їжі при кожному прийомі), оскільки робота організму залежить від біоритмів;
- збалансованість поживних речовин, що досягається шляхом систематичного надходження в організм продуктів тваринного й рослинного походження;
- забезпечення біологічно повноцінної, добре засвоюваної, доброякісної їжі, приготовленої відповідно до санітарно-гігієнічних правил.

## Основні поняття і терміни теми:

**Збалансованість поживних речовин** – сприятливе задоволення енергетичних і пластичних потреб організму людини у жирах, білках і вуглеводах.

**Гіпоглікемія** – пониження вмісту глюкози в крові (нижче 3 ммоль/л).

**Ліпотропні речовини** – речовини, які впливають на процес обміну в печінці, і попереджують жирову інфільтрацію печінки (метіонін, холін, вітамін В<sub>15</sub>, ненасичені жирні кислоти).

**Ацидоз** – закислення внутрішнього середовища організму, пов'язане з накопиченням у тканинах кислих продуктів обміну речовин. Виникнення при напруженій м'язовій роботі призводить до стомлення.



### Питання і завдання:

1. Назвати основні принципи раціонального харчування спортсмена.
2. Який підхід до харчування під час м'язової роботи? З чим це пов'язано?
3. Який вплив білків на спортивну працездатність спортсмена?
4. Особливості споживання вуглеводів після фізичних навантажень.



### Перевірте себе:

1. У спортсменів витривалісних видів спорту кількість глікогену в печінці може становити:

- а) 150;
- б) 250;
- в) 500;
- г) 800.

2. У високо тренованих спортсменів – марафонців вміст глюкози в крові після змагань може знизитись до (мг%):

- а) 40;
- б) 70;

- в) 90;
- г) 110.

3. *Витрати енергії (ккал) на 1 кг маси тіла за добу у школярів, які займаються бігом на довгі дистанції, приблизно становить:*

- а) 40-45;
- б) 45-50;
- в) 55-65;
- г) 75-80.

4. *Кращим способом зменшення маси тіла є:*

- а) сполучення поступового зниження калорійності харчування зі збільшенням енерговитрат при тренуванні;
- б) зменшення маси тіла за рахунок обмеження надходження рідини й збільшення виведення води з потом;
- в) зменшення споживання їжі та води після тренувань.



## **9. БІОХІМІЧНИЙ КОНТРОЛЬ У СПОРТИВНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ**

При адаптації організму до фізичних навантажень, перетренуваннях, а також при патологічних станах в організмі змінюється обмін речовин, що приводить до появи в різних тканинах і біологічних рідинах окремих метаболітів (продуктів обміну речовин), які відображають функціональні зміни і можуть служити біохімічними тестами або показниками їх характеристики. Тому в спорті разом з медичним, педагогічним, психологічним і фізіологічним контролем використовується біохімічний контроль за функціональним станом спортсмена.

У практиці спорту вищих досягнень зазвичай проводяться комплексні наукові обстеження спортсменів, що дають повну і об'єктивну інформацію про функціональний стан окремих систем і всього організму, про його готовність виконувати фізичні навантаження. Такий контроль на рівні збірних команд країни здійснюють комплексні наукові групи (КНГ), до складу яких входить декілька фахівців: біохімік, фізіолог, психолог, лікар, тренер.

### **Завдання, види і організація біохімічного контролю**

Визначення біохімічних показників обміну речовин дозволяє вирішувати наступні завдання комплексного обстеження: контроль за функціональним станом організму спортсмена, яке відображає ефективність і раціональність виконання індивідуальної тренувальної програми, спостереження за адаптаційними змінами основних енергетичних систем і функціональною перебудовою організму в процесі тренування, діагностика передпатологічних і патологічних змін метаболізму спортсменів. Біохімічний контроль дозволяє також вирішувати такі власні завдання, як виявлення реакції організму на фізичні навантаження, оцінка рівня тренуваності, адекватності застосування фармакологічних і інших відновлюючих засобів, ролі енергетичних метаболічних систем у м'язовій діяльності, дії кліматичних чинників і ін. У зв'язку з цим в практиці спорту

використовується біохімічний контроль на різних етапах підготовки спортсменів.

У річному тренувальному циклі підготовки кваліфікованих спортсменів виділяють різні види біохімічного контролю:

– поточні обстеження (ПО), що проводяться повсякденно відповідно до плану підготовки;

– етапні комплексні обстеження (ЕКО), що проводяться 3-4 рази на рік;

– поглиблені комплексні обстеження (ПКО), що проводяться 2 рази на рік;

– обстеження діяльності змагання (ОДЗ).

На підставі поточних обстежень визначають функціональний стан спортсмена – один з основних показників тренуваності, оцінюють рівень термінового і відставленого тренувального ефекту фізичних навантажень, проводять корекцію фізичних навантажень в ході тренувань.

В процесі етапних і поглиблених комплексних обстежень спортсменів за допомогою біохімічних показників можна оцінити кумулятивний тренувальний ефект, причому біохімічний контроль дає тренеріві, педагогові або лікареві швидко і достатньо об'єктивну інформацію про зростання тренуваності і функціональні системи організму, а також інші адаптаційні зміни.

При організації і проведенні біохімічного обстеження особлива увага приділяється вибору тестуючих біохімічних показників: вони повинні бути надійними або відтворними, такими, що повторюються при багатократному контрольному обстеженні, інформативними, такими, що відображають суть процесу, що вивчається, а також валідними або взаємозв'язаними із спортивними результатами.

У кожному конкретному випадку визначаються різні тестуючі біохімічні показники обміну речовин, оскільки в процесі м'язової діяльності по-різному змінюються окремі ланки метаболізму. Першорядного значення набувають показники тих ланок обміну речовин, які є основними в забезпеченні спортивної працездатності в даному виді спорту.

Важливе значення в біохімічному обстеженні мають методи визначення показників метаболізму, їх точність і достовірність. В даний час в практиці спорту широко застосовуються лабораторні експрес-методи визначення багатьох (близько 60) різних біохімічних показників в плазмі крові з використанням портативного приладу LP-400 швейцарської фірми «Доктор Ланге» або інших фірм.

Контроль за функціональним станом організму в умовах навчально-тренувального збору можна здійснювати за допомогою спеціальних діагностичних експрес-наборів для біохімічного аналізу сечі і крові. Засновані вони на здатності певної речовини (глюкози, білка, вітаміну С, кетонових тіл, сечовини, гемоглобіну, нітратів і ін.) реагувати з нанесеними на індикаторну смужку реактивами і змінювати забарвлення. Зазвичай наноситься крапля досліджуваної сечі на індикаторну смужку «Глюкотеста», «Пентафана», «Міді-тесту» або інших діагностичних тестів і через 1 хв її забарвлення порівнюється з індикаторною шкалою, що додається до набору.

Одні і ті ж біохімічні методи і показники можуть бути використані для вирішення різних завдань. Так, наприклад, визначення вмісту лактату в крові використовується при оцінці рівня тренуваності, спрямованості і ефективності вправи, що використовується, а також при відборі осіб для занять окремими видами спорту.

