

Міністерство освіти і науки України  
Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА)

**БІОХІМІЯ ТА БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ  
СПОТРИВНОГО ТРЕНУВАННЯ**

**Стислий конспект лекцій**

**для студентів спеціальності  
017 «Фізична культура і спорт»**

Затверджено  
на засіданні  
методичної ради

Краматорськ  
ДДМА  
2020

Біохімія та біохімічні основи спортивного тренування: стислий конспект лекцій для студентів спеціальності 017 «Фізична культура і спорт» / уклад. Г. О. Санталова, А. П. Авдеєнко, – Краматорськ : ДДМА, 2020. – 86 с.

Навчальний посібник з дисципліни «Біохімія та біохімічні основи спортивного тренування» призначений для ознайомлення з теоретичним матеріалом і покликаний допомогти студентам у вивченні питань, що стосуються основ біохімії спортивних тренувань. У посібнику розглядаються такі питання, як поняття про будову білків, вуглеводів, жирів, нуклеїнових кислот і ферментативний каталіз, етапи метаболізму і біологічне окиснення, обмін води і солей, вітаміни, біохімія м'язового скорочення, енергетичне забезпечення м'язового скорочення, біохімічні зрушення при м'язовій роботі, стомленні, відновленні, загальні біохімічні закономірності адаптації до м'язової роботи, біохімічні основи працездатності та способи підвищення працездатності.

Укладачі

Г. О. Санталова, доц.  
А. П. Авдеєнко, проф.

Відп. за випуск

А. П. Авдеєнко, проф.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
Тема 1. Будова білків і ферментативного каталізу.....	5
Тема 2. Етапи метаболізму і біологічне окислення.....	11
Тема 3. Будова та обмін вуглеводів .....	14
Тема 4. Будова та обмін жирів і ліпоїдів .....	18
Тема 5. Будова та обмін нуклеїнових кислот.....	22
Тема 6. Обмін білків .....	27
Тема 7. Обмін води і солей. Вітаміни .....	32
Тема 8. Гормони. Біохімія крові і сечі .....	37
Тема 9. Біохімія м'язового скорочення.....	41
Тема 10. Енергетичне забезпечення м'язового скорочення.....	45
Тема 11. Біохімічні зрушення при м'язовій роботі.....	52
Тема 12. Біохімічні механізми втоми.....	58
Тема 13. Біохімічні закономірності відновлення після м'язової роботи.....	62
Тема 14. Біохімічні закономірності адаптації до м'язової роботи .....	65
Тема 15. Біохімічні основи працездатності.....	72
Тема 16. Біохімічні способи підвищення спортивної працездатності .....	78
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	85

## ВСТУП

Біохімічні дослідження відіграють важливу роль у вивченні процесів адаптації організму до фізичних навантажень і інших впливів зовнішнього середовища, в пошуках ефективних засобів і методів підвищення працездатності, регламентації спортивної діяльності і відпочинку, відборі для занять спортом, оцінці рівня тренуваності і раціонального харчування спортсменів, розробці шляхів реабілітації після фізичного перенавантаження або спортивних травм. В зв'язку з цим при підготовці спеціалістів в області фізичного виховання і спорту, фізичної реабілітації на базовому етапі підготовки студенти повинні отримати глибокі знання по біохімії спортивних тренувань, що допоможе успішно вирішувати питання їх практичної діяльності.

Навчальний посібник з дисципліни «Біохімія та біохімічні основи спортивного тренування» призначений для ознайомлення з теоретичним матеріалом і покликаний допомогти студентам у вивченні питань, що стосуються основ біохімії спортивних тренувань. У посібнику розглядаються такі питання основ загальної біохімії, як поняття про будову білків, вуглеводів, жирів, нуклеїнових кислот і ферментативний каталіз, етапи метаболізму і біологічне окислення, обмін води і солей, вітаміни. Також розглядаються питання основ загальної спортивної біохімії: біохімія м'язового скорочення, енергетичне забезпечення м'язового скорочення, біохімічні зрушення при м'язовій роботі, стомленні, відновленні, загальні біохімічні закономірності адаптації до м'язової роботи, біохімічні основи працездатності та способи підвищення працездатності.

Знання та вирішення цих важливих питань сприятиме підвищенню ефективності цілеспрямованого управління процесом підготовки спортсменів, досягненню більш високого рівня спортивних результатів.

## Тема 1. БУДОВА БІЛКІВ І ФЕРМЕНТАТИВНОГО КАТАЛІЗУ

**Біохімія** вивчає хімічні процеси, що відбуваються в живих системах. Інакше кажучи, біохімія вивчає хімію життя. Наука ця відносно молода. Вона народилася в 20 столітті. Умовно курс біохімії можна розділити на три частини.

**Загальна біохімія** займається загальними закономірностями хімічного складу та обміну речовин різних живих істот від найдрібніших мікроорганізмів до людини. Виявилось, що ці закономірності багато в чому повторюються.

**Приватна біохімія** займається особливостями хімічних процесів, що протікають в окремих групах живих істот. Наприклад, біохімічні процеси у рослин, тварин, грибів і мікроорганізмів мають свої особливості, причому, в ряді випадків дуже істотні.

**Функціональна біохімія** займається особливостями біохімічних процесів, що протікають в окремих організмах, пов'язаних з особливостями їхнього способу життя. Напрямок функціональної біохімії, що досліджує вплив фізичних вправ на організм спортсмена, називається **біохімією спорту** або **спортивної біохімією**.

Розвиток фізичної культури і спорту вимагає від спортсменів і тренерів хороших знань в області біохімії. Це пов'язано з тим, що без розуміння того, як працює організм на хімічному, молекулярному рівнях важко сподіватися на успіх в сучасному спорті. Багато методик тренування і відновлення базуються в наш час саме на глибокому розумінні того, як працює організм на субклітинному і молекулярному рівнях. Без глибокого розуміння біохімічних процесів неможливо боротися і допінгом – зло, яке може погубити спорт.

Роль білків в організмі важко переоцінити. Саме тому наш курс починається з опису ролі і будови саме цього класу біоорганічних сполук. Білки в організмі виконують такі функції.

**1. Структурна або пластична функція.** Білки є універсальним будівельним матеріалом, з якого складаються практично всі структури живих клітин. Наприклад, в організмі людини білки складають близько 1/6 від маси тіла. Причому, у тренуваних людей з добре розвиненими м'язами ця цифра може бути і вище.

**2. Каталітична функція.** Багато білків, що називаються ферментами або ензимами, виконують в живих системах функцію каталізаторів, тобто змінюють швидкості протікання хімічних реакцій (про що докладно буде сказано нижче).

**3. Скорочувальна функція.** Саме білкові молекули лежать в основі всіх форм руху живих систем. М'язове скорочення – це, перш за все робота білків.

**4. Регуляторна функція.** В основі цієї функції лежить здатність білкових молекул реагувати і з кислотами і основами, що в хімії називається амфотерністю. Білки беруть участь в створенні гомеостазу організму. Багато білків є гормонами.

**5. Рецепторна функція.** В основі цієї функції лежить здатність білків реагувати на виникаючі зміни умов внутрішнього середовища організму. Різні рецептори в організмі, чутливі до температури, тиску, освітленості і є білками. Рецептори гормонів – це теж білки.

**6. Транспортна функція.** Білкові молекули мають великий розмір, добре розчинні у воді, що дозволяє їм легко переміщатися з водних розчинів і переносити різні речовини. Наприклад, гемоглобін переносить гази, альбуміни крові переносять жири і жирні кислоти.

**7. Захисна функція.** Білки захищають організм, перш за все, беручи участь у створенні імунітету.

**8. Енергетична функція.** Білки не є головними учасниками енергетичного обміну, але все ж до 10 % добової потреби організму в енергії забезпечують саме вони. У той же час, це занадто цінний продукт, щоб використовувати його, як джерело енергії. Тому білки використовуються в якості джерела енергії тільки після вуглеводів і жирів.

**Білки** – це високомолекулярні азотвмісні сполуки, що складаються з амінокислот. До складу білків входять сотні залишків амінокислот. Однак всі білки, незалежно від походження утворюються 20 видами амінокислот. Ці 20 амінокислот називають протеїногенні.

**Амінокислоти** містять карбоксильну групу  $\text{COOH}$  і аміногрупу  $\text{NH}_2$ . Правда, деякі білки все ж містять в дуже малих кількостях амінокислоти, що не входять до складу протеїногенних. Такі амінокислоти називають мінорними. Вони утворюються з протеїногенних амінокислот після завершення синтезу білкових молекул.

Амінокислоти з'єднуються один з одним пептидним зв'язком, утворюючи довгі нерозгалужені ланцюги – **поліпептиди**. **Пептидний зв'язок** виникає при взаємодії карбоксильної групи однієї амінокислоти і аміногрупи іншої з виділенням води. Пептидні зв'язки мають високу міцність, їх утворюють всі амінокислоти. Саме, ці зв'язки утворюють перший рівень організації білкової молекули – **первинну структуру білка**. Первинна структура – це послідовність амінокислотних залишків у поліпептидному ланцюзі білка.

**Вторинна структура** білка представляє собою спіральну структуру, утворену, головним чином, за рахунок водневих зв'язків.

**Третинна структура** білка представляє собою глобулу або клубочок, в яку згортається вторинна спіраль в деяких білках. В утворенні глобули беруть участь різні міжмолекулярні сили, перш за все дисульфідні містки. Оскільки дисульфідні зв'язки утворюються амінокислотами, які містять сірку, то глобулярні білки зазвичай містять багато сірки.

Деякі білки утворюють **четвертинну структуру**, що складається з декількох глобул, що називаються субодинами. Наприклад, молекула гемоглобіну складається з чотирьох субодинами, що виконують єдину функцію.

Всі структурні рівні молекули білка залежать від первинної структури. Зміни в первинній структурі ведуть до змін на інших рівнях організації білка.

Класифікація білків базується на їхньому хімічному складі. Відповідно до цієї класифікації білки бувають прості і складні. Прості білки складаються тільки з амінокислот, тобто з одного або декількох поліпептидів. До простих білків, які є в організмі людини, відносяться альбуміни, глобуліни, білки опорних тканин.

У молекулі складного білка, крім амінокислот, ще є неамінокислотна частина, яка називається **простетичною групою**. Залежно від будови цієї групи виділяють такі складні білки, як **фосфопротеїди** (містять фосфорну кислоту), **нуклеопротеїни** (містять нуклеїнових кислот), **глікопротеїди** (містять вуглевод), **ліпопротеїди** (містять ліпоїди) та інші.

Відповідно до класифікації, яка базується на просторовій формі білків, білки поділяються на фібрилярні і глобулярні.

Фібрилярні білки складаються зі спіралей, тобто переважно з вторинної структури. Молекули глобулярних білків мають кулясту і еліпсоїдну форму.

Прикладом фібрилярних білків є **колаген** – найпоширеніший білок в тілі людини. На частку цього білка припадає 25 – 30 % від загального числа білків організму. Колаген має високу міцність і еластичність. Він входить до складу судин м'язів, сухожилів, хрящів, кісток, стінки судин.

Прикладом глобулярних білків є альбуміни і глобуліни плазми крові.

Однією з головних особливостей білків є їх велика молекулярна маса, яка коливається в діапазоні від 6000 до кількох мільйонів дальтон.

Іншою важливою фізико-хімічною властивістю білків є їх **амфотерність**, тобто наявність, як кислотних, так і основних властивостей. Амфотерність пов'язана з наявністю в складі деяких амінокислот вільних карбоксильних груп, тобто кислотних, і аміногруп, тобто лужних. Це призводить до того, що в кислому середовищі білки проявляють лужні властивості, а в лужному середовищі – кислотні. Однак за певних умов білки проявляють нейтральні властивості. Значення рН, при якому білки проявляють нейтральні властивості, називається **ізоелектричною точкою**. Ізоелектрична точка для кожного білка індивідуальна. Білки за цим показником ділять на два великі класи – кислі і лужні, так як ізоелектрична точка може бути зрушена або в одну, або в іншу сторону.

Ще одна важлива властивість білкових молекул – це **розчинність**. Незважаючи на великий розмір молекул білки досить добре розчинні у воді. Причому розчини білків у воді досить стійкі. Першою причиною розчинності білків є наявність на поверхні молекул білків заряду, завдяки

чому білкові молекули практично не утворюють нерозчинні в воді агрегати. Другою причиною стійкості білкових розчинів є наявність у білкової молекули гідратної (водної) оболонки. Гідратна оболонка відокремлює білки один від одного.

Третя важлива фізико-хімічна властивість білків – це **висолювання**, тобто здатність випадати в осад під дією водовіднімаючих засобів. Висолювання – процес оборотний. Ця здатність то переходити в розчин, то виходити з нього дуже важлива для прояву багатьох життєвих властивостей.

Нарешті, найважливішою властивістю білків є його здатність до денатурації. **Денатурація** – це втрата білком нативної (первинної) структури. Коли ми робимо яєчню на сковороді, ми отримуємо необоротну денатурацію білка. Денатурація полягає в постійному або тимчасовому порушенні вторинної і третинної структури білка, але при цьому первинна структура зберігається. Крім температури (вище 50 градусів) денатурацію можуть викликати інші фізичні фактори: випромінювання, ультразвук, вібрація, сильні кислоти і луги. Денатурація може бути оборотною і безповоротною. При невеликих впливах руйнування вторинної та третинної структур білка відбувається незначне. Тому білок при відсутності денатуруючого впливу може відновити свою нативну структуру. Процес зворотний денатурації називається **ренатурація**. Однак при тривалому і сильному впливі ренатурація стає неможливою, а денатурація, таким чином, незворотною.

**Ферменти** або **ензими** – це білки, які виконують в організмі каталітичні функції. Каталіз передбачає, як прискорення, так і сповільнення хімічних реакцій.

Ферменти практично завжди прискорюють хімічні реакції в організмі, причому, прискорюють в десятки і сотні разів. У інших реакцій, що проходять під контролем ферментів, швидкість в їх відсутності падає практично до нуля.

Ділянка ферменту, який бере безпосередню участь в каталізі, називається активним центром. Він може бути по різному організований у ферментів, що мають тільки третинну і четвертинну структуру. У складних білків в утворенні активного центра беруть участь, як правило, все субодиниці, а також їх простетичної групи.

В активному центрі виділяють дві ділянки – адсорбційна і каталітична.

**Адсорбційна ділянка** – це центр зв'язування. Він за своєю будовою відповідає структурі реагуючих речовин, які називаються в біохімії субстратами. Кажуть, що субстрати і адсорбційний центр ферменту збігаються як ключ і замок. У більшості ферментів один активний центр, але бувають ферменти, які мають кілька активних центрів.

Треба сказати, що в ферментативній реакції бере участь не тільки активний центр, а й інші його частини. Загальна конформація ферменту



грає важливу роль в його активності. Тому, зміна навіть однієї амінокислоти в частині молекули, яка не має відношення безпосередньо до активного центру, може сильно вплинути на активність ферменту і навіть звести її до нуля. Завдяки зміні конформації ферменту відбувається «пристосування» його активного центру до структури субстратів, які беруть участь в прискоренні ферментом реакції.

Треба пам'ятати, що при здійсненні каталітичної функції, сам каталізатор не змінює своєї хімічної природи. Це твердження справедливо і для ферментів.

У будь-якій каталітичній реакції, що здійснюється ферментами, розрізняють **три стадії**:

**1.** Утворення фермент-субстратного комплексу. На цій стадії активний центр, зв'язується з субстратами за рахунок слабких зв'язків, зазвичай водневих. Особливістю цього етапу є повна оборотність, так як фермент-субстратний комплекс легко може розпадатися на фермент і субстрати. На цій стадії виникає сприятлива орієнтація молекул субстратів, що сприяє прискоренню їх взаємодії.

**2.** Ця стадія проходить за участю каталітичною ділянки активного центру. Сутність цього етапу полягає в зниженні енергії активації і прискоренні реакції між субстратами. Результатом цього етапу є утворення нового продукту.

**3.** На цій стадії відбувається відділення готового продукту від активного центру зі звільненням ферменту, який знову готовий для здійснення своєї функції.

У клітині ферменти, що каталізують багатостадійні процеси, часто об'єднуються в комплекси, що називаються мультиферментними системами. Найчастіше ці комплекси вбудовані в біомембрани або пов'язані з органоїдами клітин. Таке об'єднання ферментів робить їх роботу більш ефективною.

У деяких випадках білки-ферменти містять небілкові компоненти, які беруть участь в каталізі. Такі небілкові елементи називаються **коферментами**. Більшість коферментів в своєму складі містять вітаміни.

Найважливішою властивістю ферментів є їх висока специфічність. У біохімії існує правило: одна реакція – один фермент. Розрізняють два види специфічності: специфічність дії і субстратна специфічність.

**Специфічність дії** – це здатність ферменту каталізувати тільки один певний тип хімічної реакції. Якщо субстрат може вступати в різні реакції, то для кожної реакції потрібен свій фермент.

**Субстратна специфічність** – це здатність ферменту діяти тільки на певні субстрати. Вона буває абсолютна і відносна. При абсолютній специфічності фермент каталізує перетворення тільки одного субстрату. При відносній – може бути група схожих субстратів.

В основі хімічних реакцій лежить енергія активації. Якщо енергія активації висока, то речовини не можуть вступити в реакцію або швидкість їх взаємодії буде низькою. Ферменти знижують поріг енергії активації.

Швидкість ферментативних реакцій істотно залежить від багатьох факторів. До них відносяться концентрації речовин учасників ферментативної реакції, а також умови середовища, в яких протікає реакція.

Показано, що чим вище концентрація ферменту, тим вище швидкість реакції. Це пояснюється тим, що концентрація ферменту набагато нижче концентрації субстрату. При низьких концентраціях субстрату швидкість проходження реакції прямо пропорційна концентрації субстратів. Однак у міру зростання концентрації субстрату вона починає сповільнюватися і, нарешті, досягнувши максимальної швидкості, перестає рости. Це пов'язано з тим, що в міру збільшення концентрації субстрату кількість вільних активних центрів стає обмежуючим фактором.

Температура впливає на ферментативні реакції своєрідно. Справа в тому, що ферменти – це білки, а це значить, що при високих температурах (вище 80 градусів), вони повністю втрачають активність. Тому для ферментативних реакцій існує поняття температурного оптимуму. Таким оптимумом для більшості ферментів є температура тіла 37 – 40 градусів. При низьких температурах ферменти також неактивні.

Ще одним фактором, що визначає активність ферментів, є рН середовища. Тут для кожного ферменту існує свій рН-оптимум. Наприклад ферменти шлункового соку мають рН-оптимум в кислому середовищі (рН 1,0 – 2,0), а ферменти підшлункової залози працюють в лужному середовищі (рН 9,0 – 10,0).

Крім зазначених вище факторів на швидкість ферментативних реакцій надають різні речовини – інгібітори і активатори.

**Інгібітори** – це, частіше за все, низькомолекулярні речовини, які гальмують швидкість реакції. Інгібітор зв'язується з ферментом, заважаючи йому здійснювати свою функцію.

**Активатори** – речовини, вибірково підвищують швидкість ферментативних реакцій.

Гормони можуть виступати і активаторами і інгібіторами ферментів.

Швидкість ферментативних реакцій залежить і від ряду інших факторів:

- зміна швидкості синтезу ферментів;
- модифікація ферментів;
- зміна конформації ферменту.

### **Контрольні питання до теми**

1. Чим займається біохімія?
2. Біологічна роль білків.

3. Будова молекули білка.
4. Класифікація білків.
5. Фізико-хімічні властивості білків.
6. Будова ферментів.
7. Механізм дії ферментів. Специфічність.
8. Від чого залежить швидкість ферментативних реакцій?

## Тема 2. ЕТАПИ МЕТАБОЛІЗМУ І БІОЛОГІЧНЕ ОКИСЛЕННЯ

Обов'язковою умовою життя є обмін речовин меду живим організмом і навколишнім середовищем. З зовнішнього середовища в організм надходять джерела енергії, будівельні матеріали для різних синтезів, вітаміни, мінеральні речовини, вода і кисень. З організму зовні видаляються кінцеві продукти хімічних процесів, що протікають в організмі: вуглекислий газ, вода, аміак (у формі сечовини).

Обмінні процеси, що протікають в організмі, можна умовно розділити на два етапи: травлення і метаболізм.

**1. Травлення** – це процес в ході якого харчові речовини, як правило високомолекулярні і для організму чужорідні, під дією травних ферментів розщеплюються і перетворюються в прості сполуки – універсальні для всіх живих організмів. Білки, наприклад, розпадаються на амінокислоти точно такі ж як амінокислоти самого організму. З вуглеводів їжі утворюється універсальний моносахарид – глюкоза. Тому кінцеві продукти травлення можуть вводитися у внутрішнє середовище організму і використовуватися клітинами для різноманітних цілей.

**2. Метаболізм** – це сукупність хімічних реакцій, що протікає у внутрішньому середовищі організму. Правда, іноді слово «метаболізм» розуміють як синонім обміну речовин.

**Виділення** – це процес видалення відпрацьованих речовин з організму. Цей процес відбувається, як на останніх етапах травлення, так і в ході метаболізму. В останньому випадку у виділенні бере участь кров і особливі органи виділення продуктів розпаду азотистих речовин – нирки.

Розглянемо, однак, більш докладно власне метаболізм.

Метаболізм включає в себе два процеси, які є двома його нерозривними сторонами: катаболізм і анаболізм.

**Катаболізм** – це процеси розщеплення речовин, результатом яких є отримання енергії і отримання молекул меншого розміру. Кінцевими продуктами катаболізму є вуглекислий газ, вода, аміак.

Катаболізм в організмі людини і більшості живих істот характеризується наступними особливостями.

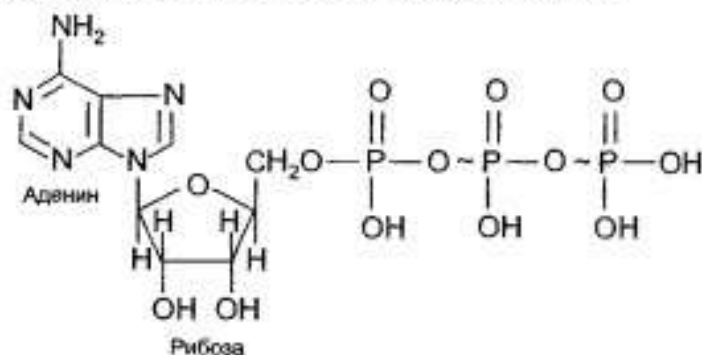
- В процесі катаболізму переважають реакції окислення.
- Катаболізм протікає зі споживанням кисню.
- В процесі катаболізму виділяється енергія, приблизно половина якої акумулюється в формі молекул **аденозинтрифосфату (АТФ)**. Значна частина енергії виділяється вигляді тепла.

**Анаболізм** – це реакції синтезу. Для цих процесів характерні наступні особливості.

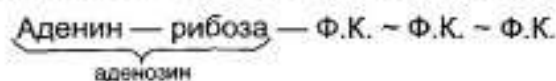
- Анаболізм – це, головним чином, реакції відновлення.
- У процесі анаболізму відбувається споживання водню.
- Джерелом енергії для реакцій анаболізму служить АТФ.

**Аденозинтрифосфат (АТФ)** – це універсальна енергетична речовина організму.

Структурна формула АТФ має наступний вигляд:



В упрощеному вигляді будова АТФ можна зобразити схемою:



Особливістю молекули АТФ є те, що другий і третій залишки фосфорної кислоти приєднуються зв'язком, багатим енергією, інакше він називається **макроергічним зв'язком**. Часто сполуки, що мають макроергічний зв'язок позначаються терміном «макроергів» або макроергічні речовини.

При використанні АТФ в якості джерела енергії зазвичай відбувається відщеплення шляхом гідролізу останнього залишку фосфорної кислоти.



У фізіологічних умовах, тобто за умов, які є в живій клітині, розщеплення завдяки АТФ супроводжується виділенням 10 – 12 ккал енергії (43 – 50 кДж).

Головними споживачами енергії АТФ в організмі є

- реакції синтезу;
- м'язова діяльність;
- транспорт молекул і іонів через мембрани.

Таким чином біологічна роль АТФ полягає в тому, що ця речовина в організмі є свого роду еквівалентом ЄВРО або долара в економіці.

Основним постачальником АТФ в клітині є тканинне дихання – завершальний етап катаболізму, що протікає в мітохондріях більшості клітин організму.

**Тканинне дихання** – це основний спосіб отримання АТФ, використовується абсолютною більшістю клітин організму. В процесі тканинного дихання від речовини, що окислюється, віднімаються два атоми водню і по дихальному ланцюгу, що складається з ферментів і коферментів, передаються на молекулярний кисень, що доставляється кров'ю з повітря в усі тканини організму. В результаті приєднання атомів кисню і водню утворюється вода. За рахунок енергії, що виділяється при русі електронів, по дихальному ланцюгу, в мітохондріях здійснюється синтез АТФ з АДФ і фосфорної кислоти. Зазвичай синтез трьох молекул АТФ супроводжується утворенням однієї молекули води.

В якості субстрату окиснення в тканинному диханні використовуються різноманітні проміжні продукти розпаду вуглеводів, жирів і білків. Однак найбільш часто піддаються окисненню проміжні продукти **циклу лимонної кислоти**, який інакше називається циклом трикарбонових кислот або циклом Кребса (ізолімонна, альфа-кетоглутарова, бурштинова, яблучна кислоти – це субстрати циклу трикарбонових кислот). Цикл лимонної кислоти – це завершальний етап катаболізму, в ході якого відбувається окиснення залишку оцтової кислоти, що входить в ацетилкофермент А до вуглекислого газу і води. У свою чергу ацетилкофермент А – універсальна речовина організму, в яку при своєму розпаді перетворюються головні органічні речовини – білки, жири і вуглеводи. Тканинне дихання – це складний ферментативний процес.

При русі по дихальному ланцюгу виділяється енергія, яка акумулюється у вигляді молекул АТФ. Цей процес називається окислювальним або дихальним фосфорилуванням. За добу в організмі утворюється не менше 40 кг АТФ. Особливо інтенсивно ці процеси йдуть в м'язах при фізичній роботі.

