

**Фабрі З. Й., Чернов В. Д.**

**БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ФІЗИЧНОЇ  
КУЛЬТУРИ І СПОРТУ**



Міністерство освіти і науки України  
ДВНЗ "Ужгородський національний університет"  
Факультет здоров'я людини

**Фабрі З. Й., Чернов В. Д.**

# **БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ І СПОРТУ**

Навчальний посібник для студентів вищих навчальних  
закладів фізичної культури і спорту

*Видання друге, доповнене і перероблене*

Ужгород-2014

УДК 577.1: 796.011.3

Фа 12

ББК 28.072

**Фабрі З. Й., Чернов В. Д.**

Біохімічні основи фізичної культури і спорту: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів фізичної культури і спорту. – Вид. 2-е, доп. і перероб. – Ужгород: Ужгородський національний університет; Вид-во СП "ПоліПрінт", 2014. – 91 с.

Навчальний посібник уклали професор кафедри фізичної реабілітації д. б. н. Фабрі З. Й. та доцент кафедри теорії та методики фізичного виховання к. б. н. Чернов В. Д.

Мета навчального посібника – дати знання про основні біохімічні процеси, які полягають в основі процесів життєдіяльності, процесів адаптації організму до фізичних навантажень, м'язової діяльності, підвищення працездатності, витривалості, фізичної реабілітації, процесів стомлення та інших. У навчальному посібнику викладено сучасні дані біохімії стосовно систем енергозабезпечення роботи м'язів, розвитку рухових якостей, розглянуті біохімічні основи раціонального харчування спортсменів, ефективність тренування та біохімічний контроль у спорті.

Навчальний посібник призначено для студентів, викладачів, тренерів, реабілітологів, які працюють в області фізичного виховання і спорту.

**Рецензенти:** **Торохтін О. М.**, д. м. н., професор, завідувач кафедри біохімії, фармакології та фізичних методів лікування медичного факультету УжНУ; **Фекета В. П.**, д. м. н., професор, завідувач кафедри фізіології і патофізіології медичного факультету УжНУ.

Рекомендовано до друку методичною комісією факультету здоров'я людини Ужгородського національного університету, протокол № 2 від 23 січня 2014 р.

Надруковано: СП "ПоліПрінт", Зам. \*\*\*. Наклад 300.

## Зміст

Передмова .....	9
Зміст .....	10
1. Біохімія м'язів і біоенергетика м'язового скорочення ....	12
1.1. Типи м'язів .....	12
1.2. Хімічний склад м'язової тканини .....	12
1.3. Молекулярні механізми скорочення м'язового волоконна .....	14
1.4. Скорочення гладеньких м'язів .....	17
1.5. Джерела енергії м'язової роботи .....	17
1.6. Енергетичний обмін у серцевому м'язі .....	24
2. Біохімічні зміни в організмі при виконанні вправ різної потужності і тривалості .....	26
2.1. Загальна спрямованість змін біохімічних процесів при м'язовій діяльності .....	26
2.2. Транспорт кисню до працюючих м'язів та його споживання при м'язовій діяльності .....	29
2.3. Особливості біохімічних змін в окремих органах і тканинах під час роботи м'язів .....	31
2.4. Класифікація фізичних вправ за характером біохімічних змін під час роботи м'язів .....	32
3. Біохімічні основи розвитку втоми .....	35
3.1. Біохімічні основи й фактори розвитку втоми при виконанні короткочасних вправ максимальної та субмаксимальної потужності .....	35
3.2. Біохімічні основи й фактори розвитку втоми при виконанні тривалих вправ великої та помірної потужності .....	36
4. Біохімічні основи процесів відновлення при м'язовій діяльності .....	39

4.1. Динаміка біохімічних процесів відновлення після м'язової роботи .....	39
4.2. Послідовність відновлення енергетичних запасів після м'язової роботи .....	40
4.3. Усунення продуктів розпаду під час відпочинку після м'язової роботи .....	41
4.4. Використання особливостей відновлювальних процесів при організації спортивного тренування .....	42
5. Біохімічні основи спортивної працездатності .....	44
5.1. Фактори та механізми підвищення працездатності спортсменів .....	44
5.2. Біохімічні основи ефективності тренування .....	46
5.3. Вік та спортивна працездатність .....	46
6. Біохімічні основи розвитку швидкісно-силових якостей спортсменів .....	48
6.1. Біохімічна характеристика швидкісно-силових якостей .....	48
6.2. Біохімічні основи методів швидкісно-силової підготовки спортсменів .....	49
7. Біохімічні основи витривалості спортсменів .....	52
7.1. Біохімічні фактори витривалості .....	52
7.2. Методи тренування, які сприяють розвитку витривалості .....	53
8. Біохімічні основи адаптації у процесі спортивного тренування .....	56
8.1. Фізичні навантаження, адаптація і тренувальний ефект .....	56
8.2. Закономірності розвитку біохімічної адаптації та принципи тренування .....	57
8.3. Специфічність адаптаційних змін в організмі під час тренувань .....	58
8.4. Зворотність адаптаційних змін під час тренувань .....	60

8.5. Послідовність адаптаційних змін під час тренувань .....	61
8.6. Взаємодія тренувальних ефектів у процесі тренування .....	62
8.7. Циклічність розвитку адаптації у процесі тренування .....	63
9. Біохімічні основи раціонального харчування спортсменів .....	66
9.1. Принципи раціонального харчування спортсменів .....	69
9.2. Енергетичні потреби організму та його залежність від виконуваної роботи .....	69
9.3. Збалансованість харчових продуктів у раціоні спортсмена .....	70
9.4. Роль окремих хімічних компонентів їжі у забезпеченні м'язової діяльності .....	71
9.4.1. Роль вуглеводів у забезпеченні роботи м'язів ..	71
9.4.2. Роль жирів (ліпідів) у забезпеченні діяльності м'язів .....	72
9.4.3. Роль білків у забезпеченні роботи м'язів .....	73
9.4.4. Роль вітамінів у забезпеченні роботи м'язів .....	74
9.4.5. Роль мінеральних речовин у режимі харчування спортсменів .....	75
9.4.6. Харчові добавки і регуляція маси тіла .....	76
10. Біохімічний контроль у спорті .....	78
10.1. Завдання, види та організація біохімічного контролю .....	78
10.2. Об'єкти досліджень та основні біохімічні показники .....	79
10.3. Зміни найважливіших біохімічних показників крові та сечі під час діяльності м'язів .....	80
10.3.1. Показники вуглеводного обміну .....	80
10.3.2. Показники ліпідного обміну .....	81

10.3.3. Показники білкового обміну .....	82
10.3.4. Показники кислотно-лужного стану (КЛС) організму .....	83
10.3.5. Біологічні регулятори метаболізму .....	84
10.3.6. Біохімічний контроль стану енергозабезпечення організму під час роботи м'язів .....	85
11. Біохімічний контроль за рівнем тренуваності, втоми й відновлення організму спортсменів .....	87
11.1. Контроль за станом організму спортсменів .....	87
11.2. Контроль за використанням допінгу в спорті .....	88
Рекомендована література .....	90



## Передмова

У системі підготовки спеціалістів з фізичного виховання і спорту значне місце посідає біохімія. Вивчення цієї дисципліни дає студентам знання про хімічні основи життєдіяльності організму, особливості обміну речовин під час м'язової діяльності. Викладачам, реабілітологам, тренерам знання біохімії конче потрібні; вони корисні для більш адаптивної організації тренувального процесу, здійснення контролю за функціональним станом спортсменів, допомагають цілеспрямовано використовувати ергогенні засоби, які підвищують працездатність та прискорюють відновлювальні процеси, можуть бути корисними для організації раціонального харчування спортсменів.

Біохімічні процеси відіграють важливу роль в адаптації організму до фізичних навантажень, у пошуках і розробці адаптивних засобів і методів підвищення працездатності, в оцінці рівня тренуваності, розробці шляхів реабілітації після фізичної перевтоми або спортивних травм. У цьому плані при підготовці спеціалістів в області фізичного виховання і спорту, фізичної реабілітації та рекреації, на базовому етапі підготовки студенти повинні отримати глибокі знання з біохімії, що сприятиме успішному вирішенню питань їхньої практичної діяльності.

У навчальному посібнику викладені сучасні дані про біохімію м'язового скорочення, системи енергетичного забезпечення роботи м'язів, біохімічні основи розвитку втоми, відновлення, адаптації до фізичних навантажень, розвитку рухових якостей, а також розглянуті біохімічні основи раціонального харчування і контролю за функціональним станом спортсменів.

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

## Вступ

Основою життєдіяльності організму людини є постійний обмін речовин із зовнішнім середовищем. Із оточуючого середовища в організм людини надходять поживні речовини (вуглеводи, жири, білки), вітаміни, мікро- та макроелементи, вода й кисень. Ці речовини використовуються як для біосинтетичних процесів, так і для енергоутворення. Обмін речовин (метаболізм) – це сукупність біохімічних та фізіологічних процесів, а також усіх видів перетворення речовин та енергії, які забезпечують ріст і розвиток організму, його життєдіяльність у цілому. Метаболізм проходить безперервно в усіх клітинах, тканинах, органах і системах організму. У разі порушення обміну речовин виникають патологічні зміни, різні захворювання.

Речовини, які утворюються в метаболічних процесах, називають продуктами обміну або метаболітами. Завдяки визначенню концентрації різних метаболітів у крові, сечі, тканинах можна виявити певні захворювання, а також судити про функціональний стан людини під час спортивної діяльності, фізичної реабілітації або рекреації. Фізична культура і спорт, фізична реабілітація та рекреація активують процеси метаболізму в тканинах, що покращує стан здоров'я людини, підвищує рівень фізичної працездатності, сприяє профілактиці або лікуванню різних захворювань, стримує процеси старіння. Отже, вказані процеси мають слугувати основою здорового способу життя.

Обмін речовин складається з двох протилежних процесів, що протікають паралельно: катаболізму та анаболізму. *Катаболізм* (дисиміляція) включає реакції, пов'язані з розпадом, окисненням речовин та виведенням продуктів обміну з організму. Цей процес забезпечує організм енергією, потрібною кількістю аденозинтрифосфату (АТФ). Основним шляхом розпаду поживних речовин та їх окиснення є цикл Кребса. *Анаболізм* (асиміляція) об'єднує реакції, пов'язані з біосинтезом необхідних речовин, їх

засвоєнням та використанням для росту, розвитку, фізичної активності та інших процесів життєдіяльності організму.

Всі біохімічні реакції обміну речовин прискорюються біокаталізаторами – ферментами (ензимами) і регулюються біорегуляторами – гормонами. В клітинах процеси анаболізму і катаболізму тісно взаємопов'язані (див. рис. 1).

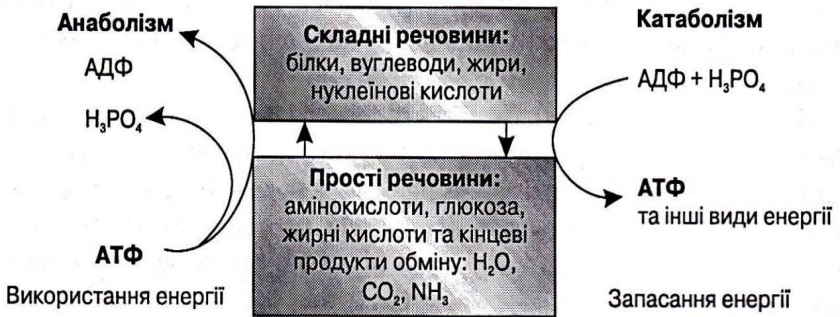


Рис. 1. Взаємозв'язок анаболічних і катаболічних процесів метаболізму

# 1. Біохімія м'язів і біоенергетика м'язового скорочення

В організмі дорослої людини м'язи складають біля 40% загальної маси тіла. Завдяки скорочувальній функції вони забезпечують процеси руху. Під час скорочення м'язи постійно використовують хімічну енергію АТФ, яку вони перетворюють у кінетичну (механічну) енергію.

## 1.1. Типи м'язів

В організмі людини розрізняють три типи м'язів: скелетні, серцеві (міокард) і гладенькі. Вони відрізняються морфологічними, біохімічними і функціональними особливостями. Скелетні та серцеві м'язи називають ще поперечносмугастими м'язами. У гладеньких м'язах така смугастість відсутня. Кожний м'яз складається з пучка м'язових волокон, які містять велику кількість скорочувальних ниток – міофібрил.

Структурною одиницею м'язової тканини є м'язове волокно (міоцит), що представляє собою багатоядерну клітину, яка оточена плазматичною мембраною – сарколемою. Чим більше у м'язах волокон, тим більшою є можливість проявлення максимальної сили м'язів.

Будову скелетного м'яза представлено на рис. 1.1. (с. 13).

## 1.2. Хімічний склад м'язової тканини

М'язова тканина містить 73-78% води. Приблизно 22-27% від маси м'язу припадає на частку сухого залишку, переважно білків. Окрім білків, у м'язах знаходяться глікогени та інші вуглеводи, різні ліпіди, екстрактивні речовини та мінеральні солі.

У м'язах розрізняють три види білків: білки саркоплазми, білки міофібрил та білки строми. У *саркоплазмі* містяться білки, що розчиняються у воді. Тут розрізняють міогенну, альбумінову, глобулінову та міоглобулінову фракції. *Білки міофібрил* наступні: міозин (56-60%), актин (20-25%), тропоміозин (10-15%)

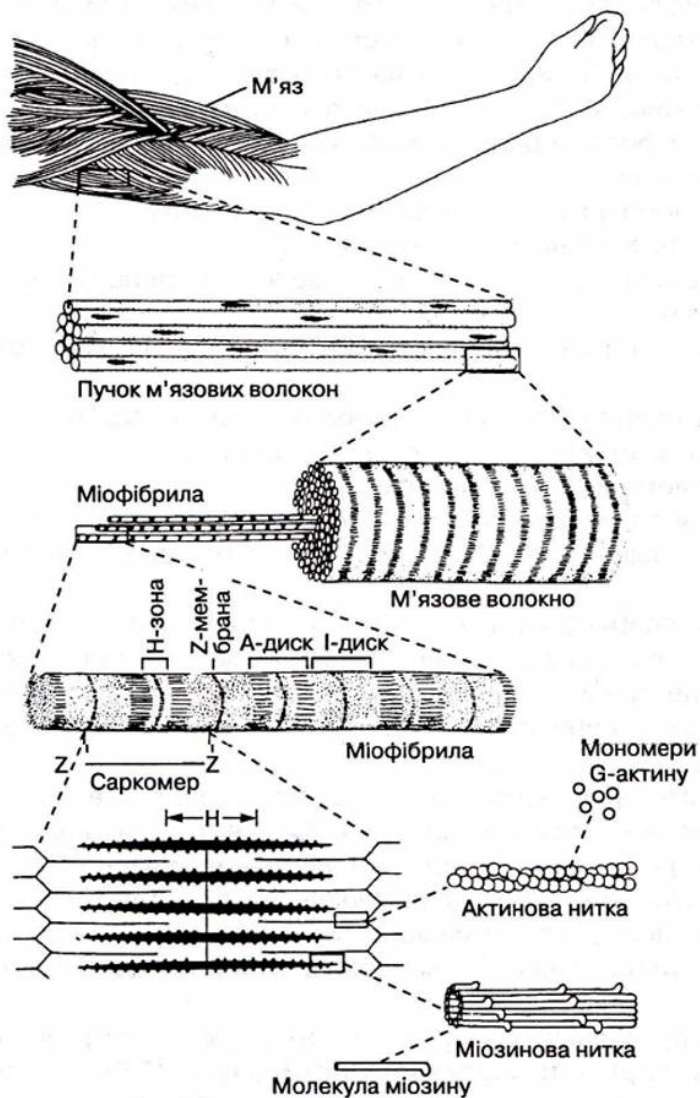


Рис. 1.1. Будова скелетного м'язу та м'язового волокна (Волков та інші, 2000; Мохан Р. та інші, 2003)

і тропоніновий комплекс (4-6%). Білки стромы в поперечносмугастих м'язах представлені переважно колагеном, нейрokerатином, еластином тощо. Ці білки входять до складу сполучнотканинних елементів стінок судин, нервів і сарколеми.

*Ліпіди.* У м'язах знаходяться нейтральні жири, стериди, фосфоліпіди. Вміст фосфоліпідів і холестерину в м'язах збільшується під час тренування.

*Екстрактивні речовини* представлені нуклеотидами, креатинфосфатом (КрФ), креатиніном, карнозином, ансериним, карнітином тощо.

З амінокислот у м'язах найбільше глютамінової кислоти та глютаміну.

У людини вміст глікогену в м'язах знаходиться в межах 0,4-0,8%, але під час тренування він може збільшуватися до 1,5%. Втомлені м'язи містять незначну кількість глікогену.

*Мінеральні речовини.* Загальний вміст мінеральних речовин у м'язах на сиру масу становить 1,0-1,5%. З катіонів переважають  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ , є також  $Zn$ ,  $Mn$ ,  $Cu$ ; з аніонів найбільше фосфатів і сульфатів. За рахунок іонів у м'язах підтримуються сталість рН і осмотична рівновага та здійснюється специфічний вплив на їхню збудливість і скоротливість.

### **1.3. Молекулярні механізми скорочення м'язового волокна**

Скорочення м'язу ініціюється потенціалом дії, який поширюється від нейром'язового синапсу в обох напрямках уздовж м'язового волокна. Через систему Т-трубочок нервовий сигнал передається на цистерни саркоплазматичної сітки і спричиняє зміни проникності мембран для іонів  $Ca^{2+}$  і вихід їх у саркоплазму. У стані спокою концентрація  $Ca^{2+}$  у саркоплазмі становить менш ніж  $10^{-7}$  моль/л. Внаслідок виходу іонів  $Ca^{2+}$  із цистерн вміст їх у саркоплазмі швидко досягає  $10^{-5}$  моль/л. Іони  $Ca^{2+}$  приєднуються до кальційзв'язувальної субодиниці тропоніну тонких філаментів, що

зумовлює зміну конформації білка. Це спричиняє переміщення молекули тропоміозину по жолобку тонкого філамента, в результаті чого на молекулах глобулярного актину в складі F-актину відкриваються центри зв'язування з голівками міозину товстих ниток.