Залежно від завдань, що вирішуються змінюються умови проведення біохімічних досліджень. Оскільки багато біохімічних показників у тренуваного і не тренуваного організму в стані відносного спокою істотно не розрізняються, для виявлення їх особливостей проводять обстеження в стані спокою вранці натщесерце (фізіологічна норма), в динаміці фізичного навантаження або відразу після нього, а також в різні періоди відновлення.

При обстеженні спортсменів застосовуються різні типи тестуючих фізичних навантажень, які можуть бути стандартними і максимальними (граничними).

*Стандартні фізичні навантаження* – це навантаження, при яких обмежуються кількість і потужність роботи, що виконується і забезпечується за допомогою спеціальних приладів – ергометрів. Стандартні фізичні навантаження сприяють виявленню індивідуальних метаболічних відмінностей і використовуються для характеристики рівня тренуваності організму.

*Максимальні фізичні навантаження* застосовуються при виявленні рівня спеціальної тренуваності спортсмена на різних етапах підготовки. В даному випадку використовуються навантаження, найбільш характерні для даного виду спорту. Виконуються вони з максимально можливою інтенсивністю для даної вправи.

При виборі тестованих навантажень слід враховувати, що реакція організму людини на фізичне навантаження може залежати від

чинників, безпосередньо не пов'язаних з рівнем тренуваності, зокрема від виду тестованої вправи, спеціалізації спортсмена, а також від навколишнього оточення, температури середовища, часу доби і ін. Виконуючи звичну для себе роботу, спортсмен може здійснити великий її об'єм і добитися значних метаболічних зрушень в організмі. Особливо виразно це виявляється при тестуванні анаеробних можливостей, що є специфічними і найбільшою мірою виявляються тільки при роботі, до якої спортсмен адаптований. Отже, для велосипедистів найбільш відповідними є велоергометричні тести, для бігунів – бігові і так далі. Проте це не означає, що для легкоатлетів або спортсменів інших видів спорту не можна використовувати велоергометричні тести, які дозволяють найточніше враховувати об'єм виконаної роботи. Проте велосипедисти при велоергометричному тестуванні матимуть перевагу в порівнянні з представниками інших видів спорту тієї ж кваліфікації та тих, що спеціалізуються у вправах, які відносяться до тієї ж зони потужності.

Тестові навантаження, що використовуються, специфічні по потужності і тривалості, повинні відповідати навантаженням, які використовує спортсмен в процесі тренування. Так, для легкоатлетів-бігунів, що спеціалізуються на короткі і наддовгі дистанції, тестуючі навантаження повинні бути різними, і сприяти прояву їх основних рухових якостей – швидкості або витривалості. Важливою умовою застосування тестованих фізичних навантажень є точне встановлення їх потужності або інтенсивності і тривалості.

На результати дослідження впливає також температура навколишнього середовища, час тестування і стан здоров'я. Нижча працездатність спостерігається при підвищеній температурі середовища, а також у ранній і вечірній час. До тестування, як і до занять спортом, особливо з максимальними навантаженнями, повинні допускатися тільки повністю здорові спортсмени, тому лікарський огляд повинен передувати іншим видам контролю. Контрольне біохімічне тестування проводиться вранці натщесерце після відносного відпочинку протягом доби. При цьому повинні дотримуватися приблизно однакових умов зовнішнього середовища, які впливають на результати тестування.

Зміна біохімічних показників під впливом фізичних навантажень залежить від ступеня тренуваності, об'єму виконаних навантажень, їх інтенсивності і анаеробної або аеробної спрямованості, а також від статі і віку обстежуваних. Після стандартного фізичного навантаження

значні біохімічні зрушення виявляються у менш тренованих людей, а після максимальних – у високотренованих. При цьому після виконання специфічних для спортсменів навантажень в умовах змагання або у вигляді прикидок в тренованому організмі можливі значні біохімічні зміни, які не характерні для нетренованих людей.

### **Об'єкти дослідження і основні біохімічні показники**

Об'єктами біохімічного дослідження є повітря, що видихається, і 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, використання окремих енергетичних джерел в енергозабезпеченні м'язової діяльності. У ньому визначають кількість кисню, що споживається і вуглекислого газу, що видихається. Співвідношення цих показників в певній мірі відображає інтенсивність процесів енергообміну, частку в них анаеробних і аеробних механізмів ресинтезу АТФ.

**Кров** використовується як один з найбільш важливих об'єктів біохімічних досліджень, оскільки в ній відображаються всі метаболічні зміни в тканинних рідинах і лімфі організму. По зміні складу крові або рідкій її частині – плазмі можна судити про гомеостатичний стан внутрішнього середовища організму або зміну його при спортивній діяльності.

Для багатьох досліджень потрібна невелика кількість крові (0,01-0,05 мл), тому беруть її з безіменного пальця руки або з ребра мочки вуха. Після виконаної фізичної роботи забір крові рекомендується проводити через 3-7 хв, коли настають найбільші біохімічні зміни в ній.

При фізичних навантаженнях і дії інших чинників середовища, а також при патологічних змінах обміну речовин або після застосування фармакологічних засобів вміст окремих компонентів крові істотно змінюється. Отже, за наслідками аналізу крові можна охарактеризувати стан здоров'я людини, рівень його тренованості, протікання адаптаційних процесів і ін. Останніми роками у зв'язку із загрозою зараження СНІДОМ дослідження крові необхідно проводити з дотриманням всіх передбачених мір захисту.

**Сеча** певною мірою відображає роботу нирок – основного органу виділення організму, а також динаміку обмінних процесів в різних органах і тканинах. Тому по зміні кількісного і якісного її складу можна судити про стан окремих ланок обміну речовин,

надмірному їх надходженню, порушенню гомеостатичних реакцій в організмі, зокрема пов'язаних з м'язовою діяльністю. З сечею з організму виводяться надлишок води, багато електролітів, проміжні і кінцеві продукти обміну речовин, гормони, вітаміни, сторонні речовини. Добова кількість сечі (діурез) в нормі в середньому складає 1,5 л. Сечу збирають протягом доби, що вносить певні утруднення при проведенні досліджень. Іноді сечу беруть частковими порціями (наприклад, через 2 год), при цьому фіксують порції, отримані до виконання фізичної роботи і після неї. Сеча не може бути достовірним об'єктом дослідження після короткочасних тренувальних навантажень, оскільки відразу після цього вельми складно зібрати необхідну для її аналізу кількість.

При різних функціональних станах організму в сечі можуть з'являтися хімічні речовини, не характерні для норми: глюкоза, білок, кетонів тіла, жовчні пігменти, формені елементи крові і ін. Визначення цих речовин в сечі може використовуватися в біохімічній діагностиці окремих захворювань, а також в практиці спорту для контролю ефективності тренувального процесу, стану здоров'я спортсмена.

**Слина** зазвичай використовується паралельно з іншими біохімічними об'єктами. У слині визначають електроліти (Na і K), активність ферментів (амілази), рН. Існує думка, що слина, володіючи меншою, ніж кров, буферною ємкістю, краще відбиває зміни кислотно-лужної рівноваги організму людини. Проте як об'єкт дослідження слина не набула широкого поширення, оскільки склад її залежить не тільки від фізичних навантажень і пов'язаних з ними змін внутрішньотканинного обміну речовин, але і від стану ситості («голодна» або «сита» слина).