У деяких випадках відщеплення атома водню від речовин, що окислюються, відбувається в цитоплазмі. Ці процеси відбуваються без участі кисню. Тому акцептори водню тут інші. Найбільш часто водень приєднує пірвіноградна кислота, що утворюється при розпаді вуглеводів і амінокислот. Пірвіноградна кислота може приєднати водень і таким чином перетворитися в лактат або молочну кислоту. Такий процес, що відбувається, зокрема в м'язах при нестачі кисню, називається **анаеробним окисненням** або **гліколізом**. За рахунок енергії, що виділяється при цьому, в цитоплазмі також йде утворення АТФ. Процес утворення АТФ в цитоплазмі отримав назву **анаеробного або субстратного фосфорилування**. Цей процес набагато менш ефективний, ніж тканинне дихання.

У деяких випадках при окисненні атоми кисню включаються в молекули речовин, що окисляються. Таке окиснення протікає на

мембранах ендоплазматичної мережі і називається **мікросомальне окислення**. За рахунок включення кисню субстрату, що окислюється, виникає гідроксильна група ( $-\text{OH}$ ). Тому цей процес часто називають гідроксилування. У цьому процесі активну участь бере аскорбінова кислота або вітамін С.

Біологічна роль цього процесу не пов'язана з синтезом АТФ.

У рідкісних випадках кисень, що надходить з повітря в організм, перетворюється в активні форми ( $\text{O}_2$ ,  $\text{HO}_2$ ,  $\text{HO}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  та ін.), що називаються вільними радикалами або оксидантами. Вільні радикали кисню викликають реакції окислення, що зачіпають білки, жири, нуклеїнові кислоти. Це окислення отримало назву **вільнорадикальне окислення**.

Вважається, що вільні радикали кисню виконують також захисну функцію, окислюючи різні чужорідні речовини, що надходять в організм ззовні, в тому числі мембранні білки і ліпоїди патогенних мікроорганізмів.

### **Контрольні питання до теми**

1. Загальна характеристика обміну речовин.
2. Будова і біологічна роль АТФ.
3. Тканинне дихання.
4. Анаеробне, мікросомальне і вільнорадикальне окислення.

## **Тема 3. БУДОВА ТА ОБМІН ВУГЛЕВОДІВ**

**Вуглеводи** – це природні органічні речовини, що містять альдегідну ( $-\text{CH}=\text{O}$ ) або кетон- ( $> \text{C}=\text{O}$ ) групи і кілька гідроксильних груп ( $-\text{OH}$ ). Вуглеводи, виконуючи різні життєво важливі функції, служать вихідним матеріалом для біосинтезу багатьох органічних сполук живих організмів. У природі вуглеводи утворюються в результаті фотосинтезу, що здійснюється рослинами за участю оксиду вуглецю (IV), води і поглинають сонячне світло пігментів (хлорофіл та ін.).

Для рослин одні види вуглеводів служать будівельним матеріалом, виконуючи опорну функцію (целюлоза), інші – джерелом резервної енергії (крохмаль, інсулін). Для людини і тварин вуглеводи є продуктами харчування з високою енергетичною цінністю. В організмі крохмаль, дисахариди, а в деяких випадках і целюлоза під впливом ферментів розпадаються з утворенням в основному глюкози, яка окислюється в тканинах до вуглецю (IV) оксиду і води з виділенням енергії. І саме, глюкоза запускає енергетичний обмін в нашому організмі. Надлишок

глюкози перетворюється в глікоген, що запасується в печінці і м'язах. Глікоген насичує організм глюкозою при виконанні фізичних навантажень, а також при нестачі або відсутності їжі. Вуглеводи входять до складу гліколіпідів, глікопротеїдів, нуклеотидів, нуклеозидів і нуклеїнових кислот, що становлять, як відомо, основу живої матерії.

Вуглеводи діляться на три основні класи: **моносахариди**, **олігосахариди** (від 2 до 10) і **полісахариди**.

**Моносахариди** або прості сахара не піддаються гідролізу і отримати з них більше прості вуглеводи неможливо. До моносахаридів відносяться: рибоза, дезоксирибоза, глюкоза, фруктоза, галактоза і інші.

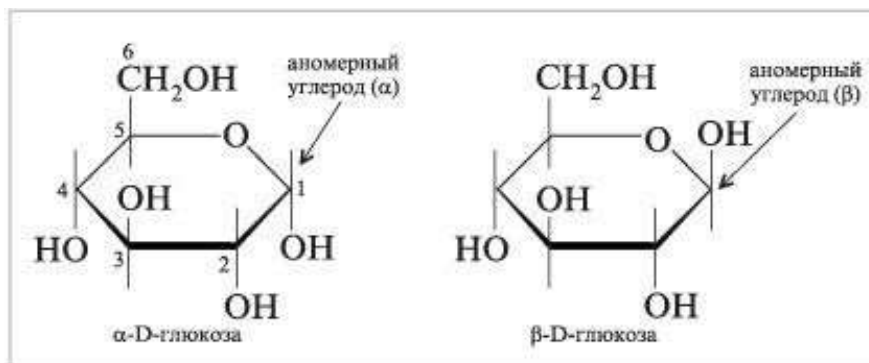
**Олігосахариди** складаються з декількох моносахаридів, з'єднаних ковалентними зв'язками. При гідролізі вони розпадаються на моносахариди, з яких вони складаються. Прикладом олігосахаридів можуть служити дисахариди, що складаються з двох молекул моносахаридів. Найбільш поширені дисахариди сахарози (харчовий або тростинний цукор), що складається із залишків глюкози і фруктози; лактози (молочний цукор), що складається із залишків глюкози і галактози.

**Полісахариди** – це довгі нерозгалужені ланцюги. Включають сотні і тисячі моносахаридних залишків. Найбільш відомі з них – крохмаль, целюлоза, глікоген (складаються із залишків глюкози).

Функції вуглеводів в організмі дуже різноманітні.

1. Енергетична.
2. Структурна функція (входять до складу клітинних структур).
3. Захисна (синтез імунних тіл у відповідь на антигени).
4. Антисгортанна (гепарин).
5. Гомеостатична (підтримання водно-сольового обміну).
6. Механічна (входять до складу з'єднувальних і опорних тканин).

Емпірична формула глюкози  $C_6H_{12}O_6$ . Вона може мати різні просторові форми. В організмі людини глюкоза як правило знаходиться в циклічній формі:



Вільна глюкоза в організмі людини в основному знаходиться в крові, де її зміст досить постійно і коливається в діапазоні від 3,9 до 6,1 ммоль/л. **Глюкоза головне джерело енергії в організмі.**

Іншим типовим вуглеводом для людини є **глікоген**. Складається глікоген з сильно розгалужених молекул великого розміру, що містять десятки тисяч залишків глюкози. Емпірична формула глікогену:  $(C_6H_{12}O_5)_n$ , де  $n$  число залишків глюкози. Основні запаси глікогену зосереджені в печінці і м'язах. Глікоген є запасною формою глюкози.

У нормі з їжею надходить 400 – 500 г вуглеводів. Це, головним чином, крохмаль, клітковина, сахароза, лактоза, глікоген. Перетравлення вуглеводів відбувається в різних частинах травного тракту, починаючи з ротової порожнини. Здійснюють його ферменти **амілази**. Єдиний вуглевод, який не розщеплюється в нашому організмі – це клітковина. Всі інші розщеплюються до глюкози, фруктози, галактози і т.п. і залучаються до процесів катаболізму. Значна частина глюкози перетворюється в печінці в глікоген. Між прийомами їжі частина глікогену в печінці перетворюється в глюкозу, яка надходить у кров.

Глюкоза, яка використовується для синтезу глікогену, попередньо активується. Потім після ряду перетворень утворює глікоген. У цьому процесі бере участь нуклеотид УТФ (урідинтрифосфат), який за будовою нагадує АТФ. В ході реакцій утворюється проміжна сполука – уридіндіфосфатглюкози (УДФ-глюкоза). Саме ця сполука утворює молекули глікогену, вступаючи в реакцію з так званою затравкою. Затравкою служать наявні в печінці молекули глікогену.

Реакції утворення глікогену забезпечуються енергією молекулами АТФ. Синтез глікогену прискорюється гормоном **інсуліном**.

Розпад глікогену в печінці здійснюється в зворотному порядку і в підсумку утворюється глюкоза і фосфорна кислота. Цей процес прискорюється гормонами глюкагоном і адреналіном. Розпад глікогену в м'язах стимулює гормон адреналін, який виділяється в кров під час м'язової роботи. При цьому в м'язах не утворюється вільна глюкоза і шлях розщеплення глікогену дещо інший.

Катаболізм глюкози здійснюється двома шляхами.

1) Основна частина вуглеводів (до 95 %) піддається розпаду по **гексозодінофосфатному шляху** (ГДФ-шлях). Саме цей шлях є основним джерелом енергії для організму.

2) Інша частина глюкози розщеплюється через **гексозомонофосфатний шлях**.

ГДФ-шлях може протікати в умовах відсутності кисню – анаеробно і в присутності кисню, тобто в аеробних умовах. Це дуже складний ланцюг послідовних реакцій, кінцевим результатом якого є утворення вуглекислого газу і води. Цей процес можна розбити на три етапи, які послідовно йдуть один за одним.

**Перший етап**, так званий **гліколіз**, відбувається в цитоплазмі клітин. Кінцевим продуктом цього етапу є піровиноградна кислота.

Загальне рівняння гліколізу виглядає так:





Перший етап розпаду вуглеводів практично оборотній. З пірувату, а також з лактату (молочна кислота), що виникає в анаеробних умовах, може синтезуватися глюкоза, а з неї глікоген.

**Другий і третій етапи** ГДФ-шляху протікають в мітохондріях. Ці етапи вимагають присутності кисню. В ході другого етапу від піровиноградної кислоти відщеплюється вуглекислий газ і два атоми водню. Атоми водню, що відчепилися, по дихальному ланцюгу передаються на кисень з одночасним синтезом АТФ. З пірувату ж утворюється оцтова кислота. Вона приєднується до особливій речовині, **коферменту А**. Ця речовина є переносником залишків кислот. Результатом цього процесу є утворення речовини ацетилкофермент А. Ця речовина має високу хімічну активність.

**Ацетилкофермент А** піддається подальшому окисленню в циклі трикарбонових кислот. Це і є **третій етап**. Першою реакцією циклу є взаємодія ацетилкоферменту А зі щавлево-оцтовою кислотою з утворенням лимонної кислоти. Тому ці реакції і називають циклом лимонної кислоти. Утворюючи ряд проміжних трикарбонових кислот лимонна кислота знову перетворюється в щавлево-оцтову і цикл повторюється. Результатом цих реакцій є утворення відщепленого водню, який, пройшовши по дихальному ланцюгу, утворює з киснем воду. В результаті всіх цих реакцій утворюється 36 молекул АТФ. В сумі ГДФ-шлях дає 38 молекул АТФ в перерахунку на одну молекулу глюкози:



Розщеплення глікогену додає до цього рівняння ще одну молекулу АТФ.

При нестачі кисню аеробний шлях переривається утворенням пірувату, який перетворюється в лактат. В результаті таких перетворень утворюються лише дві молекули АТФ.

Як уже підкреслювалося вище ГМФ-шлях розпаду вуглеводів – побічний. Даний шлях зустрічається в надниркових залозах, еритроцитах, жирової тканини, печінки і протікає в цитоплазмі клітин.

ГМФ-шлях розпаду глюкози має анаболічне призначення і забезпечує різні реакції синтезу рибозою і воднем. ГМФ-шлях можна розділити на два етапи, причому, перший етап протікає обов'язково, а другий не завжди.

**Перший етап** починається з переходу глюкози в активну форму **глюкозо-6-фосфат**, від якого потім відщеплюється молекула вуглекислого газу і дві пари атомів водню, які приєднуються до коферменту НАДФ (нікотинамідаденіндінуклєотидфосфат). Кінцевим продуктом першого етапу є **рибоза-5-фосфат**.

НАДФ Н<sub>2</sub>, що утворився в результаті першого етапу, поставляє атоми водню в різні процеси синтезу, зокрема для синтезу жирних кислот і холестерину. Рибоза-5-фосфат використовується для синтезу нуклеотидів, з яких утворюються потім нуклеїнові кислоти і коферменти.

**Другий етап** протікає тоді, коли рибоза-5-фосфат повністю не витрачається для синтезу. Невикористані молекули цієї речовини вступають у взаємодію один з одним, в ході якої вони обмінюються групами атомів і в якості проміжних продуктів з'являються моносахариди з різним числом атомів вуглецю, такі як тріози, пентози, тетрози, гексози. В кінцевому підсумку з шести молекул рибоза-5-фосфату утворюється 5 молекул **глюкозо-6-фосфату**.

Таким чином, другий етап робить даний спосіб розпаду глюкози циклічним, тому його називають пентозним циклом. **Пентозний цикл** – це резервний шлях енергетичного обміну, який в ряді випадків може висуватися на перші ролі.

### **Контрольні питання до теми**

1. Загальна характеристика та класифікація вуглеводів. Функції вуглеводів в організмі.
2. Будова і біологічна роль глюкози і глікогену. Синтез і розпад глікогену.
3. Катаболізм вуглеводів. Гексозодіфосфатний шлях розщеплення глюкози.
4. Гексозомонофосфатний шлях розпаду вуглеводів.

## **Тема 4. БУДОВА ТА ОБМІН ЖИРІВ І ЛІПОЇДІВ**

**Жири** або **ліпіди** – це група різноманітних за будовою речовин, що володіють однаковими фізико-хімічними властивостями: вони не розчиняються у воді, але добре розчинні в органічних розчинниках (бензол, толуол, бензин, гексан та ін.).

Жири поділяються на дві групи – власне жири або **ліпіди** і жироподібні речовини або **ліпоїди**.

Молекула жиру складається з гліцерину і трьох залишків жирних кислот, з'єднаних складно ефірним зв'язком  $[-C(=O)-O-]$ . Це так звані справжні жири або **тригліцериди**.

Жирні кислоти, що входять до складу жирів, діляться на насичені (не мають подвійних зв'язків) і ненасичені (мають подвійні зв'язки). Є ще поліненасичені жирні кислоти, які мають два і більше подвійних зв'язків.

Такі жирні кислоти в організмі людини не синтезуються і повинні обов'язково надходити з їжею, так як необхідні для синтезу деяких важливих ліпоїдів. Чим більше подвійних зв'язків, тим нижче температура плавлення жиру. Ненасичені жирні кислоти роблять жири рідшими. Їх багато міститься в рослинній олії.

Жири різного походження відрізняються набором жирних кислот, що входять до їх складу.

Жири нерозчинні у воді. Однак, в присутності особливих речовин (**емульгаторів**) – жири при змішуванні з водою утворюють стійку суміш – емульсію. Приклад емульсії – молоко, а приклад емульгатора – мила (натрієві солі жирних кислот). В організмі людини в ролі емульгаторів виступають жовчні кислоти і деякі білки.

В організмі тварин і людини можна виділити три класи ліпоїдів.

1. **Фосфоліпіди**, що складаються з жирних кислот, спирту і обов'язково фосфорної кислоти.

2. **Гліколіпіди**, що складаються з жирної кислоти, спирту і якого-небудь простого вуглеводу, найчастіше галактози.

3. **Стероїди**, що містять складне стеранове кільце.

**Значення жирів та стероїдів в організмі дуже велике:**

1. Жири є важливим джерелом енергії. З одного грама жиру організм витягує близько 9 ккал енергії, що в 2 рази більше, ніж з 1 г вуглеводів.

2. Жири захищають організм від переохолодження і механічних впливів (наприклад ударів).

3. Жирні кислоти і ліпоїди входять до складу багатьох гормонів.

4. Ліпоїди є найважливішими компонентами клітинних мембран.

Під впливом УФ-випромінювання з ліпоїду (холестерину) утворюється вітамін D.

У добовому раціоні зазвичай міститься 80 – 100 г жирів. Перетравлення жиру в організмі людини відбувається в тонкому кишечнику. Жири заздалегідь за допомогою жовчних кислот перетворюються в емульсію. В процесі емульгування великі краплі жиру перетворюються в дрібні, що значно збільшує їх сумарну поверхню. Ферменти соку підшлункової залози (ліпази), будучи білками, не можуть проникати всередину крапель жиру і розщеплюють тільки молекули жиру, що знаходяться на поверхні. Тому збільшення загальної поверхні крапель жиру за рахунок емульгування значно підвищує ефективність дії цього ферменту. Під дією ліпази жир шляхом гідролізу розщеплюється до гліцерину і жирних кислот.

Оскільки в їжі присутні різноманітні жири, то в результаті їх перетравлення утворюється велика кількість різновидів жирних кислот.

Продукти розщеплення жиру всмоктуються слизовою тонкого кишечника. Гліцерин розчинний у воді, тому його всмоктування відбувається легко. Жирні кислоти, нерозчинні у воді, всмоктуються у вигляді комплексів з жовчними кислотами (комплекси, що складаються з

жирних і жовчних кислот, називаються холеїновими кислотами). У клітинах тонкої кишки холеїнові кислоти розпадаються на жирні і жовчні кислоти. Жовчні кислоти з стінки тонкого кишечника надходять в печінку і потім знову виділяються в порожнину тонкого кишечника.

Вивільнені жирні кислоти в клітинах стінки тонкого кишечника знову з'єднуються з гліцерином, в результаті чого знову утворюється молекула жиру. Але в цей процес вступають тільки жирні кислоти, що входять до складу жиру людини. Таким чином, синтезується людський жир. Така перебудова харчових жирних кислот у власні жири називається **ресинтезом жиру**.

Ресинтезовані жири по лімфатичних судинам минаючи печінку надходять у велике коло кровообігу і відкладаються в запас в жирових депо. Головні жирові депо організму розташовуються в підшкірній жировій клітковині, великому і малому сальниках, при нирковій капсулі.

Використання жиру в якості джерела енергії починається з його виходу з жирових депо в кров'яне русло. Цей процес називається мобілізація жиру. Мобілізація жиру прискорюється під дією симпатичної нервової системи і гормону адреналіну.

У печінці відбувається гідроліз жиру до гліцерину і жирних кислот.

Гліцерин легко переходить в фосфогліцериновий альдегід. Ця речовина є також проміжним продуктом вуглеводів і тому легко втягується в вуглеводний обмін.

Жирні кислоти з'єднуються з коферментом А і утворюють сполуку **ацилкофермент А** (ацил-КоА). Ці процеси відбуваються в цитоплазмі. Далі ацил-КоА передає жирну кислоту корнетину. Корнетин переносить жирну кислоту всередину мітохондрії і знову віддає її коферменту А, але в цей раз мітохондріальному. В мітохондріях окислення жирних кислот проходить в два етапи.

**Перший етап –  $\beta$ -окислення.** Окисленню піддається вуглецевий атом жирної кислоти, що знаходиться в положенні «бета». Від жирної кислоти, пов'язаної з КоА, двічі відчеплюється по два атома водню, які потім по дихальному ланцюгу передаються на молекулярний кисень. В результаті утворюється вода і утворюється п'ять молекул АТФ. Цей процес повторюється багато разів, поки жирна кислота повністю не перетвориться в ацетил-КоА.

**Другим етапом окислення є цикл трикарбонових кислот**, в якому відбувається подальше окислення залишку оцтової кислоти, що входить в ацетилкофермент А, до вуглекислого газу і води. При окисленні однієї молекули ацетилкоферменту А виділяється до 12 молекул АТФ. Таким чином, окислення жирних кислот до вуглекислого газу і води дає велику кількість енергії. Наприклад, з однієї молекули пальмітинової кислоти ( $C_{15}H_{31}COOH$ ) утворюється 130 молекул АТФ. Однак, в силу особливостей будови жирних кислот (занадто багато атомів вуглецю в порівнянні з киснем) їх окислення істотно ускладнено в порівнянні з вуглеводами. Тому

жир забезпечує організм енергією при роботі середньої потужності, але зате тривалою. Звідси висновок, щоб спалювати жир потрібно здійснювати роботу середньої потужності, але тривалу.

При тривалих фізичних навантаженнях і надмірному утворенні ацетилкоферменту А, відбувається реакція конденсації оцтової кислоти з утворенням кетонових тіл. У м'язах, нирках і міокарді ці тіла знову переходять в ацетилкофермент А. Таким чином кетонові тіла грають важливу роль при тривалих спортивних тренуваннях. Однак при перетренуваннях вони можуть утворювати в крові ацетон, який виділяється з потом, сечею і повітрям, що видихається.

Синтезуються жири з гліцерину і жирних кислот.

Гліцерин в організмі виникає при розпаді жиру (харчового і власного), а також легко утворюються з вуглеводів.

Жирні кислоти синтезуються з ацетилкоферменту А, який є універсальним метаболітом. Для його синтезу необхідні водень і енергія АТФ. Водень виходить з НАДФ Н<sub>2</sub>. В організмі синтезуються тільки насичені і мононасичені (мають один подвійний зв'язок) жирні кислоти. Жирні кислоти, які мають два і більше подвійних зв'язків в молекулі, називаються полінасичені, в організмі не синтезуються і повинні надходити з їжею. Для синтезу жиру можуть бути використані жирні кислоти – продукти гідролізу харчового і власного жирів.

Всі учасники синтезу жиру повинні бути в активному вигляді: гліцерин в формі гліцерофосфату, а жирні кислоти у формі ацетилкоферменту А. Синтез жиру здійснюється в цитоплазмі клітин (переважно жирової тканини, печінки, тонкої кишки). Слід зазначити, що гліцерин і жирні кислоти можуть бути отримані з вуглеводів. Тому при надмірному споживанні їх та при малорухливому способі життя розвивається ожиріння.

### **Контрольні питання до теми**

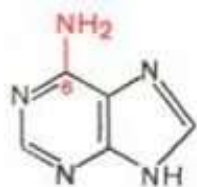
1. Хімічна будова і біологічна роль жирів і ліпоїдів.
2. Перетравлення і всмоктування жирів.
3. Катаболізм жирів.
4. Синтез жирів.

## Тема 5. БУДОВА ТА ОБМІН НУКЛЕЇНОВИХ КИСЛОТ

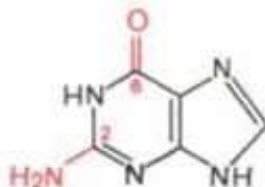
За своєю будовою нуклеїнові кислоти є **полінуклеотидами**, що складаються з **мононуклеотидів** або **нуклеотидів**.

Нуклеотид складна органічна сполука, що складається з трьох частин: **азотистої основи, вуглеводу і залишків фосфорної кислоти**.

Азотисті основи – це гетероциклічні органічні сполуки, що відносяться до двох класів – **пуринів** і **піримідинів**. З пуринів до складу нуклеїнових кислот входять **аденін** і **гуанін**.

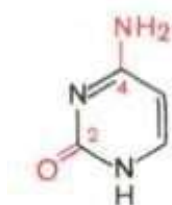


Аденін

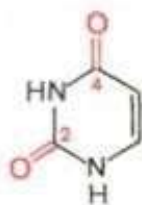


Гуанін

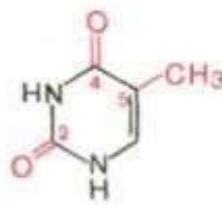
А з піримідинів – **цитозин, тімін (ДНК) и урацил (РНК)**.



Цитозин

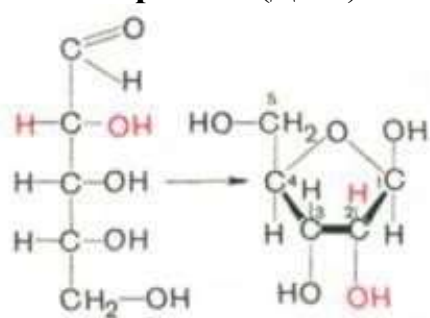


Урацил



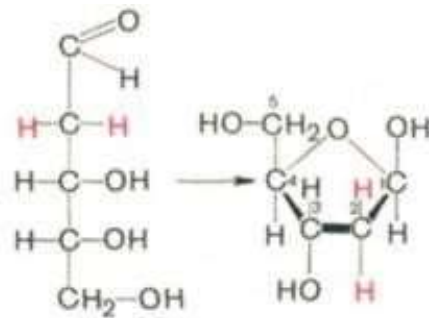
Тімін

Вуглеводом, що входить до складу нуклеотидів може бути **рибоза (РНК) та дезоксирибоза (ДНК)**.



D-рибоза

β-D-рибофураноза

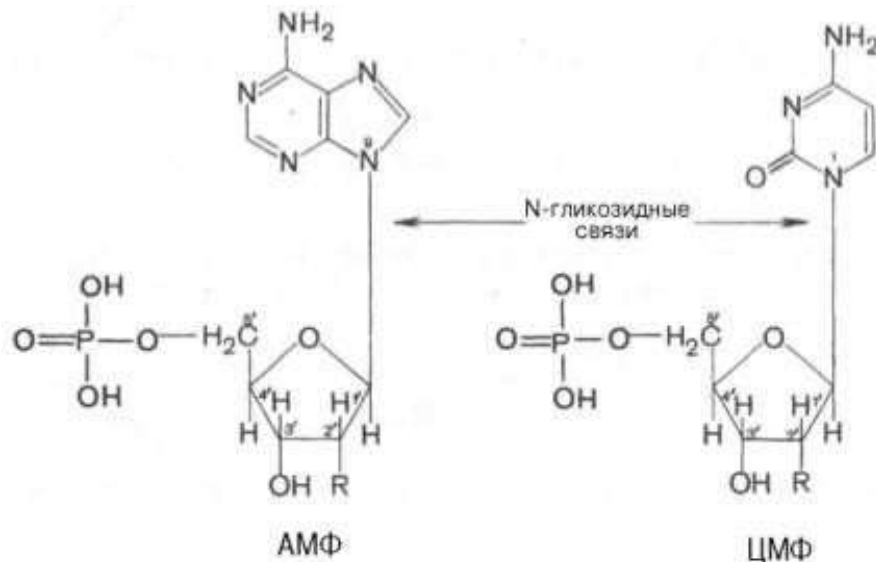


D-2-деоксири-  
боза

β-D-2-деокси-  
рибофураноза

Азотиста основа, що пов'язана з вуглеводом, називається **нуклеозидом**.

Фосфорна кислота приєднується ефірним зв'язком до п'ятого атому вуглецю рибози або дезоксирибози. Нуклеотиди, що входять до складу нуклеїнових кислот, мають один залишок фосфорної кислоти і називаються **мононуклеотидами**. Однак в клітці зустрічаються ді- і трі-нуклеотіди.



Наприклад, нуклеотид, що складається з аденіну, рибози і одного залишку фосфорної кислоти, називається аденозинмонофосфат або АМФ, а з цитозину і одного залишку фосфорної кислоти – цитозинмонофосфат або ЦМФ.

З точки зору хімії нуклеїнові кислоти – нерегулярні полімери, що складаються з досить складно побудованих мономерів, що називаються – нуклеотидами.