Цикл утворення і розщеплення поперечних містків, що зумовлює переміщення тонких філаментів назустріч товстим, здійснюється наступним чином: міозинові голівки зі зв'язаними у АТФазному центрі молекулами АТФ приєднуються до найближчих молекул G-актину тонких ниток. Утворюються поперечні містки. Внаслідок взаємодії актину й міозину АТФазний центр міозинових голівок активується, гідролізує АТФ до АДФ і Фн. Це супроводжується зміною конформації міозину, згинанням голівки молекули в ділянці шарніру. Оскільки міозинова голівка зв'язана з молекулою актину, їхній рух протягує тонкий філамент уздовж міозинового. Зв'язування в АТФазному центрі голівки міозину нової молекули АТФ виникає розрив поперечних містків і відновлення вихідної конформації молекули міозину. Зв'язування голівки з наступною молекулою актину тонких ниток починає новий цикл. Амплітуда такого переміщення становить близько 11 нм, а частота – приблизно 50 разів на секунду. Одночасна, але не синхронна робота великої кількості міозинових голівок зумовлює за рахунок енергії гідролізу АТФ ковзання тонких і товстих ниток назустріч одні одним і, як результат цього, – скорочення м'язового волокна.

Коли на волокно перестають надходити нервові імпульси, вихід  $\text{Ca}^{2+}$  із цистерн припиняється, а АТФаза мембран саркоплазматичної сітки, що функціонує як кальцієва помпа, переносить іони  $\text{Ca}^{2+}$  за рахунок енергії АТФ із саркоплазми назад у цистерни. При зниженні концентрації  $\text{Ca}^{2+}$  у саркоплазмі до  $10^{-7}$  моль/л комплекс  $\text{Ca}^{2+}$ -тропонін дисоціює, тропоміозин зсувається по жолобку тонкого філамента на вихідне місце, блокуючи центри

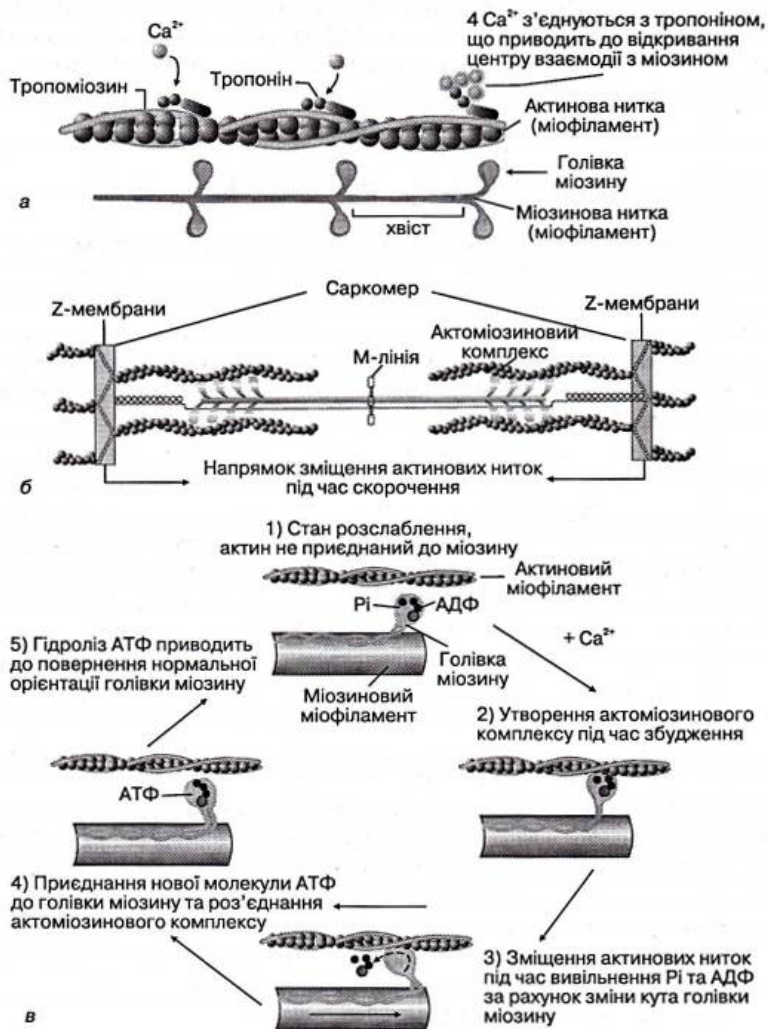


Рис. 1.2. Схема будови акти нової та міозинової нитки (а), саркомера (б), молекулярного механізму скорочення та розслаблення м'язів (в) (Rod R. Seeley та інші, 2003)



зв'язування на молекулах актину голівок міозину. Всі поперечні містки розриваються, і волокно розслаблюється. Таким чином, АТФ необхідний і для скорочення м'язів, і для їхнього розслаблення. При недостатці АТФ містки між актином і міозином не розриваються, і філаменти фіксуються у з'єднаному положенні (контрактура м'яза). Цим пояснюється трупне окоченіння після смерті.

Схему механізму скорочення та розслаблення м'язів наведено на рис. 1.2. (с. 16).

#### **1.4. Скорочення гладеньких м'язів**

Клітини гладеньких м'язів (міоцити) містять тонкі актинові й товсті міозинові філаменти, але вони не утворюють упорядкованих міофібрил, як у поперечносмугастих м'язах. Тонкі філаменти містять тропоміозин, але в них немає тропоніну. При концентрації  $10^{-5}$  моль/л іони  $\text{Ca}^{2+}$  зв'язуються з білком кальмодуліном, і їхній комплекс активує фермент кіназу міозину. Остання каталізує реакцію фосфорилування легких ланцюгів міозину, після чого відбувається взаємодія голівок міозину з актином, у результаті скорочуються міоцити. Швидкість скорочення гладеньких м'язів у 100-1000 разів менша від швидкості скорочення поперечносмугастих м'язів, що зумовлене повільним включенням механізму взаємодії міозину з актином. При зниженні концентрації  $\text{Ca}^{2+}$  в міоцитах комплекс  $\text{Ca}^{2+}$ -кальмодулін-кіназа дисоціює, а від міозину відщеплюються фосфорні залишки під дією фосфатази. Активність кінази міозину зменшується при включенні аденілатциклазної системи.

#### **1.5. Джерела енергії м'язової роботи**

Безпосереднім джерелом енергії для скорочення (і розслаблення) усіх типів м'язів є АТФ (формулу АТФ див. на рис. 1.3., с. 18). При цьому відбувається реакція розпаду молекул АТФ за участі ферменту скорочувального білка міозину – АТФази, який активується іонами кальцію:

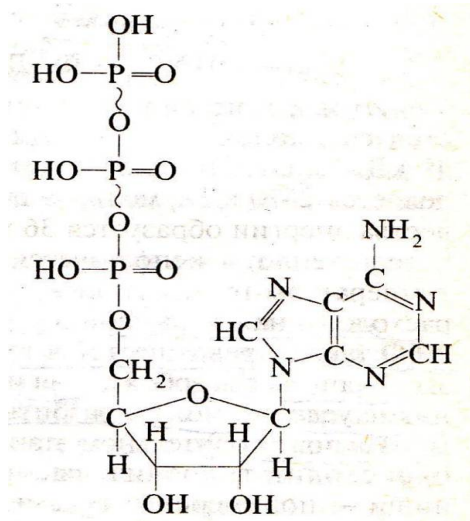
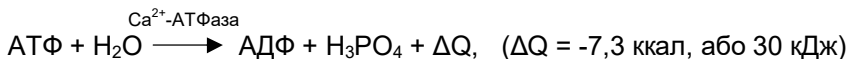


Рис. 1.3. Формула аденозинтрифосфату (АТФ)



Вміст АТФ у скелетних м'язах відносно невеликий і вичерпується протягом 1-1,5 с напруженої роботи (3-5 сильних скорочень). Тому для підтримання м'язової діяльності повинен постійно відбуватися процес ресинтезу АТФ. Ресинтез АТФ здійснюється в реакціях, які проходять без участі кисню (анаеробні механізми) або за участі кисню (аеробний механізм).

У звичайних умовах ресинтез АТФ відбувається переважно аеробно, а при напруженій м'язовій роботі, коли надходження кисню до м'язів ускладнене, у тканинах посилюються і анаеробні механізми ресинтезу АТФ. У скелетних м'язах людини виявлені три види анаеробних і один аеробний шлях ресинтезу АТФ (див. рис. 1.4., с. 19).

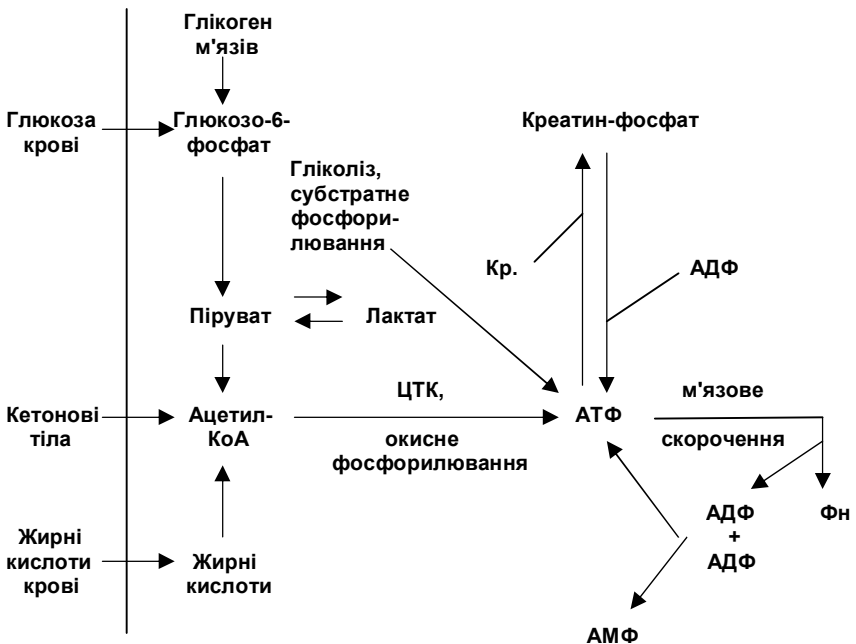


Рис. 1.4. Механізми ресинтезу АТФ у м'язах

До *анаеробних механізмів* належать:

а) гліколітичний (лактатний) механізм, який забезпечує ресинтез АТФ у процесі ферментативного анаеробного розщеплення глікогену м'язів або глюкози крові й закінчується утворенням молочної кислоти (лактату);

б) креатинфосфокіназний (алактатний або фосфогенний) механізм, який забезпечує ресинтез АТФ за рахунок перефосфорилювання між креатинфосфатом (КрФ) і АДФ;

в) аденілаткіназний (міокіназний) механізм, що здійснює ресинтез АТФ за рахунок реакції перефосфорилювання між двома молекулами АДФ за участю ферменту міокінази (аденілаткінази). Процес проходить за реакцією:



*Аеробний механізм* ресинтезу АТФ включає переважно реакції окислювального фосфорилування, що проходять у мітохондріях. Енергетичними субстратами аеробного окислення слугують глюкоза, жирні кислоти, частково амінокислоти, а також проміжні метаболіти гліколізу – молочна кислота, окислення жирних кислот – кетонів тіла.

Даний механізм має різні енергетичні можливості, які характеризуються за наступними критеріями оцінки механізмів енергоутворення: максимальна потужність, швидкість розгортання, метаболічна ємність і ефективність.

*Максимальна потужність* – це найбільша швидкість утворення АТФ у даному метаболічному процесі. Вона лімітує граничну інтенсивність роботи, що виконується за рахунок даного механізму.

*Швидкість розгортання* оцінюється часом досягнення максимальної потужності даного шляху ресинтезу АТФ від початку роботи.

*Метаболічна ємність* відображає загальну кількість АТФ, яка може бути отримана у даному механізмі ресинтезу за рахунок величини запасів енергетичних субстратів; ємність лімітує обсяг виконаної роботи.

*Метаболічна ефективність* – це та частина енергії, яка накопичується в макроергічних зв'язках АТФ; вона визначає економічність виконаної роботи й оцінюється загальним значенням коефіцієнта корисної дії (ККД), що є відношенням всієї корисно затраченої енергії до її загальної кількості, яка виділяється у даному метаболічному процесі.

Креатинфосфокіназний і гліколітичний механізми мають велику максимальну потужність і ефективність утворення АТФ, але короткий час утримання максимальної потужності та незначну ємність – із-за малих запасів енергетичних субстратів.

Аеробний механізм має майже в три рази меншу максимальну потужність порівняно з креатинфосфокіназним, але

підтримує її на протязі тривалого часу, а також практично невичерпну ємність завдяки великим запасам енергетичних субстратів у вигляді вуглеводів, жирів і частково білків. Так, за рахунок запасів жирів організм може безперервно працювати на протязі 7-10 днів, у той час як запаси енергетичних субстратів анаеробних механізмів енергоутворення менш значні.

Анаеробні механізми є основними в енергозабезпеченні короткочасних вправ високої інтенсивності, а аеробні – під час тривалої роботи помірної інтенсивності.

При легкій і помірній фізичній роботі скелетні м'язи покривають енергетичні затрати шляхом окисного фосфорилування, тобто за рахунок аеробного окислення таких субстратів, як глюкоза, вільні жирні кислоти й кетонів тіла. При тривалій м'язовій роботі поступово зменшується використання глюкози, а збільшується – жирів, які мобілізуються з жирових депо.

При максимальних фізичних навантаженнях, наприклад, під час спринтерського бігу, доставка кисню до м'язів стає недостатньою для забезпечення енергетичних потреб. Основним шляхом ресинтезу АТФ стає анаеробний гліколіз. Глікоген м'язів і глюкоза крові розпадаються до молочної кислоти. При цьому один залишок глюкози забезпечує утворення 2-х молекул АТФ. Анаеробний розпад глікогену досягає максимального рівня через 40-50 секунд безперервної роботи м'яза. Посилення гліколізу ініціюється збільшенням рівня АМФ, який є активатором фосфофруктокінази – основного регуляторного ферменту гліколізу. Як відомо, АМФ утворюється в аденілаткіназній реакції, оскільки при скороченні м'язів збільшується вміст АДФ:



При напруженій фізичній роботі накопичення в м'язах молочної кислоти і зниження рН, а також підвищення температури знижують ефективність обміну. Молочна кислота дифундує у кров і захоплюється печінкою та серцем. У серцевому м'язі за участю ЛДГ<sub>1</sub> молочна кислота окислюється в піровиноградну й далі

аеробним шляхом. У печінці частина молочної кислоти окислюється, а частина перетворюється шляхом глюконеогенезу в глюкозу, яка виходить у кров і потрапляє в м'язи, де використовується для відновлення запасів глікогену (цикл Корі) (див. рис. 1.5.).

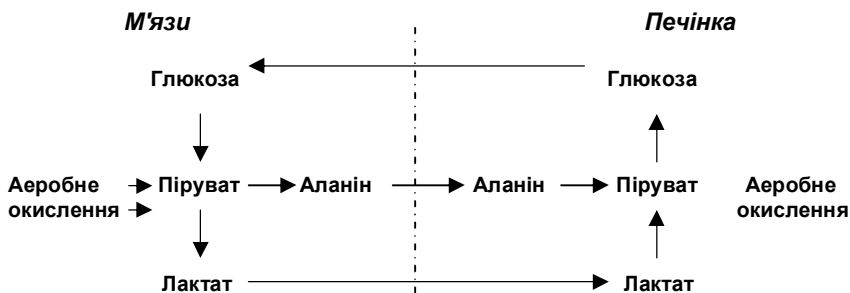
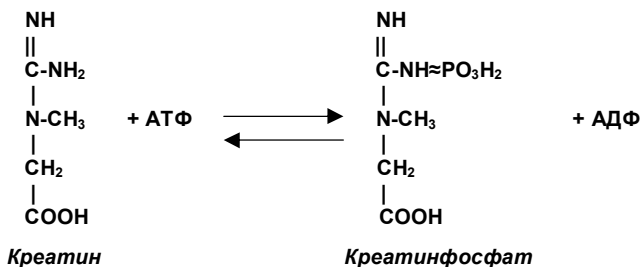


Рис. 1.5. Цикл Корі (глюкозолактатний і глюкозоаланіновий цикли)

Ці процеси перебігають під час відновлення (відпочинку) після інтенсивної м'язової роботи, коли завдяки частому і глибокому диханню в організм надходить додатковий кисень, який використовується для окислення лактату, пірувату, інших субстратів, і для відновлення нормальної концентрації у м'язах АТФ і креатинфосфату.

Встановлено, що у стані спокою м'язи містять близько 5 мкмоль АТФ на 1 г тканини й у 3-8 разів більше за іншу високо енергетичну сполуку – креатинфосфат. Останній утворюється з АТФ і креатину за реакцією, яку каталізує креатинкіназа:



Реакція зворотна: коли наявний у м'язах АТФ використовують для роботи, КрФ швидко передає фосфатну групу на АДФ, завдяки чому відновлюється вихідний рівень АТФ. Утворення АТФ із КрФ і АДФ – це найшвидший шлях генерації АТФ в умовах скорочення м'язів.

Порівняно з іншими тканинами м'язи запасують більший рівень макроергічних сполук, що має значення для дуже швидкого переходу скелетних м'язів від стану спокою до максимальної активності, коли потреба в АТФ зростає у 20-200 разів. Але запасу АТФ і КрФ вистачає тільки на 6-10 секунд інтенсивної роботи скелетних м'язів. Ресинтез АТФ у м'язах, які працюють, забезпечується залежно від умов окислювальним або субстратним фосфорилуванням.

М'язові волокна поділяються на червоні, білі й проміжні. М'язи людини здебільшого містять усі три типи волокон, але в різних співвідношеннях. Саркоплазма червоних волокон містить багато міоглобіну та численні мітохондрії. Саме міоглобін забарвлює м'язові волокна в червоний колір.

Білі волокна містять менше міоглобіну та мітохондрій, але більше глікогену і гліколітичних ферментів. Тому для червоних волокон характерне аеробне окислення субстратів, а для білих – анаеробний розпад глікогену і глюкози. М'язи, в яких переважають червоні волокна, скорочуються повільніше, але довго й без ознак втоми. М'язи, що складаються здебільшого з білих волокон, швидко переходять від стану спокою до максимальної активності, скорочуються значно швидше, але раніше втомлюються, оскільки вичерпуються запаси глікогену, а глюкоза з крові надходить повільно. У різних людей співвідношення червоних, білих і проміжних волокон в одних і тих самих м'язах неоднакове, що визначає спортивні можливості, наприклад, здатність бігти на короткі чи довгі дистанції.