**Піт** в окремих випадках представляє інтерес як об'єкт дослідження. Необхідна для аналізу кількість поту збирається за допомогою бавовняної білизни або рушника, який замочують у дистильованій воді, для витягання різних компонентів поту. Екстракт випаровують у вакуумі і піддають аналізу.

**М'язова тканина** є дуже показовим об'єктом біохімічного контролю м'язової діяльності, проте використовується рідко, оскільки зразок м'язової тканини необхідно брати методом голчатої біопсії. Для цього над досліджуваним м'язом робиться невеликий розріз шкіри і за допомогою спеціальної голки береться шматочок (проба) м'язової тканини (2-3 мг), яка відразу заморожується в рідкому азоті і надалі

піддається структурному і біохімічному аналізу. У пробах визначають кількість скоротливих білків (актину і міозину), АТФ-азну активність міозину, показники енергетичного потенціалу (вміст АТФ, глікогену, креатинфосфату), продукти енергетичного обміну, електроліти і інші речовини. По їх вмісту судять про склад і функціональну активність м'язів, її енергетичний потенціал, а також зміни, які відбуваються при дії одноразового фізичного навантаження або довготривалого тренування.

При біохімічному обстеженні в практиці спорту використовуються наступні біохімічні показники:

- енергетичні субстрати (АТФ, КРФ, глюкоза, вільні жирні кислоти);

- ферменти енергетичного обміну (АТФ-аза, КрФ-кіназа, цитохромоксидаза, лактатдегідрогеназа і ін.);

- проміжні і кінцеві продукти обміну вуглеводів, ліпідів і білків (молочна і піровиноградна кислоти, кетонів тіла, сечовина, креатинін, креатин, сечова кислота, вуглекислий газ і ін.);

- показники кислотно-основного стану крові (рН крові, парціальний тиск  $\text{CO}_2$ , резервна лужність або надлишок буферних основ і ін.);

- регулятори обміну речовин (ферменти, гормони, вітаміни, активатори, інгібітори);

- мінеральні речовини в біохімічних рідинах (наприклад, бікарбонати і солі фосфорної кислоти визначають для характеристики буферної ємності крові);

- вміст загального білка, кількість і співвідношення білкових фракцій в плазмі крові;

- стероїди анаболізму і інші заборонені речовини в практиці спорту (допінги), виявлення яких – завдання допінгового контролю.

### **Основні біохімічні показники складу крові і сечі, їх зміна при м'язовій діяльності**

#### ***Показники вуглеводного обміну***

*Глюкоза.* Вміст глюкози в крові підтримується на відносно постійному рівні спеціальними регуляторними механізмами в межах 3,3-5,5 ммоль/л (80-120 мг%). Зміна її вмісту в крові при м'язовій діяльності індивідуальна і залежить від рівня тренуваності організму, потужності і тривалості фізичних вправ. Короткочасні фізичні навантаження субмаксимальної інтенсивності можуть викликати

підвищення вмісту глюкози в крові за рахунок посиленої мобілізації глікогену печінки. Тривалі фізичні навантаження призводять до зниження вмісту глюкози в крові. У нетренованих осіб це зниження більш виражене, ніж у тренуваних. Підвищений вміст глюкози в крові свідчить про інтенсивний розпад глікогену печінки або відносно мале використання глюкози тканинами, а понижений її вміст – про вичерпання запасів глікогену печінки або інтенсивне використання глюкози тканинами організму.

По зміні вмісту глюкози в крові судять про швидкість аеробного окислення її в тканинах організму при м'язовій діяльності і інтенсивності мобілізації глікогену печінки. Цей показник обміну вуглеводів рідко використовується самостійно в спортивній діагностиці, оскільки рівень глюкози в крові залежить не тільки від дії фізичних навантажень на організм, але і від емоційного стану людини, гуморальних механізмів регуляції, харчування і інших чинників.

У здорової людини в сечі глюкоза відсутня, проте може з'явитися при інтенсивній м'язовій діяльності, емоційному збудженні перед стартом і при надмірному надходженні вуглеводів з їжею (аліментарна глюкозурія) в результаті збільшення її рівня в крові (стан гіперглікемії). Поява глюкози в сечі при фізичних навантаженнях свідчить про інтенсивну мобілізацію глікогену печінки. Постійна наявність глюкози в сечі є діагностичним тестом захворювання цукровим діабетом.

*Молочна кислота.* Гліколітичний механізм ресинтезу АТФ в скелетних м'язах закінчується утворенням молочної кислоти, яка потім поступає в кров. Вихід її в кров після припинення роботи відбувається поступово, досягаючи максимуму на 3-7-ій хвилині після закінчення роботи. Вміст молочної кислоти в крові в нормі в стані відносного спокою складає 1-1,5 ммоль/л (15-30 мг%) і істотно зростає при виконанні інтенсивної фізичної роботи. При цьому накопичення її в крові співпадає з посиленням утворенням в м'язах, яка істотно підвищується після напруженого короткочасного навантаження і може досягти близько 30 ммоль/кг маси при виснаженні. Молочної кислоти більше у венозній крові, чим в артеріальній. Із збільшенням потужності навантаження вміст її в крові може зростати у нетренованої людини до 5-6 ммоль/л, у тренуваного – до 20 ммоль/л і вище. У аеробній зоні фізичних навантажень лактат складає 2-4 ммоль/л, в змішаній – 4-10 ммоль/л, в анаеробній – більше 10 ммоль/л. Умовна межа анаеробного обміну відповідає 4 ммоль



лактату в 1 л крові і позначається як поріг анаеробного обміну (ПАНО), або лактатний поріг (ЛП). Зниження вмісту лактату у одного і того ж спортсмена при виконанні стандартної роботи на різних етапах тренувального процесу свідчить про поліпшення тренованості, а підвищення – про погіршення. Значні концентрації молочної кислоти в крові після виконання максимальної роботи свідчать про вищий рівень тренованості при доброму спортивному результаті або про більшу метаболічну ємкість гліколізу, більшій стійкості його ферментів до зсуву рН у кислу сторону. Таким чином, зміна концентрації молочної кислоти в крові після виконання певного фізичного навантаження пов'язана із станом тренованості спортсмена. По зміні її вмісту в крові визначають анаеробні гліколітичні можливості організму, що важливе при відборі спортсменів, розвитку їх рухових якостей, контролі тренувальних навантажень і ходу процесів відновлення організму.

### ***Показники ліпідного обміну***

*Вільні жирні кислоти.* Будучи структурними компонентами ліпідів, рівень вільних жирних кислот в крові відображає швидкість ліполізу тригліцеридів в печінці і жирових депо. У нормі вміст їх в крові складає 0,1-0,4 ммоль/л і збільшується при тривалих фізичних навантаженнях.

По зміні вмісту ВЖК в крові контролюють ступінь підключення ліпідів до процесів енергозабезпечення м'язової діяльності, а також економічність енергетичних систем або ступінь сполучення між ліпідним і вуглеводним обміном. Високий ступінь сполучення цих механізмів енергозабезпечення при виконанні аеробних навантажень є показником високого рівня функціональної підготовки спортсмена.