Нуклеїнові кислоти в клітинах зустрічається двох класів – ДНК і РНК.

**ДНК – дезоксирибонуклеїнова кислот, а РНК – рибонуклеїнова кислота.**

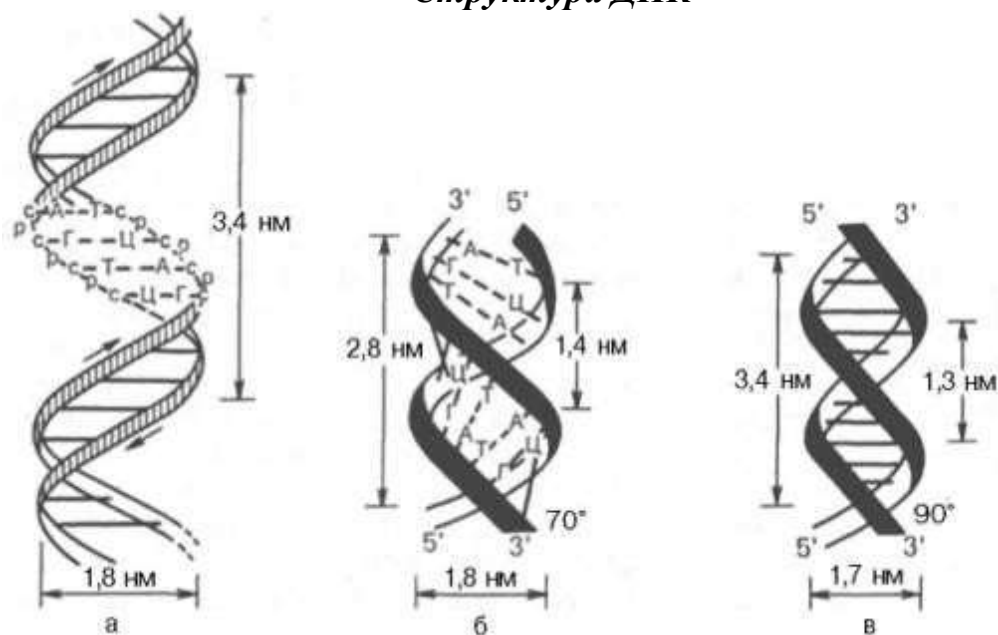
Структура ДНК дуже складна і своєрідна. Кожен нуклеотид, з якого складається ДНК, складається із залишків цукру дезоксирибози, залишку фосфорної кислоти і азотистої основи. Азотистих основ чотири різновиди: аденін, гуанін, цитозин, і тимін. Нуклеотиди з'єднані в довгі ланцюги за допомогою фосфорно-діефірних зв'язків.

У 1953 році дослідники Джеймс Уотсон і Френсіс Крік запропонували модель, яка пояснювала будову молекули ДНК. Згідно з їхньою теорією ДНК складається з двох спіральних ланцюгів, з'єднаних водневими зв'язками. Азотисті основи обох ланцюгів знаходяться всередині спіралі і утворюють водневі зв'язки. Ці зв'язки з'єднують ланцюг ДНК не випадковим чином, а за принципом компліментарності або відповідності. Суть цього принципу в наступному, якщо в одному ланцюзі є **тимін**, то в протилежному ланцюзі, йому відповідає **аденін**, а проти **гуаніну** завжди стоїть **цитозін**. Це означає, що при подвоєнні ДНК на кожній з її ланцюгів може бути побудована інша, і замість однієї молекули утворюються відразу дві.

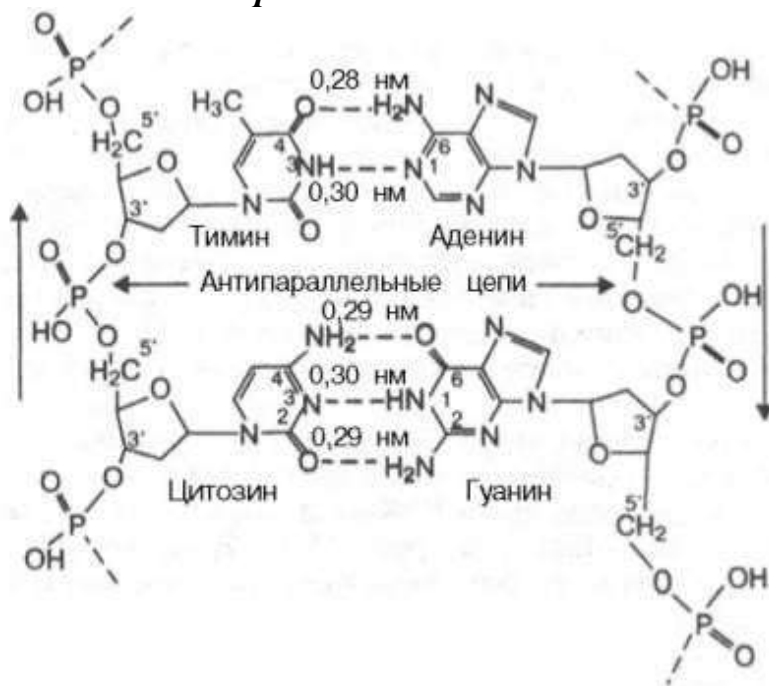
Принцип компліментарності лежить в основі всіх процесів пов'язаних з реалізацією генетичної інформації: реплікації ДНК (подвоєння ДНК), транскрипції (синтезу РНК на ДНК матрицях), і трансляції (біосинтезу білка на основі матриць РНК).

На схемах нижче продемонстрована структура ДНК і принцип компліментарності.

### Структура ДНК



### Принцип компліментарності.



Крім ДНК в клітинах зустрічаються три різновиди РНК: інформаційні (і-РНК), транспортні (т-РНК) і рибосомні (р-РНК). Всі вони відрізняються від ДНК рядом особливостей. По-перше, замість азотистої основи тиміну вони містять урацил. По-друге, замість цукру дезоксирибози вони містять рибозу. По-третє, вони, як правило, односпіральні.

З їжею за добу в організм надходить близько 1 г нуклеїнових кислот.

Перетравлення нуклеїнових кислот відбувається в тонкому кишечнику. Перш за все, ті нуклеїнові кислоти, що надійшли з їжею під



дією ферментів панкреатичного соку – нуклеаз – перетворюються в мононуклеотиди. Потім вже під впливом ферментів тонкого кишечника від мононуклеотидів відщеплюється фосфорна кислота, і утворюються нуклеозиди. Частина нуклеозидів розщеплюється потім на азотні основи і вуглевод. Продукти перетравлення нуклеїнових кислот надходять в кров, а потім в печінку і інші органи.

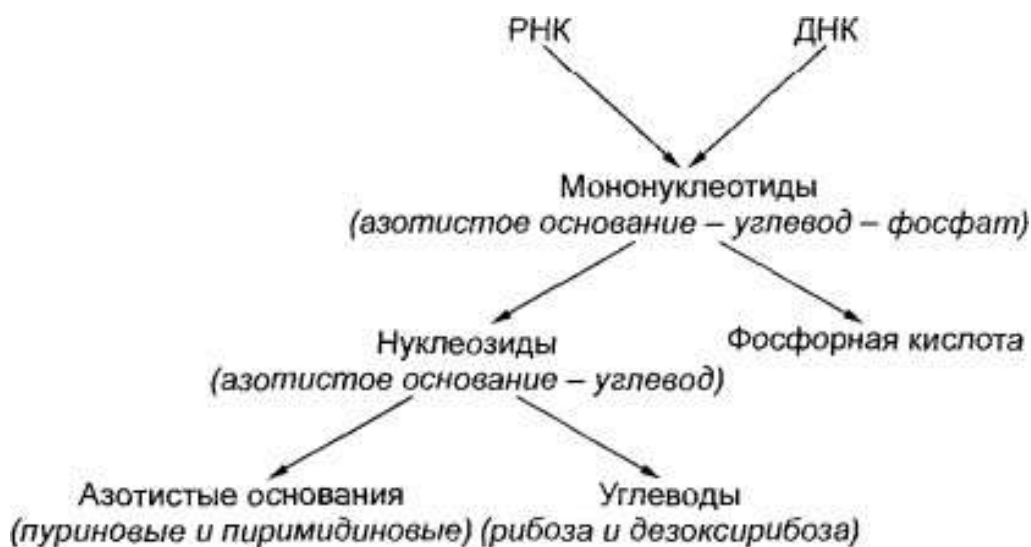
У клітинах організму обмін РНК протікає значно інтенсивніше, ніж обмін ДНК. В кінцевому підсумку нуклеїнові кислоти розщеплюються на азотисті основи, вуглеводи і фосфорну кислоту.

Далі **пуринові** азотисті основи в процесі катаболізму втрачають аміногрупу у вигляді аміаку, окислюються і перетворюються в **сечову кислоту**.

**Піримідинові** основи піддаються більш глибокому розщепленню до **вуглекислого газу, води і аміаку**.

Вуглеводи залучаються до ГМФ-шляху розпаду і перетворюються в глюкозу. Фосфорна кислота розпаду не піддається. Вона використовується в реакціях фосфорилування і фосфолізу або при надлишку виділяється з організму з сечею.

Схематично розпад нуклеїнових кислот може бути представлений таким чином:



Всі клітини організму здатні синтезувати необхідні нуклеїнові кислоти і не потребують наявності в їжі готових нуклеїнових кислот або їх складових частин. Тому зміст готових нуклеїнових кислот в їжі для організму принципового значення не має, хоча продукти їх розпаду можуть частково використовуватися організмом.

**Синтез** пуринових і піримідинових нуклеотидів відбувається на основі рибози-5-фосфату з глюкози при її розпаді по ГМФ-шляху. Вільні азотисті основи зазвичай для цього синтезу не використовуються.

При синтезі пуринових нуклеотидів до рибози-5-фосфату приєднуються атоми вуглецю і азоту, з яких утворюється пуринове кільце. Джерелами цих атомів є амінокислоти **гліцин, глутамін, аспарагінова**

**кислота.** Частина атомів вуглецю поставляється коферментами, що містять в своєму складі фолієву кислоту і біотин. Проміжним продуктом синтезу пуринових нуклеотидів є **інозинова кислота**. Далі з інозинової кислоти утворюються пуринові нуклеотиди.

Синтезу піримідинових нуклеотидів передують утворення незвичайної азотистої основи **оротової кислоти**, що містить піримідинове кільце. Синтезується оротова кислота з аміаку і аспарагінової кислоти. Оротова кислота приєднується до рибози-5-фосфату і виникає піримідинових нуклеотидів оротидинмонофосфат. Далі оротова кислота в складі цього нуклеотиду перетворюється в звичайні азотисті основи, в результаті чого з'являються піримідинові нуклеотиди.

У зв'язку з високою важливістю оротової кислоти в спортивній практиці в якості харчової добавки використовується її сіль **оротат калію**.

Дезоксирибонуклеотиди утворюються з відповідних рибонуклеотидів шляхом відновлення рибози в дезоксирибозу, що входить у склад.

Для синтезу нуклеїнових кислот використовуються мононуклеотиди обов'язково в трифосфатних формах. Такі нуклеотиди містять у своїй молекулі три залишки фосфорної кислоти і мають підвищений запас енергії. Перехід нуклеотидів в трифосфатну форму здійснюється шляхом взаємодії з АТФ. Для синтезу РНК використовуються АТФ, ГТФ, УТФ, ЦТФ. А для синтезу ДНК, відповідно, дАТФ, дГТФ, дТТФ, дЦТФ.

**Процес реплікації або редуплікації ДНК** інакше можна назвати подвоєнням. Він відбувається перед поділом клітини. Здійснює його спеціальний фермент ДНК полімераза. Цей фермент розділяє два ланцюги подвійної спіралі і добудовує до кожної з них комплементарний їй ланцюг. Таким чином, з однієї молекули утворюється дві однакові дочірні молекули, причому обидві ланцюга ДНК служать матрицями для дочірніх ланцюгів. При приєднанні до матриці нуклеотиди зв'язуються в полінуклеотидні нитки, які відразу ж закручуються в подвійну спіраль. Біологічне значення реплікації полягає в тому, що з однієї молекули ДНК з'являються дві її повні копії. Процес цей іде з дуже високою точністю – помилки трапляються рідко.

Процес синтезу РНК називається **транскрипцією**. Процес утворення білків на матрицях інформаційної РНК називається **трансляцією**.

**Транскрипцію** здійснює фермент РНК-полімераза. Цей фермент з'єднує між собою рибонуклеотиди, складові остову молекули РНК. Робить це фермент на підставі зчитування послідовності молекули ДНК і, добудовуючи комплементарні їй послідовності. Показано, що в цьому процесі тільки одна з двох ланцюгів ДНК відіграє роль матриці. Бувають, правда, і винятки – це ДНК деяких вірусів. У процесі транскрипції бере участь тільки обмежена ділянка ДНК. Саме цю ділянку ДНК і розуміють в молекулярній біології, як ген.

### Контрольні питання до теми

1. Будова мононуклеотидів.
2. Будова нуклеїнових кислот.
3. Перетравлення і всмоктування нуклеїнових кислот. Катаболізм.
4. Синтез нуклеотидів.
5. Синтез нуклеїнових кислот.

## Тема 6. ОБМІН БІЛКІВ

В добу з їжею надходить близько 100 г білків. Перетравлення білків здійснюють протеолітичні ферменти шлункового панкреатичного і кишкового соків.

Розщеплення харчових білків починається в порожнині шлунка під дією шлункового соку. Шлунковий сік містить фермент **пепсин**. Спочатку пепсин активується, при цьому в його попередника – пепсіногенів – відкривається активний центр. Цей механізм активації називається **аутокаталіз**. Утворення активного центру в порожнині шлунка попереджає небажаний вплив цього ферменту на білки клітин шлунка, де відбувається його утворення. **Муцин**, що покриває захисним шаром поверхню травного тракту, стійкий до дії пепсину.

Під впливом пепсину в харчових білках розщеплюються пептидні зв'язки, що знаходиться в глибині молекул. В результаті такої дії пепсину білкові молекули перетворюються в суміш поліпептидів різної довжини, яку іноді називають пептони. Термічна обробка їжі викликає денатурацію білків, тобто зміну просторової форми білкової молекули. Це робить внутрішні пептидні зв'язки більш доступними для пепсину та інших протеолітичних ферментів.

До складу шлункового соку входить і соляна кислота. Вона також сприяє активізації пепсину. Крім того, вона створює оптимальну для дії пепсину сильнокисло середу. Соляна кислота також викликає денатурацію харчових білків, що сприяє полегшенню дії пепсину. Нарешті, соляна кислота має бактерицидну дію, знешкоджує їжу від мікроорганізмів.

Подальше перетравлювання білків протікає в тонкому кишечнику. З шлунка надходить поліпептидна суміш, що складається з фрагментів різної величини і довжини. У тонкому кишечнику ця суміш спочатку піддається дії ферментів підшлункової залози (трипсину, хімотрипсину, еластази). Ці ферменти розщеплюють поліпептиди, що надійшли в кишечник до ді- і трипептидів. Причому, еластаза розщеплює міцні білки – **колаген** та **еластин**. Таким чином, виникають **олігопептиди**.

Завершується переварювання білків в тонкому кишечнику під дією ферментів кишкового соку. Ці ферменти вбудовані в стіни мікроросинок і виділяються в порожнину кишечника. Виділяють два типи перетравлення пристіночне і порожнинне. Амінокислоти, що виникають на поверхні мікроросинок, відразу всмоктуються в кров. Незначна частина амінокислот всмоктуються в лімфатичну систему. Всмоктування амінокислот процес активний, що йде з витратами АТФ.

Усередині клітин також є протеолітичні ферменти – внутрішньоклітинні протеїнази або катепсина. Ці ферменти зосереджені в спеціальних органелах клітини – лізосомах. Мембрани, що оточують лізосоми, непроникні для ферментів, але вони пропускають білки всередину, щоб піддати їх протеолізу. Білки, які необхідно піддати протеолізу, розщеплюються в лізосомах до окремих амінокислот.

Крім того, в цитоплазмі клітин є спеціальні **мультиферментні комплекси** – протеосоми, призначені для виборчого розщеплення білків, яких не повинно бути в клітинах. Це чужорідні і дефектні білки, а також молекули, присутність яких обмежена в часі.

Для запобігання небажаного перетравлення білків в цитоплазмі є особливі білки – **ендогенні інгібітори протеїназ**. Інгібіторів такого роду особливо багато в плазмі крові.

За добу внутрішньоклітинному протеолізу піддаються від 200 до 300 г власних білків.

Глибокий розпад білків, що супроводжується розщепленням всіх пептидних зв'язків і приводить до утворення амінокислот, називається **тотальним протеолізом**.

У деяких випадках під дією протеолітичних ферментів в молекулі білка вибірково розщеплюється лише один пептидний зв'язок між строго визначеними амінокислотами і від білка відщеплюється частина його молекули – поліпептид. Такий розпад білків називають **обмежений протеоліз**. Прикладом обмеженого протеолізу є перетворення проферментів в діючі ферменти: перехід неактивних форм факторів згортання крові в активні.

У синтезі білків з амінокислот можна виділити три етапи.

*Перший етап* – **транскрипція** – був описаний в попередній темі. Він складається з утворення молекул РНК на матрицях ДНК. Для синтезу білка особливе значення має синтез матричних або інформаційних РНК, так як тут записана інформація про майбутнє білку. Транскрипція протікає в ядрі клітин. Потім за допомогою спеціальних ферментів, що утворились, матрична РНК переміщається в цитоплазму.

Другий етап називається **рекогниція**. Амінокислоти вибірково зв'язуються зі своїми переносниками транспортними РНК.

Все т-РНК побудовані подібним чином. Молекула кожної т-РНК мають полінуклеотидний ланцюг, що вигнуто у вигляді «конюшини» («клеверного листа»). Молекули т-РНК влаштовані таким чином, що

мають різні кінці, що мають спорідненість і з м-РНК (антикодон) і з амінокислотами. Т-РНК має в клітці 60 різновидів.

Для з'єднання амінокислот з транспортними РНК служить особливий фермент т-РНК **синтетаза** або, точніше, аміно-ацил – т-РНК синтетаза.

*Третій етап* біосинтезу білка називається **трансляція**. Він відбувається на рибосомах. Кожна рибосома складається з двох частин – великої і малої субодиниць. Вони складаються з рибосомних РНК і білків.

Трансляція починається з приєднання матричної РНК до рибосоми. Потім до комплексу, що утворився, починають приєднуватися т-РНК з амінокислотами. Приєднання це відбувається шляхом зв'язування антикодону т-РНК з кодоном інформаційної РНК на основі принципу компліментарності. Одночасно до рибосоми можуть приєднатися не більше двох т-РНК. Далі амінокислоти з'єднуються один з одним пептидним зв'язком, утворюючи поступово поліпептид. Після цього рибосома пересуває інформаційну РНК рівно на один кодон. Далі процес повторюється знову до тих пір поки інформаційна РНК не закінчиться. На кінці і-РНК знаходяться безглузді кодони, які є точками в запису і одночасно командою для рибосоми, що вона повинна відокремитися від і-РНК.

Таким чином, можна виділити кілька особливостей біосинтезу білків.

**1.** Первинна структура білків формується строго на основі даних, записаних в молекулах ДНК і інформаційних РНК.

**2.** Вищі структури білка (вторинна, третинна, четвертинна) виникають спонтанно на основі первинної структури.

**3.** У деяких випадках поліпептидний ланцюг після завершення синтезу піддається незначній хімічній модифікації, в результаті чого в ній з'являються амінокислоти, що не кодуються та не відносяться до 20 звичайних. Прикладом такого перетворення є білок колаген, де амінокислоти лізин і пролін перетворюються в оксипролін і оксілізін.

**4.** Синтез білків в організмі прискорюється соматотропним гормоном і гормоном тестостероном.

**5.** Синтез білків дуже енергоємний процес, що вимагає величезної кількості АТФ.

**6.** Багато антибіотиків пригнічують трансляцію.

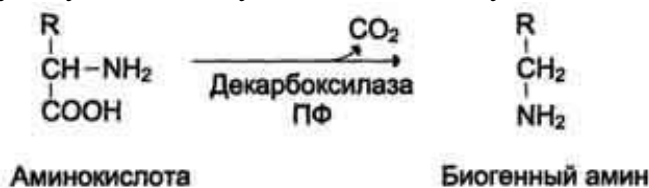
Амінокислоти можуть використовуватися для синтезу різних небілкових сполук. Наприклад, з амінокислот синтезується глюкоза, азотисті основи, небілкова частина гемоглобіну – гем, гормони – адреналін, тироксин і такі важливі сполуки, як креатин, карнитин, які беруть участь в енергетичному обміні.

Частина амінокислот піддається розпаду до вуглекислого газу, води і аміаку.

Розпад починається з реакцій загальних для більшості амінокислот.

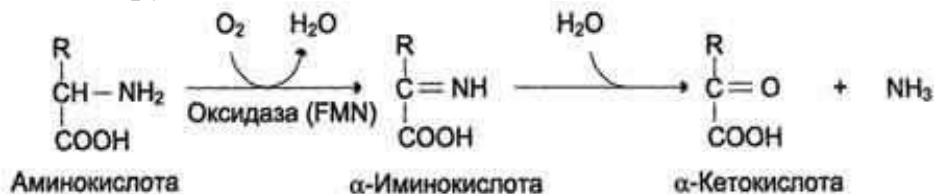
До них відносяться.

**1. Декарбоксілювання** – відщеплення від амінокислот карбоксильної групи у вигляді вуглекислого газу:

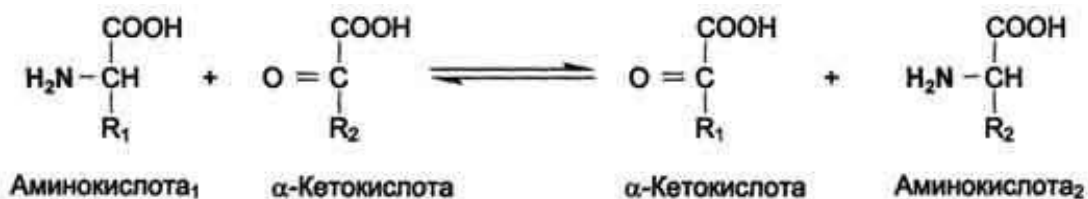


Так, наприклад, утворюється гістамін з амінокислоти гістидину. Гістамін – важливе судинорозширювальна речовина.

**2. Дезамінування** – відщеплення аміногрупи у вигляді  $\text{NH}_4$ . У людини дезамінування амінокислот йде окислювальним шляхом.



**3. Трансамінування** – реакція між амінокислотами і  $\alpha$ -кетокислотами. В ході цієї реакції її учасники обмінюються функціональними групами.



Трансамінуванню піддаються всі амінокислоти. Цей процес – головне перетворення амінокислот в організмі, так як у нього швидкість значно вище, ніж у двох перших описаних реакцій.

Трансамінування виконує дві основні функції:

1) за рахунок цих реакцій одні амінокислоти перетворюються в інші. При цьому загальна кількість амінокислот не змінюється але змінюється загальне співвідношення між ними в організмі. З їжею в організм надходять чужорідні білки, у яких амінокислоти знаходяться в інших пропорціях. Шляхом трансамінування відбувається коригування амінокислотного складу організму.

2) Трансамінування є складовою частиною процесу непрямого дезамінування амінокислот – процесу, з якого починається розпад більшості амінокислот. В результаті транс амінування утворюються  $\alpha$ -кетокислоти і аміак. Перші руйнуються до вуглекислого газу і води. Аміак для організму високотоксичний, тому в організмі існують молекулярні механізми його знешкодження.

Азотистий баланс. Стан білкового обміну можна оцінити по азотистому балансу, тобто по співвідношенню між азотом, що надходять в

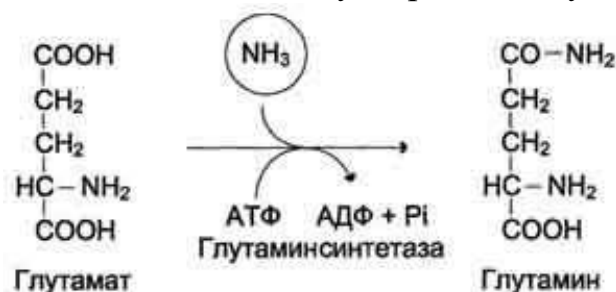
організм з їжею і азотом, який виводиться з організму в складі поту, слини і сечі.

Доросла людина при звичайному харчуванні знаходиться в стані азотистої рівноваги (азоту виводиться стільки ж, скільки надходить з їжею). Це свідчить про однакову швидкості синтезу і розпаду білків.

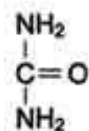
При позитивному азотистому балансі з їжею азоту надходить більше, ніж виводиться. В цьому випадку синтез білків протікає з більш високою швидкістю, ніж розпад. Позитивний баланс азоту спостерігається у зростаючому організмі, а також у спортсменів, які нарощують м'язову масу.

При негативному азотистому балансі (азоту виводиться більше, ніж надходить) білків в організмі розпадається більше, ніж утворюється. Такий баланс характерний для тривалого білкового голодування.

**Шляхи знешкодження аміаку.** Під час реакції аміак у всіх тканинах зв'язується з глутаміновою кислотою з утворенням глутаміну.



Це тимчасове знешкодження аміаку. З потоком крові глутамін надходить в печінку, де розпадається знову на глутамінову кислоту і аміак. Глутамінова кислота з кров'ю знову надходить до органів для знешкодження нових порцій аміаку. Аміак, що звільнився, а також вуглекислий газ використовуються в печінці для синтезу сечовини:



Синтез сечовини – це циклічний багатоступінчастий процес, що йде з великими витратами енергії. У синтезі сечовини найважливішу роль відіграє амінокислота **орнітин**. Синтез сечовини часто називають **орнітиновим циклом**.

В процесі синтезу до орнітину приєднуються дві молекули аміаку і молекула вуглекислого газу, і орнітин перетворюється в іншу амінокислоту – **аргінін**. Від аргініну відщеплюється сечовина і знову утворюється орнітин.

Синтез сечовини – це остаточне знешкодження аміаку. З печінки з кров'ю сечовина надходить в нирки і виділяється з сечею. За добу її утворюється 20 – 35 г, виділення сечовини з сечею характеризує інтенсивність розпаду білків в організмі.