## **1.6. Енергетичний обмін у серцевому м'язі**

Для роботи серцевого м'яза характерне постійне ритмічне чергування процесів скорочення і розслаблення. Необхідний АТФ утворюється майже повністю за рахунок окислювального фосфорилування, тобто аеробним шляхом.

Субстратами окислення в міокарді є широке коло сполук: вищі жирні кислоти, глюкоза, кетоніві тіла, молочна й піровиноградна кислоти, які постачаються кров'ю, але головним субстратом є жирні кислоти, особливо у стані спокою. При фізичному навантаженні відносний внесок жирних кислот в енергетичний обмін міокарда знижується, але збільшується утилізація глюкози й молочної кислоти, які надходять у венозну кров із скелетних м'язів. Лактат переходить у піруват, який зазнає окислювального декарбоксилювання в мітохондріях і поступає в цикл Кребса. Утилізуючи молочну кислоту (лактат), серце не тільки отримує енергію, а й сприяє підтриманню постійної величини рН крові.

Креатинфосфат у серцевому м'язі відіграє подвійну роль – енергетичного резерву та перенесення енергії з мітохондрій до міофібрил. При ураженні міокарда ізоферменти креатинкінази надходять у кров, і їхнє визначення має діагностичне значення (наприклад, при інфаркті).

### **Контрольні питання до розділу 1.**

1. Назвіть типи м'язової тканини та їхні відмінності.
2. Охарактеризуйте типи м'язових волокон та їхню роль у м'язовій діяльності.
3. Назвіть структурні та скорочувальні елементи м'язового волокна та їхнє функціональне значення.
4. Як відбувається відновлення зруйнованого м'язового волокна?
5. Що розуміють під руховою одиницею м'яза?
6. Назвіть білки м'язів. Яка їхня функціональна роль?



7. Які азотисті та безазотисті речовини є у м'язах і яка їхня роль?
8. Які макроергічні сполуки є у м'язовому волокні?
9. Дайте характеристику біохімічному механізму м'язового скорочення.
10. Як відбувається процес розслаблення м'язів?
11. Яка роль АТФ у процесах скорочення і розслаблення м'язів?
12. Що розуміють під механізмами або шляхами ресинтезу АТФ? Які знаєте шляхи ресинтезу АТФ у скелетних м'язах?
13. Дайте загальну характеристику джерелам, механізмам і шляхам ресинтезу АТФ.
14. Як впливає тренування на аеробний механізм ресинтезу АТФ?
15. Яку фізичну роботу забезпечує гліколітичний шлях ресинтезу АТФ?
16. Які енергетичні субстрати, реакції та енергетичний вихід аеробного механізму ресинтезу АТФ?
17. У чому суть креатинфосфокіназного, міокіназного шляху ресинтезу АТФ?

## **2. Біохімічні зміни в організмі при виконанні вправ різної потужності і тривалості**

Ступінь зміни біохімічних процесів в організмі при м'язовій діяльності залежить від типу виконуваної вправи, її потужності та тривалості, а також від тренуваності спортсмена. В першу чергу такі зміни стосуються механізмів аеробного та анаеробного енергоутворення.

### **2.1. Загальна спрямованість змін біохімічних процесів при м'язовій діяльності**

Особливості біохімічних процесів при м'язовій діяльності розглянемо на прикладі енергозабезпечення бігу на різні дистанції, що потребує навантаження різної потужності і тривалості.

Так, під час бігу на 100 м енергетичне забезпечення роботи м'язів здійснюється лише за рахунок анаеробних процесів (50% від загального енергозабезпечення). Правда, на перших метрах дистанції суттєве значення має також креатинфосфокіназний механізм. У подальшому підтримка максимальної швидкості бігу забезпечується одночасним використанням креатинфосфату та глікогену.

Під час бігу на 200 м КрФ і анаеробний гліколіз також використовуються одночасно при помітному переважанні гліколізу в загальній енергетиці роботи. Однак уже на 150-му метрі запаси КрФ у працюючих м'язах помітно вичерпуються, і темп бігу зазвичай знижується на 10%. При цьому в енергетичному забезпеченні бігу певну роль починає відігравати аеробний метаболізм.

Під час бігу на 400 м у підтримці швидкості бігу беруть участь три джерела енергії: розпад КрФ (10% від загальних затрат енергії), анаеробний гліколіз (60%), аеробний процес (25%).

Під час бігу на 800 і 1500 м креатинфосфокіназний механізм і анаеробний гліколіз вносять суттєвий внесок в ресинтез АТФ при роботі, але аеробний метаболізм стає домінуючим. Важливе

значення має також глікоген, запасу якого вистачає при аеробному окисленні приблизно на 1000 м.

Під час бігу на довгі дистанції (5 і 10 км) аеробне окислення вуглеводів є основним механізмом енергозабезпечення роботи через те, що на його долю припадає до 87% від загальних витрат енергії на дистанції 5 км і біля 97% на дистанції 10 км. На цих дистанціях внесок анаеробних джерел досягає близько 15% від загальних витрат енергії. Все ж таки найбільш значним фактором, який впливає на роботу на витривалість, є кисневе забезпечення працюючих м'язів.

Під час марафонського бігу витрати енергії поповнюються виключно за рахунок аеробного процесу. Із-за нестачі запасів глікогену у працюючих м'язах спортсменів значна частина енергії утворюється за рахунок окислення жирів, на долю яких припадає від 10 до 50% від загальних витрат енергії. Всього на дистанції марафонського бігу окислюється біля 300 г жирів (див. рис. 2.1.).

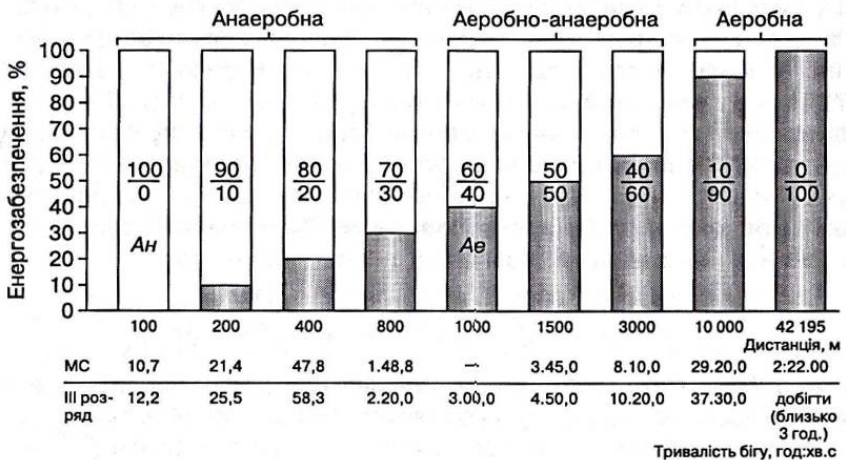


Рис. 2.1. Відносний енергетичний внесок анаеробних (Ан) та аеробних (Ае) механізмів енергоутворення в забезпеченні бігу на різні дистанції (Г. А. Осипенко, 2007)

За тривалої роботи відбувається глюконеогенез, що активується кортизолом. Основним субстратом глюконеогенезу є амінокислоти, частина яких накопичується у працюючих м'язах унаслідок розпаду тканинних білків.

Внесок окремих джерел енергії у забезпечення роботи м'язів має важливе значення під час вибору оптимальної стратегії підготовки в обраному виді спорту, в т. ч. близьких за інтенсивністю і тривалістю до розглянутих фізичних бігових навантажень.

Про ефективність використання різних механізмів енергозабезпечення під час м'язової роботи свідчить зміна концентрації молочної кислоти і глюкози в крові. Так, максимальне накопичення молочної кислоти в крові відзначається під час бігу на 400 і 800 м, що свідчить про використання лактатного механізму ресинтезу АТФ, а глюкози – під час бігу на 10000 м, коли аеробний механізм ресинтезу АТФ стає домінуючим (див. табл. 2.1.).

*Таблиця 2.1.*

Біохімічні зміни в організмі людини при виконанні фізичних вправ у різних зонах відносної потужності (Г. А. Осипенко, 2007)

Показник	Зона потужності			
	Максимальна	Субмаксимальна	Велика	Помірна
1	2	3	4	5
Час роботи (с, хв)	2 - 30 с	30 с - 3-5 хв	3-5 - 50 хв	50 хв - 5 год
Шлях енергоутворення	КрФ – 95%, гліколіз	Гліколіз, КрФ	Аеробний – 40-90%	Аеробний
Джерела енергії, їх зміни після роботи	АТФ↓, КрФ↓, глікоген	КрФ↓, глікоген м'язів, печінки	Глікоген м'язів↓, печінки↓, жири	Глікоген↓, жири

Продовження Таблиці 2.1.

1	2	3	4	5
Вміст глюкози у крові ( $\text{г}\cdot\text{л}^{-1}$ )	0,8 (норма), до 1,2 $\uparrow$	До 2 $\uparrow$	До 1,5 $\uparrow$	0,8, 0,6 $\downarrow$
Вміст молочної кислоти у крові ( $\text{ммоль}\cdot\text{л}^{-1}$ )	1,5 (норма), до 2,5 $\uparrow$	До 6 - 12, у спортсменів: до 10 - 28	В межах 4-10 $\uparrow$	1,5
pH крові	7,36 або 7,2 $\downarrow$ (норма)	6,8 $\downarrow$	7,3 $\downarrow$	7,36
Вміст білку в сечі (%)	-	1,5	0,5	-
Кисневий борг (%)	90 - 95	50 - 90	20 - 30	$\approx$ 10
Час відновлення (год)	До 1	2 - 5	5 - 24	24 - 72
Чинники стомлення	КрФ $\downarrow$ , АДФ $\uparrow$	Порушення діяльності ЦНС, $\text{NH}_3\uparrow$ , КрФ $\downarrow$ , pH $\downarrow$	Глікоген $\downarrow$ , pH $\downarrow$ , $\text{pO}_2\downarrow$	Глікоген $\downarrow$ , кетоз, $t = 42^\circ\text{C}$ , $\text{H}_2\text{O}\downarrow$

Примітка до табл. 2.1.  $\uparrow$  – збільшення вмісту метаболіту чи показника;  $\downarrow$  – зменшення вмісту метаболіту чи показника.

## 2.2. Транспорт кисню до працюючих м'язів та його споживання при м'язовій діяльності

### Доставка кисню до м'язів.

Швидкість доставки кисню до тканин – один із найважливіших чинників, які впливають на енергозабезпечення м'язів, через що ресинтез АТФ у мітохондріях перебуває у прямій залежності від концентрації кисню в клітині.

Кисень дифундує у кров через стінки легневих альвеол і кровоносних капілярів. Лише невелика частина цього кисню розчиняється у плазмі; більша його частина зв'язується в еритроцитах із гемоглобіном. За фізіологічних умов кожний 1 г гемоглобіну крові зв'язує 1,34 мл кисню (киснева ємність крові складає 21-22 мл  $O_2$  на 100 мл крові). Виділення  $CO_2$  з крові в повітря, що видихається, сприяє підлужуванню крові та насиченню гемоглобіну киснем.

Концентрація вільного кисню у капілярах тканин є вищою за його концентрацію у внутрішньоклітинному просторі, тому в них відбувається вивільнення кисню з гемоглобіну й дифузія його в клітини.

У м'язах кисневий обмін здійснюється за участю міоглобіну. Останній переносить  $O_2$  до мітохондрій, де відбуваються біоенергетичні процеси, і частково депонує його.

#### *Споживання кисню м'язами.*

Під час переходу від стану спокою до інтенсивної м'язової діяльності потреба в кисні багатократно зростає, однак одразу вона не може бути задоволена. Потрібен час на те, щоб включилася система дихання та кровообігу, і щоби кров, яка вже збагатилася киснем, могла дійти до працюючих м'язів. У міру посилення фізичної активності швидкість споживання кисню підвищується доти, доки не наступить справжній стійкий стан метаболічних процесів, за якого споживання  $O_2$  в даний момент точно відповідає потребам організму в ньому.

Рівень споживання  $O_2$  у стійкому стані залежить від потужності виконуваних вправ.

Кількість  $O_2$ , що необхідна організму для повного задоволення енергетичних потреб за рахунок аеробних процесів, називають кисневим запитом роботи. За інтенсивної роботи реальне споживання кисню – кисневий притік – складає лише невелику частину кисневого запиту. Різниця між кисневим запитом роботи й реально споживаним киснем складає кисневий дефіцит

організму. В умовах кисневого дефіциту активуються анаеробні реакції ресинтезу АТФ, що призводить до накопичення в організмі недоокислених продуктів анаеробного метаболізму. Для відновлення енергетичних джерел та окислення недоокислених метаболітів потребується додаткова кількість кисню. Цей надлишок споживання кисню в період відновлення дістав назву "кисневий борг".

Під час відпочинку частина кисню використовується для відновлення гемоглобінового та міоглобінового запасу. При роботі, що викликає втому, ефективність використання кисню поліпшується внаслідок роз'єднання окислених енергетичних субстратів і синтезу АТФ.

Кисневий борг під час роботи різної інтенсивності викликається різними факторами. Так, за короткочасної інтенсивної роботи в утворенні кисневого боргу вирішальну роль відіграє витрачання запасів КрФ і АТФ, а за тривалої роботи – витрачання глікогену і зміщення кислотно-лужної рівноваги.

Швидкий компонент  $O_2$ -боргу (алактатний) включає ту кількість кисню, яка необхідна для ресинтезу АТФ і КрФ. Він характеризує внесок креатинфосфатного механізму в енергетичне забезпечення роботи. Повільний компонент (лактатний) включає ту кількість кисню, яка необхідна для окислення молочної кислоти, що утворюється під час виконання роботи. Його величина характеризує участь гліколітичного механізму в енергетичному забезпеченні працюючих м'язів.

### **2.3. Особливості біохімічних змін в окремих органах і тканинах під час роботи м'язів**

*Серцевий м'яз (міокард).* У міокарді знаходиться велика кількість ферментів аеробного обміну, тому в ньому переважають аеробні енергетичні реакції. У стані відносного спокою основним джерелом енергії є жирні кислоти, кетонові тіла та глюкоза. За напруженої роботи міокард поглинає з крові й окислює молочну кислоту, тому запас глікогену в ньому майже не витрачається.

*Головний мозок.* Під час роботи м'язів у клітинах головного мозку посилюється аеробний енергетичний обмін, що виражається у збільшенні споживання глюкози й кисню з крові, у підвищенні швидкості поповнення запасів глікогену й фосфоліпідів, посиленні розпаду білків і накопиченні аміаку.

*Скелетні м'язи.* Біохімічні зміни, що відбуваються у скелетних м'язах під час роботи, зазвичай визначають за вмістом продуктів метаболізму м'язів у крові, сечі, повітрі, що видихається, або безпосередньо у м'язах. Наприклад, як показник інтенсивності аеробних процесів часто використовують величину максимального споживання кисню. Інтенсивність гліколізу визначають шляхом виміру вмісту молочної кислоти, креатинфосфокіназної реакції – за вмістом у крові креатину й креатиніну; про включення жирів в енергообмін судять за вмістом у крові вільних жирних кислот і кетонових тіл. За показниками кислотно-лужної рівноваги роблять висновок про здатність організму протистояти несприятливій дії кислотних продуктів анаеробного обміну. Тривала робота призводить до збільшення вмісту білків, аміаку та сечовини в крові, що свідчить про суттєві зміни в амінокислотно-білковому обміні.

#### **2.4. Класифікація фізичних вправ за характером біохімічних змін під час роботи м'язів**

В залежності від кількості м'язів, які беруть участь у скороченні, фізичну роботу поділяють на локальну (бере участь менш ніж  $\frac{1}{4}$  всіх м'язів тіла), регіональну та глобальну (бере участь більше за  $\frac{3}{4}$  всіх м'язів тіла).

*Локальна робота* (стрільба, шахи) може викликати зміни в м'язах, проте в цілому біохімічні зміни в організмі незначні.

*Регіональна робота* (елементи гімнастичних вправ, удар по м'ячу, стоячи на місці) викликає більші біохімічні зміни, ніж локальна робота, що залежить від долі анаеробних реакцій в її енергетичному забезпеченні.

*Глобальна робота* (ходьба, біг, плавання, лижні гонки) викликає значні біохімічні зміни у всіх органах організму. Вона



викликає суттєве посилення діяльності дихальної і серцево-судинної систем, м'язи краще забезпечуються киснем, збільшується доля аеробного ресинтезу АТФ.

На метаболічні зрушення в організмі впливає режим м'язової діяльності. У цьому аспекті виділяють статичний і динамічний режими роботи. *Статичний* (ізометричний) режим скорочення м'язів призводить до передавлення капілярів при сильному скороченні, а отже, до погіршення постачання м'язів киснем і поживними речовинами. Провідна роль тут належить анаеробним процесам. *Динамічний* (ізотонічний) режим роботи забезпечує набагато краще постачання тканин киснем, оскільки м'язи, що переривчасто скорочуються, діють як своєрідна помпа, яка проштовхує кров через капіляри. Для відпочинку після статичної роботи потребується не спокій, а динамічна робота (наприклад, потрібно походити).

Виходячи з робочого навантаження та механізмів енергозабезпечення всі циклічні вправи, згідно з класифікацією В. С. Фарфеля (1975), поділяють на чотири зони: максимальну, субмаксимальну, велику й помірну.

Робота в зоні *максимальної* потужності забезпечується енергією переважно за рахунок АТФ і КрФ, частково – за рахунок гліколізу.

Енергетичне забезпечення роботи в зоні *субмаксимальної* потужності здійснюється в основному за рахунок анаеробного гліколізу, що призводить до значного накопичення молочної кислоти в крові.

Робота м'язів у зоні *великої* потужності забезпечується енергією переважно за рахунок аеробних джерел і частково за рахунок гліколізу.

Найменш інтенсивні вправи в зоні *помірної* потужності виконуються за рахунок максимального використання аеробного виробництва енергії.

В останні роки розроблено більш детальну класифікацію циклічних фізичних вправ. Так, згідно з Я. М. Коцем (1986), фізичні вправи поділяють на вісім груп: три – анаеробні, і п'ять – аеробні. До анаеробних вправ належать: 1) вправи максимальної анаеробної потужності (до 15-20 с); 2) вправи, близькі до максимальної потужності (до 20-45 с); 3) вправи субмаксимальної анаеробної потужності (до 45-120 с). До аеробних вправ належать: 1) вправи максимальної аеробної потужності (3-10 хв); 2) вправи, близькі до максимальної потужності (10-30 хв); 3) вправи субмаксимальної аеробної потужності (30-80 хв); 4) вправи середньої аеробної потужності (80-120 хв); 5) вправи малої аеробної потужності (понад 2 год).