*Кетонові тіла.* Утворюються вони в печінці з ацетил-КоА при посиленому окисленні жирних кислот в тканинах організму. Кетонові тіла з печінки поступають в кров і доставляються до тканин, в яких велика частина використовується як енергетичний субстрат, а менша виводиться з організму. Рівень кетонових тіл в крові певною мірою відображає швидкість окислення жирів. Вміст кетонових тіл в крові в нормі відносно невелике – 8 ммоль/л. При накопиченні в крові до 20 ммоль/л (*кетонемія*) вони можуть з'явитися в сечі, тоді як в нормі в сечі кетонові тіла не виявляються. Поява їх в сечі (*кетонурія*) у здорових людей спостерігається при голодуванні, виключенні вуглеводів з раціону харчування, а також при виконанні фізичних

навантажень великої потужності або тривалості. Цей показник має також діагностичне значення при виявленні захворювання цукровим діабетом, тиреотоксикозом. По збільшенню вмісту кетонів в крові і появі їх в сечі визначають перехід енергоутворення з вуглеводних джерел на ліпідних при м'язовій активності. Раніше підключення ліпідних джерел указує на економічність аеробних механізмів енергозабезпечення м'язової діяльності, що взаємозв'язане із зростанням тренуваності організму.

**Холестерин.** Це представник стероїдних ліпідів, що не бере участь в процесах енергоутворення в організмі. Вміст холестерину в плазмі крові в нормі складає 3,9-6,5 ммоль/л і залежить від статі (у чоловіків вище), віку (у дітей нижче), дієти (у вегетаріанців нижче), рухової активності. Постійне збільшення рівня холестерину і його окремих ліпопротеїдних комплексів в плазмі крові служить діагностичним тестом розвитку важкого захворювання – *атеросклерозу*, що супроводжується ураженням кровоносних судин. Встановлена залежність коронарних порушень від концентрації холестерину в крові. При ураженні судин серця спостерігається ішемія міокарду або інфаркт, а судин мозку – інсульт, судин ніг – атрофія кінцівок. У роботах останніх років показано, що виведенню з організму людини холестерину сприяють харчові волокна (клітковина), що містяться в овочах, фруктах, чорному хлібі і інших продуктах, а також лецитин і систематичні заняття фізичними вправами.

**Продукти перекисного окислення ліпідів (ПОЛ).** При фізичних навантаженнях посилюються процеси перекисного окислення ліпідів і накопичуються продукти цих процесів, що є одним з чинників, лімітуючих фізичну працездатність. Тому при біохімічному контролі реакції організму на фізичне навантаження, оцінці спеціальної підготовленості спортсмена, виявленні глибини біодеструктивних процесів при розвитку стрес – синдрому проводять аналіз вмісту продуктів перекисного окислення в крові: малонового діальдегіду, дієнових кон'югатів, а також активність ферментів глутатіонпероксидази, глутатіонредуктази і каталази.

**Фосфоліпіди.** Вміст фосфоліпідів в нормі в крові складає 1,52-3,62 г/л. Підвищення їх рівня в крові спостерігається при діабеті, захворюваннях нирок, гіпофункції щитовидної залози і інших порушеннях обміну, а пониження – при жировій дистрофії печінки, тобто коли уражаються структури печінки, в яких вони синтезуються.

Для стимуляції синтезу фосфоліпідів і зниження вмісту в крові тригліцеридів необхідно збільшити споживання з їжею ліпотропних речовин. Оскільки тривалі фізичні навантаження супроводжуються жировою дистрофією печінки, в спортивній практиці іноді використовують контроль вмісту тригліцеридів і фосфоліпідів в крові.

### ***Показники білкового обміну***

***Гемоглобін.*** Основним білком еритроцитів крові є гемоглобін, який виконує кислотно-транспортну функцію. Він містить залізо, що зв'язує кисень повітря. Концентрація гемоглобіну в крові залежить від статі і складає в середньому 7,5-8,0 ммоль/л (120-140 г/л) – у жінок і 8,0-10,0 ммоль/л (140-160 г/л) – у чоловіків, а також від ступеня тренуваності. При м'язовій діяльності різко підвищується потреба організму в кисні, що задовольняється повнішим витяганням його з крові, збільшенням швидкості кровотоку, а також поступовим збільшенням кількості гемоглобіну в крові за рахунок зміни загальної маси крові. Із зростанням рівня тренуваності спортсменів у видах спорту на витривалість концентрація гемоглобіну в крові у жінок зростає в середньому до 130-150 г/л, у чоловіків – до 160-180 г/л. Збільшення вмісту гемоглобіну в крові певною мірою відображає адаптацію організму до фізичних навантажень в умовах гіпоксії.

При інтенсивних тренуваннях, особливо у жінок, що займаються циклічними видами спорту, а також при нераціональному харчуванні відбувається руйнування еритроцитів крові і зниження концентрації гемоглобіну до 90 г/л і нижче, що розглядається як залізодефіцитна «спортивна анемія». У такому разі слід змінити програму тренувань, а в раціоні харчування збільшити вміст білкової їжі, заліза і вітамінів групи В. За вмістом гемоглобіну в крові можна судити про аеробні можливості організму, ефективність аеробних тренувальних занять, стан здоров'я спортсмена.

***Міоглобін.*** У саркоплазмі скелетних і серцевого м'язів знаходиться високо спеціалізований білок, що виконує функцію транспорту кисню подібно до гемоглобіну. Вміст міоглобіну в крові в нормі незначне (10-70 нг/л). Під впливом фізичних навантажень, при патологічних станах організму він може виходити з м'язів в кров, що приводить до підвищення його вмісту в крові і появи в сечі (міоглобінурія). Кількість міоглобіну в крові залежить від об'єму виконаного фізичного навантаження, а також від ступеня тренуваності спортсмена. Тому даний показник може бути використаний для діагностики функціонального стану працюючих скелетних м'язів.

*Актин.* Вміст актину в скелетних м'язах як структурний і скоротливий білок істотно збільшується в процесі тренування. По його вмісту в м'язах можна було б контролювати розвиток швидкісно-силових якостей спортсмена при тренуванні, проте визначення його вмісту в м'язах пов'язане з великими методичними утрудненнями. Проте після виконаних фізичних навантажень наголошується поява актину в крові, що свідчить про руйнування або оновлення міофібрилярних структур скелетних м'язів. У крові вміст актину визначають радіо імунологічним методом і по його зміні судять про переносимість фізичних навантажень, інтенсивність відновлення міофібрил після м'язової роботи.

*Альбумін і глобуліни.* Це низькомолекулярні основні білки плазми крові. Альбумін складає 50-60% всіх білків сироватки крові, глобуліни – 35-40%. Вони виконують різноманітні функції в організмі: входять до складу імунної системи, особливо глобуліни, і захищають організм від інфекцій, беруть участь в підтримці рН крові, транспортують різні органічні і неорганічні речовини, використовуються для побудови інших речовин. Кількісне співвідношення їх в сироватці крові в нормі відносно постійно і відображає стан здоров'я людини. Співвідношення цих білків змінюється при стомленні, багатьох захворюваннях і може використовуватися в спортивній медицині як діагностичний показник стану здоров'я.