**Орнітиновий цикл.** Окислювальне дезамінування глутамату відбувається в мітохондріях. Ферменти орнітинового циклу розподілені

між мітохондріями та цитозолем. Тому необхідний трансмембранний перенос глутамату, цитруліну і орнітину за допомогою специфічних транслоказ. На схемі показані шляхи включення азоту двох різних амінокислот (амінокислота 1 і амінокислота 2) в молекулу сечовини:

- одна аміногрупа – у вигляді аміаку в матриксі мітохондрії;
- другу аміногрупу поставляє аспартат цитозолю.

### **Контрольні питання до теми**

1. Перетравлення і всмоктування білків.
2. Катаболізм білків.
3. Синтез білків.
4. Метаболізм амінокислот.
5. Азотистий баланс. Шляхи знешкодження аміаку.

## **Тема 7. ОБМІН ВОДИ І СОЛЕЙ. ВІТАМІНИ.**

Роль води в життєдіяльності живих організмів величезна. Для живих систем вода – це, перш за все, головне середовище, в якому протікають всі життєво важливі процеси. Вміст води в організмі дорослої людини близько 60 – 65 % маси тіла, причому чим старша людина, тим менше води містить його тіло. При втраті 4 – 5 % води виникає сильна спрага, а втрата 20 – 25 % води не сумісна з життям.

В організмі вода розподілена нерівномірно. Найбільше – до 90 % води в крові і лімфі, що й не дивно. А найменше (близько 1 %) в емалі зубів. 2/3 всієї води знаходиться всередині клітин. Решта вода – позаклітинна – входить до складу спинномозкової рідини, плазми крові, лімфи.

Вода має унікальні фізико-хімічні властивості:

– за своїми фізико-хімічними параметрами вода повинна бути газом. Це впливає з положення кисню і водню в таблиці В. І. Менделєєва. Вода є рідиною завдяки водневим зв'язкам. Воду ще називають рідким кристалом. Саме, водневі зв'язки змушують воду замерзати при температурі близько до нуля градусів за Цельсієм і кипіти при 100 °С;

– завдяки величезній кількості водневих зв'язків вода має велику теплоємність і бере участь в терморегуляції організму;

– вода має низьку в'язкість і являє собою рухливу рідину. Причиною високої рухливості є малий час існування водневих зв'язків. Водневі зв'язки в воді постійно виникають і руйнуються. Це надає воді високу плинність, що вельми важливо для існування живих організмів;



– завдяки вираженій полярності молекул води в ній легко розчиняється велика кількість органічних та неорганічних речовин, що мають полярні молекули.

Вода виконує в організмі безліч функцій:

**1. Вода – універсальний розчинник.** Більшість хімічних сполук організму розчинні у воді.

**2. Транспортна функція.** Вода внаслідок низької в'язкості легко переміщується по кровоносних і лімфатичних судинах, по міжклітинному простору і переносить розчинені в ній речовини.

**3. Терморегулятивна функція.** Вода бере участь у підтримці сталості температури тіла.

**4. Вода створює гідратну оболонку** високомолекулярних сполук (білків, полісахаридів), сприяючи їх стабільності.

**5. Вода активний учасник обміну речовин.** Зокрема розщеплення харчових речовин в процесі гідролізу відбувається при безпосередній участі води. Вода є також кінцевим продуктом ряду хімічних процесів, що протікають в організмі. Наприклад, в ході тканинного дихання утворюється близько 400 мл води на добу.

Середня добова потреба людини у воді становить 40 мл на 1 кг ваги, тобто в середньому 2,5 л. Основними джерелами води є: питна вода (близько половини всієї води), рідка їжа (приблизно чверть), тверда їжа (ще чверть) і ендогенна вода (залишок).

Вода виділяється з організму в основному нирками. Але посилену участь в цьому беруть легкі, шкіра, кишечник. Виділення води нирками безпосередньо залежить від обсягу води, що надійшла в організм.

Виділення води з потом різко зростає при м'язовій роботі в результаті інтенсивного потовиділення. При сильному потінні людина може втратити за добу понад 5 л води. При великих втратах води з потом зменшується виділення сечі. Під час тренування збільшуються втрати води з повітрям, що видихається.

Обмін води знаходиться під контролем нервово-гуморальної регуляції. Надходження в організм води контролюється почуттям спраги. Спрага виникає при зменшенні вмісту води в організмі на кілька відсотків. При дефіциті води відбувається підвищення тиску крові. На зміну осмотичного тиску реагують осморорецептори, які передають цю інформацію в головний мозок, де і формується це почуття.

Основним гормоном, що викликає затримку води в організмі, є **вазопресин**. Цей гормон виробляється гіпоталамусом і зберігається в задній частині гіпофізу, і з нього виділяється в кров. Під впливом цього гормону в нирках прискорюється реабсорбція води з первинної води назад в кров, що дозволяє затримати воду в організмі.

Утриманню води в організмі сприяє гормон кори надниркових залоз – **альдостерон**. Під впливом цього гормону в процесі утворення сечі підвищується швидкість зворотного всмоктування в кров іонів натрію і

зменшується реабсорбція іонів калію. Іони натрію на відміну від іонів калію взаємодіють з водою, утворюючи гідратну оболонку. Таким чином, затримка іонів натрію в організмі супроводжується збереженням води в організмі.

Гормон щитовидної залози – **тироксин** – стимулює виділення води. При надлишку цього гормону посилюється потовиділення. Завдяки нервово-гуморальної регуляції в організмі підтримується водний баланс.

Затримка води в організмі зазвичай супроводжується появою набряків. Набряки можуть виникати при захворюваннях серцево-судинної системи, нирок, при тривалому голодуванні. Затримка води в організмі може бути пов'язана з прийомом солоної їжі, так як іони натрію пов'язують воду.

Зменшення води в організмі призводить до зневоднення тканин. Причини зневоднення можуть бути різними. Наприклад, обмеження надходження води в організм. Ще однією причиною зневоднення можуть бути деякі захворювання, такі як цукровий і нецукровий діабет. У спортсменів зневоднення організму може бути викликано великими втратами води з потом і повітрям, що видихається при виконанні ними великого обсягу навантажень, особливо при високій температурі і вологості.

Для попередження зневоднення рекомендується виконувати питний режим. Наприклад, за годину до початку тренування рекомендується випити до півлітра води. Під час навантаження необхідно поповнювати запаси води за рахунок прийому невеликих доз води (40 – 50 мл) або краще, вуглецево-мінеральних напоїв.

В організмі людини міститься близько 3 кг мінеральних речовин, що становить 4 % маси тіла. Мінеральний склад організму дуже різноманітний і в ньому можна виявити майже всю таблицю В.І. Менделєєва.

Мінеральні речовини розподілені в організмі вкрай нерівномірно. У крові, м'язах, внутрішніх органах вміст мінеральних речовин низький – близько 1 %. А ось в кістках на частку мінеральних речовин припадає близько половини маси. Емаль зубів на 98 % складається з мінеральних речовин. У таблиці 1 наведено дані про вміст **макроелементів** в організмі людини.

*Таблиця 1 – Вміст макроелементів в організмі людини*

Макроелемент	Вміст в організмі	
	у відсотках	у грамах
Кальцій	2,0 – 2,1	1 400 – 1 600
Фосфор	1,1 – 1,2	770 – 850
Калій	0,25 – 0,26	180 – 200
Хлор	0,15 – 0,17	100 – 120
Натрій	0,10 – 0,12	70 – 85
Магній	0,03 – 0,04	20 – 30

Решта мінеральних елементів знаходяться в організмі в дуже малих кількостях і тому називаються **мікроелементами**. До них відносяться: Fe, F, J, Cu, Zn, Mn, Mo, Co, Sn, As, Ni, Cr, Br і ін. В даний час встановлено участь багатьох мікроелементів в обміні речовин.

Форми існування мінеральних речовин в організмі також різноманітні. У кістках вони зустрічаються в формі нерозчинних солей. Мінеральні елементи можуть входити до складу органічних сполук і можуть перебувати в організмі у вигляді іонів.

Добова потреба в мінеральних речовинах невелика і надходять вони в організм з їжею. Їх кількості зазвичай в їжі достатньо. Однак в окремих випадках їх може не вистачати. Наприклад, в деяких місцевостях не вистачає йоду, в інших надлишок магнію і кальцію.

Виводяться з організму мінеральні речовини трьома шляхами в складі сечі, кишечником – в складі калу і з потом – шкірою.

Біологічна роль цих речовин дуже різноманітна.

Натрій і калій знаходяться в організмі у вигляді іонів. Іони натрію містяться поза клітинами, а іони калію зосереджені всередині клітини. Ці іони відіграють важливу роль у створенні осмотичного тиску і клітинного потенціалу, що необхідні для нормальної роботи міокарда. Іони натрію і особливо калію необхідні для функціонування серцевого м'яза – **міокарда**, причому потреба в них зростає в міру збільшення інтенсивності серцевої діяльності. Зміст в організмі натрію і калію регулюється гормоном кори надниркових залоз – **альдостерону**. Цей гормон в процесі утворення сечі в нирках затримує іони натрію і сприяє видаленню з організму іонів калію.

У спортсменів, що виконують інтенсивні фізичні навантаження, потреба міокарда в калії збільшується. Однак за рахунок посиленого потовиділення відбувається втрата великої кількості хлористого натрію, а також калію. У відповідь на знесолення організму збільшується викид в кров альдостерону, який перешкоджає виділенню іонів натрію з сечею і, навпаки, підвищує екскрецію з сечею іонів калію. В результаті такого впливу гормону істотно знижуються запаси калію, в тому числі в серцевому м'язі. Для нормалізації калієвого обміну в спортивній практиці використовують продукти харчування, що багаті калієм (родзинки, курага), а також аптечні препарати калію (оротат калію, аспаркам).

Кальцій і магній знаходяться в основному в кістковій тканині у вигляді нерозчинних солей. Ці солі надають кісткам твердість. Крім того в іонному вигляді вони грають важливу роль в скороченні м'язів.

Фосфор відіграє в організмі важливу роль. Він є складовою частиною солей, що входять в кістки. Фосфорна кислота грає виключно важливу роль в енергетичному обміні.

Залізо входить до складу гема, складової частини **гемоглобіну** – переносника кисню.

**Вітаміни** – низькомолекулярні органічні речовини різноманітної будови, які не синтезуються в організмі, але є життєво необхідними і тому

повинні обов'язково надходити в організм з їжею, хоча і в дуже невеликих кількостях. Деякі вітаміни виробляються в обмеженій кількості мікрофлорою кишечника.

Біологічна роль більшості відомих вітамінів полягає в тому, що вони входять до складу коферментів і простетичної груп ферментів.

За фізико-хімічними властивостями вітаміни поділяються на дві групи: водорозчинні та жиророзчинні:

– **водорозчинні вітаміни** – це вітаміни групи В, вітаміни С, Р, РР.

– **жиророзчинні** – вітаміни А, D, Е, К.

Нестача вітаміну в організмі називається **гіповітаміноз**, а надлишок вітаміну – **гіпервітаміноз**. Нестача або надлишок вітаміну в організмі може перерости в захворювання.

Дамо коротку характеристику окремим вітамінам.

**Вітамін В<sub>1</sub>** (антіневритний) – тіамін – впливає на обмін вуглеводів. При його відсутності порушується тканинне дихання.

**Вітамін В<sub>2</sub>** (рибофлавін) входить до складу флавінових ферментів. При його відсутності порушується енергетичний обмін.

**Вітамін РР** входить до складу НАД і НАДФ. При відсутності вітаміну РР порушуються багато реакції катаболізму і анаболізму.

**Вітамін Н** (біотин) входить до складу ферментів, відповідальних за обмін азотовмісних і фосфоровмісних речовин. При його відсутності порушується обмін нуклеїнових кислот і сечовини.

**Вітамін С** пов'язаний з синтезом колагену, стероїдних гормонів, гемоглобіну, адреналіну.

**Вітамін А** (ретинол) входить до складу родопсину, що обумовлює сутінковий зір, змінює проникність мембран клітин.

**Вітамін Е** впливає на обмін в організмі селену і репродуктивну функцію.

### **Контрольні питання до теми**

1. Вміст води в організмі. Фізико-хімічні властивості води.
2. Біологічна роль води. Надходження і виділення води.
3. Регуляція водного балансу і його порушення.
4. Зміст мінеральних речовин і їх роль в організмі.
5. Загальна характеристика вітамінів.

## Тема 8. ГОРМОНИ. БІОХІМІЯ КРОВІ І СЕЧІ.

**Гормони** – біологічно активні речовини різноманітної будови, що виробляються в спеціалізованих органах – залозах внутрішньої секреції, – надходять з кров'ю в різні органи, які надають в них регулюючий вплив на метаболізм та фізіологічні функції.

У клітинах, на які діють гормони – клітинах мішенях – є на клітинних мембранах особливі білки, які мають назву рецептори. До них і прикріплюються гормони.

Внутрішньоклітинні механізми дії гормонів різноманітні. Можна, однак, виділити три головних механізми, що властиві більшості гормонів:

1) гормони впливають на швидкість синтезу ферментів, прискорюючи або сповільнюючи його. В результаті такого впливу в органах-мішенях підвищується або знижується концентрація певних ферментів, що супроводжується відповідною зміною швидкості ферментативних реакцій.

2) гормони впливають на активність ферментів в цих органах. В одних органах вони виступають активаторами, а в інших інгібіторами ферментативних реакцій.

3) гормони впливають на проникність клітинних мембран по відношенню до певних хімічних сполук. В результаті такого впливу в клітини надходить більше або менше субстратів для ферментативних реакцій, що теж обов'язково позначається на швидкості хімічних процесів.

Всі зазначені механізми впливають на швидкість метаболізму, що в свою чергу впливає на фізіологічні функції.

За хімічною будовою гормони можна розділити на кілька груп.

– **гормони білкової природи**: гормони гіпоталамуса, гормони гіпофіза, кальцитонін щитовидної залози, гормон паращитовидних залоз, гормони підшлункової залози;

– **гормони похідні амінокислоти тирозину**: йодовмісні гормони щитовидної залози, гормони мозкового шару надниркових залоз;

– **гормони стероїдної будови**: гормони кори надниркових залоз, гормони статевих залоз.

Синтез і виділення гормонів в кров знаходиться під контролем нервової системи та інших гормонів. Причому, нервова система діє через гуморальну, головним чином через гормони гіпоталамічно-гіпофізарної системи.

У спортивній практиці аналіз крові використовується для оцінки впливу на організм спортсмена тренувальних і змагальних навантажень, оцінки функціонального стану спортсмена і його здоров'я. Тому фахівець в галузі фізичної культури повинен мати уявлення про хімічний склад крові.

Обсяг крові у людини близько 5 л, що становить приблизно  $1 \frac{1}{13}$  частина від обсягу або маси тіла. Кров, як відомо, складається з плазми (55 % обсягу) і формених елементів (45 %).

Функції крові можна розділити на дві групи:

- функції виключно плазми крові;
- функції, що виконуються спільно плазмою крові і форменими елементами.

Самостійно плазма крові виконує наступні функції:

**1.** Перенесення розчинних органічних речовин від тонкого кишечника до різних органів і тканин, де ці речовини відкладаються про запас або беруть участь в обміні речовин.

**2.** Транспорт речовин, що підлягають виділенню з тканин, де вони утворюються, до органів виділення.

**3.** Перенесення побічних продуктів обміну речовин з місць їх утворення до інших ділянок тіла.

**4.** Транспорт гормонів з залоз внутрішньої секреції до органів «мішені».

**5.** Перенесення тепла від глибоко розташованих органів, що попереджає перегрів цих органів і підтримує рівномірний розподіл тепла в організмі.

Спільно з форменими елементами плазма крові виконує наступні функції:

- доставка кисню з легенів по всім тканинам організму (еритроцити) і перенесення в зворотному напрямку вуглекислого газу;

- захист від хвороб в якій беруть участь три механізми: згортання крові, фагоцитоз, синтез антитіл;

Хімічний склад плазми крові в спокої відносно постійний. Ось його основні компоненти:

Вода – 90 %

Білки – 6 – 8 %

Інші органічні речовини близько – 2 %

Мінеральні речовини близько – 1 %

Білки плазми крові діляться на дві основні групи альбуміни і глобуліни.

**Альбуміни** – низькомолекулярні білки. Вони виконують дві основні функції.

**1. Транспортна.** Завдяки добрій розчинності вони переносять зі струмом крові нерозчинні в воді речовини.

**2. Затримують воду в кров'яному руслі.** Води в кров'яному руслі більше, ніж в інших тканинах, тому вона прагне покинути його. Альбуміни перешкоджають цьому.

**Глобуліни** – це високомолекулярні білки. Вони також беруть участь в транспортній і затримуючій функціях. Однак, крім цього багато глобулінів крові беруть участь у створенні імунітету і згортанні крові.

Білки плазми синтезуються в печінці.

Інші органічні речовини (крім білків) зазвичай поділяють на азотні і безазотні.

**Азотні сполуки** – це проміжні і кінцеві продукти обміну білків і нуклеїнових кислот. Це низькомолекулярні пептиди, амінокислоти, креатин, нуклеотиди, нуклеозиди, а також сечовина, сечова кислота, білірубін і креатинін.

Безазотні речовини – це глюкоза, фруктоза, галактоза, рибоза, піровиноградна і молочна кислоти, жири, фосфоліпіди і холестерин.

Крім того в плазмі крові знаходяться мінеральні речовини, представлені катіонами натрію, калію, кальцію, магнію і аніонами хлором, залишками вугільної, фосфорної і сірчаної кислот.

Найважливішим хімічним компонентом червоних клітин крові є білок гемоглобін – основний переносник кисню в крові. Лейкоцити виробляють білки **імуноглобуліни** – найважливіший компонент імунної системи людини.

В стані спокою у здорової людини кров має слаболужну реакцію: рН 7,36 – 7,4.

Сталість рН крові забезпечується буферними системами крові. Найпотужнішою буферною системою крові є гемоглобінова система.

Кров добре нейтралізує кислоти, що дуже важливо для нормального ходу обміну речовин. Однак при порушеннях метаболізму спостерігається **ацидоз** – збільшення кислотності крові. Зниження рН нижче 6,8 – несумісне з життям. Рідше спостерігається **алкалоз** – збільшення лужності крові. Граничне значення рН в цьому випадку 8,0. У спортсменів часто зустрічається ацидоз, викликаний утворенням в м'язах великої кількості молочної кислоти.

Обсяг сечі залежить від кількості споживаної рідини і становить в середньому 50 – 80 % від її обсягу. Добова кількість сечі у здорової дорослої людини становить 2 000 мл.

Збільшення обсягу сечі буває при прийомі великої кількості рідини. Особливо виділення сечі зростає при вживанні у великих кількостях чаю, кави, алкогольних напоїв. Кофеїн (чай, кава) і етиловий спирт (алкогольні напої), що містяться в них, пригнічують вироблення вазопресину. Синтез цього гормону пригнічується також при охолодженні.

При обмеженому прийомі рідини об'єм сечі зменшується. Зниження виділення сечі спостерігається і при хворобах нирок, при блювоті, проносі, випаровуванні води шкірою при підвищеній температурі.

У спортсменів зниження рівня виділення сечі зустрічається після інтенсивних тренувань і змагань внаслідок великої втрати води з потом і повітрям, що видихається.

Щільність сечі у нормальної здорової людини становить 1,010 – 1,040 г / мл. Після виконання фізичних навантажень, що

супроводжуються значним потовиділенням, сеча може мати високу щільність – до 1,035 – 1,040 г / мл.

Кислотність сечі залежить від харчування. Зазвичай сеча має слабокисло реакцію. Вживання в їжу м'яса робить сечу ще більш кислою, а овочева дієта, навпаки, робить сечу більш лужною. Після виконання фізичних навантажень кислотність сечі зростає, що пояснюється виділенням з сечею великої кількості молочної кислоти.

У нормі сеча має солом'яно-жовте забарвлення. Це забарвлення надають сечі головним чином пігменти, що утворюються при розпаді гемоглобіну. Інтенсивність забарвлення залежить від щільності сечі. Чим вище щільність, тим більш насиченим є забарвлення сечі.

Сеча у здорових людей, як правило, прозора. Далі можливо її помутніння. Прозорість сечі слід оцінювати відразу після її виділення.

За добу з сечею з організму виділяється 50 – 70 г розчинених в ній речовин. На першому місці в складі сечі – **сечовина**. За добу її виділяється 20 – 35 м. За змістом сечовини можна судити про інтенсивність розпаду білків в організмі. У здорової людини виділення сечовини підвищується при прийомі багатобілками їжі.

Ще одна речовина – **сечова кислота** – виділяється при розпаді нуклеїнових кислот. Її звичайний вміст у сечі 0,7 м. Сечова кислота і її солі погано розчиняються у воді, тому вони можуть утворювати камені в нирках, сечовому міхурі і випадати у вигляді осаду в зібраній сечі.

З сечі за добу може виділятися також 1 – 2 г креатину, 8 – 15 г хлористого натрію.

При патологічних станах в сечі може з'являтися білок. Це явище називається **протеїнурія**. Це явище пов'язане з серйозними порушеннями роботи нирок і серцевої недостатності. Воно нерідко зустрічається при заняттях спортом і говорить про перенавантаження на тренуваннях.

Ще одним приводом для занепокоєння може служити **глюкозурія** – підвищений вміст глюкози в сечі. Причин тут може бути дві: або підвищений вміст глюкози в крові, або погана робота нирок.

Кетонові тіла з'являються в сечі при діабеті, тривалих фізичних навантаженнях, при голодуванні. Наявність в сечі надлишку кетонових тіл називається **кетонурією**.

При запальних процесах в сечі може з'являтися кров. Це явище називається – **гематурія**. У спортсменів це явище носить, як правило, травматичний характер. По виду еритроцитів в цій крові можна сказати про порушення сечовидільної системи.

### **Контрольні питання до теми**

1. Загальна характеристика гормонів.
2. Біохімія крові.
3. Фізико-хімічні властивості сечі.



## Тема 9. БІОХІМІЯ М'ЯЗОВОГО СКОРОЧЕННЯ

Вчення про м'язи – це найважливіший розділ біохімії, який має виняткове значення для спортивної біохімії.

Найважливішою особливістю функціонування м'язів є те, що в процесі м'язового скорочення відбувається безпосереднє перетворення хімічної енергії АТФ в механічну енергію скорочення м'язів. Це явище не має аналогів в техніці і притаманне тільки живим організмам.

У тварин і людини є два основних типи м'язів: **поперечносмугасті (скелетні і серцеві) і гладкі**. Гладкі м'язи характерні для внутрішніх органів, кровоносних судин.

Поперечносмугасті м'язи складаються з тисяч м'язових клітин – волокон. Волокна об'єднані сполучнотканинними прошарками і такою же оболонкою – фасцією. М'язові волокна – **міоцити** – це сильно витягнуті багатоядерні клітини гігантських розмірів від 0,1 до 10 см довжиною і товщиною близько 0,1 – 0,2 мм.

Міоцит складається з усіх обов'язкових компонентів клітини. Особливістю м'язового волокна є те, що всередині ця клітина містить велику кількість скоротливих елементів – **міофібрил**. Як і інші клітини тіла міоцити містять ядро, причому, у клітин поперечносмугастих м'язів ядер декілька, рибосоми, мітохондрії, лізосоми, цитоплазматичну мережу.

**Цитоплазматична мережа** називається в цих клітинах **саркоплазматичною мережею**. Вона пов'язана за допомогою особливих трубочок (Т-трубочки), з клітинної мембранної – **сарколемою**. Особливо слід виділити в саркоплазматичній мережі бульбашки, які називають **цистернами**. Вони містять велику кількість іонів кальцію. За допомогою спеціального ферменту кальцій накачується в цистерни. Цей механізм називається кальцієвим насосом і необхідний для скорочення м'язи.

**Цитоплазма** або саркоплазма міоцитів містить велику кількість білків (25 – 30 % від усіх білків м'язів). Тут чимало активних ферментів, серед яких найважливішими є ферменти гліколізу (розщеплюють глікоген або глюкозу до піровиноградної або молочної кислоти), креатинкіназа (яка бере участь в енергозабезпеченні м'язової роботи). Чимале значення має білок міоглобін, який зберігає кисень в м'язах. Завдяки цьому білку в м'язовій тканині створюється певний запас кисню.

Крім білків в цитоплазмі м'язових клітин містяться **фосфогени** – АТФ, АДФ, АМФ, а також **креатинфосфат**, який є необхідним для нормального насичення м'язів енергією.

Основний вуглевод м'язової тканини – це **глікоген**. Його концентрація досягає 3 %. Вільна глюкоза в саркоплазмі зустрічається в малих концентраціях. У тренуваних на витривалість м'язах накопичується запасний жир.

Зовні сарколема оточена нитками білка – колагену. М'язове волокно розтягується і повертається в початковий стан за рахунок пружних сил, що виникають в колагеновій оболонці.

Скоротливі елементи – міофібрили – займають більшу частину обсягу міоцитів. У нетренованих м'язах міофібрили розташовані розсіяно, а у тренуваних – вони згруповані в пучки і називаються **полями Конгейма**.

Мікроскопічне вивчення будови міофібрил показало, що вони складаються зі світлих і темних ділянок або дисків, які чередуються. В м'язових клітинах міофібрили розташовуються таким чином, що світлі і темні ділянки поруч розташованих міофібрил збігаються, що створює видиму під мікроскопом поперечну лінію всього м'язового волокна.

Використання електронного мікроскопа з дуже великим збільшенням дозволило розшифрувати будову міофібрил і встановити причини наявності у них світлих і темних ділянок. Було виявлено, що міофібрили є складними структурами, побудованими в свою чергу, з великого числа м'язових ниток двох типів – **товстих і тонких**. Товсті мають товщину 15 нм, а тонкі – 7 нм.

Складаються міофібрили з пучків паралельно розташованих товстих і тонких ниток, що чередуються, кінці яких заходять один на одного.

Ділянка міофібрили, яка складається з товстих ниток і кінців тонких ниток, що знаходяться між ними, має подвійне променезаломлення. Під мікроскопом ці ділянки здаються темними і отримали назву **анізотропних або темних дисків (А-диски)**.

Тонкі ділянки складаються з тонких ниток і виглядають світлими. Такі ділянки називаються **ізотропним або світлими дисками (І-диски)**. В середині пучка тонких ниток поперечно розташовується тонка пластинка з білка, яка фіксує положення м'язових ниток в просторі. Цю пластинку добре видно під мікроскопом і називають **Z-пластиною або Z-лінією**.

Ділянка між сусідніми Z-лініями називається **саркомер**. Кожна міофібрила складається з тисяч саркомерів. Вивчення хімічного складу міофібрил показало, що тонкі і товсті нитки утворені білками.