### **Контрольні питання до розділу 2.**

1. Чим визначається характер біохімічних процесів енергозабезпечення під час м'язової діяльності?
2. Яка послідовність включення біохімічних систем енергозабезпечення організму під час роботи різної потужності та тривалості?
3. Які енергетичні ресурси забезпечують м'язову роботу різної потужності та тривалості?
4. Яка роль гемоглобіну і міоглобіну у забезпеченні організму киснем?
5. Які біохімічні зміни відбуваються в крові при виконанні фізичних навантажень у різних зонах потужності?

### 3. Біохімічні основи розвитку втоми

*Втома* – це тимчасове зниження працездатності, що виникає в процесі виконання вправ і сигналізує про наближення несприятливих біохімічних та функціональних зрушень в організмі, що призводить до відмови від продовження роботи або значного зниження навантаження.

Розвиток втоми, яка виникає при виконанні роботи, залежить від багатьох внутрішніх і зовнішніх чинників. Залежно від конкретних умов м'язової діяльності та індивідуальних особливостей організму першопричиною втоми можуть бути:

- а) зниження енергетичних ресурсів у працюючих м'язах, а також активності ключових ферментів;
- б) накопичення продуктів обміну речовин;
- в) порушення цілісності функціональних структур через їхнє недостатнє пластичне забезпечення або порушення гомеостазу;
- г) зміна нервової та гормональної регуляції тощо.

#### **3.1. Біохімічні основи й фактори розвитку втоми при виконанні короткочасних вправ максимальної та субмаксимальної потужності**

При виконанні короткочасних вправ можливі прояви основних ознак утоми, пов'язані з особливостями протікання біоенергетичних процесів у м'язах, спрямованих на підтримання високої швидкості ресинтезу АТФ. Зміна показників механічної продуктивності при цьому спостерігається, як правило, в мить, коли запаси креатинфосфату (КрФ) у працюючих м'язах вичерпані більш ніж на половину, а через інтенсифікацію гліколізу суттєво знижується внутрішньоклітинне значення рН. Причому відбувається різке збільшення концентрації у м'язах АДФ та накопичення  $H^+$  і молочної кислоти (лактату). У той же час зміна концентрації вищеназваних метаболітів гальмує активність АТФазу міозину – ключового ферменту, від якого залежить ефективність перетворення енергії макроергічних фосфатних зв'язків АТФ у

механічну роботу м'язів. З цієї точки зору синтез АДФ і накопичення  $H^+$  за скорочувальної активності м'язів слід розглядати в якості головних факторів, які відповідають за розвиток втоми при виконанні короткочасних інтенсивних вправ.

Крім указаних вище факторів, на розвиток втоми в умовах короткочасних вправ максимальної та субмаксимальної потужності виражений вплив справляє зниження внутрішньом'язових запасів глікогену.

Помітний внесок у розвиток втоми вносять порушення електрохімічного сполучення при передачі збудження з нерву на м'яз та зміни в діяльності НС через розвиток охоронного гальмування, а також порушення нервової трофіки та мозкового кровообігу, зміни концентрації неорганічного фосфату, інозинмонофосфату (ІМФ), накопичення аміаку в тканинах. Все свідчить про складний, багатофакторний характер втоми, яка розвивається в процесі виконання вправ максимальної та субмаксимальної потужності.

### **3.2. Біохімічні основи й фактори розвитку втоми при виконанні тривалих вправ великої та помірної потужності**

Основними причинами втоми при виконанні тривалих фізичних вправ великої та помірної потужності становлять фактори, пов'язані зі зниженням рівня енергозабезпечення працюючих м'язів (вичерпання внутрішньом'язових запасів глікогену, накопичення продуктів неповного окислення жирів, надлишкове накопичення аміаку та ІМФ, розвиток гіпоглікемічного стану), а також порушення електрохімічного сполучення в працюючих м'язах і погіршення діяльності ЦНС в умовах вираженої гіпертермії, дегідратації та порушення електрохімічного балансу організму. Все це свідчить про комплексний характер розвитку втоми в цих умовах.

Значна доля у ресинтезі АТФ припадає на окислення глюкози. Окислення жирів характерне лише для вправ, відносна потужність яких не перевищує 50% від рівня надходження і

засвоєння кисню. Анаеробні джерела енергії (КрФ і глікоген) справляють помітний вплив на енергетику роботи лише в тих видах тривалих вправ, відносна потужність яких перевищує значення лактатного і креатинфосфатного порогів, локалізованих на рівні 60-75% від рівня споживання кисню.

За тривалої роботи змінюється динаміка основних біохімічних показників крові. Так, вміст глюкози в крові помітно знижується у випадку, коли тривалість вправ перевищує 90 хв. Вміст лактату й вільних жирних кислот у крові зберігається на рівні спокою доти, доки не буде досягнуте значне вичерпання вуглеводних ресурсів організму.

Конкретні причини втоми за тривалої роботи можуть бути обумовлені нездатністю працюючих м'язів підтримувати задану швидкість ресинтезу АТФ через накопичення аміаку і кетонових тіл в організмі. Додаткове введення глюкози запобігає розвиткові гіпоглікемії при роботі та помітно підвищує працездатність при виконанні тривалих фізичних навантажень.

Таким чином, при виконанні будь-яких вправ можна виділити провідні ланки обміну речовин, які навантажуються найбільше, і функції систем організму, можливості яких і визначають здатність спортсмена виконувати вправи на належному рівні інтенсивності та тривалості. Це можуть бути регуляторні системи (ЦНС, вегетативна нервова система, нейрогуморальна система), системи вегетативного забезпечення (дихання, кровообіг, кров) та виконавча (рухова) система.

За даними багатьох фахівців втому слід розглядати як наслідок виходу з ладу будь-якого компонента в складній системі органів і функцій, або як порушення взаємозв'язків між ними. Провідною ланкою в розвитку втоми може стати будь-який орган та його функція, якщо виявиться невідповідність між рівнем фізичного навантаження та наявними функціональними резервами. Тому найпершою причиною зниження працездатності можуть бути вичерпання енергетичних резервів, тканинна гіпоксія, зниження

ферментативної активності, зміна гомеостазу, порушення нервової та гормональної регуляції й інше.

З'ясування механізмів втоми відіграє важливу роль у практиці спорту для обґрунтування вузлових положень спортивного тренування. Втома розглядається як фактор, що стимулює мобілізацію функціональних ресурсів, визначає межі оптимального обсягу впливів тренування, а також забезпечує ефективність протікання адаптації, успішність змагальної діяльності та профілактику переадаптації.

Такий підхід має практичне значення, оскільки об'єктивно обґрунтовує систему чергування тренувальних навантажень переважної спрямованості. Система чергування навантажень дозволяє об'єднати великі обсяги роботи за високої частоти тренувальних навантажень, високі якісні характеристики роботи, профілактику перевтоми організму та перенапруження функціональних систем у результаті виконання напружених тренувальних програм.

### **Контрольні питання до розділу 3.**

1. Що розуміють під станом втоми? Яка її роль у побудові системи спортивного тренування?
2. Які біохімічні зміни в організмі призводять до розвитку втоми?
3. Назвіть основні біохімічні фактори втоми при виконанні короткочасних інтенсивних вправ.
4. Які основні причини втоми при тривалій м'язовій роботі?
5. Як впливає на розвиток втоми вихідний рівень енергетичних субстратів (КрФ, глікогену) у працюючих м'язах?

## **4. Біохімічні основи процесів відновлення при м'язовій діяльності**

Після м'язової роботи організму слід відновити свою “силу” під час відпочинку. У цей період “відновлення” відбувається перехід метаболізму від катаболічних до анаболічних процесів, спрямованих на відновлення витрачених енергетичних ресурсів і відновлення порушеної ендокринної та водно-електролітної рівноваги організму.

В ході процесів відновлення після м'язової роботи виділяють три фази: термінове, відкладене та сповільнене відновлення. У першій фазі (перші 30 хв) відбувається поповнення ресурсів АТФ і КрФ, а також алактатного компонента кисневого боргу. У другій фазі (від 0,5 до 6-12 год) відбувається поповнення витрачених вуглеводних і жирових запасів та нормалізація водно-електролітної рівноваги. У третій фазі (2-3 доби) посилюються процеси біосинтезу білків, формуються та закріплюються адаптаційні зрушення, викликані виконанням вправ. Кожна фаза відновлення має свої особливості у динаміці метаболічних процесів.

### **4.1. Динаміка біохімічних процесів відновлення після м'язової роботи**

У періоді відпочинку після роботи ліквідуються біохімічні зміни, які з'явилися під час виконання вправ. Найбільш виражені зміни спостерігаються у сфері енергетичного обміну: знижується вміст КрФ, глікогену, а за тривалої роботи – ліпідів. Але при цьому підвищується вміст продуктів метаболізму – АДФ, АМФ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , молочної кислоти, кетонових тіл. У процесі відпочинку швидше за все відновлюються резерви кисню (10-15 с), КрФ і АТФ (3-4 хв), потім запаси глікогену (12-48 год), і в останню чергу – резерви жирів та білкові структури (12-72 год).

## 4.2. Послідовність відновлення енергетичних запасів після м'язової роботи

Загальні закономірності динаміки біохімічних процесів у період відпочинку спрямовані переважно на внутрішньом'язові запаси АТФ, КрФ і глікогену. Причому швидкість відновлення запасів АТФ і КрФ (фосфагенів) залежить від швидкості компенсації кисневого боргу. Більша частина АТФ, що необхідна для забезпечення відновлення запасів КрФ, утворюється за рахунок аеробного окислення вуглеводів і жирів у циклі Кребса й дихального ланцюгу мітохондрій (невеличка кількість за рахунок анаеробного гліколізу в перші хвилини відновлення).

Реставрація резервів глікогену відбувається на протязі багатьох годин і навіть днів. Субстратами можуть бути переважно молочна кислота і глюкоза.

Наведені закономірності представлені на рис. 4.1.

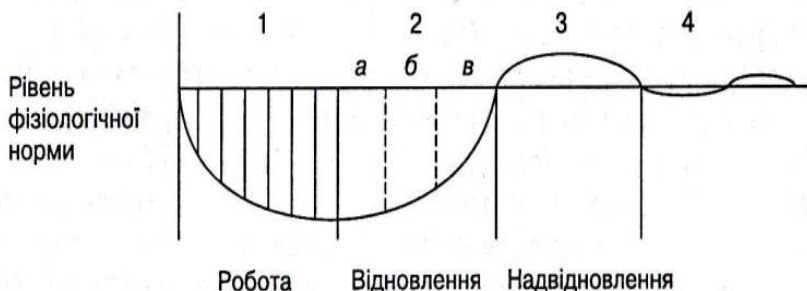


Рис. 4.1. Закономірності відновлення енергетичних субстратів та інших компонентів у період відпочинку після напруженої м'язової діяльності (Г. А. Осипенко, 2007)

Примітки до рис. 4.1. 1 – фаза виснаження під час роботи; 2 – фази відновлення: а) термінове відновлення запасів фосфогенів (АТФ, КрФ), погашення алактатного компонента кисневого боргу (1-3 хв), окиснення молочної кислоти (30 хв); б) відставна фаза: включає відновлення запасів глікогену (до 6-12 год), повне окиснення молочної кислоти, відновлення



КОС, прискорення біосинтезу білків; в) сповільнена фаза: включає нормалізацію процесів біосинтезу білка (12-24 год); 3 – фаза надвідновлення; 4) втрата стану надвідновлення.

#### **4.3. Усунення продуктів розпаду під час відпочинку після м'язової роботи**

Молочна кислота підлягає окислювальному усуненню в перші хвилини відпочинку після закінчення вправ. Зазвичай за 7-10 хв відновлювального періоду концентрація лактату в м'язах і крові досягає рівноваги, а вже за 20-25 хв його вміст у крові перевищує його концентрацію в м'язах.

Біля 60% молочної кислоти (лактату), що утворюється під час роботи м'язів, окисляється повністю до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ . За рахунок енергії аеробного окислення частина молочної кислоти (до 20%) перетворюється в глікоген у процесі глюконеогенезу, а друга частина використовується для синтезу амінокислот та білків, і лише незначна частина її екскретується з сечею та потом. Причому чим більше кисню поступає в тканини, тим швидше зникає молочна кислота. Цікаво, що усунення молочної кислоти після роботи помітно прискорюється, якщо під час відновлення будуть виконуватися вправи помірної інтенсивності.

Поряд із усуненням лактату в період відпочинку повертаються до вихідних значень вміст у м'язах і крові метаболітів – аланіну, піровиноградної кислоти (ПВК), аміаку, неорганічного фосфату, іонів водню, а також поповнюються запаси кисню, депонованого в міоглобіні. Міоглобінові запаси кисню швидко відновлюються на протязі перших хвилин після закінчення роботи. Цей процес, поряд із затратами кисню на ресинтез КрФ, складає основний об'єм швидкої фракції кисневого боргу. Аланін і ПВК в період відпочинку використовуються для синтезу глюкози і глікогену (глюконеогенез) в м'язах і печінці.

Інтенсивні вправи на протязі тривалого часу призводять до посилення розпаду білків у працюючих м'язах, що супроводжується

накопиченням аміаку. Максимальні значення вмісту відмічаються на 5-7 хв відновлювального періоду і швидко зменшуються зі збільшенням часу відпочинку. Найбільша концентрація  $H^+$  має місце через 2-3 хв відпочинку після закінчення роботи і повертається до норми за 20 хв. Близька картина спостерігається у змінах концентрації неорганічного фосфату в крові, що тісно пов'язане зі швидкістю ресинтезу КрФ у працюючих м'язах.

Якщо виконання роботи супроводжувалося значним потовиділенням, то у відновлювальному періоді поповнюються тканинні запаси води і мінеральних солей, які надходять із продуктами харчування.

#### **4.4. Використання особливостей відновлювальних процесів при організації спортивного тренування**

Закономірності відновлювальних процесів лежать в основі функціональних можливостей організму людини при систематичному виконанні фізичних вправ. Для підвищення працездатності необхідно, щоб навантаження викликали суттєві зрушення у внутрішньому середовищі організму, значну активацію регуляторних механізмів, які забезпечують підтримку гомеостазу і посилення мобілізації енергетичних та пластичних резервів організму. В результаті організм переходить на новий рівень працездатності, коли робота більшої потужності та тривалості може виконуватися з меншими енергозатратами, меншим порушенням гомеостазу, кращою здатністю підтримувати фізіологічну концентрацію АТФ у працюючих м'язах. Систематичні тренування позитивно впливають також на посилення синтезу білків у м'язах.

Як уже зазначалося вище, відновлення різних енергетичних і пластичних компонентів клітини, іонної та гормональної рівноваги відбувається неодноразово, тому вибір інтервалів відпочинку між фізичними навантаженнями повинен базуватися на виявленні біохімічних процесів і фізіологічних функцій, які визначають працездатність при виконанні тих чи інших видів м'язової роботи та

встановлені швидкості їхнього відновлення й часу досягнення суперкомпенсації. Чергування тренувальних занять повинно здійснюватися таким чином, щоб фізичні навантаження задавалися через проміжки часу, які забезпечують суперкомпенсацію провідної функції, а навантаження іншої спрямованості не викликали негативного впливу на відновлення основної функції.

У практичному відношенні вивчення процесів “термінового” відновлення має суттєве значення для раціональної організації системи тренувальних занять (вибір необхідних вправ та їхня послідовність, час відпочинку тощо), тобто дозволяє визначити оптимальну структуру мікроциклів тренування.

#### **Контрольні питання до розділу 4.**

1. Що входить у поняття “відновлення”?
2. Дайте характеристику трьом фазам процесу відновлення.
3. Яка спрямованість біохімічних процесів у період відпочинку після роботи м'язів?
4. Назвіть шляхи усунення лактату в період відпочинку?
5. Як використовуються особливості протікання відновлювальних процесів при побудові спортивного тренування?

## **5. Біохімічні основи спортивної працездатності**

### **5.1. Фактори та механізми підвищення працездатності спортсменів**

Серед основних факторів, які мають пряме відношення до працездатності (здатність виконувати певний вид м'язової роботи), виділяють наступні: 1) біоенергетичні (аеробні та анаеробні) можливості людини; 2) нейром'язові (м'язова сила та техніка виконання вправ); 3) психологічні (мотивація і тактика ведення спортивного змагання).

У проявах м'язової сили та потужності суттєва роль належить структурній організації та ферментативним властивостям скорочувальних білків і м'язів. Величина зусиль, які розвиває м'яз у процесі скорочення, пропорційна числу поперечних з'єднань (спайок) між актиновими й міозиновими нитками у міофібрилах. Потенційно можливе число цих з'єднань і величина максимального прояву м'язової сили залежать від вмісту актину та довжини міозинових ниток у межах кожного саркомера, що входить до складу міофібрил.

Найважливішими факторами, які лімітують фізичну працездатність людини, є її біоенергетичні можливості. Виконання будь-якого виду роботи пов'язане з витратами енергії (анаеробним та аеробним шляхами).

В залежності від природи біоенергетичних процесів виділяють три основні функціональні особливості людини, які визначають її фізичну працездатність:

а) анаеробну здатність, пов'язану з процесами анаеробного розщеплення АТФ і КрФ у працюючих м'язах;

б) гліколітичну анаеробну здатність, що відбиває можливість посилення при роботі анаеробного гліколітичного процесу, в ході якого накопичується молочна кислота;

в) аеробну здатність, пов'язану з можливістю виконання роботи за рахунок посилення аеробних процесів у тканинах при

одночасному збільшенні доставки та утилізації кисню до працюючих м'язів.

Метаболічна продуктивність праці кожного з відзначених вище джерел енергії характеризується такими кількісними критеріями, як потужність, ємність та ефективність.

Найбільш важливі інтегральні показники, які частіше за все застосовуються для оцінки потужності, ємності та ефективності біоенергетичних процесів, наступні.

*Показники потужності.*

- 1) Алактатні, анаеробні: швидкість розпаду макроергів,
- 2) Гліколітичні, анаеробні: швидкість накопичення молочної кислоти та виділення надлишку CO<sub>2</sub>.
- 3) Аеробні: максимальне споживання кисню.

*Показники ємності.*

- 1) Алактатні, анаеробні: вміст КрФ у м'язах.
- 2) Гліколітичні, анаеробні: максимальне накопичення молочної кислоти в крові, максимальне зрушення значення рН.