*Сечовина.* При посиленому розпаді тканинних білків, надмірному надходженні в організм амінокислот в печінці в процесі зв'язування токсичного для організму людини аміаку ( $\text{NH}_3$ ) синтезується нетоксична азотовмісна речовина – сечовина. З печінки сечовина поступає в кров і виводиться з сечею. Концентрація сечовини в нормі в крові кожної дорослої людини індивідуальна – в межах 3,5-6,5 ммоль/л. Вона може збільшуватися до 7-8 ммоль/л при значному надходженні білків з їжею, до 16-20 ммоль/л – при порушенні функції виділення нирок, 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 при оцінці *переносимості* спортсменом тренувальних і змагальних фізичних навантажень, ходу тренувальних занять і процесів відновлення організму. Для отримання об'єктивної інформації концентрацію сечовини визначають наступного дня після тренування

вранці натщесерце. Якщо виконане фізичне навантаження адекватне функціональним можливостям організму і відбулося відносно швидке відновлення метаболізму, то вміст сечовини в крові вранці натщесерце повертається до норми. Зв'язано це з урівноваженням швидкості синтезу і розпаду білків в тканинах організму, що свідчить про його відновлення. Якщо вміст сечовини на наступний ранок залишається вищим за норму, то це свідчить про недовідновлення організму або розвитку його стомлення.

*Виявлення білка в сечі.* У здорової людини білок в сечі відсутній. Поява його (*протеїнурія*) наголошується при захворюванні нирок (нефрози), поразці сечових шляхів, а також при надмірному надходженні білків з їжею або після м'язової діяльності анаеробної спрямованості. Це пов'язано з порушенням проникності клітинних мембран нирок із-за закислення середовища організму і виходу білків плазми в сечу.

По наявності певної концентрації білка в сечі після виконання фізичної роботи судять про її потужність. Так, при роботі в зоні великої потужності вона складає 0,5%, при роботі в зоні субмаксимальної потужності може досягати 1,5%.

*Креатинін.* Ця речовина утворюється в м'язах в процесі розпаду креатинфосфату. Добове виділення його з сечею відносно постійне для даної людини і залежить від м'язової маси тіла. У чоловіків воно складає 18-32 мг/кг маси тіла на добу, у жінок – 10-25 м/кг. За вмістом креатиніну в сечі можна побічно оцінити швидкість креатинфосфокіназної реакції, а також вміст м'язової маси тіла.

*Креатин.* У нормі в сечі дорослих людей креатин відсутній. Виявляється він при перетренуванні і патологічних змінах в м'язах, тому наявність креатину в сечі може використовуватися як тест при виявленні реакції організму на фізичні навантаження. У сечі у дітей раннього віку креатин постійно присутній, що пов'язане з переважанням його синтезу над використанням в скелетних м'язах.

### ***Показники кислотно-основного стану (КОС) організму***

В процесі інтенсивної м'язової діяльності в м'язах утворюється велика кількість молочної і піровиноградної кислот, які дифундують в кров і можуть викликати метаболічний ацидоз організму, що приводить до стомлення м'язів і супроводжується болями в м'язах, запамороченням, нудотою. Такі метаболічні зміни пов'язані з виснаженням буферних резервів організму. Оскільки стан буферних систем організму має важливе значення в прояві високої фізичної

працездатності, в спортивній діагностиці використовуються показники КОС. До показників КОС, які в нормі відносно постійні, відносяться:

- рН крові (7,35-7,45);
  - рСО<sub>2</sub> – парціальний тиск вуглекислого газу (Н<sub>2</sub>СО<sub>3</sub> + СО<sub>2</sub>) в крові (35-45 мм рт. ст.);
  - SB – стандартний бікарбонат плазми крові НСО<sub>3</sub>, який при повному насиченні крові киснем складає 22-26 мекв/л;
  - BV – буферні основи цілісної крові або плазми (43-53 мекв/л<sup>1</sup>)
- показник ємкості всієї буферної системи крові або плазми;
- NBV – нормальні буферні основи цілісної крові при фізіологічних значеннях рН і СО<sub>2</sub> альвеолярного повітря;
  - BE – надлишок основ, або лужний резерв (від -2,4 до +2,3 мекв/л) – показник надлишку або нестачі буферної ємкості (BV – NBV = BE).

Показники КОС відображають не тільки зміни в буферних системах крові, але і стан дихальної і видільної систем організму. Стан кислотно-основної рівноваги в організмі характеризується постійністю рН крові (7,34-7,36). По зміні показників КОС при м'язовій діяльності можна контролювати реакцію організму на фізичне навантаження і зростання тренуваності спортсмена, оскільки при біохімічному контролі КОС можна визначати один з цих показників. Найбільш інформативним показником КОС є величина BE – лужний резерв, який збільшується з підвищенням кваліфікації спортсменів, що особливо спеціалізуються в швидкісно-силових видах спорту. Великі буферні резерви організму є серйозною передумовою для поліпшення спортивних результатів в цих видах спорту.

*Активна реакція сечі (рН)* знаходиться в прямій залежності від кислотно-основного стану організму. При метаболічному ацидозі кислотність сечі збільшується до рН = 5, а при метаболічному алкалозі знижується до рН = 7.

### ***Біологічно-активні речовини – регулятори обміну речовин***

*Ферменти.* Особливий інтерес в спортивній діагностиці представляють тканинні ферменти, які при різних функціональних станах організму поступають в кров з скелетних м'язів і інших тканин. Такі ферменти називаються клітинними, або індикаторними. До них відносяться альдолаза, лактатдегідрогеназа, креатинкіназа та ін. Для окремих клітинних ферментів, наприклад лактатдегідрогенази скелетних м'язів, характерна наявність декількох форм (ізоферментів).

Поява в крові індикаторних ферментів або їх окремих ізоформ, що пов'язане з порушенням проникності клітинних мембран тканин, може використовуватися при біохімічному контролі за функціональним станом спортсмена.

У спортивній практиці часто визначають наявність в крові таких тканинних ферментів процесів біологічного окислення речовин, як альдолаза – фермент гліколізу і каталаза – фермент, що здійснює відновлення перекисів водню. Поява їх в крові після фізичних навантажень є показником неадекватності фізичного навантаження, розвитку стомлення, а швидкість їх зникнення свідчить про швидкість відновлення організму.

Після виконаних фізичних навантажень в крові можуть з'являтися окремі ізоформи ферментів – креатинкінази, лактатдегідрогенази, характерні для якоїсь окремої тканини. Так, після тривалих фізичних навантажень в крові спортсменів з'являється ізоформа креатинфосфокінази, характерна для скелетних м'язів; при гострому інфаркті міокарду в крові з'являється ізоформа креатинкінази, характерна для серцевого м'яза. Якщо фізичне навантаження викликає значний вихід ферментів в кров з тканин і вони довго зберігаються в ній в період відпочинку, то це свідчить про невисокий рівень тренуваності спортсмена, а, можливо, і про передпатологічний стан організму.

*Гормони.* При біохімічній діагностиці функціонального стану спортсмена інформативними показниками є рівень гормонів в крові. Можуть визначатися більше 20 різних гормонів, регулюючих різні ланки обміну речовин. Концентрація гормонів в крові досить низька і зазвичай варіюється в межах від  $10^{-8}$  до  $10^{-11}$  ммоль/л, що утрудняє широке використання цих показників в спортивній діагностиці.