Товсті нитки складаються з білка **міозину**. Ці білки утворюють подвійну спіраль з глобулярною головкою на кінці. Міозінові головки мають АТФазну активність, тобто здатні розщеплювати АТФ. Друга ділянка міозину забезпечує зв'язок товстих ниток з тонкими.

Тонкі нитки складаються з білків **актину, тропоніну і тропоміозину**.

Основний білок в даному випадку є **актин**. Він має дві найважливіші властивості:

- утворює фібрилярний актин, здатний до швидкої полімеризації;
- актин здатний з'єднуватися з міозіновими головками поперечними містками.

Інші білки тонких ниток допомагають актину здійснювати його функції.

На рисунку 2 детально показано будову м'язів.

Механізм м'язового скорочення до теперішнього часу розкритий не повністю. Достовірно відомо наступне.

1. Джерелом енергії для м'язового скорочення є молекули АТФ.
2. Гідроліз АТФ каталізується при м'язовому скороченні міозином, що володіє ферментативною активністю.
3. Пусковим механізмом м'язового скорочення є підвищення концентрації іонів кальцію в саркоплазмі міоцитів, що викликається нервовим руховим імпульсом.
4. Під час м'язового скорочення між тонкими і товстими нитками міофібрил виникають поперечні містки або спайки.
5. Під час м'язового скорочення відбувається ковзання тонких ниток вздовж товстих, що призводить до вкорочення міофібрил і всього м'язового волокна в цілому.

Гіпотез, які пояснюють механізм м'язового скорочення багато, але найбільш обґрунтованою є так звана гіпотеза (теорія) «ковзаючих ниток» або «гребна гіпотеза».

У спокійних м'язах тонкі і товсті нитки знаходяться в роз'єднаному стані.

Під впливом нервового імпульсу іони кальцію виходять з цистерн саркоплазматичної мережі і приєднуються до білка тонких ниток – **тропонину**. Цей білок змінює свою конфігурацію і змінює конфігурацію актину. В результаті утворюється поперечний місток між актином тонких ниток і міозином товстих ниток. При цьому підвищується АТФазна активність міозину. Міозин розщеплює АТФ і за рахунок енергії, що при цьому виділяється, міозинова головка подібно шарніру або веслу човна повертається, що призводить до ковзання м'язових ниток назустріч один одному.

Зробивши поворот, містки між нитками розриваються. АТФазна активність міозину різко знижується, припиняється гідроліз АТФ. Однак при подальшому надходженні нервового імпульсу поперечні містки знову утворюються, так як процес, що описаний вище, повторюється знову.

У кожному циклі скорочення витрачається 1 молекула АТФ.

Розслаблення м'яза відбувається після припинення надходження тривалого нервового імпульсу. При цьому проникність стінки цистерн саркоплазматичної мережі зменшується, і іони кальцію під дією кальцієвого насоса, використовуючи енергію АТФ, йдуть в цистерни. Білки знову набувають конформацію, яка характерна для стану спокою.

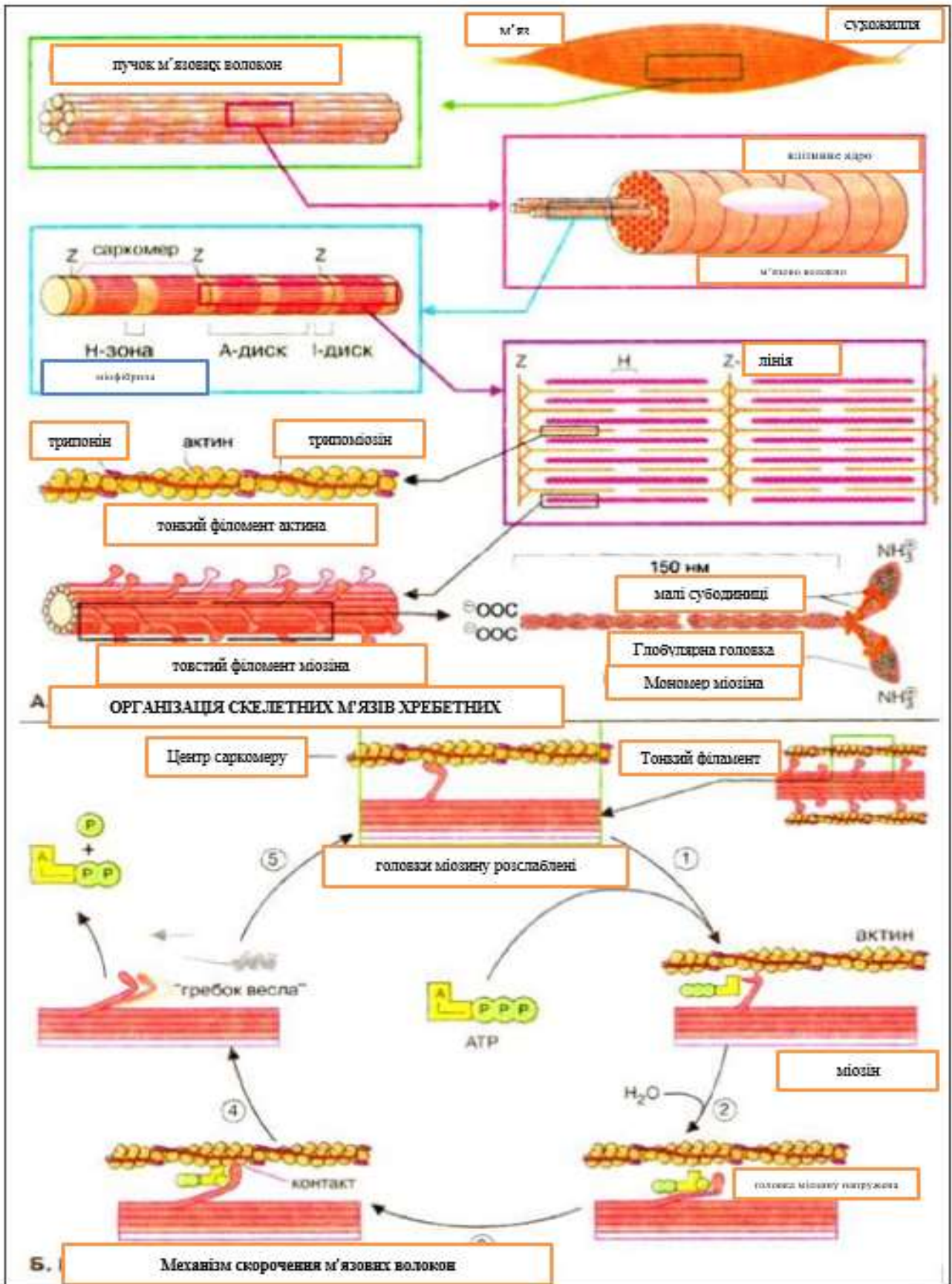


Рисунок 2 – Будова і механізм скорочення скелетних м'язів

Таким чином, і процес м'язового скорочення і процес м'язового розслаблення – це активні процеси, що йдуть з витратами енергії у вигляді молекул АТФ,

У гладких м'язах іони кальцію також грають роль в скороченні, але надходять в м'яз не з цистерн, а з позаклітинної речовини. Цей процес повільний і тому повільно працюють гладкі м'язи. На рисунку 1 показаний механізм скорочення м'язів.

Маса м'язів у дорослої людини складає близько 40 % від маси тіла. У спортсменів, які нараощують мускулатуру, м'язова маса може досягти 60 % і більше від маси тіла. М'язи у дорослої людини в стані спокою споживають близько 10 % від всього кисню, що надходить в організм. При інтенсивній роботі споживання кисню м'язами може зрости до 90 % від всього споживаного кисню.

### **Контрольні питання до теми**

1. Загальна характеристика м'язів. Будова м'язових клітин.
2. Скоротливі елементи (міофібрили).
3. Механізм м'язового скорочення і розслаблення.

## **Тема 10. ЕНЕРГЕТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ М'ЯЗОВОГО СКОРОЧЕННЯ**

Скорочення і розслаблення м'язи потребує енергії, яка утворюється при гідролізі молекул АТФ.



Однак запаси АТФ в м'язі незначні, їх досить для роботи м'язів протягом двох секунд. Тому для забезпечення більш тривалої м'язової діяльності в м'язах має відбуватися поповнення запасів АТФ. Утворення АТФ в м'язах безпосередньо під час фізичної роботи називається **ресинтезом АТФ**.

Таким чином, в м'язах йде два паралельні процеси – гідроліз АТФ і ресинтез АТФ.

Ресинтез АТФ на відміну від гідролізу може протікати різними шляхами, а всього, в залежності від джерела енергії, їх виділяють три: аеробний (основний), креатинфосфатний і лактатний.

Для кількісної характеристики різних шляхів ресинтезу АТФ зазвичай використовують кілька критеріїв:

1) максимальна потужність або максимальна швидкість – це найбільша кількість АТФ, яке може утворитися в одиницю часу за рахунок

даного шляху ресинтезу. Вимірюється максимальна потужність в калоріях або джоулях, виходячи з того, що один ммоль АТФ відповідає фізіологічним умовам приблизно 12 кал або 50 Дж. Тому цей критерій має розмірність кал / хв-кг м'язової тканини або Дж / хв-кг м'язової тканини.

2) 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.

3) час збереження або підтримки максимальної потужності – це найбільший час функціонування даного шляху ресинтезу АТФ з максимальною потужністю.

4) метаболічна ємність – 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 аеробні та анаеробні.

Аеробний шлях ресинтезу АТФ інакше називається **тканинним диханням** – і це основний спосіб утворення АТФ, що протікає в мітохондріях м'язових клітин. В ході тканинного дихання, від речовини що окислюється, віднімаються два атома водню і по дихальному ланцюгу передаються на молекулярний кисень. Який доставляється в м'язи кров'ю і в результаті чого виникає вода. За рахунок енергії, що виділяється при утворенні води, відбувається синтез молекул АТФ з АДФ і фосфорної кислоти. Зазвичай на кожну молекулу води, що утворилася, доводиться синтез трьох молекул АТФ.

Найчастіше водень віднімається від проміжних продуктів **циклу трикарбонових кислот (ЦТК)**. ЦТК – це завершальний етап катаболізму, в ході якого відбувається окиснення ацетилкофермента А до вуглекислого газу і води. В ході цього процесу від перерахованих вище кислот віднімається чотири пари атомів водню і тому утворюється 12 молекул АТФ при окисненні однієї молекули ацетилкофермента А.

У свою чергу ацетилкофермент А може утворюватися з вуглеводів, жирів амінокислот, тобто через це з'єднання в ЦТК залучаються вуглеводи, жири і амінокислоти.

Швидкість аеробного обміну АТФ контролюється вмістом в м'язових клітинах АДФ, який є активатором ферментів тканинного дихання. При м'язовій роботі відбувається накопичення АДФ. Надлишок АДФ прискорює тканинне дихання, і воно може досягти максимальної інтенсивності.

Іншим активатором ресинтезу АТФ є вуглекислий газ. Надлишок цього газу в крові активує дихальний центр головного мозку, що в підсумку призводить до підвищення швидкості кровообігу і поліпшення постачання м'язів киснем.

**Максимальна потужність** аеробного шляху становить 350 – 450 кал / хв-кг. У порівнянні з анаеробними шляхами ресинтезу АТФ тканинне

дихання має більш низькими показниками, що обмежено швидкістю доставки кисню в м'язи. Тому за рахунок аеробного шляху ресинтезу АТФ можуть здійснюватися тільки фізичні навантаження помірної потужності.

**Час розгортання** становить 3 – 4 хвилини, але у добре тренованих спортсменів може становити 1 хв. Це пов'язано з тим, що на доставку кисню в мітохондрії потрібно перебудова практично всіх систем організму.

**Час роботи з максимальною потужністю** становить десятки хвилин. Це дає можливість використовувати даний шлях при тривалій роботі м'язів.

У порівнянні з іншими процесами ресинтезу АТФ, що йдуть в м'язових клітинах, **аеробний шлях має ряд переваг:**

- економічність: з однієї молекули глікогену утворюється 39 молекул АТФ, при анаеробному гліколізі тільки 3 молекули;

- універсальність: в якості початкових субстратів тут виступають різноманітні речовини: вуглеводи, жирні кислоти, кетоніві тіла, амінокислоти;

- дуже велика тривалість роботи: у спокої швидкість аеробного ресинтезу АТФ може бути невеликою, але при фізичних навантаженнях вона може стати максимальною.

Однак є й **недоліки**.

- обов'язкове споживання кисню, що обмежено швидкістю доставки кисню в м'язи і швидкістю проникнення кисню через мембрану мітохондрій;

- великий час розгортання;

- невелика за максимальною величиною потужність.

Тому м'язова діяльність, що властива більшості видів спорту, не може бути повністю отримана цим шляхом ресинтезу АТФ.

У спортивній практиці для оцінки аеробного ресинтезу використовуються наступні показники: **максимальне споживання кисню (МСК), поріг аеробного обміну (ПАО), поріг анаеробного обміну (ПАНО) і кисневий прихід.**

**МСК** – це максимально можлива швидкість споживання кисню організмом при виконання фізичної роботи. Чим вище МСК, тим вище швидкість тканинного дихання. Чим більш тренована людина, тим вище МСК. МСК розраховують зазвичай на 1 кг маси тіла. У людей, які не займаються спортом, МСК 50 мл / хв-кг, а у тренованих людей він досягає 90 мл / хв-кг.

У спортивній практиці МСК також використовується для характеристики відносної потужності аеробної роботи, яка виражається у відсотках від МСК. Наприклад, відносна потужність роботи, що виконується зі споживанням кисню 3 л / хв спортсменом, що має МСК 6 л / хв, становитиме 50 % від рівня МСК.

**ПАО** – це найбільша відносна потужність роботи, яка вимірюється по споживанню кисню у відсотках по відношенню до МСК. Великі величини ПАО говорять про кращий розвитку аеробного ресинтезу.

**ПАНО** – це мінімальна відносна потужність роботи. Також вимірюється по споживанню кисню у відсотках по відношенню до МСК. Високий ПАНО говорить про те, що аеробний ресинтез вище в одиницю часу, тому гліколіз включається при набагато більших навантаженнях.

**Кисневий прихід** – це кількість кисню (понад доробочого рівня), що було використане під час виконання данного навантаження для забезпечення аеробного ресинтезу АТФ. Кисневий прихід характеризує внесок тканинного дихання в енергозабезпеченні всієї роботи, що була виконана. Кисневий прихід часто використовують для оцінки всієї аеробної роботи, що була виконана.

Під впливом систематичних тренувань в м'язових клітинах зростає кількість мітохондрій, вдосконалюється киснево-транспортна функція організму, зростає кількість міоглобіну в м'язах і гемоглобіну в крові.

**Анаеробні шляхи ресинтезу АТФ** – це додаткові шляхи. Таких шляхів два **креатинфосфатний шлях і лактатний**.

**Креатинфосфатний шлях** пов'язан з речовиною **креатинфосфат**. Креатинфосфат складається з речовини креатину, яка зв'язується з фосфатною групою макроергічним зв'язком. Креатинфосфат в м'язових клітинах міститься в спокої 15 – 20 ммоль / кг.

Креатинфосфат володіє великим запасом енергії і високою спорідненістю з АДФ. Тому він легко вступає у взаємодію з молекулами АДФ, що з'являються в м'язових клітинах при фізичній роботі в результаті реакції гідролізу АТФ. В ході цієї реакції залишок фосфорної кислоти з запасом енергії переноситься з креатинфосфату на молекулу АДФ з утворенням креатину і АТФ.



Ця реакція каталізується ферментом **креатинкіназою**. Даний шлях ресинтезу АТФ іноді називають креатинкіназним.

Креатинкіназна реакція оборотна, але зміщена в бік утворення АТФ. Тому вона починає здійснюватися, як тільки в м'язах з'являються перші молекули АДФ.

Креатинфосфат – речовина не міцна. Утворення з нього креатину відбувається без участі ферментів. Той креатин, що не використовується організмом – виводиться з організму з сечею. Синтез креатинфосфату відбувається під час відпочинку з надлишку АТФ. При м'язовій роботі помірної потужності запаси креатинфосфату можуть частково відновлюватися. Запаси АТФ і креатинфосфату в м'язах називають також **фосфагенами**.



Максимальна потужність цього шляху становить 900 – 1100 кал / хв-кг, що в три рази вище відповідного показника аеробного шляху.

Час розгортання всього 1 – 2 сек. Час роботи з максимальною швидкістю всього лише 8 – 10 сек.

Головною перевагою креатинфосфатного шляху утворення АТФ є:

- малий час розгортання;
- висока потужність.

Ця реакція є головним джерелом енергії для вправ максимальної потужності: біг на короткі дистанції, стрибки метання, підйом штанги. Ця реакція може неодноразово включатися під час виконання фізичних вправ, що робить можливим швидке підвищення потужності виконуваної роботи.

Біохімічна оцінка стану цього шляху ресинтезу АТФ зазвичай проводиться двома показниками: **креатиновим коефіцієнтом** і **алактатним боргом**.

**Креатиновий коефіцієнт** – це виділення креатину за добу. Цей показник характеризує запаси креатинфосфату в організмі.

**Алактатний кисневий борг** – це підвищення споживання кисню в найближчі 4 – 5 хв, після виконання короткочасної вправи максимальної потужності. Цей надлишок кисню потрібен для забезпечення високої швидкості тканинного дихання відразу після закінчення навантаження для створення в м'язових клітинах підвищеної концентрації АТФ. У висококваліфікованих спортсменів значення алактатного боргу після виконання навантажень максимальної потужності становить 8 – 10 л.

**Гліколітичний шлях** ресинтезу АТФ, так само як креатинфосфатний, є анаеробним шляхом. Джерелом енергії, необхідної для ресинтезу АТФ, в даному випадку є м'язовий глікоген. При анаеробному розпаді глікогену від його молекули під дією ферменту фосфорілази по черзі відщеплюються кінцеві залишки глюкози в формі глюкозо-1-фосфату. Далі молекули глюкозо-1-фосфату після ряду послідовних реакцій перетворюються в молочну кислоту. Цей процес називається **гліколіз**. В результаті гліколізу утворюються проміжні продукти, що містять фосфатні групи, які з'єднані макроергічними зв'язками. Цей зв'язок легко переноситься на АДФ з утворенням АТФ. У спокої реакції гліколізу протікають повільно, але при м'язовій роботі його швидкість може зрости в 2 000 разів, причому вже в передстартовому стані.

**Максимальна потужність** – 750 – 850 кал / хв-кг, що в два рази вище, ніж при тканинному диханні. Така висока потужність пояснюється вмістом в клітинах великого запасу глікогену і наявністю механізму активізації ключових ферментів.

**Час розгортання** 20 – 30 секунд. **Час роботи з максимальною потужністю** 2 – 3 хвилини.

**Гліколітичний спосіб** утворення АТФ має ряд переваг перед аеробним шляхом:

- він швидше виходить на максимальну потужність;

- має більш високу величину максимальної потужності;
- не вимагає участі мітохондрій і кисню.

Однак у цього шляху є і свої **недоліки**:

- процес малоекономічне;
- накопичення молочної кислоти в м'язах істотно порушує їх нормальне функціонування і сприяє стомленню м'язів.

Для оцінки гліколізу використовують дві біохімічні методики – *вимірювання концентрації лактату в крові, вимір водневого показника крові і визначення лужного резерву крові.*

Визначають також і вміст лактату в сечі. Це дає інформацію про сумарний внесок гліколізу в забезпечення енергією вправ, що виконувались під час тренування.

Ще одним важливим показником є – **лактатний кисневий борг**. **Лактатний кисневий борг** – це підвищене споживання кисню в найближчі 1 – 1,5 години після закінчення м'язової роботи. Цей надлишок кисню необхідний для усунення молочної кислоти, що утворилася при виконанні м'язової роботи. У добре тренованих спортсменів кисневий борг становить 20 – 22 л. За величиною лактаного боргу судять про можливості даного спортсмена при навантаженнях субмаксимальної потужності.

При будь-якій м'язовій роботі функціонують всі три шляхи ресинтезу АТФ, але включаються вони послідовно. У перші секунди роботи ресинтез АТФ йде за рахунок креатинфосфатної реакції, потім включається гліколіз і, нарешті, у міру продовження роботи на зміну гліколізу приходить тканинне дихання.

Конкретний внесок кожного з механізмів утворення АТФ в енергетичне забезпечення м'язових рухів залежить від інтенсивності і тривалості фізичних навантажень.

При короткочасній, але дуже інтенсивній роботі (наприклад бігу на 100 м) головним джерелом АТФ є креатинкіназна реакція. При більш тривалій інтенсивній роботі (наприклад на середні дистанції) велика частина АТФ утворюється за рахунок гліколізу. При виконанні вправ великої тривалості, але помірної потужності, енергозабезпечення м'язів здійснюється в основному за рахунок аеробного окислення.

В даний час прийняті різні класифікації потужності м'язової роботи. У спортивній біохімії найчастіше використовується класифікація, яка базується на тому, що потужність обумовлена співвідношенням між трьома основними шляхами ресинтезу АТФ. Відповідно до цієї класифікації виділяють чотири зони відносної потужності м'язової роботи: максимальної, субмаксимальної, великої і помірної.

**Максимальна потужність** може розвиватися при роботі тривалістю 15 – 20 сек. Основне джерело АТФ при цій роботі – креатинфосфат. Тільки в самому кінці креатинкіназна реакція замінюється гліколізом. Прикладом фізичних вправ, що виконуються в зоні максимальної потужності, є біг на короткі дистанції, стрибки в довжину і висоту, деякі гімнастичні вправи,

підйом штанги і деякі інші. Максимальну потужність при цих вправах позначають як максимальну анаеробну потужність.

Робота в зоні **субмаксимальної аеробної потужності** має тривалість до 5 хвилин. Ведучий механізм ресинтезу АТФ – гліколіз. Спочатку, поки реакції гліколізу не досягнули максимальної швидкості, утворення АТФ йде за рахунок креатинфосфату, а в кінці в процес включається тканинне дихання. Робота в цій зоні характеризується високим кисневим боргом 20 – 22 л. Прикладом фізичних навантажень в цій зоні потужності є біг на середні дистанції, плавання на середні дистанції, велосипедні гонки на треку, спринтерські ковзанярські дистанції та ін. Такі навантаження називають **лактатні**.

Робота в зоні **великої потужності** має граничну тривалість до 30 хв. Для роботи в цій зоні характерний однаковий внесок гліколізу і тканинного дихання. Креатинфосфатний шлях бере участь тільки в самому початку роботи. Прикладом вправ в цій зоні є біг на 5 000 м, біг на ковзанах на довгі дистанції, лижні гонки, плавання на середні дистанції і ін. Тут розрізняють навантаження або аеробно-анаеробні, або анаеробно-аеробні.

Робота в **помірній зоні** тривалістю понад 30 хвилин відбувається переважно аеробним шляхом. Сюди відносять марафонський біг, легкоатлетичний крос, шосейні велогонки, спортивна ходьба, лижні гонки на довгі дистанції, турпоходи і ін.

В ациклічних і ситуаційних видах спорту (єдиноборства, гімнастичні вправи, спортивні ігри) потужність виконуваної роботи багаторазово змінюється. Наприклад, у футболістів біг з помірною швидкістю (зона великої потужності) чергується з бігом на короткі дистанції з спринтерською швидкістю (зона максимальної або субмаксимальної потужності). У той же час у футболістів бувають такі відрізки гри, коли потужність роботи знижується до помірної.

При підготовці спортсменів необхідно застосовувати тренувальні навантаження, розвиваючи шлях ресинтезу АТФ, що є провідним в енергозабезпеченні роботи в зоні відносної потужності, яка є характерною для даного виду спорту.

### **Контрольні питання до теми**

1. Кількісні критерії шляхів ресинтезу АТФ.
2. Аеробний шлях ресинтезу АТФ.
3. Анаеробні шляхи ресинтезу АТФ.
4. Співвідношення між різними шляхами ресинтезу АТФ при м'язовій роботі. Зони відносної потужності м'язової роботи.

## Тема 11. БІОХІМІЧНІ ЗРУШЕННЯ ПРИ М'ЯЗОВОЇ РОБОТІ

Будь-яка фізична робота супроводжується змінами швидкості метаболічних процесів в організмі, появою біохімічних зрушень в працюючих м'язах, у внутрішніх органах і в крові.

В основі всіх біохімічних змін, що виникають при роботі, лежить зміна спрямованості метаболізму. При виконанні фізичного навантаження в організмі підвищується швидкість катаболічних процесів, що супроводжуються виділенням енергії і синтезом АТФ, при одночасному зниженні швидкості анаболізму, яке споживає значну кількість АТФ для забезпечення різних синтезів. Така зміна спрямованості метаболізму призводить до поліпшення енергозабезпечення працюючих м'язів, до підвищення потужності і тривалості роботи.

Необхідна перебудова метаболізму під час м'язової діяльності відбувається під впливом нервово-гормональної регуляції. Виділяють наступні механізми нервово-гормональної регуляції м'язової діяльності.

При м'язовій роботі підвищується тонус симпатичного відділу вегетативної нервової системи, який відповідає за роботу внутрішніх органів і м'язів. У легких під впливом симпатичних імпульсів підвищується частота дихання і відбувається розширення бронхів. В результаті збільшується легенева вентиляція, що призводить до поліпшення забезпечення організму киснем.

Під впливом симпатичної нервової системи також підвищується частота серцевих скорочень, наслідком чого є збільшення швидкості кровотоку і поліпшення постачання органів, в першу чергу м'язів, киснем і живильними речовинами.

Симпатична система підсилює потовиділення, покращуючи тим самим терморегуляцію.

Вона надає уповільнений вплив на роботу нирок, кишечника. Під впливом симпатичної нервової системи відбувається мобілізація жиру, тобто вихід жиру з жирових депо в кров з подальшим підвищенням його концентрації в плазмі крові. Так як жир володіє великим запасом енергії, збільшення його вмісту в крові слід розглядати як сприятливу зміну, що спрямовано на підвищення енергозабезпечення м'язів.

Не менш важливу роль в перебудові організму під час м'язової роботи виконують гормони. Найбільше значення в біохімічну перебудову при цьому вносять гормони надниркових залоз.

Мозковий шар наднирників виробляє два гормони – **адреналін** і **норадреналін**. Обидва гормону часто об'єднують загальним терміном – **катехоламіни**. Виділення гормонів мозкового шару в кров відбувається при різних емоціях і стресах, і тому адреналін називають гормоном емоцій або гормоном стресу. Біологічна роль цих гормонів – створення

оптимальних умов для виконання м'язової роботи великої потужності і тривалості шляхом впливу на фізіологічні функції і метаболізм.