*Показники ефективності.*

- 1) Алактатні, анаеробні: швидкість компенсації алактатного боргу O<sub>2</sub>.
- 2) Гліколітичні, анаеробні: механічний еквівалент молочної кислоти.
- 3) Аеробні: кисневий еквівалент роботи, поріг анаеробного обміну.

Зі сказаного випливає, що кожен вид спорту має свої провідні біоенергетичні фактори, які справляють визначальний вплив на рівень спортивних досягнень. Так, результати у плаванні, бігу на довгі дистанції та лижних гонках залежать головним чином від аеробної потужності, аеробної ємності та гліколітичної анаеробної ємності; результати у швидкісному бігу на ковзанах залежать від аеробної ефективності та гліколітичної анаеробної ємності; результати в плаванні – від аеробної та алактатної анаеробної

потужності; у баскетболі – від гліколітичної анаеробної ємності та аеробної ефективності.

Таким чином, у кожному виді спорту має місце специфічна комплектація біоенергетичних факторів, що здійснюють основний вплив на рівень фізичної працездатності.

## **5.2. Біохімічні основи ефективності тренування**

Біоенергетичні фактори спортивної працездатності можуть помітно покращитися у процесі тренування. Спочатку покращуються показники потужності, потім – показники біоенергетичної ємності, а на заключному етапі – показники біоенергетичної ефективності.

*Тренування* – це адаптація організму до фізичних навантажень. Після завершення тренування процес деадаптації розвивається у зворотному порядку: перш за все знижуються показники біоенергетичної ефективності, потім – біоенергетичної ємності, і в останню чергу – показники потужності біоенергетичних процесів.

При направленому тренуванні найбільші темпи розвитку і тривалість підтримання максимального рівня характерні для біоенергетичних показників, які визначають витривалість чи загальну аеробну спроможність. Значно більш повільно піддаються впливу тренування та утримуються протягом більш короткого часу на максимальному рівні біохімічні та фізіологічні показники, що складають основу швидкісної або анаеробної витривалості, а також швидкісно-силових якостей спортсменів різного класу. Слід додати, що під впливом систематичного багаторічного тренування показники аеробної потужності покращуються у 2 рази, показники ж аеробної ємності покращуються більш ніж у 4 рази.

## **5.3. Вік та спортивна працездатність**

Фізична працездатність залежить від віку людини. Аеробні та анаеробні можливості підвищуються з її фізіологічним дозріванням організму та психологічним формуванням. З віком збільшуються

загальна маса тіла, кількість ключових ферментів аеробного і анаеробного обмінів у скелетних м'язах, швидкість доставки кисню тощо. Всі ці позитивні показники та процеси досягають найбільшого розвитку у віці 20-25 років. У цьому віці спортсмени досягають найкращих результатів. Після 40 років показники фізичної працездатності поступово знижуються, а у 60-річному віці вони зменшуються у 2 рази в порівнянні з показниками 20-річних спортсменів.

Вказані особливості вікової динаміки показників фізичної працездатності людини повинні враховуватися при розробці програм з фізичного виховання підростаючого покоління і проведення занять з оздоровчої фізичної культури з особами різного віку і статі.

#### **Контрольні питання до розділу 5.**

1. Назвіть головні фактори, які лімітують фізичну працездатність.
2. Які біоенергетичні процеси визначають фізичну працездатність людини? Охарактеризуйте їх.
3. Як впливають біоенергетичні фактори на рівень працездатності у вашому виді спорту?
4. Як впливає спеціалізоване тренування на розвиток аеробної та анаеробної здатності спортсмена?
5. Як впливають вікові зміни на працездатність спортсмена?

## **6. Біохімічні основи розвитку швидкісно-силових якостей спортсменів**

Найбільш важливими швидкісно-силовими якостями спортсмена є сила, швидкість і потужність м'язового зусилля при його розвиванні. Їхній прояв залежить від низки психологічних, фізіологічних і біохімічних особливостей організму.

### **6.1. Біохімічна характеристика швидкісно-силових якостей**

Прояв швидкісно-силових якостей визначається частотою імпульсів, що досягають синаптичних утворень на зовнішній мембрані м'язового волокна, швидкістю передачі електричного збудження від зовнішньої мембрани до міофібрил, потужністю потоку іонів  $Ca^{2+}$ , швидкістю розвитку активації у міофібрилах, активністю ферментів, особливістю будови скорочувальних міофібрил тощо.

Величина максимального м'язового зусилля прямо пропорційна довжині саркомера або довжині товстих міозинових ниток та загальному вмісту в м'язах актину. Зусилля, що розвивається в процесі взаємодії актинових і міозинових ниток у міофібрилах, пропорційне числу утворених поперечних спайок; чим більшою є площа накладення тонких актинових ниток на товсті міозинові нитки в межах кожного саркомера, тим більшим є максимальне зусилля, що розвивається м'язом.

Довжина саркомера, або ступінь полімеризації міозину у товстих нитках міофібрил – генетично обумовлений фактор, тому він не змінюється в процесі індивідуального розвитку і при тренуванні. У той же час вміст у м'язах актину суттєво змінюється в процесі індивідуального розвитку та під впливом тренувань. Вміст актину та креатину в м'язах може бути використаний при контролі за розвитком м'язової сили і прогнозуванні рівня спортивних досягнень у швидкісно-силових вправах.



Друга фундаментальна залежність має місце між максимальною швидкістю скорочення м'яза, довжиною саркомера й відносною АТФ-азною активністю міозину.

В довільних рухах людини важливим є не ізольований прояв сили або швидкості скорочення, а їхній спільний ефект, який оцінюється величиною потужності зусилля, що розвивається. Звідси неважко вивести третю залежність, яка описує зміну потужності при м'язовому скороченні. Потужність, що розвивається м'язом, залежить від сумарної АТФазної активності, тобто загальної швидкості розщеплення АТФ.

Виходячи з відомої залежності між силою і швидкістю м'язового скорочення можна встановити основні вимоги до вправ, спрямованих на розвиток швидкісно-силових якостей. Так, при розвитку силових можливостей (покращення максимальної сили м'язів) опір, що долається, повинен складати 70-100% від індивідуального ізометричного максимуму для даної групи, при розвитку швидкості скорочення – 20-40%, а при вдосконаленні комплексного прояву сили та швидкості скорочення, тобто потужності, – 40-70%. Необхідною умовою до зазначених вправ швидкісно-силової спрямованості являється найбільша їхня відповідність структурі основних фізичних вправ і створення умов для виконання вправ із граничним зусиллям.

## **6.2. Біохімічні основи методів швидкісно-силової підготовки спортсменів**

Структурні фактори швидкісно-силових спроможностей людини (довжина саркомерів у міофібрилах, вміст швидко- і повільноскорочувальних волокон у м'язах) генетично обумовлені, тому основним методичним шляхом покращення швидкісно-силових якостей спортсменів є підбір засобів і методів, які могли би покращити АТФазну активність міозину та посилити синтез скорочувальних білків у м'язах. Для вирішення цих завдань на сьогодні застосовують два основні методичні прийоми – *метод максимальних зусиль* і *метод повторних граничних вправ*.

Для тренування здібностей до максимального прояву швидкісно-силових якостей застосовуються вправи, близькі за біодинамічною структурою до змагальних вправ. Вони виконуються з граничною мобілізацією на прояв максимального зусилля з невеликим числом повторів і нерегламентованими інтервалами для відпочинку, достатніми для відновлення і повторної мобілізації на максимальне зусилля (як правило, 1-2 хв відпочинку між вправами).

Граничний обсяг вправ з максимальним проявом сили, швидкості або потужності визначається критичною концентрацією КрФ у м'язах, нижче від якої вже неможливо підтримувати максимальну швидкість ресинтезу АТФ. За великої частоти повторень розвивається локальна втома, що призводить до порушення координації рухів і зниження потужності скорочень. Зниження вмісту КрФ у працюючих м'язах нижче від критичного значення супроводжується посиленням гліколізу, накопиченням молочної кислоти та різким падінням внутрішньоклітинного рН. Під впливом цих змін відбувається пригнічення міозинової АТФази і, як наслідок, – зниження максимальної потужності вправи. Тому тренування необхідно зупинити, щойно спостерігається виражене зниження максимальної потужності або різка зміна вмісту молочної кислоти й показників кислотно-лужної рівноваги крові.

Метод повторних граничних вправ застосовують для посилення синтезу скорочувальних білків та збільшення м'язової маси. Для розв'язання цієї задачі може бути використане широке коло вправ, які достатньою мірою навантажують обрану групу м'язів. Опір, що долається, зазвичай не перевищує 70% від максимальної ізометричної сили. Вправи виконуються з великим числом повторень до граничного навантаження.

При опорах, що складають більш ніж 50% від максимальної ізометричної сили, кровотік через м'яз різко зменшується, в результаті розвивається локальна гіпоксія. В цих умовах (за дефіциту аеробної енергопродукції) значно вичерпуються алактатні

анаеробні резерви, і в м'язах накопичується багато вільного креатину, помітно підвищується вміст молочної кислоти в результаті гліколізу. Через дефіцит макроергічних сполук відбувається розщеплення м'язових білків і накопичуються продукти їхнього розпаду (амінокислоти, пептиди та інші). Продукти розщеплення білків, вільний креатин активують синтез білків у періоди відпочинку. В ці періоди відновлюється нормальне постачання тканин киснем і доставка до них поживних речовин. При систематичному повторенні таких тренувань у м'язах суттєво збільшується вміст скорочувальних білків і збільшується загальний об'єм м'язової маси.

Розумне поєднання та послідовність застосування обох методів у процесі тренування можуть забезпечити високий рівень розвитку швидкісно-силових якостей спортсмена.

#### **Контрольні питання до розділу 6.**

1. Які фізіологічні фактори визначають швидкісно-силові якості організму?
2. Які біохімічні фактори впливають на розвиток швидкісно-силових якостей?
3. Які умови розвитку максимальної м'язової сили, максимальної швидкості й потужності при скороченні м'язів?
4. Які біохімічні зміни у м'язах необхідні для розвитку швидкісно-силових якостей?
5. Які вправи використовуються у процесі тренування для розвитку швидкісно-силових якостей?

## **7. Біохімічні основи витривалості спортсменів**

*Витривалість* перш за все визначає рівень працездатності спортсмена. Вона характеризується тривалістю роботи на заданому рівні потужності до перших ознак вираженої втоми, що призводить до зниження працездатності. Витривалість визначають тривалістю роботи, виконаної до граничної спроможності, тобто граничним (кінцевим) часом.

### **7.1. Біохімічні фактори витривалості**

Витривалість можна характеризувати відношенням величини енергетичних резервів, доступних для використання, до швидкості витрати енергії при виконанні даного виду вправ. Іншими словами, витривалість визначається часом функціонування з заданою інтенсивністю до повного вичерпання наявних енергетичних ресурсів.

Виділяють три складових компоненти витривалості – алактатний, гліколітичний та аеробний. Вплив окремих компонентів у проявах витривалості змінюється в залежності від потужності та кінцевого (граничного) часу виконання вправ. У помірних вправах, де рівень загальних витрат енергії не перевищує значень максимального зусилля швидкості аеробного утворення енергії, витривалість представлена переважно її аеробним компонентом. Зі збільшенням потужності вправ вище за критичний рівень, що відповідає максимуму споживання кисню, роль аеробного компоненту витривалості поступово зменшується, і тією ж мірою зростає значення анаеробних компонентів. У короткочасних вправах максимальної потужності прояви витривалості носять переважно анаеробний характер з приблизно рівним представництвом алактатного і гліколітичного компонентів.

Таким чином, показники витривалості залежать як від аеробних, так і анаеробних енергетичних можливостей спортсменів, тому систему тренування на витривалість повинно

бути орієнтовано перш за все на підвищення цих біоенергетичних властивостей організму.

## **7.2. Методи тренування, які сприяють розвитку витривалості**

Методи, які сьогодні використовують для розвитку витривалості, справляють вибіркочу дію на окремі біоенергетичні функції. Найбільш ефективними методами розвитку та збільшення витривалості є *метод тривалої безперервної роботи* (рівномірної або перемінної), а також *методи повторного та інтервального тренування*. Зазвичай їх розділяють за спрямованістю на розвиток аеробного або анаеробного компонентів витривалості.

У тренуванні, спрямованому на розвиток алактатного анаеробного компоненту витривалості, частіше за все застосовують методи повторної та інтервальної роботи (інтервальний спринт). Основна мета такого роду тренування – досягти максимального вичерпання алактатних анаеробних резервів у працюючих м'язах і підвищити стійкість ключових ферментів алактатної анаеробної системи (міозинової АТФази і саркаплазматичної креатинфосфокінази) в умовах накопичення продуктів анаеробного розщеплення (АДФ,  $H_3PO_4$ , молочної кислоти і т. д.). Вирішити це завдання можна лише шляхом великої кількості повторів короткочасних (тривалістю не більш ніж 10-15 с) вправ високої інтенсивності.

На відміну від методу повторного тренування, при якому інтервали відпочинку не регламентуються, при застосуванні інтервального методу їхня величина підбирається таким чином, щоб забезпечити найбільш виражений вплив на тренувальну функцію. Зміна цієї величини при повторному виконанні вправ максимальної потужності впливає на динаміку біохімічних зрушень в організмі.

За розвитку гліколітичного анаеробного компоненту витривалості можна використати методи одноразової граничної, повторної та інтервальної роботи. Обрані характеристики вправ

повинні забезпечити граничне посилення анаеробних гліколітичних перетворень у працюючих м'язах. Таким умовам відповідає виконання граничних зусиль в інтервалі від 30 с до 2,5 хв.

У тренуванні, спрямованому на розвиток аеробного компоненту витривалості, використовують методи одноразової безперервної, повторної та декілька варіантів інтервальної роботи. Щоб забезпечити достатній вплив на аеробний обмін, загальна тривалість вправ повинна складати не менш ніж 3 хв, що достатньо для вироблення та виходу на стаціонарний рівень споживання кисню.

Інтенсивність виконуваних вправ за одноразової безперервної роботи повинна забезпечити значну активацію процесів окислення у тканинах. Після початкового періоду рівень споживання кисню наблизиться до максимальних значень. Виконання такої роботи потребує значного напруження кардіореспіраторної системи, яка відповідає за доставку кисню до працюючих м'язів.

Ефективним засобом для підвищення показників аеробної потужності є інтервальне тренування на коротких відрізках. Про біохімічні основи цього режиму інтервальної праці ми вже говорили вище при аналізі реакцій на повторне виконання короткочасних вправ максимальної потужності з короткими інтервалами відпочинку.

Також можна застосовувати модифікацію інтервального тренування на коротких відрізках – так зване міоглобінове інтервальне тренування, що включає дуже короткі періоди (5-10 с) роботи, які чергуються з такими ж короткими паузами відпочинку. В короткі періоди роботи витрачаються внутрішньом'язові запаси кисню, пов'язаного з міоглобіном, однак вони швидко відновлюються в коротких паузах відпочинку. Така робота може виконуватися у великому обсязі з підтриманням високого рівня споживання кисню і сприяти розвиткові аеробної ефективності.

Слід підкреслити, що високий рівень розвитку витривалості може бути досягнуто лише при одночасному вдосконаленні всіх її основних компонентів за допомогою комплексу різноманітних заходів і методів, які здатні забезпечити вибіркову дію на відповідні функції та якості спортсмена. Застосування всіх цих заходів і методів повинно базуватися на знанні основних закономірностей біохімічної адаптації в процесі тренувань.

### **Контрольні питання до розділу 7.**

1. Що розуміють під терміном “витривалість” і в чому вона виявляється?
2. За допомогою яких біоенергетичних критеріїв можна оцінити рівень розвитку витривалості?
3. Як змінюється метаболічний стан організму зі збільшенням тривалості вправ?
4. Які методи тренування використовують для розвитку окремих компонентів витривалості?
5. Які методи тренування використовують для розвитку гліколітичного анаеробного компоненту витривалості?
6. Які методи тренування використовують для розвитку аеробного компоненту витривалості? Які біохімічні особливості такої роботи?

## 8. Біохімічні основи адаптації у процесі спортивного тренування

*Спортивне тренування* слід розглядати як процес спрямованої адаптації (приспосування) організму до дії фізичних навантажень. Фізичні вправи, що виконуються, викликають відповідні адаптаційні зміни в організмі.

### 8.1. Фізичні навантаження, адаптація і тренувальний ефект

*Тренувальний ефект* – це спрямованість і величина біохімічних змін у відповідь на вплив фізичних навантажень. Фізичні навантаження викликають певні біохімічні зміни, що в сукупності призводить до суттєвої перебудови обміну речовин – *адаптації*, і це виражається у покращенні функціональної підготовленості (тренованості) та підвищенні рівня спортивних досягнень.

Адаптація організму до впливу фізичних навантажень носить фазовий характер. Виділяють два етапи адаптації – етап термінової та етап довготривалої (хронічної) адаптації.

*Етап термінової адаптації* – це безпосередня відповідь організму на одноразову дію фізичного навантаження. В основі цього етапу переважно лежать зміни в енергетичному обміні та функціях його вегетативного обслуговування.

*Етап довготривалої адаптації* охоплює більший проміжок часу, розвивається поступово, пов'язаний з виникненням в організмі структурних і функціональних змін, які формуються завдяки активації під впливом навантаження генетичного апарату та посиленню синтезу специфічних білків.

У теорії та практиці спорту, виходячи з фазового характеру процесів адаптації, прийнято виділяти три різновиди тренувального ефекту: терміновий, відставлений (пролонгований) і кумулятивний (накопичувальний). *Терміновий* тренувальний ефект визначається величиною і характером біохімічних змін в організмі, які проходять безпосередньо під час дії фізичного навантаження (кисневого



боргу тощо). *Відставлений* тренувальний ефект спостерігається на більш пізніх фазах відновлення після навантаження. Його суть – поновлення енергетичних ресурсів та відновлення клітинних структур. *Кумулятивний* тренувальний ефект виникає як результат послідовного підсумовування наслідків багатьох навантажень або значного числа термінових і відставлених ефектів. Тут біохімічні зміни пов'язані з посиленням синтезу нуклеїнових кислот і білків, що супроводжується ростом показників працездатності та покращення спортивних результатів.

## **8.2. Закономірності розвитку біохімічної адаптації та принципи тренування**

В теорії спортивного тренування розрізняють п'ять принципів, які базуються на закономірностях біологічної адаптації. До них перш за все слід віднести такі принципи: специфічності, зворотності дії, позитивної взаємодії, послідовної адаптації, циклічності.