Величина зміни вмісту гормонів в крові залежить від потужності і тривалості виконуваних навантажень, а також від ступеня тренуваності спортсмена. При роботі однакової потужності у більш тренуваних спортсменів спостерігаються менш значні зміни цих показників в крові. Крім того, по зміні вмісту гормонів в крові можна судити про адаптацію організму до фізичних навантажень, інтенсивності регульованих ними метаболічних процесів, розвитку процесів стомлення, застосуванні стероїдів анаболізму і інших гормонів.

*Вітаміни.* Виявлення вітамінів в сечі входить в діагностичний комплекс характеристики стану здоров'я спортсменів, їх фізичній

працездатності. У практиці спорту найчастіше виявляють забезпеченість організму водорозчинними вітамінами, особливо вітаміном С. В сечі вітаміни з'являються при достатньому забезпеченні ними організму. Дані численних досліджень свідчать про недостатню забезпеченість багатьох спортсменів вітамінами, тому контроль їх вмісту в організмі дозволить своєчасно скорегувати раціон харчування або призначити додаткову вітамінізацію шляхом прийому спеціальних полівітамінних комплексів.

*Мінеральні речовини.* В м'язах утворюється неорганічний фосфат у вигляді фосфорної кислоти ( $H_3PO_4$ ) при реакціях перефосфорилування в креатинфосфокіназному механізмі синтезу АТФ і інших процесах. По зміні його концентрації в крові можна судити про потужність креатинфосфокіназного механізму енергозабезпечення у спортсменів, а також про рівень тренуваності, оскільки приріст неорганічного фосфату в крові спортсменів високої кваліфікації при виконанні анаеробної фізичної роботи більше, ніж в крові менш кваліфікованих спортсменів.

### **Біохімічний контроль розвитку систем енергозабезпечення організму при м'язовій діяльності**

Спортивний результат певною мірою лімітується рівнем розвитку механізмів енергозабезпечення організму. Тому в практиці спорту проводиться контроль потужності, ємкості і ефективності анаеробних і аеробних механізмів енергоутворення в процесі тренування, що можна здійснювати і за біохімічними показниками.

Для оцінки потужності і ємкості креатинфосфокіназного механізму енергоутворення використовуються показники загального алактатного кисневого боргу, кількість креатин фосфату і активність креатинфосфокінази в м'язах. У тренуваному організмі ці показники значно вищі, що свідчить про підвищення можливостей креатинфосфокіназного (алактатного) механізму енергоутворення.

Ступінь підключення креатинфосфокіназного механізму при виконанні фізичних навантажень можна оцінити також по збільшенню в крові вмісту продуктів обміну КрФ в м'язах (креатину, креатиніну і неорганічного фосфату) або зміні їх вмісту в сечі.

Для характеристики гліколітичного механізму енергоутворення часто використовують величину максимального накопичення лактату в артеріальній крові при максимальних фізичних навантаженнях, а також величину загального і лактатного кисневого боргу, значення рН



крові і показники КОС, вміст глюкози в крові і глікогену в м'язах, активність ферментів лактатдегідрогенази, фосфорилази і ін..

Про підвищення можливостей гліколітичного (лактатного) енергоутворення у спортсменів свідчить пізніший вихід на максимальну кількість лактату в крові при граничних фізичних навантаженнях, а також вищий його рівень. У висококваліфікованих спортсменів, що спеціалізуються в швидкісних видах спорту, кількість лактату в крові при інтенсивних фізичних навантаженнях може зростати до 26 ммоль/л і більш, тоді як у нетренованих людей максимально переносима кількість лактату складає 5-6 ммоль/л, а 10 ммоль/л може привести до летального результату при функціональній нормі 1-1,5 ммоль/л. Збільшення ємкості гліколізу супроводжується збільшенням запасів глікогену в скелетних м'язах, особливо в швидких волокнах, а також підвищенням активності гліколітичних ферментів.

Для оцінки потужності аеробного механізму енергоутворення найчастіше використовуються рівень максимального споживання кисню (МПК), час настання ПАНО, а також показник кисневотранспортній системі крові – концентрація гемоглобіну. Підвищення рівня  $VO_{2max}$  свідчить про збільшення потужності аеробного механізму енергоутворення. Максимальне споживання кисню у дорослих людей, що не займаються спортом, у чоловіків складає 3,5 л/хв, у жінок – 2,0 л/хв. і залежить від маси тіла. У висококваліфікованих спортсменів абсолютна величина  $VO_{2max}$  у чоловіків може досягати 6-7 л/хв у жінок – 4-5 л/хв.

По тривалості роботи на рівні ПАНО судять про підвищення ємкості механізму енергоутворення. Нетреновані люди не можуть виконувати фізичну роботу на рівні ПАНО більше 5-6 хв. У спортсменів, що спеціалізуються на витривалість, тривалість роботи на рівні ПАНО може досягати 1-2 год.

Ефективність аеробного механізму енергоутворення залежить від швидкості утилізації кисню мітохондріями, що пов'язане перш за все з активністю і кількістю ферментів окислювального фосфорилування, кількістю мітохондрій, а також від частки жирів при енергоутворення. Під впливом інтенсивного тренування аеробної спрямованості збільшується ефективність аеробного механізму за рахунок збільшення швидкості окислення жирів і збільшення їх ролі в енергозабезпеченні роботи.

## **Біохімічний контроль за рівнем тренуваності, стомлення і відновлення організму спортсмена**

*Рівень тренуваності* в практиці біохімічного контролю за функціональним станом спортсмена оцінюється по зміні концентрації лактату в крові при виконанні стандартного або граничного фізичного навантаження для даного контингенту спортсменів. Про вищий рівень тренуваності свідчать менше накопичення лактату (в порівнянні з нетренованими) при виконанні стандартного навантаження, що пов'язане із збільшенням частини аеробних механізмів в енергозабезпеченні цієї роботи;

– більше накопичення молочної кислоти при виконанні граничної роботи, що пов'язане із збільшенням ємкості гліколітичного механізму енергозабезпечення;

– підвищення ПАНО (потужність роботи, при якій різко зростає рівень лактату в крові) у тренуваних осіб в порівнянні з нетренованими;

– триваліша робота на рівні ПАНО;

– менше збільшення змісту лактату в крові при зростанні потужності роботи, що пояснюється вдосконаленням анаеробних процесів і економічністю енерговитрат організму;

– збільшення швидкості утилізації лактату в період відновлення після фізичних навантажень.

Із збільшенням рівня тренуваності спортсменів у видах спорту на витривалість збільшується загальна маса крові: у чоловіків – від 5-6 до 7-8 л, у жінок – від 4-4,5 до 5,5-6 л, що приводить до збільшення концентрації гемоглобіну до 160-180 г/л – у чоловіків і до 130-150 г/л – у жінок.

Контроль за процесами стомлення і відновлення, які є невід'ємними компонентами спортивної діяльності, необхідний для оцінки переносимості фізичного навантаження і виявлення перетренованої, достатності часу відпочинку після фізичних навантажень, ефективності засобів підвищення працездатності, а також для вирішення інших завдань.