Потрапляючи в кров, катехоламіни дублюють дії симпатичних імпульсів. Вони викликають підвищення частоти дихання, розширення бронхів. Під дією адреналіну підвищується частота серцевих скорочень і їх сила, також в організмі відбувається перерозподіл крові в судинному руслі. Під впливом адреналіну розширюються кровоносні судини органів, що беруть участь в забезпеченні м'язової діяльності (скелетні м'язи, мозок, міокард, легені, печінка), і одночасно звужуються судини органів, які не беруть безпосередньої участі в забезпеченні функціонування м'язів (шкіра, нирки, шлунково-кишковий тракт) . В результаті такого впливу значно поліпшується кровопостачання м'язів і внутрішніх органів, що мають відношення до виконання м'язової роботи.

У печінки ці гормони викликають прискорений розпад глікогену до глюкози, яка потім виходить в кров. В жировій тканині катехоламіни активізують фермент ліпазу, прискорюючи тим самим розпад жиру. У м'язах вони активізують розпад глікогену.

Гормони коркового шару також активно беруть участь в активізації м'язової роботи. Їх дія полягає в тому, що вони пригнічують дію ферменту гексокінази, ніж сприяють накопиченню глюкози в крові. Оскільки ці гормони не діють на нервові клітини – це дає можливість жити нервові клітини, оскільки глюкоза для них практичний єдине джерело енергії. Гормони – **глюкокортикоїди** – гальмують анаболічні процеси і в першу чергу біосинтез білків. Це дає можливість використовувати вивільнені молекули АТФ для роботи м'язів. Крім того вони стимулюють синтез глюкози з неуглеводних субстратів.

При виконанні фізичної роботи в м'язах відбувається глибокі зміни, зумовлені перш за все інтенсивністю процесів ресинтезу АТФ.

Використання креатин фосфату, як джерела енергії, призводить до зниження його концентрації в м'язових клітинах і накопичення в них креатину.

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 одночасне утворення і накопичення молочної кислоти. За рахунок накопичення молочної кислоти підвищується кислотність всередині м'язових клітин. Збільшення вмісту лактату в м'язових клітинах викликає також підвищення в них осмотичного тиску. Підвищення осмотичного тиску призводить до того, що в м'язову клітку з капілярів і міжклітинного простору надходить вода, і м'язи набухають або, як кажуть спортсмени, «забиваються».

Тривала м'язова робота невеликої потужності викликає плавне зниження концентрації глікогену в м'язах. В даному випадку розпад

відбувається аеробно зі споживанням кисню. Кінцеві продукти такого розпаду – вуглекислий газ і вода – видаляються з м'язових клітин в кров. Тому після виконання роботи помірної потужності в м'язах виявляється зменшення вмісту глікогену без накопичення лактату.

Ще одна важлива зміна, що виникає в працюючих м'язах – підвищення швидкості розпаду білків. Особливо прискорюється розпад білків при виконанні силових вправ, причому, це зачіпає в першу чергу скоротливі білки міофібрил. Внаслідок розпаду білків в м'язових клітинах підвищується вміст вільних амінокислот і продуктів їх розпаду – кетокислот і аміаку.

Іншою характерною зміною, що викликається м'язовою діяльністю, є зниження активності ферментів м'язових клітин. Однією з причин зменшення ферментативної активності може бути підвищена кислотність, викликана появою в м'язах молочної кислоти.

І нарешті, м'язова діяльність може призвести до пошкоджень внутрішньоклітинних структур – міофібрил, мітохондрій та інших біомембран. Так порушення мембран саркоплазматичного ланцюга веде до порушення проведення нервового імпульсу до цистерн, що містить іони кальцію. Порушення цілісності сарколеми супроводжується втратою м'язами багатьох важливих речовин, які йдуть з пошкодженої клітини в лімфу та кров. Порушується і робота ферментів, вбудованих в мембрани. Порушується робота кальцієвого насоса і ферментів тканинного дихання, розташованих на внутрішній поверхні мембран мітохондрій.

**Головний мозок.** Під час м'язової діяльності в рухових нейронах кори головного мозку відбувається формування і подальша передача рухового нервового імпульсу. Обидва ці процеси (формування і передача нервового імпульсу) здійснюються зі споживанням енергії у вигляді молекул АТФ. Утворення АТФ в нервових клітинах відбувається аеробно. Тому при м'язовій роботі збільшується споживання мозком кисню з крові, що протікає. Іншою особливістю енергетичного обміну в нейронах є те, що основним субстратом окислення є глюкоза, яка надходить 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 проявитися у формі запаморочення або непритомного стану.

**Міокард.** Під час м'язової діяльності відбувається посилення і почастішання серцевих скорочень, що вимагає великої кількості енергії у порівнянні зі станом спокою. Однак енергопостачання серцевого м'яза здійснюється головним чином за рахунок аеробного ресинтезу АТФ. Лише при ЧСС (частота серцевих скорочень) понад 200 уд / хв, включається анаеробний синтез АТФ.

Великі можливості аеробного енергозабезпечення в міокарді обумовлені особливістю будови цього м'язу. На відміну від скелетних м'язів в міокарді є більш розвинена і густа мережа капілярів, що дозволяє

витягувати з крові більше кисню і субстратів окислення. Крім того в клітинах серцевого м'яза є більше мітохондрій, що містять ферменти тканинного дихання. В якості джерела енергії клітини серцевого м'яза використовують і глюкозу, і жирні кислоти, і кетонові тіла, і гліцерин. Глікоген міокард зберігає на «чорний день», коли виснажуються інші джерела енергії.

Інтенсивна робота супроводжується збільшенням концентрації лактату в крові, міокард витягує з крові лактат і окисляє його до вуглекислого газу і води.

При окисленні однієї молекули молочної кислоти синтезується до 18 молекул АТФ. Здатність міокарда окисляти лактат має велике біологічне значення. Це дає можливість організму довше підтримувати в крові необхідну концентрацію глюкози, що дуже істотно для біоенергетики нервових клітин, для яких глюкоза є майже єдиним субстратом окислення. Окислення лактату в міокарді також сприяє нормалізації кислотно-лужного балансу, так як при цьому в крові знижується концентрація цієї кислоти.

При м'язовій діяльності активуються функції печінки, які спрямовані переважно на поліпшення забезпечення працюючих м'язів, позам'язовими джерелами енергії, які переносяться кров'ю. Нижче описані найбільш важливі біохімічні процеси, що протікають в печінці під час роботи.

1. Під впливом адреналіну підвищується швидкість розпаду глікогену з утворенням вільної глюкози. Новоутворена глюкоза виходить з клітин печінки в кров, що призводить до зростання її концентрації в крові. При цьому знижується вміст глікогену. Найбільш висока швидкість розпаду глікогену спостерігається в печінці на початку роботи, коли запаси глікогену ще великі.

2. Під час виконання фізичної вправи клітини печінки активно беруть із крові жир, жирні кислоти, вміст яких в крові зростає внаслідок мобілізації жиру з жирових депо. Жир, що поступає в печінкові клітини, відразу піддається гідролізу і перетворюється в гліцерин і жирні кислоти. Далі жирні кислоти шляхом  $\beta$ -окислення розщеплюються до ацетил коферменту А, з якого потім утворюються кетонові тіла. Кетонові тіла є важливим джерелом енергії. З потоком крові вони переносяться з печінки в працюючі органи – міокард і скелетні м'язи. У цих органах кетонові тіла знову перетворюються в ацетил кофермент А, який відразу ж аеробно окислюється в циклі трикарбонних кислот до вуглекислого газу і води з виділенням великої кількості енергії.

3. Ще один біохімічний процес, що протікає в печінці під час м'язової роботи – це утворення глюкози з гліцерину, амінокислот, лактату. Цей процес йде з витратами енергії молекул АТФ. Зазвичай такий синтез глюкози протікає при тривалій роботі, що призводить до зниження концентрації глюкози в кров'яному руслі. Завдяки цьому процесу організму вдається підтримувати в крові необхідний рівень глюкози.

4. При фізичній роботі посилюється розпад м'язових білків, що призводить до утворення вільних амінокислот, які далі дезамінуються, виділяючи аміак. Аміак є клітинною отрутою, його знешкодження відбувається в печінці, де він перетворюється в сечовину. Синтез сечовини потребує значної кількості енергії. При виснажуючих навантаженнях, що не відповідають функціональному стану організму, печінка може не справлятися із знешкодженням аміаку, в цьому випадку виникає інтоксикація організму цією отрутою, яка веде до зниження працездатності.

Зміни хімічного складу крові є відображенням тих біохімічних зрушень, які виникають при м'язовій діяльності в різних внутрішніх органах, скелетних м'язах і міокарді. Біохімічні зрушення, що виникають в крові, в значній мірі залежать від характеру роботи, тому їх аналіз слід проводити з урахуванням потужності і тривалості фізичних навантажень.

При виконанні м'язової роботи в крові найчастіше виявляються такі зміни:

1. Зміни концентрації білків в плазмі крові. Причин цього дві. По-перше, посилене потовиділення призводить до зменшення вмісту води в плазмі крові і, отже, до її згущення. Це викликає зростання концентрації речовин, що містяться в плазмі. По-друге, внаслідок пошкодження клітинних мембран спостерігається вихід внутрішньоклітинних білків в плазму крові. У цьому випадку частина білків кров'яного руслу переходить в сечу, а інша частина використовується в якості джерел енергії.

2. Зміна концентрації глюкози в крові під час роботи проходить ряд фаз. На самому початку роботи рівень глюкози зростає. Глюкоза виходить з печінки, де відбувається її утворення з глікогену. Крім того м'язи, які мають запаси глікогену, на цій стадії в глюкозі з крові гостро не потребують. Але потім настає стадія, коли глікоген в печінці і м'язах закінчується. Тоді настає наступна фаза, коли для отримання енергії використовується глюкоза крові. Ну а в кінці роботи настає фаза виснаження і, як наслідок, **гіпоглікемія** – зниження концентрації глюкози в крові.

3. Підвищення концентрації в крові лактату спостерігається практично при будь-якій спортивній діяльності, але ступінь накопичення лактату в значній мірі залежить від характеру виконуваної роботи і тренуваності спортсмена. Найбільший підйом рівня молочної кислоти в крові відзначається при виконанні фізичних навантажень в зоні субмаксимальної потужності. Так як в цьому випадку головним джерелом енергії для працюючих м'язів є гліколіз, що призводить до утворення та накопичення лактату.

Слід пам'ятати, що накопичення лактату відбувається не відразу, а через кілька хвилин після закінчення роботи. Тому і вимір рівня лактату потрібно проводити через 5 – 7 хвилин після закінчення роботи. Якщо рівень лактату в спокої не перевищує 1 – 2 ммоль / л, то у високо-



тренуваних спортсменів після тренування він може досягати 20 – 30 ммоль / л.

4. Водневий показник (рН). При виконанні вправ субмаксимальної потужності рівень рН може досить значно знижуватися (на 0,5 од.)

5. Фізичні вправи супроводжуються підвищенням концентрації вільних жирних кислот і кетонових тіл в крові. Це пов'язано з мобілізацією жиру в печінці і виходом продуктів цього процесу в кров.

6. Сечовина. При короткочасній роботі концентрація сечовини в крові змінюється незначно, при тривалій роботі рівень сечовини зростає в кілька разів. Це пов'язано з посиленням метаболізму білків при фізичних навантаженнях.

Фізичні вправи впливають на фізико-хімічні властивості сечі, зрушення в яких пояснюються істотними зрушеннями в хімічному складі сечі. В сечі з'являються речовини, які зазвичай в ній відсутні. Ці речовини називають **патологічними компонентами**. У спортсменів спостерігаються після напруженої роботи, такі патологічні компоненти:

**1. Білок.** Зазвичай в сечі не більше 100 мг білка. Після тренування спостерігається значне виділення сечею білка. Це явище отримало назву **протеїнурія**. Чим важче навантаження, тим вищий вміст білка. Причиною цього явища, можливо, є пошкодження ниркових мембран. Однак зниження навантажень повністю відновлює нормальний склад сечі.

**2. Глюкоза.** У спокої глюкоза в сечі відсутня. Після завершення тренування в сечі нерідко виявляється глюкоза. Це обумовлено двома основними причинами. Перша, надмірний вміст глюкози в крові при фізичній роботі. По-друге, порушення ниркових мембран викликає порушення процесу зворотнього всмоктування.

**3. Кетонові тіла.** До роботи кетонові тіла в сечі не виявляються. Після навантажень з сечею можуть виділятися у великих кількостях кетонові тіла. Це явище називається **кетонурія**. Вона пов'язана з підвищенням концентрації кетонових тіл в крові і нарощенням реабсорбції їх нирками.

**4. Лактат.** Поява молочної кислоти в сечі зазвичай спостерігається після тренувань, що включають вправи субмаксимальної потужності. За виділення лактату з сечею можна судити про загальний внесок гліколізу в енергетичне забезпечення всієї роботи, що виконується спортсменом на тренуванні.

Поряд з впливом на хімічний склад сечі фізичні навантаження змінюють і фізико-хімічні властивості сечі.

**Густина.** Обсяг сечі після тренувань, як правило, менше, так як більша частина води йде з потім. Це позначається на щільності сечі, яка зростає. Збільшення щільності сечі пов'язано також з появою в ній речовин, які зазвичай в сечі відсутні. За щільністю можна розрахувати вміст розчинених хімічних сполук в окремих порціях сечі.

**Кислотність.** Кетонові тіла і молочна кислота, що виділяються з сечею, змінюють її кислотність. Зазвичай рН сечі 5 – 6 од. Після роботи він може знизитися до 4 – 4,5 од.

Чим інтенсивніше фізичні навантаження – то більші зміни, що спостерігаються в складі сечі і крові.

### **Контрольні питання до теми**

1. Основні механізми нервово-гуморальної регуляції м'язової діяльності.
2. Біохімічні зміни в скелетних м'язах.
3. Біохімічні зрушення в головному мозку і міокарді.
4. Біохімічні зрушення в печінці.
5. Біохімічні зрушення в крові.
6. Біохімічні зрушення в сечі.

## **Тема 12. БІОХІМІЧНІ МЕХАНІЗМИ ВТОМИ**

**Втома** – це тимчасове зниження працездатності, що викликається біохімічними, функціональними та структурними зрушеннями, які виникають в ході виконання фізичної роботи.

З біологічної точки зору **стомлення** – це захисна реакція, попереджає наростання біохімічних і фізіологічних змін в організмі, які досягнувши певної глибини, можуть стати небезпечними для здоров'я і для життя.

У спортсменів в основі розвитку втоми лежать різні механізми. Перш за все – це виникнення, так званого, **охоронного** або **поза межного гальмування**, що виникає в нервовій системі.

Суб'єктивно, охоронне гальмування сприймається як почуття втоми. Залежно від поширеності втома може бути місцевою (локальною) або загальною (глобальною). При місцевій втомі біохімічні зрушення виявляються в певних групах м'язів, а загальна втома відображає біохімічні і фізіологічні зрушення, що виникають не тільки в працюючих м'язах, але і в інших органах і супроводжуються зниженням працездатності серцевої, дихальної, нервової систем, зміною складу крові і функціонування печінки. Біологічна роль втоми полягає, напевно, в тому, що це почуття є суб'єктивним сигналом виникнення в організмі несприятливих зрушень.

Охоронне гальмування, а значить і втома, можуть бути знижені за рахунок емоцій. Високий емоційний підйом допомагає організму подолати поріг охоронного гальмування. Навпаки виконання монотонної,

одноманітної роботи підвищує ймовірність розвитку охоронного гальмування.

Хімічні речовини, що вводяться в організм, можуть посилювати або навпаки зменшувати розвиток позамежного гальмування.

Для підвищення працездатності здавна користуються **кофеїном**, який входить до складу чаю і кофе. Ця природна сполука діє дуже м'яко і підвищення працездатності відбувається в межах фізіологічних можливостей організму. Подібним чином діють женьшень, елеутерокок, китайський лимонник, пантокрин, які ще називають **природними адаптогенами**. Є і фармакологічні препарати, що дозволяють зберегти високу працездатність. Деякі подібні препарати відносяться до групи стимуляторів центральної нервової системи. Їх застосування дозволяє зберегти високу працездатність навіть при виникненні глибоких біохімічних і фізіологічних зрушень, що призводять до функціонального виснаження організму, дуже небезпечного для життя. Тому стимулятори центральної нервової системи віднесені до допінгів.

Протилежну дію роблять седативні препарати, зокрема, похідні бромю. При їх використанні позамежне гальмування і відчуття втоми виникає раніше, що призводить до обмеження працездатності.

Розвиток гальмівних процесів в ЦНС залежить від віку. У людей похилого віку відчуття втоми розвивається швидше.

У забезпеченні м'язової діяльності, поряд з нервовою системою, найактивнішу участь беруть системи вегетативного забезпечення: дихальна, серцево-судинна, печінка.

Дихальна і серцево-судинна системи відповідають в організмі, перш за все, за доставку і видалення газів до різних органів, в тому числі і м'язам. При активній фізичній роботі ці системи можуть стати вельми серйозним обмежувачем працездатності, і, отже, внести чималий внесок в розвиток стомлення.

Ще один орган, який сприяє розвитку стомлення – це печінка. У печінці під час м'язової роботи протікають такі важливі процеси, як утворення глюкози,  $\beta$ -окислення жирних кислот, кетогенез, гліюконеогенез, які спрямовані на забезпечення м'язів найважливішими джерелами енергії: гліюкозою і кетоновими тілами. Крім того в печінці під час м'язової роботи здійснюється знешкодження аміаку шляхом синтезу сечовини. Тому зменшення функціональної активності печінки веде до зниження працездатності, тобто розвитку втоми. У зв'язку з такою важливою роллю печінки в забезпеченні м'язової діяльності в спортивній практиці широке застосування знаходять речовини, що поліпшують обмінні процеси печінки – **гепатопротектори**, фармакологічні препарати, що покращують обмінні процеси в печінці.

При тривалій фізичній роботі можливе зниження функцій надниркових залоз. В результаті зменшується виділення в кров гормонів

адреналіну і кори надниркових залоз. Це викликає зниження працездатності м'язів.

Виконання фізичної роботи супроводжується великими енергетичними затратами.

У спортивній літературі часто використовуються терміни **енергетичні резерви і доступні джерела енергії**. Під цим розуміється та частина вуглеводів, жирів і амінокислот, яка може служити джерелом енергії при виконанні м'язової роботи. Такими джерелами можна вважати м'язовий **креатинфосфат**, який може бути майже повністю використаний при інтенсивній роботі, значну частину м'язового і печінкового глікогену. Частина запасів жиру, що знаходиться в жирових депо, а також амінокислоти, які починають окислюватись при дуже тривалих навантаженнях. Енергетичним резервом можна також вважати здатність організму підтримувати в крові під час виконання фізичної роботи необхідний рівень глюкози.

Вичерпання енергетичних субстратів, безсумнівно, веде до зниження вироблення в організмі АТФ і зменшення балансу АТФ / АДФ.

Зниження цього показника в нервовій системі призводить до порушень формування передачі нервових імпульсів, в тому числі, керівників скелетної мускулатурою. Таке порушення в діяльності нервової системи і є основною причиною розвитку охоронного гальмування. Зменшення швидкості синтезу АТФ в клітинах скелетних м'язів і міокарда порушує скоротливу функцію міофібрил, наслідком чого є зниження потужності виконуваної роботи.

Для підтримки енергетичних ресурсів в організмі при виконанні тривалої роботи (наприклад, лижні гонки, марафонський біг, шосейні велогонки) на дистанції організовується харчування, що дозволяє спортсменам довго зберігати працездатність.

Зазвичай лактат (молочна кислота) утворюється в м'язах у великих кількостях при виконанні навантажень субмаксимальної потужності. Накопичення молочної кислоти в м'язових клітинах істотно впливає на їх функціонування. В умовах підвищеної кислотності, викликаній наростанням концентрації молочної кислоти, знижується скорочувальна здатність білків, що беруть участь в м'язовій діяльності, зменшується каталітична активність білків-ферментів, в тому числі АТФази активність міозину і активність кальцієвої АТФази (кальцієвий насос), змінюються властивості мембранних білків, що призводить до підвищення проникності біологічних мембран. Крім того, накопичення лактату в м'язових клітинах веде до набухання цих клітин внаслідок надходження в них води, що в результаті зменшує скоротливу можливість м'язів (як кажуть спортсмени, «м'язи забилися»). Можна також припустити, що надлишок лактату всередині м'язових клітин пов'язує частину іонів кальцію і тим самим погіршує управління процесами скорочення і розслаблення м'язів.

На практиці для попередження можливого негативного впливу лактату на працездатність використовуються різні прийоми, що сприяють видаленню його з працюючих м'язів.

Відомо, що незначна частина кисню, що надходить з повітря в організм, перетворюється в активні форми, які називаються **вільними радикалами**. Вільні радикали кисню, володіючи високою хімічною активністю, викликають окислення білків, жирів і нуклеїнових кислот. Найчастіше окисленню піддається ліпідний шар біологічних мембран. Таке окислення називають **перекисне окислення ліпідів (ПОЛ)**.

У фізіологічних умовах вільнорадикальне окислення протікає з низькою швидкістю, так як йому протистоїть захисна антиоксидантна система організму, що попереджає накопичення вільних радикалів кисню і обмежує тим самим швидкість реакцій окислення, які викликаються вільними радикалами.

Однак дослідження показують, що фізичні навантаження, властиві сучасному спорту, призводять до значного зростання ПОЛ. Цим грішить практично будь-яка фізична робота, що протікає в умовах підвищеного споживання кисню.

В ациклічних видах спорту (більш спортивним гри, єдиноборства) характер м'язової діяльності багаторазово змінюється. Такі зміни супроводжуються невідповідністю між триваючим підвищеним надходженням кисню і зниженням його споживання мітохондріями міоцитів. Подібна невідповідність викликає відносну **гіпероксію** в м'язовій тканині, що, безсумнівно, призводить до ще більшого утворення вільних радикалів і подальшого наростання їх шкідливої дії на біомембрани. До підвищення швидкості вільнорадикального окислення призводить також підвищення кислотності – **ацидоз** – виникає у спортсменів внаслідок накопичення в м'язових клітинах лактату. Не менш великий внесок в ці процеси робить стрес – постійний супутник сучасного спорту. Стрес, а саме, стресові гормони, мають величезний вплив на розвиток в організмі вільнорадикального окислення.

Надмірна активізація ПОЛ робить негативний вплив на м'язову діяльність. Ускладнюється передача тривалих нервових імпульсів, так як підвищується проникність мембран нервових і м'язових клітин. Порушується кальцієвий насос, що неминуче призводить до зниження здатності м'язових клітин до скорочення. Порушення мітохондріальних мембран, неминуче веде до зниження рівня окисного фосфорилування, а значить погіршує постачання м'язових клітин енергією.

Таким чином, активізація ПОЛ скорочує працездатність спортсмена.

Вільнорадикальне окислення – це один з найважливіших механізмів розвитку стомлення при спортивній діяльності.

До екзогенних засобів, що перешкоджає розвитку втоми при спортивній діяльності, слід віднести **вітамін Е** (токоферол), **тимол** і ряд інших.

### **Контрольні питання до теми**

1. Охоронне або позамежне гальмування.
2. Порушення функцій регуляторних і вегетативних систем.
3. Вичерпання енергетичних резервів.
4. Роль лактату в втомі.
5. Пошкодження біологічних мембран вільнорадикальним окисленням.

## **Тема 13. БІОХІМІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ПІСЛЯ М'ЯЗОВОЇ РОБОТИ**

Відновлення є найважливішим періодом підготовки спортсмена, так як саме в цей час в організмі закладаються основи зростання спортивної працездатності і розвитку швидкісно-силових якостей і витривалості.

З точки зору біохімії розрізняють відновлення **термінове** і **відставлене**.

На етапі **термінового відновлення** усуваються продукти анаеробного обміну, головним чином креатин і молочна кислота.

Креатин накопичується в м'язових клітинах під час фізичних навантажень за рахунок креатинфосфатної реакції:



Ця реакція оборотна. Під час відновлення вона протікає в зворотному порядку:



Обов'язковою умовою перетворення креатину в креатинфосфат є надлишок АТФ, який створюється в м'язах після роботи, коли вже немає великих енерговитрат на м'язову діяльність. Джерелом АТФ при відновленні є тканинне дихання, що протікає з досить високою швидкістю і яке споживає значну кількість кисню. В якості окислюваних субстратів при цьому найчастіше використовуються жирні кислоти.

На усунення креатину потрібно не більше 5 хвилин. Протягом цього часу спостерігається підвищене споживання кисню, яке отримало назву **алактатний кисневий борг**.

Алактатний кисневий борг характеризує внесок креатинфосфатного шляху ресинтезу АТФ в енергозабезпечення виконуваного фізичного

навантаження. Найбільших значень алактатний борг досягає в зоні виконання фізичних навантажень максимальної потужності і досягає величини 8 – 10 л.

Інший продукт анаеробного обміну – молочна кислота – утворюється і накопичується в результаті функціонування гліколізу. Усунення лактату відбувається переважно у внутрішніх органах, так як вона легко виходить з клітин у кров'яне русло.

Лактат, що надходить з крові в міокард, піддається аеробному окислюванню і перетворюється в кінцеві продукти – вуглекислий газ і воду. Таке окислення вимагає кисню і супроводжується виділенням енергії, яка використовується для забезпечення роботи серцевого м'яза.

Значна частина лактату з крові потрапляє в печінку і перетворюється в глюкозу. Цей процес називається **глюконеогенезом**. Процес цей іде з витратами енергії молекул АТФ, джерелами яких є процеси тканинного дихання, що протікають з підвищеною швидкістю і споживанням надмірної кількості кисню в порівнянні зі спокоєм.

Підвищене споживання кисню в найближчі 1,5 – 2 години після завершення м'язової роботи, необхідний для усунення лактату і називається **лактатним кисневим боргом**. Лактатний кисневий борг характеризує внесок гліколізу в енергозабезпечення м'язової роботи і досягає великої величини 20 – 22 л.

Частково алактатний і лактатний борг можуть устранятися під час тренування, при зниженні тренувальних навантажень, а також в проміжках відпочинку. Таке відновлення називається поточним.

Відставлене відновлення пов'язано з поповненням запасів глікогену, жирів і білків. Власне, синтези цих речовин і складають біохімічну сутність цих процесів.