*Принцип специфічності* вказує, що найбільш виражені адаптаційні зміни під впливом тренування відбуваються в органах і системах, які найбільш навантажені при виконанні навантаження. Відповідно до характеру й величини обраного навантаження в організмі формується домінуюча система, гіперфункція якої забезпечує розвиток адаптації.

*Принцип зворотності дії* базується на непостійності адаптаційних змін в організмі, які викликані тренуванням у певному виді навантажень, оскільки після припинення дії навантаження або на перерві у тренуванні позитивні структурні та функціональні зрушення в домінуючій системі поступово знижуються та зникають.

*Принцип позитивної взаємодії* полягає в тому, що кумулятивний ефект, який виникає після багаторазового повторення навантаження, не являється простою сумою певного числа термінових і відставлених тренувальних ефектів. Кожне наступне навантаження впливає на адаптаційний ефект попереднього навантаження й може видозмінювати його. В

результаті посилення адаптаційних змін виникає позитивна взаємодія.

*Принцип послідовної адаптації* заснований на фактах гетерохронізму (різності) біохімічних змін, які виникають у результаті тренування (в різний час відбуваються окремі біохімічні процеси – алактатні анаеробні процеси, процеси анаеробного гліколізу, тканинного дихання, окислювального фосфорилування).

*Принцип циклічності* виходить із фазового характеру адаптаційних процесів при тренуванні, а наявні зміни у швидкості розвитку адаптації з боку провідних функцій мають різну амплітуду й довжину хвиль. Для розвитку адаптації тренувальні ефекти різних навантажень повинні сумуватися за певними правилами, складаючи закінчений цикл впливу на провідні функції.

### **8.3. Специфічність адаптаційних змін в організмі під час тренувань**

Специфічність адаптаційних змін в організмі під час тренувань чітко проявляється у показниках як термінового, так і кумулятивного тренувального ефекту, що можна простежити від субклітинного рівня до рівня організму в цілому. Так, спортсмени, які тренуються в бігу на довгі дистанції, мають відносно меншу масу тіла і низький відсоток вмісту жирової маси, в той час як спортсмени зі штовхання ядра або металники диску чи молоту мають більшу масу тіла й високий відсоток вмісту жиру.

У відповідності з характером засобів і методів тренувань у процесі систематичних занять спортом в організмі розвиваються лише ті функціональні властивості та якості, які мають вирішальне значення для досягнень в обраному виді спорту. Так, під час тренувань спринтерів порівняно з бігунами на довгі дистанції переважно розвиваються ті функціональні якості, які відображають потужність і ємність алактатної анаеробної системи. В той же час при підготовці спортсменів зі стаєрського бігу більш суттєво збільшуються показники аеробної потужності (максимальне споживання кисню) та аеробної ефективності, що відбивається у

відносне зниження утворення молочної кислоти у відповідь на стандартне навантаження.

Певний режим тренувань, як і інтенсивність вправ, справляють безпосередній вплив на характер і величину адаптаційних змін у скелетних м'язах.

Загальна спрямованість дії навантажень найбільш повно проявляється у величині та характері біоенергетичних процесів.

Метаболічні зрушення під дією навантажень, інтенсивність яких не перевищує порога анаеробного обміну, характеризуються наявністю стійкого стану в процесах аеробного обміну. Енергетичне забезпечення таких навантажень здійснюється переважно за рахунок процесів аеробного метаболізму при достатньому постачанні тканин киснем.

Навантаження, інтенсивність яких перевищує рівень порога анаеробного обміну, але ще не перевищує значення критичної потужності, справляють одночасний вплив на розвиток як аеробних, так і анаеробних функцій.

При виконанні навантажень, інтенсивність яких близька до критичної потужності або навіть дещо перевищує її, зміни у сфері аеробного обміну досягають максимальних значень, але одночасно з цим швидко зростають анаеробні зміни. Такі навантаження сприяють збільшенню аеробної потужності й водночас покращують показники анаеробної працездатності.

Вплив навантажень, відносна інтенсивність яких близька до значень потужності виснаження, спрямовано переважно на покращення показників анаеробного обміну. Накопичення молочної кислоти і зрушення в кислотно-лужній рівновазі крові при цьому досягають найбільших значень. Такі навантаження сприяють підвищенню інтенсивності гліколітичних анаеробних перетворень і стимулюють розвиток специфічної адаптації до роботи в умовах значного кисневого дефіциту.

Виконання навантажень, близьких до значень максимальної анаеробної потужності, більш за все сприяє збільшенню ємності

фосфагенних резервів та підвищенню активності міофібрилярної АТФази, а також активації синтезу скорочувальних білків у м'язах під час роботи.

#### **8.4. Зворотність адаптаційних змін під час тренувань**

Зворотний характер адаптаційних змін, які виникають у відповідь на навантаження, найбільш чітко проявляються у феномені суперкомпенсації. Суперпозитивний тренувальний ефект досягається лише в тому випадку, якщо повторне навантаження призначають у фазі суперкомпенсації після попереднього навантаження.

При короткочасних інтервалах між повторними навантаженнями, недостатніми для виникнення суперкомпенсації, як і при занадто тривалих інтервалах, за яких викликані навантаженням зрушення встигають повернутися в норму, не може бути досягнуто прогресивне збільшення адаптаційних змін в організмі.

Розвиток адаптації в період після припинення тренування відображає особливості режимів тренувальної роботи. За частого повторення тренувань із наростаючими навантаженнями приріст показників провідної функції відбувається швидко, але він так само швидко знижується після зменшення або припинення навантажень. За поступового і тривалого нарощування тренувальних навантажень приріст показників провідної функції та їхній регрес у період зниження чи припинення навантаження відбувається більш повільно.

Для підтримання тренувальної функції на досягнутому рівні після змін загальної спрямованості роботи достатньо зберегти спрямованість навантажень, які застосовують у напружений період на одному-двох заняттях на тиждень.

Відновлення тренування після тривалої перерви призводить до відновлення рівня тренувальної функції приблизно з тією же швидкістю, що й у попередні тренувальні періоди. Однак, якщо його зниження при перервах у тренуванні буде занадто великим, і для

відновлення спортивної форми буде потрібно збільшити навантаження, то швидко настане виснаження адаптаційних резервів організму, що призведе до зниження працездатності та погіршення спортивних результатів.

На думку фахівців, багаторазове повторення циклів “адаптація – реадптація” має високу функціональну “вартість” і виснажує резервні можливості організму. Найбільш ефективним шляхом адаптації є тренування з адекватними за величиною навантаженнями, що сприяє його підтримці на стабільно високому рівні.

Основні причини, які обумовлюють зворотність адаптації в процесі тренування, пов'язані з внутрішньоклітинними механізмами активації генетичного апарату. Зниження активності генів у результаті припинення тренування викликає зниження швидкості синтезу нуклеїнових кислот і білків, а також посилення розпаду бездіяльних внутрішньоклітинних структур. Посилення цих процесів, які “стирають” сліди попереднього тренування та активують розвиток деадаптації, є важливим біологічним пристосуванням, що, як правило, виникає ще в процесі еволюції. Усунення біологічних структур, що не використовуються, вивільняє пластичні ресурси організму і створює можливості їхнього використання для формування нових адаптацій за участю вже інших функціональних систем.

### **8.5. Послідовність адаптаційних змін під час тренувань**

Адаптаційні зміни в окремих органах та їхніх функціях, що спостерігаються у відповідь на тренування, відбуваються гетерохронно, тобто неодноразово, з різною швидкістю та різним ступенем інтенсивності.

Як уже зазначалося, під впливом навантажень в енергетичному обміні найбільш чіткі та швидкі зміни спостерігаються в алактатному анаеробному процесі (АТФ+КрФ), потім – у гліколізі, і в останню чергу – в процесах аеробного метаболізму. В період відновлення після завершення тренування

найбільш швидко відновлюється вміст КрФ, потім глікогену і жирів, і насамкінець, – вміст білків і ферментів та субклітинні структури м'язових волокон.

Адаптація окремих біоенергетичних систем під час тренування відбувається також неодноразово: найбільш швидко збільшуються можливості аеробної системи енергоутворення і вміст глікогену в м'язах, потім – інтенсивність гліколізу, і в останню чергу – вміст КрФ і активність креатинфосфокінази в м'язах. Після припинення тренувань у період деадаптації в першу чергу повертається в норму вміст КрФ, пізніше – інтенсивність гліколізу та вміст глікогену, і в останню чергу погіршуються можливості аеробного ресинтезу АТФ.

Таким чином, у процесі тренування найвищі темпи розвитку і більш тривалий період підтримування максимально високого рівня властиві біоенергетичним показникам, які характеризують витривалість до тривалої роботи, тобто аеробну здатність спортсмена. Значно повільніше розвиваються здатності спортсмена і підтримуються на максимально високому рівні протягом більш короткого часу біоенергетичні показники, які характеризують швидкісно-силові якості та швидкісну витривалість.

### **8.6. Взаємодія тренувальних ефектів у процесі тренування**

Адаптацій зміни в організмі можуть бути посилені або послаблені під впливом іншого роду навантажень, якщо вони поєднуються з виконанням попередніх навантажень. Цей феномен у теорії спортивного тренування прийнято називати *взаємодією тренувальних ефектів*.

Взаємодія тренувальних ефектів навантажень може мати позитивний, негативний або нейтральний характер.

У процесі тренування найбільш виражені адаптаційні зміни в провідній функції досягаються у випадку позитивної взаємодії навантажень. Негативні взаємодії навантажень, які виникають при неправильній організації тренування, суттєво знижують загальний

адаптаційний ефект і можуть сприяти розвитку стану перетренованості. Прикладом позитивної та негативної взаємодії навантажень різної спрямованості можуть слугувати дані про зміни величини кисневого боргу під час інтервального тренування в бігу, де вправи гліколітичної анаеробної взаємодії поєднуються з навантаженнями алактатної анаеробної та аеробної взаємодії.

До ефектів взаємодії навантажень у процесі довготривалої адаптації належить також добре відомий феномен обумовленості приросту спортивних досягнень від вихідного рівня провідної функції, досягнутого за рахунок застосування специфічних навантажень на попередньому етапі підготовки.

Не маючи достатньо високого рівня розвитку аеробної потужності, неможна розраховувати на досягнення високих результатів і засвоєння потрібних обсягів навантажень анаеробного характеру. Тому в багатьох видах спорту створення і підтримання певного рівня аеробної потужності є необхідною передумовою подальшого покращення досягнень у своєму виді спорту.

### **8.7. Циклічність розвитку адаптації у процесі тренування**

Адаптаційні зміни в організмі, які виникають у результаті тренування, мають фазовий характер. Для того щоб досягти вираженого адаптаційного ефекту в процесі тренувань, слід виконати дві наступні умови.

По-перше, потрібно забезпечити необхідну міру впливу на кожну з провідних функцій. По-друге, загальний вплив фізичного навантаження на окремих тренувальних заняттях або мікроциклах тренування не повинен перевищувати дозволеного обсягу, за яким іде некомпенсоване вичерпання адаптаційного резерву і різке зниження швидкості відновлювальних процесів в організмі.

Виконання вказаних умов у підготовці спортсменів призводить до появи елементарних (тижневих) *мікроциклів* тренування, що складаються, як правило, з 5-7 тренувальних днів.

Тренувальні мікроцикли розрізняють за величиною впливу, що досягається, та його акцентуванню на розвиток однієї з провідних функцій чи будь-якої якості. За характером побудови мікроцикли тренування поділяють на декілька типів: такі, що втягують, ударні, розвантажувальні (відновлювальні), тонізуючі або такі, що підводять.

Декілька мікроциклів тренування, що регулярно повторюються й забезпечують вирішення певного педагогічного завдання, призводячи до розвитку специфічної адаптації до фізичних навантажень певного виду, складають окремі етапи сезонної підготовки – *мезоцикли*.

Ціла низка тренувань (від 2 до 5), на яких витримується одна й та сама загальна спрямованість впливу тренувальних навантажень, складає період тренування – *макроцикли*.

У кожного спортсмена існує індивідуальна межа адаптації до впливу фізичних навантажень певного типу. При застосуванні спрямованих інтервальних навантажень на певному етапі підготовки темп адаптаційної перебудови в організмі поступово зменшується, і продовження застосування цього виду навантажень вже не забезпечує приріст результатів. Подальший розвиток тренуваності може бути забезпечено лише шляхом зміни характеру тренувального стимулу, при якому розвиток адаптації відбувається за іншим напрямком за рахунок розвитку інших функцій та якостей.

### **Контрольні питання до розділу 8.**

1. Які біохімічні основи термінової та довготривалої адаптації?
2. Які основні біохімічні принципи спортивного тренування?
3. Дайте характеристики “термінових”, “відставлених” і “кумулятивних” тренувальних ефектів.
4. У чому полягає специфічність біохімічної дії різних фізичних навантажень?



5. Як відбувається розвиток показників потужності, ємності та ефективності аеробної та анаеробної працездатності в процесі тренування?
6. Які умови слід виконувати для досягнення вираженого адаптаційного ефекту в процесі тренування?

## 9. Біохімічні основи раціонального харчування спортсменів

Всі метаболічні процеси можливі тільки в тому випадку, якщо в організм регулярно надходять поживні речовини, які слугують пластичним матеріалом для синтезу живої тканини, а також забезпечують організм енергією, що міститься у хімічних зв'язках молекул і вивільняється під час розпаду та окиснення цих речовин. Так, за рахунок вуглеводів організм задовольняє свої енергетичні потреби на 55-66%, за рахунок жирів – на 25-35%, білків – відповідно на 5-10%.

Розщеплення поживних речовин (вуглеводів, жирів, білків) та вивільнення енергії відбувається в клітинах організму поступово, переважно за участю кисню (аеробно), який ми вдихаємо. Відрізняють три етапи обміну речовин: підготовчий, етап універсалізації, окиснення.

Схему етапів розпаду поживних речовин та вивільнення енергії представлено на рис. 9.1 (с. 67). Як видно з даних рис. 9.1., на першому етапі поживні речовини розпадаються у шлунково-кишковому тракті на свої складові: вуглеводи – на молекули глюкози, жири – на гліцерин і жирні кислоти, білки – на амінокислоти. На цьому етапі енергія майже не вивільнюється.

На другому етапі всі вказані продукти розпаду (мономери) різними метаболічними шляхами розпадаються до єдиної універсальної речовини – ацетилю-КоА (активної форми оцтової кислоти), з'єднаної з коферментом ацетилювання (КоА). На цьому етапі вивільнюється третина енергії, що міститься в указаних мономерах.

На третьому етапі, що відбувається в мітохондріях, ацетил-КоА надходить у цикл лимонної кислоти (цикл Кребса) і поступово окиснюється у даному циклі та у дихальному ланцюзі до кінцевих продуктів метаболізму –  $H_2O$  та  $CO_2$  за участю  $O_2$ , що надходить у мітохондрії з легенів та кровоносної системи.

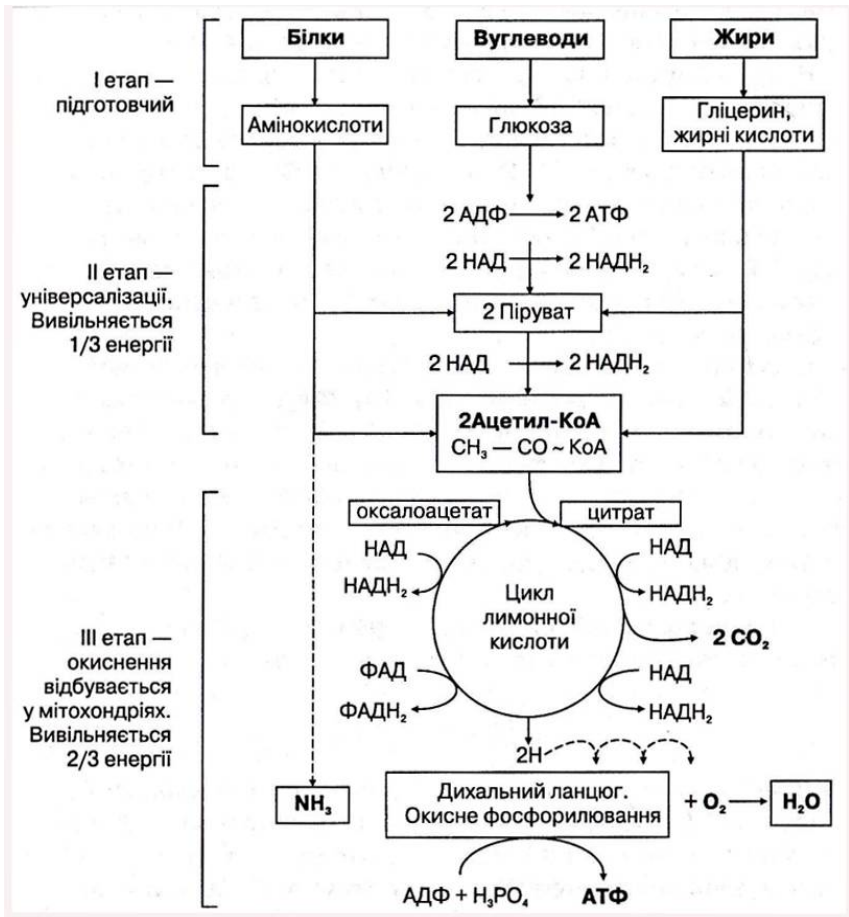


Рис. 9.1. Схема етапів розпаду поживних речовин та вивільнення енергії

Цикл лимонної кислоти (або цикл Кребса) є центральним аеробним шляхом розщеплення поживних речовин та вивільнення енергії. Енергія в циклі поступово вивільнюється у вигляді атомів водню (H), який відщеплюється від речовин та каскадоподібно передається далі в дихальний ланцюг (біологічне окиснення)

специфічними ферментами-переносниками (дегідрогенази з коферментами НАД і ФАД, убіхінон (КоА) та цитохроми) на  $O_2$ . У дихальному ланцюгу шляхом окисного фосфорилування синтезується АТФ.

Крім указаних поживних речовин, суттєву роль в організмі відіграє також обмін води, мінеральних солей та вітамінів. Ці процеси тісно взаємопов'язані і складають єдине ціле.

Шляхи використання енергії АТФ представлені на рис. 9.2.