*Втома*, викликана фізичними навантаженнями максимальної і субмаксимальної потужності, взаємозв'язана з виснаженням запасів енергетичних субстратів (АТФ, КРФ, глікогену) в тканинах, що забезпечують цей вид роботи, і накопиченням продуктів їх обміну в крові (молочної кислоти, креатину, неорганічних фосфатів), тому і контролюється за цими показниками. При виконанні тривалої

напруженої роботи розвиток стомлення може виявлятися по тривалому підвищенню рівня сечовини в крові після закінчення роботи, по зміні компонентів імунної системи крові, а також по зниженню вмісту гормонів в крові і сечі.

У спортивній діагностиці для виявлення стомлення зазвичай визначають вміст гормонів симпато-адреналової системи (адреналіну і продуктів його обміну) в крові і сечі. Ці гормони відповідають за ступінь напруги адаптаційних змін в організмі. При неадекватних функціональному стану організму фізичних навантаженнях спостерігається зниження рівня не тільки гормонів, але і попередників їх синтезу в сечі, що пов'язане з вичерпанням біосинтетичних резервів ендокринних залоз і указує на перенапруження регуляторних функцій організму, контролюючих адаптаційні процеси.

Для ранньої діагностики перетренованої, прихованої фази стомлення використовується контроль за функціональною активністю імунної системи. Для цього визначають кількість і функціональну активність кліток Т- і В-лімфоцитів: Т-лімфоцити забезпечують процеси клітинного імунітету і регулюють функцію В-лімфоцитів; В-лімфоцити відповідають за процеси гуморального імунітету, їх функціональна активність визначається по кількості імуноглобулінів в сироватці крові.

Визначення компонентів імунної системи вимагає спеціальних умов і апаратури. При підключенні імунологічного контролю за функціональним станом спортсмена необхідно знати його початковий імунологічний статус з подальшим контролем в різні періоди тренувального циклу. Такий контроль дозволить запобігти зриву адаптаційних механізмів, вичерпання імунної системи і розвитку інфекційних захворювань спортсменів високої кваліфікації в періоди тренування і підготовки до відповідальних змагань (особливо при різкій зміні кліматичних зон).

*Відновлення* організму пов'язане з відновленням кількості витрачених під час роботи енергетичних субстратів і інших речовин. Їх відновлення, а також швидкість обмінних процесів відбуваються не одночасно. Знання часу відновлення в організмі різних енергетичних субстратів відіграє велику роль в правильній побудові тренувального процесу. Відновлення організму оцінюється по зміні кількості тих метаболітів вуглеводного, ліпідного і білкового обмінів в крові або сечі, які істотно змінюються під впливом тренувальних навантажень. Зі всіх показників вуглеводного обміну найчастіше досліджується

швидкість утилізації під час відпочинку молочної кислоти, а також ліпідного обміну – наростання змісту жирних кислот і кетонових тіл в крові, які в період відпочинку є головним субстратом аеробного окислення, про що свідчить зниження дихального коефіцієнта. Проте найбільш інформативним показником відновлення організму після м'язової роботи є продукт білкового обміну – сечовина. При м'язовій діяльності посилюється катаболізм тканинних білків, сприяючи підвищенню рівня сечовини в крові, тому нормалізація її вмісту в крові свідчить про відновлення синтезу білка в м'язах, а отже, і відновленні організму.

### **Контроль за застосуванням допінгу в спорті**

На початку ХХ ст. в спорті для підвищення фізичної працездатності, прискорення процесів відновлення, поліпшення спортивних результатів почали широко застосовувати різні стимулюючі препарати, що включають гормональні, фармакологічні і фізіологічні, – так звані допінги. Використання їх не тільки створює нерівні умови при спортивній боротьбі, але і заподіює шкоду здоров'ю спортсмена в результаті побічної дії, а іноді є причиною летального результату. Регулярне застосування допінгів, особливо гормональних препаратів, викликає порушення функцій багатьох фізіологічних систем: серцево-судинної; ендокринної, особливо статевих залоз (атрофія) і гіпофіза, що приводить до порушення дітородної функції, появи чоловічих вторинних ознак у жінок (вірилізація) і збільшення молочних залоз у чоловіків (гінекомастія); печінки, викликаючи жовтяниці, набряки, цирози; імунної, що приводить до частих простуд, вірусних захворювань; нервової, такої, що виявляється у вигляді психічних розладів (агресивність, депресія, безсоння); припинення зростання трубчастих кісток, що особливо небезпечно для організму, що росте.

Багато порушень виявляються не відразу після використання допінгів, а через 10-20 років або в потомстві. Тому в 1967 р. МОК створив медичну комісію (МК), яка визначає список заборонених до використання в спорті препаратів і веде антидопінгову роботу, організовує і проводить допінгконтроль на наявність в організмі спортсмена заборонених препаратів. Кожен спортсмен, тренер, лікар команди повинні знати заборонені до використання препарати.

### ***Класифікація допінгів***

До засобів, які використовуються в спорті для підвищення спортивної майстерності, відносяться: допінги, допінгові методи, психологічні методи, механічні чинники, фармакологічні засоби обмеженого використання, а також харчові добавки і речовини.

До засобів, які заподіюють особливу шкоду здоров'ю і піддаються контролю, відносяться допінги і допінгові методи (маніпуляції).

По фармакологічній дії допінги діляться на п'ять класів: 1 – психостимулятори (амфетамін, ефедрин, фенамін, кофеїн, кокаїн і ін.); 2 – наркотичні засоби (морфін, алкалоїди-опіати, промедол, фентаніл і ін.); 3 – стероїди (тестостерон і його похідні, метан-дростенолон, ретаболіл, андродіол і багато інших) анаболізму, а також пептидні гормони анаболізму (соматотропін, гонадотропін, еритропоетин); 4 – бета-блокатори (анапримін (пропранолол), окспренолол, надолол, атенолол і ін.); 5-діуретики (новурит, дихлотіазид, фуросемид (лазикс), клопамід, діакарб, верошпирон і ін.).

Допінги є біологічно активними речовинами, виділеними з тканин тварин або рослин, отримані синтетично, як і їх аналоги. Багато допінгів входять до складу ліків від застуди, грипу і інших захворювань, тому прийом спортсменом ліків повинен узгоджуватися із спортивним лікарем щоб уникнути неприємностей при допінгконтролі.

До допінгових методів відносяться кров'яний допінг, різні маніпуляції (наприклад, придушення процесу овуляції у жінок і ін.).

Біологічна дія в організмі окремих класів допінгів різноманітна. Так, психостимулятори підвищують спортивну діяльність шляхом активації діяльності ЦНС, серцево-судинної і дихальної систем, що покращує енергетику і швидку активність скелетних м'язів, а також знімають втому, додають упевненість в своїх силах, проте можуть привести до граничної напруги функцій цих систем і вичерпання енергетичних ресурсів. Наркотичні речовини пригнічують больову чутливість, оскільки є сильними анальгетиками, і віддаляють відчуття стомлення. Стероїди анаболізму підсилюють процеси синтезу білка і зменшують їх розпад, тому стимулюють зростання м'язів, кількості еритроцитів, сприяючи прискоренню адаптації організму до м'язової діяльності і процесів відновлення, поліпшенню композиційного складу тіла. Бета-блокатори протидіють ефектам адреналіну і норадреналіну, що як би заспокоює спортсмена, підвищує адаптацію до фізичних

навантажень на витривалість. Діуретики, або сечогінні засоби підсилюють виведення з організму солей, води і деяких хімічних речовин, що сприяє зниженню маси тіла, виведенню заборонених препаратів.