Синтез глікогену протікає в м'язах і в печінці, причому в першу чергу накопичується м'язовий глікоген. Синтез глікогену відбувається, головним чином, з глюкози, що надходить з їжею. Граничне відновлення в організмі запасів глікогену становить 24 – 36 годин.

Синтез жирів здійснюється в жировій тканині. Спочатку утворюються гліцерин і жирні кислоти, потім вони з'єднуються в молекулу жиру. Жир також утворюється в стінці тонкої кишки шляхом ресинтезу з продуктів перетравлення жиру їжі. З потоком лімфи, а потім крові ресинтезований жир надходить в жирову тканину. Для поповнення запасів жиру необхідно не більше 36 – 48 годин.

Відставлене відновлення також включає і відновлення пошкоджених внутрішньоклітинних структур. Це стосується міофібрил, мітохондрій, різних клітинних мембран. За часом це найтриваліший процес, що вимагає від 72 до 96 годин.

Всі біохімічні процеси, що представляють відставлене відновлення, протікають зі споживанням енергії, джерелом якої є молекули АТФ, що виникають за рахунок окисного фосфорилування. Тому для фази

відставленого відновлення характерно кілька підвищене споживання кисню, але не таке виражене, як при терміновому відновленні.

Важливою особливістю відставленого відновлення є наявність свержвідновлення або суперкомпенсації. Суть цього явища полягає в тому, що речовини, зруйновані під час роботи, під час відновлення синтезуються в великих концентраціях у порівнянні з їх передробочим рівнем. На жаль, суперкомпенсація носить тимчасовий характер. Потім рівень працездатності повертається до вихідного. Однак, якщо суперкомпенсація виникає часто, то це веде до поступового підвищення вихідного рівня. Так ось, показано, що рівень працездатності безпосередньо пов'язаний з концентрацією глікогену в м'язах.

Основною причиною суперкомпенсації є підвищений вміст в крові гормонів, що впливають на синтетичні процеси. Час настання суперкомпенсації залежить від швидкості розпаду речовин при роботі: чим вище швидкість розщеплення певної речовини під час роботи, тим швидше відбувається її синтез при відновленні і раніше настає суперкомпенсація.

Висота суперкомпенсації визначається глибиною розпаду речовин при роботі. Чим глибше розпад речовини при роботі, тим більше виражена і вище суперкомпенсація. Ця особливість суперкомпенсації змушує тренерів застосовувати на тренуваннях вправи високої потужності і тривалості, щоб викликати в організмі спортсмена досить глибокий розпад тих речовин, від змісту яких значно залежить працездатність.

Для спортсмена суперкомпенсація має виняткове значення. На висоті суперкомпенсації істотно зростають всі якості рухової діяльності, що безсумнівно сприяє зростанню спортивних результатів.

В даний час в практиці спорту застосовуються три групи відновлювальних засобів: **педагогічні, психологічні і медико-біологічні.**

До **педагогічних методів** прискорення відновлення відносяться:

- використання в тренувальному процесі фізичних навантажень, відповідних функціональному стану спортсмена;
- раціональна регулярність тренувальних занять, наявність необхідної тривалості відпочинку між тренуваннями;
- чергування анаеробних і аеробних навантажень, яке попереджає надмірне утворення і накопичення в організмі лактату з подальшим підвищенням кислотності.

Психологічні засоби, які прискорюють відновлення, різноманітні. На практиці застосовуються такі методи **психологічного впливу:**

- психологічна саморегуляція;
- аутогенне психом'язове тренування;
- навіювання і гіпноз;
- музика і світломузика;
- спеціальні дихальні вправи;
- психогігієна (сприятливі умови побуту, різноманітність дозвілля, виняток негативних емоцій і т. п.)



**Медико-біологічні засоби** прискорення відновлення працездатності відіграють важливу роль в підготовці спортсменів будь-якої кваліфікації і широко застосовуються в спортивній практиці. Сюди відносяться:

- гідротерапія;
- масаж;
- повноцінне харчування;
- лікарські засоби.

В кінцевому підсумку всі засоби гідротерапії і масажу призводять до посилення лімфо- і кровообігу. Завдяки цьому внутрішні органи і особливо м'язи, звільняються від кінцевих продуктів метаболізму (насамперед, лактату) і отримують у великих кількостях кисень, джерела енергії, будівельний матеріал.

За рахунок харчування в організм ззовні надходять джерела енергії, будівельний матеріал, вітаміни і мінеральні речовини, тобто все те, що необхідно для швидкого перебігу відновних процесів. Однак незбалансоване харчування може не тільки не прискорити відновлення, а й просто звести його до нуля.

Застосування дозволених лікарських засобів сприяє зростанню працездатності, прискоренню відновлення, підвищенню рівня адаптації до м'язових навантажень. Фармакологічні засоби також можуть стимулювати імунні властивості організму, покращувати біоенергетику організму.

#### **Контрольні питання до теми**

1. Термінове відновлення.
2. Відставлене відновлення.
3. Методи прискорення відновлення.

### **Тема 14. БІОХІМІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ АДАПТАЦІЇ ДО М'ЯЗОВОЇ РОБОТИ**

У широкому розумінні слово адаптація означає «пристосування». До великих фізичних навантажень, характерним для сучасного спорту необхідно адаптуватися. Це передбачає дотримання спортивного режиму, вміння переносити стресові навантаження, нарешті, регулярно з великою віддачею тренуватися.

**Адаптація до м'язової роботи** – це структурно-функціональна перебудова організму, що дозволяє спортсмену виконувати фізичні навантаження більшої потужності і тривалості, розвивати більш високі м'язові зусилля в порівнянні з нетренованою людиною.

Біохімічні та фізіологічні механізми адаптації до фізичних навантажень сформувалися в ході тривалої еволюції тваринного світу і зафіксовані в структурі ДНК. Тому у кожній людини є вроджена здатність до адаптації або **генетична адаптація**. В принципі молекулярні механізми, що лежать в основі адаптації, однакові для будь-якого організму. У той же час рівень реалізації окремих адаптаційних механізмів індивідуальний і істотно залежить від конституції тіла, типу вищої нервової діяльності та багато іншого. Тому немає нічого дивного, що одні люди здатні легко пристосовуватися до виконання короткочасних силових навантажень, інші – до виконання швидкісних вправ, а треті – легко виконують вправи на витривалість. Індивідуальні особливості генотипу необхідно враховувати при відборі для занять окремими видами спорту.

Адаптаційні можливості людини змінюються і з віком. Під впливом систематичних тренувань адаптаційні механізми удосконалюються, рівень адаптації до м'язової роботи зростає. Такий приріст адаптаційних можливостей організму, що спостерігається протягом життя, носить назву **фенотипічної адаптації**.

Адаптація до фізичних навантажень проходить дві фази – термінової або екстреної адаптації та довготривалої або хронічної адаптації.

Основою термінової адаптації є структурно-функціональна перебудова, яка відбувається в організмі безпосередньо при виконанні фізичної роботи. Метою цього етапу є створення м'язам оптимальних умов для функціонування, перш за все, за рахунок збільшення енергопостачання.

Необхідні для цього біохімічні і фізіологічні зрушення виникають під впливом нервово-гуморальної регуляції. Головними регуляторними факторами термінової адаптації є симпатична нервова система і гормони – катехоламіни і глюкокортикоїди.

На клітинному рівні під дією нервово-гуморальних механізмів регуляції збільшується вироблення енергії.

До основних змін катаболічних процесів, що призводить до посилення забезпечення енергією, можна віднести наступні процеси.

**1. Прискорення розпаду глікогену в печінці.** У цьому процесі утворюється глюкоза, яка потрапляє в кров. Це веде до збільшення постачання різних органів найважливішим енергетичним субстратом.

**2. Посилення синтезу аеробного і анаеробного м'язового глікогену.** Цей процес забезпечує вироблення великої кількості молекул АТФ. В цьому процесі велике значення має гормон адреналін.

**3. Підвищення швидкості тканинного дихання в мітохондріях.** Причин тому дві: збільшення постачання мітохондрій киснем і підвищення активності ферментів тканинного дихання внаслідок активуючої дії надлишку АТФ, що виникає при м'язовій роботі.

**4. Збільшення мобілізації жиру в жирових депо.** Внаслідок цього в крові підвищується рівень нерасщепленого жиру і вільних жирних

кислот. Мобілізація жиру викликається імпульсами вегетативної нервової системи і адреналіном.

**5. Підвищення швидкості  $\beta$ -окислення жирних кислот і утворення кетонів тїл,** які є важливим джерелом енергії при виконанні тривалої фізичної роботи.

Другою стороною термінової адаптації є уповільнення процесів анаболізму. Цей процес зачіпає, перш за все, біосинтез білків. Справа в тому, що на цей процес необхідно багато молекул АТФ, які при м'язовій роботі найпотрібніші саме там. Це змушує організм загальмувати синтез білків. Здійснення цього гальмування відбувається під контролем глюкокортикоїдів.

Хоча термінова адаптація розвивається за схожими механізмами у різних людей, проте тренування впливають на цей процес, роблячи адаптивні зміни більш глибокими.

Етап довгострокової адаптації відбувається в проміжках відпочинку між тренуваннями і вимагає багато часу. Біологічне значення довгострокової адаптації – створення в організмі структурно-функціональної бази для кращої реалізації механізмів термінової адаптації, тобто довгострокова адаптація призначена для підготовки організму до виконання наступних фізичних навантажень в оптимальному режимі.

Можна виділити наступні основні напрямки довгострокової адаптації.

**1. Підвищення швидкості відновних процесів.** Особливо велике значення для розвитку довгострокової адаптації має посилення синтезу білків і нуклеїнових кислот. Це призводить до збільшення вмісту скорочувальних білків, білків-ферментів, киснево-транспортних білків. Завдяки підвищенню вмісту в клітинах білків-ферментів прискорюється синтез інших біологічно важливих сполук, зокрема креатинфосфату, глікогену, ліпідів. В результаті такого впливу істотно зростає енергетичний потенціал організму.

**2. Збільшення вмісту внутрішньоклітинних органел.** В процесі розвитку адаптації в міоцитах стає більше скорочувальних елементів – міофібрил, збільшується розмір і кількість мітохондрій, спостерігається розвиток саркоплазматичної мережі. В кінцевому рахунку ці зміни викликають м'язову гіпертрофію.

**3. Удосконалення механізмів нервово-гуморальної регуляції.** При цьому зростають синтетичні можливості ендокринних залоз, що дозволяє при виконанні фізичних навантажень, довше підтримувати в крові високий рівень гормонів, які забезпечують м'язову діяльність.

**4. Розвиток стійкості (резистентності) до біохімічних зрушень,** що виникають в організмі під час м'язової роботи. Перш за все це стосується стійкості організму до підвищення кислотності із-за накопичення лактату. Передбачається, що нечутливість до зростання кислотності у адаптованих

спортсменів обумовлена утворенням у них молекулярних форм білків, що зберігають свої біологічні функції при знижених значеннях рН.

В ході тренувального процесу обидва етапи адаптації – термінова і довгострокова – по черзі повторюються і роблять один на одного взаємний вплив. Так, термінова адаптація, що виявляється під час фізичної роботи, призводить до виникнення в організмі глибоких біохімічних і фізіологічних зрушень, які є передумовами для запуску механізмів довготривалої адаптації. У свою чергу, довгострокова адаптація, підвищуючи енергетичний потенціал організму, збільшує можливості термінової адаптації. Така взаємодія термінової та довготривалої адаптації веде до зростання працездатності спортсмена.

У спортивній практиці для кількісної оцінки адаптації до м'язової роботи часто використовують біохімічні показники: терміновий, відставлений, кумулятивний тренувальні ефекти.

**Терміновий тренувальний ефект** характеризує термінову адаптацію. За своєю суттю терміновий тренувальний ефект являє собою біохімічні зрушення в організмі спортсмена, що викликаються процесами, які становлять строкову адаптацію. Ці зрушення фіксуються під час виконання фізичного навантаження і протягом термінового відновлення. За глибиною виявлених біохімічних змін можна судити про внесок окремих способів вироблення АТФ в забезпечення енергією виконуваної роботи.

Підвищення концентрації молочної кислоти, зниження величини рН, що відзначаються в крові після виконання роботи «під зав'язку» в зоні субмаксимальної потужності, характеризують можливості гліколізу. Іншим показником стану гліколізу є лактатний кисневий борг. Величина алактатного боргу свідчить про внесок креатинфосфатної реакції в енергопостачання виконаної роботи.

**Відставлений тренувальний ефект** представляє собою біохімічні зміни, що виникають в організмі спортсмена в найближчі після тренування дні, тобто в період відставленого відновлення. Головним проявом відставленого тренувального ефекту є суперкомпенсації речовин, які використовуються під час фізичної роботи. До них слід віднести м'язові білки, креатинфосфат, глікоген м'язів і печінки.

**Кумулятивний тренувальний ефект** відображає біохімічні зрушення, які поступово накопичуються в організмі спортсмена в процесі тривалих тренувань. Зокрема кумулятивним ефектом можна вважати приріст в ході тривалих тренувань показників термінового і відставленого ефектів.

Кумулятивний ефект володіє специфічністю, його прояви в значній мірі залежать від характеру тренувальних навантажень.

Без знань закономірностей адаптації організму до м'язової роботи неможливо грамотно побудувати тренувальний процес. Знайдено основні біологічні принципи спортивного тренування.

**Принцип свертотягощення.** Адаптаційні зміни викликаються тільки значними навантаженнями, що перевищують за обсягом і інтенсивності певний пороговий рівень. Навантаження, виходячи з цього принципу, можуть бути ефективними і неефективними.

Неефективні навантаження призводять до появи в організмі лише незначних біохімічних і фізіологічних зрушень. Вони не викликають розвитку адаптації, але сприяють збереженню досягнутого рівня. Неefективні навантаження широко використовуються в оздоровчій фізкультурі.

Ефективні навантаження повинні бути вище граничної величини. Однак будь-які навантаження мають межу. Такі навантаження називаються **граничними**. Подальше збільшення навантажень може привести до зниження тренувального ефекту, і називаються **поза межними**. Це обумовлено тим, що в зоні граничних навантажень відбувається повне використання всіх наявних в організмі спортсмена біохімічних і фізіологічних резервів, що призводять до максимальної суперкомпенсації. Надмірні навантаження дуже великої інтенсивності або тривалості, що не відповідають функціональному стану організму, викликають настільки глибокі біохімічні і фізіологічні зрушення, що повноцінне відновлення стає неможливим. Систематичне використання таких навантажень призводить до зриву адаптації або дезадаптації, що виражається в погіршенні рухових якостей, зниженні працездатності і результативності. Це явище в спорті називається **перетренованістю**.

У спортивній практиці найчастіше використовують ефективні навантаження, а граничних намагаються уникати, так як вони легко можуть перейти в поза межні.

З принципу свертотягощення випливають два положення, що визначають тренувальний процес.

1. Для розвитку адаптації і зростання спортивної майстерності необхідно використовувати досить великі за обсягом і інтенсивності фізичні навантаження, що перевищують граничне значення.

2. У міру наростання адаптаційних змін слід поступово збільшувати тренувальні навантаження.

**Принцип оборотності (повторності).** Адаптаційні зміни в організмі, що виникають під впливом фізичної роботи, не постійні. Після припинення занять спортом або тривалих перерв в тренуваннях, а також при зниженні обсягу тренувальних навантажень адаптаційні зрушення поступово зменшуються. Це явище називається в спортивній практиці **разтренуванням**. В основі цього явища лежить оборотність суперкомпенсації. Суперкомпенсація оборотна і носить тимчасовий характер. Однак часте виникнення суперкомпенсації (при регулярних тренуваннях) поступово веде до зростання вихідного рівня найважливіших хімічних сполук і внутрішньоклітинних структур, що зберігається протягом тривалого часу.

Таким чином, одноразове фізичне навантаження не може викликати приrost адаптаційних змін. Для розвитку адаптації тренування повинні систематично повторюватися протягом тривалого часу, і тренувальний процес не повинен перериватися.

**Принцип специфічності.** Адаптаційні зміни, що виникають в організмі спортсмена під впливом тренувань, в значній мірі залежать від характеру виконуваної м'язової роботи. При швидкісних навантаженнях – зростає анаеробне виробництво енергії. Тренування силового характеру призводять до найбільшого збільшення м'язової маси за рахунок посиленого синтезу скорочувальних білків. При заняттях на витривалість зростають аеробні можливості організму.

Тренувальні заняття необхідно проводити із застосуванням специфічних для кожного виду спорту навантажень. Однак для гармонійного розвитку спортсмена ще потрібні неспецифічні загальнозміцнюючі навантаження, що впливають на всю мускулатуру, в тому числі на м'язи, які безпосередньо не беруть участь у виконанні вправ, характерних для даного виду спорту.

**Принцип послідовності.** Біохімічні зміни, що лежать в основі адаптації до м'язової роботи, виникають і розвиваються не одночасно, а в певній послідовності. Швидше за все збільшуються і найдовше зберігаються показники аеробного забезпечення. Більше часу потрібно для збільшення лактатної працездатності. Нарешті, в останню чергу підвищуються можливості організму в зоні максимальної потужності.

Ця закономірність адаптації повинна, перш за все, враховуватися при побудові тренувального процесу в сезонних видах спорту. Річний цикл повинен починатися з етапу розвитку аеробних можливостей. Потім йде етап розвитку швидкісно-силових якостей. А при підведенні до піку форми необхідно працювати над розвитком максимальної потужності. Втім, це лише схема. На практиці ця схема може зазнавати зміни в залежності від виду спорту та індивідуальних особливостей спортсмена.

**Принцип регулярності.** Цей принцип описує закономірності розвитку адаптації в залежності від регулярності тренувальних занять, тобто від тривалості відпочинку між тренуваннями.

При частих тренуваннях (щоденних або через день) синтез більшості речовин, зруйнованих при роботі, ще не завершується, і нове заняття відбувається в фазі недовідновлення. Якщо тренування тривають в тому ж режимі, то недовідновлення буде поглиблюватися. Це призводить до погіршення фізичного стану спортсмена і зниження спортивних результатів. У теорії спорту це явище отримало назву **негативної взаємодії навантажень**.

При великій тривалості відпочинку нове тренування проводиться вже після повного завершення відновлення, коли всі показники повернулися до передробочого рівню. В цьому випадку приросту

функціональних змін не спостерігається. Такий режим тренувань отримав назву **нейтральна взаємодія навантажень**.

Найкращий ефект дає проведення занять в фазі суперкомпенсації. Це дає можливість покращувати результат і збільшувати величину навантаження. Таке поєднання тренування і відпочинку отримало назву **позитивна взаємодія навантажень**.

У спортивній практиці принцип позитивної і негативної взаємодії навантажень використовується при підготовці спортсменів високої кваліфікації, а нейтральної взаємодії знаходить застосування в оздоровчій медицині.

**Принцип циклічності.** Суть цього принципу проста: періоди інтенсивних тренувань слід чергувати з періодами відпочинку або тренувань з використанням навантажень зменшеного обсягу. На основі цього принципу планується річний тренувальний цикл. Річний цикл поділяється на періоди, тривалістю кілька місяців, що відрізняються за обсягом тренувальних навантажень. Ці періоди називаються **макроциклом**. Періоди складаються з етапів – мікроциклів. Кожен мікроцикл вирішує конкретне педагогічне завдання і сприяє розвитку специфічної адаптації до фізичних навантажень певного виду: швидкісних, швидкісно-силових якостей, витривалості. Зазвичай мікроцикл триває 7 днів. Причому, в перші 3 – 5 днів – проводяться заняття відповідно до принципу негативної взаємодії навантажень. Заключна частина мікроциклу містить відновлювальні заходи, які призводять до суперкомпенсації. Новий мікроцикл починається з фази суперкомпенсації і на тлі позитивної взаємодії навантажень.

Таким чином, тренування в кожному мікроциклі проводяться за типом негативної взаємодії навантажень, а між мікроциклами існує позитивна взаємодія навантажень.

### **Контрольні питання до теми**

1. Що таке адаптація?
2. Термінова або екстрена адаптація.
3. Довгострокова або хронічна адаптація.
4. Тренувальний ефект.
5. Біологічні принципи спортивного тренування.

## Тема 15. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

З біологічної точки зору **спортивну працездатність** можна визначити як структурно-функціональний потенціал або стан організму спортсмена, що дозволяє йому виконувати специфічні фізичні навантаження певної потужності і тривалості.

Спортивна працездатність якість інтегральна, прояв якої залежить від багатьох факторів. Можна виділити наступні фактори, що обмежують працездатність спортсмена:

- можливості енергетичного забезпечення м'язової діяльності;
- функціональний стан і розвиток основних систем організму (м'язової, кардіореспіраторної, нервової, ендокринної, травної, видільної, імунної та т. п.);
- техніка виконання фізичних навантажень, характерних для даного виду спорту;
- тактика ведення спортивної боротьби;
- психологічна підготовка спортсмена.

Перші два чинника визначають переважно фізичну підготовку спортсмена або фізичну працездатність. Їх зазвичай називають **факторами внутрішніх можливостей**. Інші фактори – техніка, тактика, психологічна підготовка – є факторами продуктивності, від яких залежить прояв факторів можливостей. Тільки при високих показниках факторів продуктивності можуть проявитися чинники можливості.

З усіх перерахованих факторів найбільше значення має стан біоенергетики, так як неможливо виконати будь-яку роботу без витрат енергії.

В енергозабезпеченні організму вирішальну роль відіграє ресинтез АТФ. Залежно від домінування алактатного, лактатного або аеробного шляху ресинтезу АТФ в енергозабезпеченні виконуваної роботи виділяють три компоненти працездатності: **алактатну, лактатну і аеробну**.

Часто перші два види працездатності об'єднують і називають **анаеробною працездатністю**.

Аеробна працездатність проявляється при виконанні тривалих фізичних навантажень, а анаеробна працездатність забезпечує можливість виконання короткочасних навантажень високої та максимальної інтенсивності.

Виділені компоненти працездатності в рівній мірі відносяться, як до загальної, так і спеціальної працездатності.

Розглянемо загальну працездатність, так як біохімічні механізми лежать, перш за все, в її основі.

Алактатна працездатність проявляється при виконанні навантажень в зоні максимальної потужності, тобто навантажень, які можна зберегти в межах 15 – 20 сек. Такі навантаження, переважно забезпечуються



креатинфосфатним способом утворення АТФ, тобто алактатним способом. Тому потужність цих навантажень в значній мірі залежить від змісту в м'язах креатинфосфату і активності ферменту креатинкінази, який відповідає за синтез креатинфосфату.

До основних структурних факторів, які обмежують алактатну працездатність, є кількість міофібрил і розвиток саркоплазматичної мережі. Чим менше міофібрили, тим повільніше і слабкіше м'язове скорочення. Чим гірше розвинена саркоплазматична мережа, тим гірше проведення м'язом нервового імпульсу.

До структурних факторів можна віднести кількість нервово-м'язових синапсів, що забезпечують передачу нервових імпульсів від нервів до м'язів. Ще одним структурним фактором можна вважати вміст у м'язах білка колагену, який бере участь в м'язовому розслабленні.

Найбільш важливим функціональним чинником, що лежить в основі лактатної працездатності, є активність ферментів, які беруть участь в м'язовій діяльності. Від АТФазної активності міозину залежить кількість енергії АТФ, перетвореної в механічну роботу, тобто потужність виконуваних фізичних навантажень. Активність кальцієвого насоса визначає швидкість м'язової релаксації, від якої залежать швидкісні якості м'язи.

Перераховані структурні і функціональні фактори діють неоднаково в м'язових волокнах різних типів.

Виділяють три типи волокон в м'язах.

1. **Тонічні (червоні, повільні, S-волокна)** містять відносно велику кількість мітохондрій, багато міоглобіну, але мало міофібрил. Вони скорочуються повільно, розвивають невелику потужність, але тривалий час.

2. **Фазичні (білі, швидкі, F-волокна)** мають багато міофібрил, добре розвинену саркоплазматичну мережу, до них підходить багато нервових закінчень. Мітохондрій в них значно менше. Це волокна, розраховані на високу швидкість і силу скорочення, але при цьому вони не можуть скорочуватися довго, так як працюють на запасах креатинфосфату і глікогену.

3. **Перехідні м'язові волокна** займають за своєю будовою та функціонуванням проміжне положення.

Співвідношення між різними типами м'язових волокон визначається генетично. Хоча все ж при посиленних тренуваннях можна збільшити кількість міофібрил в швидких волокнах, збільшивши тим самим їх працездатність і викликавши гіпертрофію м'язи, але все ж це зрушення не може з стайєра зробити спринтера.

Лактатна працездатність реалізується, як правило, при виконанні фізичних навантажень в зоні субмаксимальної потужності тривалістю до 5 хвилин. Такі навантаження в основному забезпечуються лактатним ресинтезом АТФ. Ці навантаження так і називають лактатні. Їх абсолютна

потужність залежить від передробочої концентрації м'язового глікогену і активності ферментів, що беруть участь в гліколізі.

Можливості лактатного компонента працездатності обумовлені практично тими ж структурними і функціональними факторами, описаними вище щодо алактатної працездатності. Однак їх вплив менш виражений, так як за рахунок лактатного компонента виконується робота з меншою силою і швидкістю в порівнянні з лактатними навантаженнями.

На відміну від алактатного компонента, дуже важливим фактором, що впливає на лактатну працездатність, є **компенсаторні можливості організму**, що забезпечують стійкість до зростання кислотності.

При бурхливій течії гліколізу відбувається утворення і накопичення в м'язових волокнах великих кількостей лактату. Відбувається зсув рН в кислу сторону. При цьому відбуваються конфірмаційні зміни м'язових білків-ферментів, що призводить до зниження їх активності. Негативно змінюється і скорочувальна здатність м'язових клітин.

Нейтралізація молочної кислоти здійснюється буферними системами за рахунок лужних компонентів. Однак буферна ємність організму і особливо крові під впливом тренувань практично не змінюється. В даний час вважається, що розвиток резистентності до підвищення кислотності у високотренированих спортсменів пов'язано не зі збільшенням лужного резерву організму, а з виробленням нових, більш стійких до зміни рН ізоферментів і з формуванням комплексу пристосувальних механізмів, що дають організму можливість працювати в умовах значного закислення.

Ще один функціональний фактор, що впливає на лактатну працездатність – це наявність в м'язах ферменту лактатдегідрогенази. Цей фермент переважно каталізує перетворення піровиноградної кислоти в молочну і навпаки. Лактатдегідрогеназа є причиною високої працездатності скелетних м'язів з великим вмістом швидких волокон.