Рис. 9.2. Використання АТФ в організмі

Таким чином, завдяки харчуванню задовольняються енергетичні та пластичні потреби людини. Знання наукових основ раціонального харчування необхідне кожній людині, особливо спортсменам, діяльність яких пов'язана з підтриманням високої фізичної активності, набуттям певного композиційного складу тіла. Для досягнення високих спортивних результатів необхідна правильна програма харчування, яка повинна виходити зі специфіки виду спорту, поставлених завдань, а також розуміння того, що харчування є невід'ємною частиною програми тренування, одним із засобів досягнення мети під час тренувань і змагань.

Деякі спортсмени застосовують не лише природні продукти, але й спеціальні – ергогенні речовини, які підвищують рівень

фізичної роботи, у т. ч. заборонені (допінги). Сьогодні найбільш науково обґрунтованими, не забороненими ергогенними засобами являються карнітин, креатин, КрФ, фосфати, деякі органічні кислоти, в т. ч. метаболіти циклу Кребса.

### **9.1. Принципи раціонального харчування спортсменів**

Раціональне харчування засноване на теорії збалансованого харчування, з урахуванням виду спорту, інтенсивності фізичних навантажень, режиму тренувань, віку, індивідуальних особливостей спортсмена.

*Основні принципи збалансованого харчування* включають:

- 1) рівновагу між енергією харчових продуктів і енергією, що витрачається організмом;
- 2) задоволення потреб людини у певній кількості та збалансованому співвідношенні окремих харчових продуктів;
- 3) дотримання режиму харчування (час, кількість);
- 4) збалансованість харчових продуктів (оптимальне співвідношення продуктів тваринного й рослинного походження);
- 5) забезпечення організму біологічно повноцінною, доброякісною їжею, що добре засвоюється.

При організації харчування спортсменів необхідно враховувати специфіку спортивної діяльності, а також етапи підготовки або змагань, умови їхнього проведення, від яких залежать: енергозатрати спортсменів, певна збалансованість харчування за окремими компонентами (білки, жири, вуглеводи, вітаміни, мінеральні речовини), режим харчування, підбір продуктів підвищеної біологічної цінності, погіршення роботи травної системи при фізичних навантаженнях та інше.

### **9.2. Енергетичні потреби організму та його залежність від виконуваної роботи**

Основний принцип енергозабезпечення та енергетичної рівноваги наступний: *кількість енергії, яка надходить до організму, повинна відповідати кількості затраченої енергії.*

Енергія надходить в організм людини з їжею у вигляді вуглеводів, жирів і білків. У клітинах в процесі їхніх хімічних перетворень енергія вивільняється та використовується для різних потреб. При окисленні 1 г вуглеводів, як і білків, виділяється біля 4 ккал (17 кДж), а жирів – 9 ккал (37 кДж) енергії. Причому слід врахувати, що калорійність добового раціону змінюється в залежності від кількості затраченої енергії, а остання прямо пропорційна м'язовій активності.

Енергозатрати спортсменів різних спеціалізацій залежать від інтенсивності фізичної роботи, виду спорту й коливаються від 2000 ккал/добу для шахістів і гімнастів до 7000 ккал/добу для штангістів і спортсменів, які займаються видами спорту на витривалість (наприклад, для велосипедистів).

Затрати енергії залежать також від спортивної майстерності. З ростом спортивної майстерності затрати енергії при виконанні стандартної роботи зменшуються.

Добова затрата енергії спортсменів різних видів спорту компенсується певним співвідношенням енергопостачання за рахунок вуглеводів, жирів та білків.

### **9.3. Збалансованість харчових продуктів у раціоні спортсмена**

*Збалансованість надходження вуглеводів, жирів і білків.*

Найбільш сприятливе задоволення енергетичних і пластичних потреб досягається при збалансованому надходженні в організм вуглеводів, жирів і білків у співвідношенні 4 : 1,2 : 1. Таким чином, вуглеводи повинні складати 50-55%, жири – 30-35%, білки – 10-15% від загальної калорійності раціону харчування (при цьому слід враховувати вид спорту та інтенсивність навантажень).

*Збалансованість окремих продуктів харчування.*

Збалансованість різних продуктів денного раціону досягається при дотриманні наступних співвідношень: 1/3 денного раціону – продукти, які містять вуглеводи; 1/3 – продукти, що

містять білки; 1/3 – фрукти й овочі; незначна частина – жири і прості вуглеводи (цукор).

З вуглеводів більша частина (65%) повинна забезпечуватися полісахаридами. Добова потреба жирів на 70% забезпечується жирами тваринного походження, і на 30% – рослинного. Джерелами повноцінних білків являються продукти тваринного походження.

#### *Кислотність і лужність харчових продуктів.*

Харчові продукти містять певну кількість кислот і лугів, тому вони суттєво впливають на кислотно-лужну рівновагу й можуть зрушити її в кислий або лужний бік. Можливості буферних систем обмежені, тим більше, що при м'язовій діяльності накопичуються продукти метаболізму. Тому необхідно обмежити надходження в організм кислих продуктів після інтенсивних фізичних навантажень, щоб запобігти посиленню закислення внутрішнього середовища організму спортсмена.

До продуктів, які здатні закислювати клітини, належать хліб та інші зернові продукти, м'ясо, риба, яйця. При нестачі вітаміну В<sub>1</sub> у тканинах гальмується окислення піровиноградної кислоти та інших органічних кислот, що також сприяє закисленню внутрішнього середовища організму, а це, у свою чергу, може бути причиною виникнення різних захворювань.

### **9.4. Роль окремих хімічних компонентів їжі у забезпеченні м'язової діяльності**

Основними хімічними компонентами їжі є: постачальники енергії (вуглеводи, жири, білки), незамінні амінокислоти, незамінні жирні кислоти, вітаміни, мінеральні речовини й вода. Кожен із них виконує свої специфічні функції.

#### **9.4.1. Роль вуглеводів у забезпеченні роботи м'язів**

Вуглеводи (моно-, ди-, полісахариди) являються основним джерелом енергії при інтенсивній діяльності м'язів. Від їхніх запасів у скелетних м'язах і печінці залежить тривалість аеробної фізичної роботи або прояв високого рівня витривалості, а також час

розвитку втоми. Вуглеводи їжі забезпечують певний рівень глюкози в крові, що є основним енергетичним субстратом мозку, а також накопичення запасів глікогену в скелетних м'язах і печінці.

Добова потреба у вуглеводах залежить від енергозатрат організму і складає в середньому 300-400 г/добу. Для спортсменів норми споживання вуглеводів збільшуються у зв'язку з додатковою витратою енергії при виконанні роботи. В окремих видах спорту їхні витрати майже в 1,5-2 рази більші, ніж у людей, зайнятих фізичною працею. Тому потреба у вуглеводах збільшується і складає в середньому 400-700 г/добу. Через те що витрата енергії залежить від маси тіла та рівня рухової активності, кількість вуглеводів, що необхідна для поповнення затраченої енергії, враховуючи ці показники, можна розрахувати шляхом помноження маси тіла (кг) на кількість вуглеводів (кг/добу), що відповідає рівню рухової активності.

Зменшення вмісту вуглеводів в їжі нижче від 300 г посилює розпад білків, окислення жирів і синтез кетонових тіл, що може призвести до ацидозу. Надлишкове надходження вуглеводів може призвести до ожиріння, атеросклерозу, цукрового діабету, оскільки частина вуглеводів перетворюється в жири й холестерин.

Спортивний результат значною мірою залежить від запасів глікогену в м'язах і печінці. Швидкість відновлення запасів глікогену після фізичних навантажень залежить від швидкості надходження вуглеводів в організм, типу вуглеводів, вибору часу для прийому вуглеводів у період відпочинку.

#### ***9.4.2. Роль жирів (ліпідів) у забезпеченні діяльності м'язів***

Жири, або ліпіди, є важливими енергетичними субстратами, особливо за тривалої інтенсивної роботи. Крім того, вони постачають ненасичені жирні кислоти, які не синтезуються в організмі, але виконують важливі біологічні функції. У протилежність вуглеводам, запаси жирів в організмі людини практично невичерпні.



До складу ліпідів входять тригліцериди (98% від загальної кількості ліпідів), а також фосфоліпіди та холестерин (2%).

Добова потреба в жирах складає в середньому 80-100 г, тобто 30-35% від загальної калорійності їжі.

Споживання жирів залежить від добових енергозатрат і може бути наступним: при енергозатратах 1500 ккал – 42 г, 2000 ккал – 56 г, 2500 ккал – 69 г, 3000 ккал – 83 г, 3500 ккал – 97 г, 4000 ккал – 111 г на добу.

Для спортсменів рекомендується понизити долю жиру в добовому раціоні до 20-30% від загальної калорійності, оскільки використання дієти з високим вмістом жирів не сприяє підвищенню спортивної працездатності.

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

Надлишок жирів у раціоні, як і виключення їх з нього негативно відбивається на стані здоров'я людини, її фізичній працездатності.

Окремі ергогенні речовини здатні посилювати мобілізацію жирів під час діяльності м'язів та їхню утилізацію тканинами, що сприяє збереженню запасів глікогену в м'язах. До таких належить кофеїн, який сприяє розпаду тригліцеридів у тканинах, і карнітин, який прискорює транспорт жирних кислот в мітохондрії та їхнє окислення.

#### ***9.4.3. Роль білків у забезпеченні роботи м'язів***

Білки виконують в організмі чисельні функції, основними з яких є забезпечення побудови, росту, розвитку та відновлення всіх клітинних структур, регуляція обміну речовин (гормони, ферменти); в окремих випадках вони використовуються як джерело енергії. До

складу білків входять 8 незамінних амінокислот, яких організм дуже потребує, оскільки не може їх синтезувати.

Кількість білка, що має надходити до організму, залежить від статі, маси тіла, інтенсивності виконуваної роботи. Норми білків, які рекомендує ВООЗ для дорослого населення і які повністю задовольняють потреби дорослої людини, складають 0,8 г/кг маси тіла на добу, а для дітей та юнаків – 1 г/кг маси тіла. Отже, для чоловіка з масою тіла 70 кг ця норма складає 56 г білків на добу, а для жінки з масою тіла 55 кг – 44 г. У цій кількості білки забезпечують 10-12% від загального енергопостачання.

Для спортсменів, які спеціалізуються у видах спорту на витривалість, потреба в білках складає 1-1,8 г/кг маси тіла на добу. Під час тривалої роботи м'язів потреба в білках високотренованих спортсменів не повинна бути нижчою від 1,5 г/кг маси тіла, оскільки лише в цьому випадку підтримується позитивний азотистий баланс в організмі спортсмена. Для спортсменів, які беруть участь у силових видах спорту, необхідне додаткове надходження білків для збільшення маси м'язів у процесі тренувань.

Надмірне споживання білків призводить до перенавантаження шлунково-кишкового тракту, гниттю їх у товстому кишечнику, а також до накопичення в тканинах недоокислених і кінцевих продуктів розпаду білка, що змінюють кислотно-лужну рівновагу організму, що перешкоджає високій спортивній працездатності.

При недостатньому надходженні білків з їжею відбувається їхній тканинний перерозподіл, вихід білків із печінки, плазми, крові, м'язів і надходження їх у мозок та серце.

Потреби в білках повинні задовольнятися продуктами харчування, що містять повноцінні білки (молоко і м'ясо нежирних сортів, яйця, риба).

#### **9.4.4. Роль вітамінів у забезпеченні роботи м'язів**

В умовах м'язової діяльності вітаміни виконують важливу регуляторну роль, оскільки забезпечують високу швидкість

метаболічних та окислювальних процесів, пов'язаних із механізмами енергоутворення, біосинтезу білка та вуглеводів, процесами перекисного окислення ліпідів, обміном мінеральних речовин тощо. Тому недостатнє забезпечення організму спортсмена окремими вітамінами призводить до зниження фізичної працездатності. При цьому знижуються як анаеробні, так і аеробні енергетичні можливості спортсменів.

Добова потреба у вітамінах спортсменів в окремих видах спорту суттєво збільшена порівняно з людьми, які ведуть малорухомий образ життя. Це пов'язане з великими енергозатратами спортсменів при фізичних навантаженнях, що досягають 5 тис. ккал/добу й більше, а також збільшенням швидкості обміну вітамінів. У таких випадках для підтримання фізіологічного рівня вітамінів норми їхнього споживання можуть перевищувати рекомендовані у 2-3 рази.

В залежності від спрямування харчуванню та специфіки м'язової діяльності в окремих видах спорту рекомендується споживання різних вітамінів. Наприклад, у видах спорту на витривалість застосовуються переважно вітаміни, що сприяють засвоєнню вуглеводів та утилізації кисню (В<sub>1</sub>, В<sub>3</sub>, С, Е); у швидкісно-силових видах спорту – вітаміни, які мають анаболічний ефект і посилюють біосинтез білка (В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>, С, Е).

Лише постійно збалансований за вітамінами й мінеральними речовинами харчовий раціон дозволяє спортсменові покращувати спортивні результати без ускладнень стану здоров'я у процесі багаторічних тренувань.

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

Для спортсменів характерна підвищена потреба в різних мінеральних речовинах, особливо у фосфорі, кальції, калії, залізі, які інтенсивно виводяться з організму при м'язовій діяльності. Так, фосфор потрібен для ресинтезу високоенергетичних фосфатних сполук (АТФ та інші) в період відпочинку, а також для відновлення

солей у кістковій тканині. Найбільший вміст фосфору – в рибі та яйцях.

Кальцій бере участь у процесі скорочення м'язів, побудови кісткової тканини, посилює засвоєння фосфору. Основним джерелом кальцію є молоко і сир.

За напруженої м'язової діяльності можливі втрати калію, що викликає зміни функції серцевого м'язу, нервової системи тощо. Основними джерелами калію є картопля, ізюм, курага.

Недостатнє надходження заліза негативно впливає на спортивні результати, особливо у видах спорту на витривалість, а також на процеси відновлення. Для покриття добової потреби в залізі (1,5-2 мг) необхідне 10-разове його надходження через складність всмоктування. Продукти, що містять багато заліза: печінка, “червоне” м'ясо.

Для задоволення організму всіма мінеральними речовинами у раціон харчування слід включати велику кількість овочів і фруктів. Додаткове їхнє надходження можливе з мінеральною водою або з полівітамініними комплексами.

У спортсменів збільшується потреба у воді. Вода повинна надходити в організм у потрібній кількості. Її слід приймати часто, але в невеликих кількостях.

#### ***9.4.6. Харчові добавки і регуляція маси тіла***

У період напруженої роботи поповнити енергозатрати (3000-7000 ккал) та забезпечити біосинтетичні процеси за допомогою звичайного харчування дуже важко. Тому для спортсменів створені спеціальні продукти підвищеної біологічної цінності (ППБЦ) або харчові добавки з різним харчовим і хімічним складом. Такі продукти надзвичайно концентровані, висококалорійні та мають певну цільову спрямованість:

- 1) збільшення маси м'язів;
- 2) корекція компонентного складу тіла;
- 3) підвищення швидкості метаболізму та енергоутворення;
- 4) відновлення електролітного балансу;

5) активація регуляторного механізму енергообміну та інших метаболічних процесів;

6) зниження маси тіла та інше.

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

### **Контрольні питання до розділу 9.**

1. Які групи харчових продуктів необхідні людині?
2. Назвіть основні принципи раціонального харчування?
3. Яка роль вуглеводів, білків і ліпідів у харчуванні спортсменів, які норми їхнього споживання, у чому полягає особливість споживання жирів у харчуванні спортсменів?
4. Які норми споживання вітамінів і спрямованість їхнього споживання в окремих видах спорту? Як відновлюється потреба у вітамінах при фізичних тренуваннях?
5. Які особливості вуглеводного харчування в період тренування, змагань і відновлення?
6. За рахунок яких процесів регулюється маса тіла?

## 10. Біохімічний контроль у спорті

Під час адаптації до фізичних навантажень або перетренованості в організмі змінюється обмін речовин, що призводить до появи в тканинах та біологічних рідинах окремих метаболітів, які відображають функціональні зміни й можуть слугувати біохімічними тестами або показниками їхнього функціонального стану.

### 10.1. Завдання, види та організація біохімічного контролю

Визначення біохімічних показників обміну речовин дозволяє вирішити завдання комплексного обстеження: контроль за функціональним станом організму спортсмена, спостереження за адаптаційними змінами енергетичних систем і функціональної перебудови організму в процесі тренування, діагностування передпатологічних і патологічних змін метаболізму спортсменів.

У річному тренувальному циклі підготовки виділяють різні види біохімічного контролю:

- а) поточні обстеження (ПО), які проводяться щоденно;
- б) етапні комплексні обстеження (ЕКО), що проводять 3-4 рази на рік;
- в) поглиблені комплексні обстеження (ПКО), які проводять 2 рази на рік;
- г) обстеження змагальної діяльності (ОЗД).

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

*Стандартні фізичні навантаження* – це навантаження, за яких обмежується кількість і потужність виконуваної роботи, що забезпечується за допомогою ергометрів. Стандартні фізичні навантаження сприяють виявленню індивідуальних відмінностей і використовуються для характеристики рівня тренуваності організму.

*Максимальні фізичні навантаження* використовуються при виявленні рівня спеціальної тренуваності спортсмена на різних етапах підготовки. У даному випадку застосовують навантаження, які найбільше характерні для даного виду спорту. Вони виконуються з максимально можливою інтенсивністю для даної вправи.

Контрольні біохімічні тестування проводяться вранці натщесерце після відносного відпочинку на протязі доби. При цьому повинні додержуватися приблизно однакові умови зовнішнього середовища, які впливають на результати тестування.

Зміни біохімічних показників під впливом фізичних навантажень залежать від ступеня тренуваності, обсягу виконаних навантажень, їхньої інтенсивності, анаеробної або аеробної спрямованості, а також від статі та віку обстежуваних.

## **10.2. Об'єкти досліджень та основні біохімічні показники**

Об'єктами біохімічного дослідження являються повітря, що видихається, кров, сеча, слина, м'язова тканина.

У *повітрі, яке видихається*, визначають параметри енергетичного обміну – кількість кисню і вуглекислого газу, що є показниками інтенсивності енергообміну, вказує на долю в них анаеробного та аеробного механізму ресинтезу АТФ.

*Кров* – один з найбільш важливих об'єктів, аналіз крові свідчить про стан гомеостазу внутрішнього середовища та про її зміни під впливом спортивної діяльності.