Слід зазначити, що серед розглянутих класів допінгу найчастіше застосовуються анаболічні стероїди. У важкій атлетиці, пауерліфтинзі, бодібідінгу їх застосовують близько 90% чоловіків і 20% жінок. У інших видах спорту вони використовуються у меншій мірі (78% – футболісти, 40% – спринтери). При цьому використовувані дози можуть багато разів перевищувати ті, що рекомендуються (5-10 міліграм) і досягати 300 міліграм і навіть 2 г.

### **Завдання, об'єкти і методи допінг контролю**

Завданням допінг контролю є виявлення можливого використання допінгових речовин і допінгових методів спортсменами на змаганнях і в процесі тренування, застосування до них спеціальних санкцій.

Допінг контроль проводиться під час Олімпійських ігор, чемпіонатів світу і Європи, а останнім часом – і на менш масштабних змаганнях або навіть в період тренування (за рішенням міжнародних спортивних організацій). Призначається допінговий контроль медичною комісією МОК або НОК, а проводиться акредитованими МОК спеціальними лабораторіями, зазвичай тієї країни, в якій проводяться змагання. Допінг лабораторії існують при біохімічних або інших інститутах, оснащених сучасною апаратурою.

Останнім часом як основний об'єкт контролю використовується *проба сечі*, оскільки це неінвазивний об'єкт і зібрати можна необмежений об'єм. Зразок сечі повинен складати не менше 100 мл з рН 6,5. Забір сечі проводять у присутності експерта МК МОК. Зібрана проба ділиться на дві частини і на холоді доставляється в центр допінгового контролю.

З метою виявлення застосування кров'яного допінгу використовують зразки венозної крові.

Для виявлення допінгових речовин в сечі або крові спортсмена застосовуються високочутливі методи біохімічного аналізу, оскільки концентрація цих речовин незначна. До таких методів відносяться: *газова хроматографія, рідинна хроматографія, флуоресцентний імунний аналіз*. При цьому слід використовувати не менше двох методів.

Хоча методи допінг контролю високочутливі, в даний час утруднення викликає виявлення пептидних гормонів (соматотропіну, еритропоєтину і ін.) анаболізму, а також застосування кров'яного допінгу.

### Основні поняття і терміни теми:

**Біологічно активні речовини** – особлива група органічних сполук. Вони регулюють процеси обміну речовин, росту і розвитку організмів, слугують для захисту або впливу на особин свого чи інших видів.

**Перекисне окиснення ліпідів** – фізіологічний процес метаболізму, який відіграє важливу роль необхідної ланки життєдіяльності організму; постійно перебігає в клітинних мембранах, оновлюючи або замінюючи їх ліпідний склад, тим самим контролює активність мембрано-зв'язаних ферментів.

**Гранична навантаження** – це навантаження, що перевищує рівень звичної рухової активності, та мінімальна величина тренувального навантаження, що дає необхідний оздоровчий ефект: відшкодування відсутніх енерговитрат, підвищення функціональних можливостей організму і зниження факторів ризику.

**Креатинін** – ангідрид креатину, що може утворюватися у тканинах організму із креатин фосфату. Виявляється у сечі, де його кількість залежить від кількості креатин фосфату та креатину в м'язах.

**Кетонові тіла** – продукти інтенсивного розпаду та окиснення ліпідів, жирних кислот. До них належать ацетон, ацетон-оцтова кислота, бета-гідроксимаєляна кислота. Утворюються в печінці з ацетил-КоА, поступають в кров (кетоз), частково відбираються тканинами, де окислюються з виділенням енергії.



### Питання і завдання:

1. Назвіть основні біохімічні показники складу крові і сечі, що використовуються при біохімічному контролі в спорті.

2. Зміна яких метаболітів в крові і сечі може вказувати на можливість захворювання цукровим діабетом, атеросклерозом?

3. Які показники білкового обміну використовуються при спортивній діагностиці?

4. Назвіть основні біохімічні показники, по яким визначають реакцію організму на фізичні навантаження?

5. Як можна визначити відновлення і стомлення організму після фізичного навантаження, використовуючи біохімічні показники?



### **Перевірте себе:**

*1. По вмісту актину в скелетних м'язах можна контролювати:*

- а) розвиток швидко-силових якостей;
- б) постачання міоглобіну до м'язів;
- в) інтенсивність відновлення міофібрилярних білків.

*2. З класу допінгів найбільш поширеними є:*

- а) психостимулятори;
- б) анаболічні стероїди;
- в) діуретики.

*3. За якими біохімічними показниками можна визначити адекватність виконаного фізичного навантаження:*

- а) сечовина і лактат у крові;
- б) ацетон і рН;
- в) гемоглобін та глюкоза в крові;
- г) холестерин та білки крові.

*4. За появою якого показника у сечі можна визначити потужність виконаної роботи:*

- а) білок;
- б) глюкоза;
- в) сечовина;
- г) вітаміни.

*5. 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 кетонів тіла;
- в) креатин фосфат та жирні кислоти;
- г) молочна кислота та сечовина.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Биохимия мышечной деятельности: учебн. [для студ. высш. учеб. завед.] / [Волков Н. И., Несен Э. Н., Корсун С. Н., Осипенко А. А.]. – К. : Олимпийская литература, 2000. – 504 с.

2. Осипенко Г. А. Основи біохімії м'язової діяльності : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів фізичного виховання і спорту / Г. А. Осипенко. – К. : Олімпійська література, 2007. – 200 с.

3. Явоненко О. Ф. Біохімія: [підручник для студентів спеціальності «Фізична культура» педагогічних університетів] / О. Ф. Явоненко, Б. В. Яковенко. Суми : ВТД «Університетська книга», 2002. – 380 с.

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	3
1. Хімія м'язів та м'язового скорочення .....	4
2. Біоенергетика м'язової діяльності .....	14
3. Біохімічна характеристика фізичних вправ .....	21
4. Біохімічні зміни в організмі при м'язовій роботі.....	23
5. Біохімічні основи уроку фізичної культури та спортивного тренування.....	27
6. Біохімічні зміни в організмі після фізичного навантаження .....	39
7. Біохімічні основи рухових якостей .....	46
8. Біохімічні особливості харчування у спорті.....	54
9. Біохімічний контроль у спортивній діяльності .....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	97

**КВАК Ольга Вікторівна**

# **БІОХІМІЯ СПОРТУ**

*Навчальний посібник*

для підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
зі спеціальності 014.11 Середня освіта (Фізична культура)  
та 017 Фізична культура і спорт

Підписано до друку 31.10.2023 р. Формат: 60x84/16. Друк офсетний.  
Гарнітура «Times New Roman» Ум. друк. арк. 5,7.  
Зам. № 2023-321. Наклад 100 прим.

**Друк ПП «Астроя»**  
36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4  
Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694  
Дата державної реєстрації та номер запису в ЄДР  
14.12.1999 р. № 1 588 120 0000 010089