Внутрим'язовими структурними чинниками, що лежать в основі аеробної працездатності, є кількість мітохондрій в м'язових клітинах і зміст в них міоглобіну. Аеробні навантаження, перш за все, пов'язані з аеробним способом ресинтезу АТФ, який протікає в мітохондріях. Міоглобін же зберігає і переносник кисню в м'язових клітинах, тобто від його концентрації залежить постачання киснем мітохондрій. Зв'язок між концентрацією міоглобіну і аеробною здатністю м'язової тканини вже стала аксіомою.

Але аеробна здатність м'яза до роботи в більшій мірі обумовлена позам'язовими факторами: функціональним станом вегетативних і регуляторних систем організму, запасами позам'язових джерел енергії.

У забезпеченні аеробних навантажень активну участь бере нервова система, що формує і направляє м'язи, система кровопостачання, що доставляє в м'язи, мабуть, головний фактор, що лімітує – кисень. Останнє означає, що кількість еритроцитів у крові багато в чому визначає здатність організму до аеробної роботи.

Великий внесок у забезпечення аеробних можливостей організму вносить і печінка. Печінка забезпечує м'язи позам'язовими джерелами енергії.

Важливу роль в процесах аеробного обміну грають гормони. Найбільший внесок у ці процеси вносять гормони надниркових залоз. Процеси аеробного і анаеробного ресинтезу АТФ взаємопов'язані, так як анаеробні процеси багаторазово повторюються під час м'язової роботи, а для поповнення запасів креатинфосфату і видалення лактату з м'язів необхідні процеси аеробного дихання. І значною мірою ці процеси пов'язані з роботою печінки.

Ще раз необхідно підкреслити, що всі види працездатності залежать також від технічної, тактичної і психологічної підготовки. Хороша техніко-тактична підготовка дозволяє спортсмену економно і раціонально використовувати енергетичні резерви і тим самим довше зберігати працездатність. За рахунок високої мотивації, великої сили волі спортсмен може продовжити виконання роботи навіть в умовах настання в організмі значних біохімічних і функціональних змін.

Спортивна працездатність характеризується **специфічністю**, що виявляється в значній мірі при виконанні навантажень, характерних для даного виду спорту, яким займається конкретний спортсмен.

Специфічність працездатності в значній мірі обумовлена тим, що ряд факторів, що лімітують якості рухової діяльності є суто специфічними для кожної спортивної дисципліни. Специфічність працездатності ще пов'язана з тим, що при виконанні вправ, використовуваних в даному виді спорту, удосконалюється техніка рухів, підвищується їх ефективність.

Більш висока специфічність характерна для аеробних компонентів працездатності, пов'язаних переважно з внутришньом'язовими факторами можливостей (кількістю міофібрил, концентрацією м'язового креатинфосфату і глікогену, активністю внутришньом'язових ферментів). Розвиток цих факторів в окремих м'язах у спортсменів різних спеціалізацій неоднаково, так як при виконанні вправ, властивих конкретному виду спорту, в основному функціонують тільки певні групи м'язів. Тому за рахунок тренувань саме у цих м'язових груп підвищується працездатність.

Аеробна працездатність менш специфічна. Ця працездатність аеробного компонента обумовлена тим, що поряд з внутришньом'язовими факторами (кількість мітохондрій, внутришньом'язові запаси джерел енергії, активність внутришньом'язових ферментів енергетичного обміну). Найважливіше значення для прояву аеробної працездатності мають позам'язові чинники. Ці фактори вимагають хорошого функціонування серцево-судинної та дихальної систем, печінки, високої ємності крові, а також запасів легкодоступних для використання енергетичних субстратів. Тому спортсмен, який має високий рівень працездатності, може проявити аеробну працездатність не тільки в тому виді діяльності, де він пройшов спеціалізовану підготовку, але і в інших видах м'язової роботи. Наприклад,

кваліфікований лижник може показати непогані результати при бігу на довгі дистанції.

Добре відомо, що фізична працездатність залежить від віку. У міру зростання і збільшення маси тіла працездатність зростає, але розвиток окремих компонентів працездатності відбувається неоднаково.

Анаеробні способи утворення АТФ у дітей розвинені недостатньо, зміст креатинфосфату в їх м'язах значно нижче, ніж у дорослого, що істотно обмежує алактатну працездатність дитини. З віком, зі збільшенням м'язової маси можливості цього шляху ресинтезу АТФ збільшуються. Особливо швидко розвиваються можливості креатинфосфатного шляху ресинтезу АТФ в 15 – 17 років і досягають найбільшого розвитку до 19 – 20 років. Зберігається висока алактатна працездатність до 30-річного віку, після чого спостерігається зниження.

Лактатна працездатність у дітей і підлітків теж знаходиться на більш низькому, ніж у дорослої людини рівні. Це обумовлено меншими запасами глікогену в м'язах і високою чутливістю дитячого організму до підвищення кислотності внаслідок накопичення лактату.

Величина кисневого боргу і концентрації молочної кислоти в крові у дітей та підлітків після виконання максимальних навантажень на рівні індивідуального рекорду набагато менше, ніж у людей в зрілому віці. Так, у 9-річної дитини потужність роботи, при якій спостерігається найбільший розвиток гліколізу, на 60 % менша, ніж у зрілої людини, і максимальне накопичення молочної кислоти в крові в 2 рази менше.

Починаючи з 15 – 16 років можливості лактатного шляху ресинтезу АТФ збільшуються пропорційно наростанню ваги тіла, і найбільша лактатна працездатність відзначається в 20 – 22 роки.

Аеробна працездатність у дітей невисока, хоча в дитячому організмі тканинне дихання протікає в спокої з більш високою швидкістю, ніж у дорослих. Це обумовлено тим, що ріст і розвиток дитячого організму вимагають значних енерговитрат. Тому в організмі, що росте, процес аеробного окислення протікає більш інтенсивно, ніж у дорослої людини. Причому, чим вік менше, тим вище швидкість тканинного дихання в стані спокою. Про це свідчить поглинання кисню, розраховане на 1 кв. м поверхні тіла. У трирічної дитини поглинання кисню на 1 кв. м поверхні тіла більше, ніж у дорослої людини на 95 %, у шестирічного – на 66 %, а у дев'ятирічного – на 36 %.

Однак резерви аеробного енергоутворення у дітей і підлітків не великі. Це пов'язано з тим, що системи організму, що відповідають за енергозабезпечення (дихальна, серцево-судинна, ендокринна і ін.), функціонують майже на рівні своїх фізіологічних можливостей.

З 9 – 10 річного віку спостерігається інтенсивний розвиток аеробного шляху ресинтезу АТФ, його можливості збільшуються пропорційно масі тіла. Найбільший розвиток аеробної працездатності відзначається тільки до 20 – 25 років – в період фізіологічної зрілості організму. За рахунок

регулярних тренувань високий рівень аеробної працездатності можна зберегти до 40 – 45 років.

Всі види біохімічної працездатності пов'язані з певними руховими якостями. Наприклад, алактатна працездатність пов'язана з швидкістю і силою, а аеробна працездатність – з витривалістю.

**Швидкість** – це комплекс функціональних властивостей організму, які безпосередньо і переважно визначають час рухової дії.

**Сила** – це здатність долати зовнішній опір або протидіяти йому за допомогою м'язових напружень.

Сила і швидкість – безпосередньо пов'язані з кількістю креатинфосфату в м'язі. Щоб збільшити кількість креатинфосфату необхідно виконувати короточасні (не більше 10 сек) вправи, що виконуються з граничною потужністю (біг на 50 – 60 м, стрибки, заплив на 10 – 15 м, вправи на тренажерах, підйом штанги і т. п.).

Хороший ефект дають інтервальні тренування, що складаються з серії вправ максимальної потужності. Вправи робляться 8 – 10 сек, а відпочинок між ними становить 20 – 30 сек. Саме при такому режимі частина гліколітичного ресинтезу АТФ йде на відновлення креатинфосфату. Багаторазове застосування таких тренувань веде до підвищення в м'язах креатинфосфату і позитивно позначається на розвитку швидкісно-силових якостей.

Для розвитку сили часто використовується метод повторних вправ з напругою 80 – 90 % максимальної сили. Найбільш ефективним вважається обтяження 85 %. В цьому випадку число повторень «під зав'язку» зазвичай 7 – 8. Кожна вправа на певні м'язи виконується серіями по 5 – 10 повторень. Швидкість виконання вправ залежить від мети тренування. Для одночасного розвитку сили і швидкості вправи проводяться в вибухово-плавному режимі, початкова фаза руху виконується з великою швидкістю, а завершується вона якомога більш плавно.

Час відновлення після швидкісно-силового тренування становить 2 – 3 дні.

Спортивно-педагогічними критеріями лактатного компонента працездатності є величини швидкісних і силових навантажень, які виконуються з субмаксимальною потужністю. Їх тривалість не більше 5 хвилин.

Головними біохімічними критеріями такого тренування є:

1) тренування повинно приводити до різкого зниження вмісту глікогену в м'язах;

2) під час тренування в м'язах і крові повинна накопичуватися молочна кислота.

Для досягнення цієї мети можуть бути використані **методи повторної і інтервальної роботи**. Це граничні навантаження тривалістю кілька хвилин. Хороший ефект дає поступове зниження часу відпочинку між робочими інтервалами.

Проміжки відпочинку між вправами короткі, їх недостатньо для відновлення запасів глікогену, його запаси сильно знижуються, а це є обов'язковою умовою суперкомпенсації.

Головною метою тренувань, спрямованих на підвищення аеробної витривалості, є поліпшення роботи кардіореспіраторної системи.

З цією метою застосовуються різні варіанти повторного і інтервального тренування, а також безперервна тривала робота рівномірної і змінної потужності. Наприклад, для підвищення в м'язах міоглобіну може бути використана міоглобінова інтервальна тренування. Спортсменам пропонується дуже короткі (не більше 5 – 10 сек.) навантаження середньої інтенсивності, які чергуються з такими ж короткими проміжками відпочинку. І в таких умовах навантаження в основному забезпечуються киснем, який зберігатиметься в м'язових клітинах у формі міоглобіну. Короткий відпочинок між вправами достатній для поповнення запасів кисню в м'язах.

Використання тренувань на середньогір'ї і використання неспецифічних навантажень, типу рухливих ігор, сприяє розвитку аеробних можливостей організму.

#### **Контрольні питання до теми**

1. Компоненти спортивної працездатності.
2. Алактатна працездатність.
3. Лактатна працездатність.
4. Аеробна працездатність.
5. Специфічна спортивна працездатність.
6. Вікові особливості працездатності.
7. Біохімія і педагогічні методи розвитку працездатності.

### **Тема 16. БІОХІМІЧНІ СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ СПОРТИВНОЇ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ**

В останні десятиліття в спортивній практиці все більше застосування знаходять різні фармакологічні засоби, що використовуються для підвищення загальної і спеціальної працездатності, для прискорення та оптимізації відновних процесів.

Використання в спорті вищих досягнень фармакологічних препаратів пов'язане з тим, що навантаження виконуються, часом, на межі можливостей організму. Це веде до виникнення дуже глибоких

біохімічних і функціональних зрушень і, як наслідок, до зниження працездатності.

Негативний вплив на організм спортсмена також надають емоційні навантаження і нервово-психічне напруження, властиві змагальної діяльності, і це нерідко призводить до нервових зривів і втрати спортивної форми. В таких умовах не можуть повноцінно протікати відновлювальні процеси, що також проявляється значним зниженням спортивної працездатності.

Дуже високі фізичні і емоційні перевантаження, які властиві спорту вищих досягнень, також надають несприятливий вплив на імунну систему організму, тому що імунна система дітей і підлітків до них більш чутлива.

Лікарські засоби, що застосовуються в даний час, покликані:

- поліпшити біоенергетику м'язової діяльності;
- попередити або обмежити негативні зрушення, що виникають в організмі спортсмена під час тренування або змагання;
- полегшити переносимість тренувань або змагань;
- прискорити анаболічні процеси, що лежать в основі відновлення;
- зміцнити імунітет;
- підвищити рівень адаптації організму до фізичних і психічних навантажень.

Однак необхідно чітко уявляти, що лікарські засоби ніколи не можуть замінити спортивні тренування. Більш того позитивний вплив фармакологічних засобів на організм спортсмена в значній мірі обумовлений використанням адекватних педагогічних методів.

Для фармакологічної корекції працездатності можна використовувати лікарські засоби. Застосування ліків має бути нешкідливим і не викликати жодних побічних ефектів. До фармакологічних засобів корекції працездатності зазвичай відносять і біологічно активні добавки (БАДи).

Вибір конкретного лікарського препарату, його дозування, тривалість курсу прийому визначає спортивний лікар. Тренер же повинен мати повне уявлення про механізм дії препарату, що застосовується, про його вплив на біохімічні та фізіологічні процеси, що протікають в організмі. Тренер повинен вміти підбирати тип ліки в залежності від стадії тренувального процесу і характеру фізичних навантажень. Тільки спільна і узгоджена діяльність тренера і спортивного лікаря може забезпечити ефективне використання фармакологічних методів підвищення працездатності.

До фармакологічних речовин, що застосовуються в спорті можна віднести: амінокислоти, вітаміни, адаптогени, анаболізатори, енергизатори, гепатопротектори, імуностимулятори.

Серед амінокислот найважливіше місце займають гліцин, метіонін, аспарагінова кислота, глутамінова кислота, глутамін, лізин.

**Гліцин** входить до складу білків, бере участь у синтезі нуклеотидів, з нього утворюється креатин.

**Метіонін** бере участь в будівництві білків, а також в синтезах адреналіну, креатину, холіну.

**Аспарагінова кислота** бере активну участь в синтезі сечовини, впливає на швидкість синтезу білків.

**Глутамінова кислота і глутамін** відіграють важливу роль у знешкодженні аміаку.

**Лізин** бере участь в синтезі карнітину, який грає важливу роль в спалюванні жирів, що підвищує аеробну витривалість. Лізин необхідний для синтезу колагену.

Про роль вітамінів йшлося вище (тема 8). З **вітамінних комплексів** одним з кращих для спортсменів є комплівіт, а із зарубіжних vitrum, centrum, ооліговіт і ін.

**Адаптогени** – це лікарські засоби, що мають рослинне або тваринне походження. Вони сприяють розвитку неспецифічної адаптації організму до навантажень. До адаптогенів відносяться женьшень і препарати, зроблені на його основі, елеутерокок, китайський лимонник, левзея (маралів корінь), аралія, родіола рожева (золотий корінь), а також препарати, зроблені на їх основі - леветон, елтон, адаптон, фітотон.

**Анаболізатори** – це прискорювачі анаболізму і, перш за все, синтезу білка.

**Екдїстен** – природний рослинний стероїд, який сприяє зростанню м'язової маси, але не викликає негативного впливу на організм.

**Оротат калію** забезпечує синтез нуклеїнових кислот, а значить синтез білків.

Таку ж роль відіграє рибоксин амінокислоти гліцин, метіонін, лізин.

**Енергізатори** – це АТФ, аденілова кислота, креатин, лимонна та янтарна кислоти, карнітин, ліпоева кислота. Всі ці речовини покращують енергетичний обмін, так як є безпосередніми учасниками катаболізму.

**Гепатопротектори** – це різні речовини, які покращують роботу печінки і сприяють її відновленню після м'язових навантажень. У спортивній практиці часто застосовують такі речовини цієї групи: есенціале, карсил, легалон, аллохол, кукурудзяні рильця, квітки безсмертника піщаного.

**Імуностимулятори** – це речовини, які покращують роботу імунної системи. Сюди відносять: імуноглобулін, інтерферон, препарати прополісу, препарати квіткового пилку і ін. Правда, при користуванні цією групою речовин не можна забувати про алергію.

**Допінгом** прийнято вважати фармакологічні препарати, які впливають на спортивний результат, завдаючи при цьому шкоди здоров'ю спортсмена. Навіть якщо шкода не очевидна на даний момент, це може стати очевидним через якийсь час.



В даний час в список заборонених препаратів внесено кілька сотень найменувань. При цьому не має значення, як впливає даний препарат на конкретний результат в конкретному виді спорту.

Всі препарати можна розбити на кілька груп.

**1. Препарати, що впливають на нервову систему.** У цю групу внесені препарати, як збуджують нервову систему і гальмують. Як правило, їх застосовують перед змаганнями. Шкода від цих препаратів очевидна, так як вони можуть розхитати нервову систему, викликати звикання. До цієї групи цілком можна віднести **транквілізатори, наркотики, алкоголь.**

**2. Препарати, що впливають на обмін речовин.** Сюди відносять багато гормональних препаратів, які сприяють зростанню м'язової маси, перш за все, сумнозвісні **анаболічні стероїди.** Ці препарати можуть викликати порушення обміну речовин з непередбачуваними наслідками. Крім того, один з побічних ефектів добре відомий – імпотенція, так як більшість цих препаратів або екзогенні чоловічі статеві гормони, або їх аналоги, які пригнічують роботу статевих залоз. У жінок ці препарати викликають маскулінізацію, тобто така зміна гормонального фону, коли жінка стає більше схожою на чоловіка. Маскулінізація часто веде до безпліддя.

**3. Препарати, що впливають на різні форми витривалості.** До цієї групи, наприклад, відносять препарати, що змінюють формулу крові, збільшують кількість еритроцитів у крові і вміст гемоглобіну в ній. Ці препарати досить важко виявити, тому що їх застосування може бути проведено задовго до змагань. Тому у допінг-контролю викликає підозру саме збільшення в крові еритроцитів або гемоглобіну. Ця позиція викликає найбільше нарікань у тренерів і спортсменів, так як вказане підвищення може бути, по-перше, результатом тренування в горах, а, по-друге, у ряду людей від природи ці показники високі. Тому контроль за цією групою проводиться в динаміці, тобто проби беруться в різні пори року і доби. Багато спортсменів скаржилися, що їх будили навіть вночі.

До цієї групи відносять і кров'яний допінг, коли спортсмену робиться додаткове переливання крові перед стартом. Як правило, кров беруть і заморожують у самого спортсмена, щоб не викликати відторгнення переливається крові.

**4. У цій групі – препарати, які допінгом самі не є, але можуть маскувати його присутність в організмі.** Сюди відносяться, наприклад, діуретики, тобто препарати, що сприяють евакуації допінгу з організму.

**Допінг-контроль** – це спеціальна процедура, спрямована на виявлення допінгу. Для цього у спортсмена береться кров і сеча. Проба, взята у спортсмена ділиться на дві групи – пробу А і пробу В. Якщо після аналізу проби А допінгу не виявляється, то процедура на цьому завершується. Якщо в пробі А виявлено заборонену речовину, то аналізу піддається проба В, щоб виключити випадковість. Якщо ж і після цього

виявлений заборонений препарат, то виноситься рішення про покарання спортсмена.

Харчування в організмі людини виконує ряд найважливіших функцій: забезпечує організм енергією, будівельним матеріалом, вітамінами, мінеральними речовинами і водою.

Під **харчуванням** зазвичай розуміється надходження їжі в організм, розщеплення харчових речовин і подальше їх всмоктування.

Процес перетравлення в основному зводиться до реакцій гідролізу речовин під дією ферментів травних соків – слини, шлункового соку, панкреатичного соку, кишкового соку. Всмоктування здійснюється клітинами кишкового епітелію.

На підставі багатовікових традицій і численних наукових досліджень сформувалися **принципи раціонального харчування**. Вони виражаються в наступному.

- Енергетична цінність харчового раціону повинна відповідати енергетичним витратам організму.

- Харчовий раціон повинен бути збалансований по найважливішим харчових компонентів, тобто повинен містити білки, жири і вуглеводи в строго певній пропорції.

- Харчовий раціон повинен містити адекватну кількість вітамінів і мінеральних речовин.

- Харчовий раціон повинен містити баластні речовини.

- Дотримання режиму харчування.

Енергетичну цінність раціону називають **калорійністю**. Калорійність оцінюється за допомогою приладу – калориметра, який реєструє теплову енергію, що виділяється при спалюванні порцій їжі.

Мінімальна кількість енергії, що необхідна в спокої для підтримки фізіологічних функцій і процесів анаболізму, називається **основним обміном**. У нетренованих людей, які ведуть малоактивний спосіб життя, основний обмін становить від 2 500 до 2 000 ккал. У спортсменів він може досягати 7 000 ккал і вище.

**Збалансованість харчування** – це правильне співвідношення в харчовому раціоні вуглеводів жирів і білків. Вважається, що в добовому раціоні тваринних білків має бути не менше 50 % від вмісту білків. Близько 60 % добової потреби в енергії повинні давати вуглеводи. Добовий раціон дорослої людини повинен містити до 100 г жирів, що становить близько 35 % від його калорійності. Раціон повинен містити невеликі кількості вітамінів і солей.

**Баластні речовини** – це харчові волокна, тобто клітковина, пектин, лігнін. Ці речовини потрібні для поліпшення травлення.

Правильний режим харчування необхідний для ритмічного та ефективного засвоєння їжі і нормального протікання метаболічних процесів. Загальноприйнятим є трьох- або чотириразове харчування з інтервалом між прийомами їжі 3 – 4 години.

Для харчування спортсменів характерно:

- велика витрата енергії;
- швидке розщеплення білків;
- збільшена потреба в коферментах, а значить у вітамінах;
- підвищена потреба в мінеральних речовинах;
- підвищена кратність прийому їжі;
- застосування біологічно активних добавок, які містять

амінокислоти, вуглеводні добавки, полівітамінні комплекси.

Без біохімічного контролю в спорті важко чекати хороших результатів. **Основними завданнями біохімічного контролю є:**

- Оцінка рівня загальної і спеціальної тренуваності спортсмена.
- Оцінка відповідності застосовуваних тренувальних навантажень функціональному стану спортсмена, виявлення перетренованості.
- Контроль протікання відновлення після тренування.
- Оцінка ефективності нових методів і засобів розвитку швидкісно-силових якостей, підвищення витривалості, прискорення відновлення і т. п.
- Оцінка стану здоров'я спортсмена, виявлення початкових симптомів захворювань.

Особливістю проведення біохімічних досліджень в спорті є їх поєднання з фізичним навантаженням.

Фізичні навантаження, які використовуються при тестуванні, можна розділити на два типи: стандартні і максимальні.

Стандартні навантаження є строго дозованими. Їх параметри визначені заздалегідь. Тому групи спортсменів для тестування підбираються приблизно однієї кваліфікації. Вправи використовують, як правило, циклічні, наприклад, роботу на велотренажері.

Максимальні або граничні навантаження не мають заздалегідь заданого обсягу. Наприклад, можна використовувати в роботі «під зав'язку» плавання, велогонку, біг на лижах, на ковзанах і т. п. Як вже наголошувалося вище, ця робота може дати інформацію про аеробні і анаеробні можливості організму, в залежності від потужності.

Об'єктами біохімічного контролю є кров, сеча, повітря, що видихається, слина, піт, біоптат м'язової тканини.

**При аналізі крові** досліджують наступні параметри: кількість формених елементів, концентрацію гемоглобіну, водневий показник – рН, лужний резерв крові, концентрацію білків плазми, концентрацію глюкози, концентрацію лактату, концентрацію жиру і жирних кислот, концентрацію кетонових тіл, концентрацію сечовини.

**При аналізі сечі** досліджують наступні біохімічні показники: об'єм, густина, кислотність (рН), сухий залишок, лактат, сечовину, показники вільнорадикального окислення, патологічні компоненти: білок, глюкоза, кетонів тіла.

Аналіз повітря робиться за допомогою приладу газоаналізатора. При порівнянні повітря, що людина вдихує та видихає, можна визначити: МПК, кисневий прихід, алактатний борг, лактатний борг.

Аналіз поту, і слини проводяться рідко, але не тому, що вони дають мало інформації, а тому, що ці методи знаходяться в стадії розробки.

**Біоптат м'язової тканини** – це мікробіопсія, коли робиться маленький розріз м'язи і на аналіз береться шматочок м'язи до 3 куб. мм. Це потрібно для того, щоб визначити склад м'язи і співвідношення в ній швидких і повільних волокон.

### **Контрольні питання до теми**

1. Загальна характеристика фармакологічних засобів підвищення працездатності.
2. Біохімічна характеристика окремих класів фармакологічних засобів.
3. Допінги.
4. Основи біохімії харчування. Раціональне харчування.
5. Біохімічний контроль у спорті.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Михайлов С.С. Спортивна біохімія. Підручник для вузів та коледжів фізичної культури / С.С. Михайлів. – 3-тє вид., змін. та дод. - Радянський спорт, 2006. - 260 с.
2. Михайлов С.С. Біохімічні основи спортивної працездатності: навч.-метод. посібник. 2004. - 189 с.
3. Ногас А.О. Біохімія і біохімічні основи фізичної культури: Навчально-методичний посібник. – Рівне, 2008. – 130 с.
4. Копильчук Г.П. Біохімія: Навчальний посібник / Г. П. Копильчук, О. М. Волощук, М. М. Марченко. – Чернівці: Рута, 2004. – 224 с.
5. Явоненко О.Ф. Біохімія: Підручник для студентів спеціальності
6. «Фізична культура» / О. Ф. Явоненко, Б. В. Яковенко – Суми: ВТД
7. « Університетська книга», 2002. 380 с.
8. Волков М. І. Біохімія м'язової діяльності. Київ: Олімпійська література, 2000. - 215 с.
9. Гонський Я. І. Біохімія людини / Я. І. Гонський, Т. П. Максимчук. Тернопіль: Укрмедкнига, 2001. – 198 с.
10. Кучеренко М.Є. Сучасні методи біохімічних досліджень: Учбовий посібник / М.Є Кучеренко, Ю.Д. Бабенюк, В. М. Войціцький. – К.: Фітосоціоцентр, 2001. – 424 с.
- 11.9. Мохан Р. Біохімія м'язової діяльності та фізичного тренування Київ: Олімпійська література, 2001. - 234 с.

**«БІОХІМІЯ ТА БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ  
СПОРТИВНОГО ТРЕНУВАННЯ»**

**Стислий конспект лекцій**

**для студентів спеціальності  
017 «Фізична культура і спорт»**

Укладачі      **САНТАЛОВА Ганна Олександрівна  
АВДЄЄНКО Анатолій Петрович**

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання      О. П. Ордіна

*(позиція по плану изданій)*

10/2012. Формат 60 x 84/16. Ум. друк. арк.      .  
Обл.-вид. арк.      . Тираж      пр. Зам. №

Видавець і виготівник  
Донбаська державна машинобудівна академія  
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК №1633 від 24.12.2003