Аналіз *сечі* відображає функцію нирок, а також динаміку процесів метаболізму в різних органах і системах. При різних патологічних станах з сечею виділяються речовини, яких в нормі в сечі немає: глюкоза, білок, кетонів тіла, жовчні пігменти, кров, ферменти та інше. Визначення цих сполук використовують для діагностики окремих захворювань, а також у практиці спорту для контролю ефективності тренувального процесу, стану здоров'я спортсмена.

*Слину* зазвичай використовують паралельно з іншими біохімічними об'єктами. В ній визначають електроліти (Na, K), активність ферментів, рН.

*М'язова тканина* є надзвичайно важливим об'єктом біохімічного контролю діяльності м'язів. У м'язах визначають скорочувальні білки (актин, міозин), АТФазу, КрФ, глікоген, молочну кислоту, електроліти та інше. За їхнім вмістом судять про функціональний стан м'язів, про їхній енергетичний потенціал тощо.

У практиці спорту використовують визначення наступних показників:

1) енергетичні субстрати (АТФ, КрФ, глюкоза, вільні жирні кислоти);

2) ферменти енергетичного обміну (АТФаза, КрФ-кіназа, цитохромоксидаза, лактатдегідрогеназа та інші);

3) проміжні та кінцеві продукти обміну (молочна кислота, піровиноградна кислота, кетонів тіла, сечовина, креатин, креатинін, сечова кислота, вуглекислий газ та інше);

4) показники кислотно-лужної рівноваги крові (рН, парціальний тиск  $\text{CO}_2$ , резервна лужність або надлишок буферних основ, та інше);

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

6) мінеральні речовини (бікарбонати, фосфати та інше);

7) вміст загального білка, білкових фракцій крові;

8) анаболічні стероїди та інші заборонені речовини у практиці спорту (допінги).

### **10.3. Зміни найважливіших біохімічних показників крові та сечі під час діяльності м'язів**

#### **10.3.1. Показники вуглеводного обміну**

*Глюкоза.* Вміст глюкози в крові складає 3,5-5,9 ммоль/л. Зміна вмісту глюкози в крові та її поява в сечі вказує на швидкість



аеробного окислення її в тканинах під час роботи м'язів та на інтенсивність мобілізації глікогену в печінці.

Слід зауважити, що короткочасні навантаження субмаксимальної інтенсивності можуть викликати підвищення вмісту глюкози в крові за рахунок підсиленої мобілізації глікогену в печінці. Тривалі навантаження призводять до гіпоглікемії. Причому у нетренованих осіб це зниження більш виражене, ніж у тренуваних.

*Молочна кислота* (лактат) утворюється як кінцевий продукт анаеробного гліколізу. Вміст її в крові у нормі складає 1,0-1,5 ммоль/л і суттєво підвищується під впливом фізичних навантажень. Значне підвищення її вмісту спостерігається і в м'язах під впливом напруженої короткочасної роботи. Зниження концентрації лактату свідчить про покращення тренуваності, а підвищення – про її погіршення.

За вмістом лактату в крові визначають анаеробну гліколітичну можливість організму, що важливо при відборі спортсменів, розвитку їхніх рухових якостей, контролі тренувальних навантажень і ходу процесу відновлення організму.

### **10.3.2. Показники ліпідного обміну**

*Вільні жирні кислоти* є структурними компонентами ліпідів, їхній рівень в крові відображає швидкість ліполізу тригліцеридів у печінці й жирових депо. В нормі їхній вміст в крові складає 0,1-0,4 ммоль/л і збільшується під впливом тривалих фізичних навантажень.

*Кетонові тіла.* Їхній рівень в крові повною мірою відображає швидкість окислення жирів. Збільшення вмісту кетонових тіл в крові та їхня поява в сечі свідчать про перехід енергоутворення від вуглеводних джерел до ліпідних під час активності м'язів. Більш раннє підключення ліпідних джерел вказує на економність аеробних механізмів енергозабезпечення, що взаємопов'язане з ростом тренуваності організму.

*Продукти перекисного окислення ліпідів (ПОЛ).* Під час фізичних навантажень посилюються процеси ПОЛ і накопичуються його кінцеві метаболіти, що є одним із факторів, які лімітують фізичну працездатність. Тому з метою біохімічного контролю організму та виявлення реакції на фізичне навантаження проводять аналіз вмісту цих метаболітів: малонового діальдегіду, дієнових кон'югатів, а також активність ферментів-антиоксидантів (глутатіонпероксидази, каталази) та інших.

### **10.3.3. Показники білкового обміну**

*Гемоглобін (Hb)* виконує транспортну функцію (переносить  $O_2$  і  $CO_2$ ), є основним білком еритроцитів крові. Вміст Hb в крові у чоловіків – 140-160 г/л, у жінок – 120-140 г/л. Його концентрація залежить від ступеня тренуваності. Під час роботи м'язів підвищується потреба в кисні, що супроводжується збільшенням вмісту Hb. З ростом рівня тренуваності концентрація Hb збільшується. Збільшення вмісту Hb в крові певною мірою відображає адаптацію організму до навантаження у гіпоксичних умовах. За вмістом Hb можна судити також про аеробні можливості організму, ефективність тренувальних занять, стан здоров'я спортсмена.

*Міоглобін* – це білок м'язів, який транспортує та депонує кисень. Під впливом фізичних навантажень при патологічних станах організму він виходить із м'язів у кров, що призводить до підвищення його вмісту в крові та появі в сечі. Кількість міоглобіну в крові залежить від обсягу виконаної роботи, а також від ступеня тренуваності спортсмена.

*Актин.* Вміст актину збільшується в м'язах у процесі тренування. За його вмістом у м'язах можна контролювати розвиток швидкісно-силових якостей спортсмена при тренуванні.

*Сечовина.* Це головний кінцевий продукт азотистого обміну. Він використовується для оцінки можливості перенесення спортсменом тренувальних та змагальних фізичних навантажень, ходу тренувальних занять і процесів відновлення організму.

*Білок в сечі.* У сечі здорових людей білок відсутній. Аналіз концентрації білка в сечі проводять з метою визначення потужності виконаної фізичної роботи. Так, під час роботи в зоні великої потужності його вміст складає 0,5%, а під час роботи в зоні субмаксимальної потужності може досягти 1,5%.

*Креатинін.* Він утворюється в м'язах в процесі розпаду креатинфосфату (КрФ), виділяється із сечею. Його кількість в сечі залежить від маси м'язів. За вмістом креатиніну в сечі можна судити про швидкість креатинфосфатної реакції, а також про м'язову масу тіла. У нормі вміст креатиніну в сечі чоловіків складає 18-32 мг/кг маси тіла на добу, у жінок – 10-25 мг/кг маси тіла на добу.

*Креатин.* У нормі в сечі креатин відсутній. Він з'являється в сечі внаслідок перетренованості організму й патології м'язів, тому наявність креатину в сечі може бути використано як тест для встановлення реакції організму на фізичні навантаження.

#### **10.3.4. Показники кислотно-лужного стану (КЛС) організму**

В процесі інтенсивної роботи у м'язах утворюється значна кількість молочної та піровиноградної кислот, які дифундують у кров і можуть викликати метаболічний ацидоз; це призводить до стомлення м'язів, появи болі у м'язах. Такі зміни пов'язані з виснаженням буферних резервів організму. У спортивній діагностиці визначають наступні показники КЛС:

- 1) рН крові (7,36-7,44);
- 2)  $pCO_2$  – парціальний тиск вуглекислого газу крові (35-45 мм.рт.ст.);
- 3) SB – стандартний бікарбонат плазми крові  $HCO_3$  (22-26 мекв/л).
- 4) BB – буферні основи цільної крові або плазми (43-53 мекв/л), що є показником ємності буферних систем крові або плазми;
- 5) NBB – нормальні буферні основи цільної крові;

б) ВЕ – надлишок основ або лужний резерв (від -2,4 до +2,3 мекв/л), що є показником надлишку або нестачі буферної ємності.

Найбільш інформативними показниками КЛС є величина ВЕ, тобто лужний резерв, який збільшується з підвищенням кваліфікації спортсменів, особливо тих, які спеціалізуються у швидкісно-силових видах спорту.

*Мінеральні речовини.* За вмістом неорганічного фосфату (у вигляді  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) в крові можна судити про потужність креатинфосфокіназного механізму енергозабезпечення спортсменів, а також про рівень тренуваності, оскільки приріст вмісту фосфатів в крові у спортсменів високої кваліфікації під час виконання анаеробної фізичної роботи є більшим, ніж у крові менш кваліфікованих спортсменів.

#### **10.3.5. Біологічні регулятори метаболізму**

*Гормони.* Основні гормони, визначення яких використовують для оцінки функціонального стану спортсменів, наступні: адреналін, інсулін, глюкагон, соматотропін, АКТГ, кортизол, тестостерон, естрадіол, тироксин.

Вміст гормонів у крові залежить від потужності та тривалості навантажень, від ступеня тренуваності спортсмена. Крім того, за зміною вмісту гормонів у крові можна судити про адаптацію організму до фізичних навантажень, інтенсивність метаболічних процесів, розвиток втоми, застосування анаболічних стероїдів та інших гормонів.

*Ферменти.* У спортивній практиці часто визначають активність низки індикаторних (тканинних) ферментів – альдолази, каталази, креатинкінази, лактатдегідрогенази (ЛДГ). Поява їх у крові (або їхніх ізоферментів) після навантажень є показником неадекватності фізичного навантаження, розвитку втоми, а швидкість їхнього зниження свідчить про швидкість відновлення організму.

*Вітаміни.* Визначення вітамінів у сечі входить у діагностичний комплекс характеристики стану здоров'я

спортсменів, їхньої фізичної працездатності (особливо вітамінів групи В і вітаміну С). У сечі вітаміни з'являються при достатньому вітамінному забезпеченні організму. Часто в організмі спортсменів спостерігається гіповітаміноз, тому контроль за їх вмістом в організмі дозволяє своєчасно коректувати раціон харчування або призначити додаткову вітамінізацію шляхом прийому спеціальних вітамінних комплексів.

### ***10.3.6. Біохімічний контроль стану енергозабезпечення організму під час роботи м'язів***

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

Так, для оцінки потужності та ємності креатинфосфокіназного механізму енергоутворення використовують показники загального алактатного кисневого боргу, кількості КрФ-ту і активність креатинфосфокінази в м'язах. В тренуваному організмі ці показники значно вищі, що свідчить про підвищення можливості креатинфосфокіназного (алактатного) механізму енергоутворення.

Для характеристики гліколітичного механізму енергоутворення використовують величину максимального накопичення алактату в артеріальній крові при максимальних фізичних навантаженнях, а також величину загального і лактатного кисневого боргу, значення рН крові й показники КЛС, вмісту глюкози в крові й глікогену в м'язах, активності лактатдегідрогенази (ЛДГ), фосфорілази та інших.

Для оцінки потужності аеробного механізму енергоутворення частіше за все використовують рівень максимального споживання кисню, концентрацію гемоглобіну. Ефективність аеробного механізму енергоутворення залежить від швидкості утилізації кисню мітохондріями, що пов'язане з активністю ферментів окислювального фосфорилування, а також від долі жирів при

енергоутворенні. Під впливом інтенсивного тренування аеробної спрямованості підвищується ефективність аеробного механізму за рахунок збільшення швидкості окислення жирів та збільшення їхньої ролі в енергозабезпеченні роботи м'язів.

### **Контрольні питання до розділу 10.**

1. Яке значення має біохімічний контроль у практиці спорту?
2. Назвіть форми біохімічного контролю, і які особливості їхнього застосування?
3. Які групи біохімічних показників використовуються при біохімічному контролі впливу м'язової діяльності на організм?
4. Назвіть основні біохімічні показники складу крові й сечі, які використовують при біохімічному контролі в спорті?
5. Які компоненти сечі змінюються після виконання фізичних навантажень? Що вони відображають?
6. Які основні показники вуглеводного і ліпідного обміну використовуються у спортивній діагностиці, яка їхня інформативність?
7. Які показники білкового обміну використовуються у спортивній діагностиці?
8. За якими біохімічними показниками характеризують розвиток систем енергозабезпечення м'язової діяльності під час тренувань?

## **11. Біохімічний контроль за рівнем тренованості, втоми й відновлення організму спортсмена**

### **11.1. Контроль за станом організму спортсменів**

*Рівень тренованості* спортсмена оцінюють за вмістом концентрації молочної кислоти в крові. Про високий рівень тренованості свідчать:

1) незначне накопичення лактату, що пов'язане зі збільшенням долі аеробного енергозабезпечення;

2) збільшення накопичення лактату при виконанні граничної роботи, що пов'язане зі збільшенням ємності гліколізу;

3) підвищення потужності роботи, під час якої різко зростає рівень лактату в крові у тренованих осіб у порівнянні з нетренованими;

4) незначний ріст вмісту лактату в крові при збільшенні потужності роботи, що пояснюється вдосконаленням анаеробних процесів і економічністю енерговитрат організму;

5) підвищення швидкості утилізації лактату в період відновлення після фізичних навантажень.

*Втома.* Втома, викликана фізичними навантаженнями максимальної та субмаксимальної потужності, взаємопов'язана з виснаженням запасів енергетичних субстратів (АТФ, КрФ, глікогену) у тканинах та накопиченням продуктів їхнього обміну в крові (креатину, лактату, неорганічних фосфатів), тому і контролюється за цими показниками. При виконанні тривалої напруженої роботи розвиток втоми виявляють за підвищенням рівня сечовини в крові після закінчення роботи, за змінами компонентів імунної системи крові, а також за зниженням вмісту гормонів у крові та сечі.

*Відновлення* організму пов'язане з поновленням кількості затрачених під час роботи енергетичних субстратів та інших сполук. Відновлення організму та швидкість обмінних процесів відбуваються неодноразово. Тому знання часу відновлення різних енергетичних субстратів відіграє велику роль у правильній побудові тренувального процесу. Зі всіх показників процесу

відновлення найбільш інформативними є визначення швидкості утилізації лактату під час відпочинку й підвищення вмісту жирних кислот і кетонових тіл у крові. Однак найбільш цінним є визначення сечовини. При роботі м'язів посилюється катаболізм тканинних білків, що призводить до підвищення рівня сечовини в крові, тому нормалізація її вмісту в крові свідчить про відновлення синтезу білків у м'язах, а отже, і відновлення сил організму.

## **11.2. Контроль за використанням допінгу в спорті**

Регулярне застосування допінгів, особливо гормональних препаратів, викликає порушення функцій багатьох систем організму: серцево-судинної, ендокринної (особливо статевих залоз), печінки, імунної системи, нервової системи, а також припинення росту трубчастих кісток тощо.

Кожен спортсмен, тренер, лікар команди повинен знати заборонені для використання препарати.

### *Класифікація допінгів.*

Допінги – це біологічно активні речовини, які використовують у спорті для підвищення спортивної майстерності та високих результатів. Деякі допінги входять до складу лікарських препаратів (від грипу, застуди), тому прийом спортсменом ліків повинен бути узгоджений зі спортивним лікарем.

За фармакологічною дією допінги поділяють на 5 класів: 1) психостимулятори (амфетамін, ефедрин, фенамін, кофеїн, кокаїн та інші); 2) наркотичні засоби (морфін, фентаніл, промедол, алкалоїди-опіати та інші); 3) анаболічні стероїди (тестостерон, ретаболіл, андродіол та інші); 4) бета-блокатори (анапримін, атенолол та інші); 5) діуретики (новурит, фуросемід, клопамід та інші).

Біологічна дія окремих допінгів різноманітна. Так, психостимулятори активують діяльність ЦНС, наркотичні речовини зменшують больові відчуття, втому, анаболічні стероїди стимулюють біосинтез білка, бета-блокатори протидіють ефектам



адреналіну, діуретики посилюють виділення з організму кінцевих продуктів і води.

Для допінгконтролю використовують сечу та іноді кров. Методами допінгконтролю є газова хроматографія, мас-спектрометрія, флуоресцентний імунний аналіз, рідинна хроматографія. Контроль проводиться лише у спеціально акредитованих лабораторіях у присутності експертів в установленому порядку.

### **Контрольні питання до розділу 11.**

1. За якими показниками можна визначити рівень тренуваності спортсмена?
2. За якими показниками визначають відновлення і стомлення організму після фізичних навантажень?
3. Назвіть головні біохімічні показники, за якими визначають реакцію організму на фізичні навантаження.
4. Назвіть основні класи допінгів та наведіть приклади.
5. Що таке допінгконтроль, ким і як він проводиться?

## Рекомендована література

1. Бендел Дж. Сокращение и расслабление мышц: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 254 с.
2. Биохимия: Учебник для институтов физической культуры / Под ред. В. В. Меньшикова, Н. И. Волкова. – М.: Физкультура и спорт, 1986. – 384 с.
3. Виру А. А., Кырге П. К. Гормоны и спортивная работоспособность. – М.: Физкультура и спорт, 1977. – 160 с.
4. Виру А. А. Гормональные механизмы адаптации и тренировки. – Л.: Наука, 1981. – 156 с.
5. Волков Н. И., Несен Э. Н., Осипенко А. А., Корсун С. Н. Биохимия мышечной деятельности. – К.: Олимпийская литература, 2000. – 503 с.
6. Гонський Я. І. та інші. Біохімія людини. – Тернопіль: Укрмедкнига, 2002. – 744 с.
7. Зотов В. П. Восстановление работоспособности в спорте. – К.: Здоров'я, 1990. – 197 с.
8. Иванов К. П. Основы энергетики организма. – Л.: Наука, 1990. – 307 с.
9. Калинин М. И., Курский М. Д., Осипенко А. А. Биохимические механизмы адаптации при мышечной деятельности. – К.: Вища школа, 1986. – 183 с.
10. Мелвин У. Эргогенные средства в системе спортивной подготовки. – К.: Олимпийская литература, 1997. – 255 с.
11. Моногаров В. Д. Генез утомления при напряженной мышечной деятельности // Наука в олимпийском спорте. – 1994. – № 1. – С. 47-57.
12. Осипенко Г. А. Основи біохімії м'язової діяльності. – К.: Олімпійська література, 2007. – 199 с.
13. Питание в системе подготовки спортсменов / Под ред. В. Л. Смульского, В. Д. Моногарова, М. М. Булатовой. – К.: Олимпийская литература, 1996. – 221 с.
14. Платонов В. М., Булатова М. М. Фізична підготовка спортсмена. – К.: Олімпійська література, 1995. – 317 с.

15. Рогозкин В. А. Биохимическая диагностика в спорте. – Л.: Наука, 1988. – 50 с.
16. Яковлев Н. Н. Биохимия спорта. – М.: Физкультура и спорт, 1974. – 288 с.

