

## РОЗДІЛ 5

### БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ РУХОВИХ ЯКОСТЕЙ СПОРТСМЕНА ТА ШЛЯХИ ЇХ РОЗВИТКУ

Під впливом тренування відбувається активне пристосування організму до м'язової діяльності більшої інтенсивності і тривалості. Але таке пристосування організму відбувається не до роботи як такої, а до конкретних її видів.

Звертаючись до спортивної практики, легко переконалися в тому, наскільки несхожа одна на одну, наприклад, робота легкоатлета-бігуна, гімнаста, боксера, штангіста. Навіть близькі за своїм характером фізичні вправи, наприклад, спринтерський і марафонний біг, суттєво відрізняються один від одного і за тривалістю і за величиною зусиль, і за характером регуляції фізіологічних функцій. Суттєво відрізняються різні фізичні вправи і за протіканням біохімічних процесів при їх виконанні. Це має велике значення для шляхів і методики розвитку основних якостей рухової діяльності спортсмена.

#### Особливості біохімічних пристосувань організму до м'язової діяльності.

В процесі еволюції тваринного світу пристосування до різноманітних умов існування приводило до вдосконалення рухового апарату в різних напрямках. Як відомо, одні тварини володіють більшою швидкістю, а інші - високою витривалістю чи силовими якостями. В залежності від умов життя напротязі багатьох поколінь тварини в процесі еволюції "тренувались" у визначеному напрямку рухової діяльності. В цьому легко переконалися, порівнюючи різних тварин, навіть близьких один до одного за своїм походженням. Достатньо, наприклад, порівняти швидкість бігу і силу верхових і вагових коней, гончих і сторожових собак, швидкий біг мишей і щурів і повільний біг споріднених до них морських свинок і т.д.

Ще в 1933 р. англійські біохіміки Е.Балдунін і Д.Нідхем встановили, що вміст АТФ у поперечносмугастих м'язах різних тварин (мухи, жаби і щура) практично однаковий, тоді як вміст інших біохімічних інгредієнтів суттєво відрізняються.

Подальші дослідження, проведені в Ленінградському науково-дослідному інституті фізичної культури, не тільки підтвердили це положення, але й показали, що відмінність у хімізмі м'язів різних тварин залежить від рухового режиму і характеру рухів. Порівнюючи м'язи тварин, що швидко рухаються і

здійснюють при бігу велику кількість циклів - скорочень-розслаблень за одиницю часу, з м'язами тварин, що повільно рухаються, можна переконатися, що перші відрізняються великим вмістом креатинфосфату і більшою інтенсивністю гліколізу, у порівнянні з другими. В свою чергу м'язи тварин які, порівняно повільно рухаються, але володіють великою витривалістю, відрізняються високою активністю ферментів аеробного окислення і великими запасами глікогену і фосфоліпідів. У жаби, яка пересувається швидкими стрибками вміст креатинфосфату в м'язах складає 50% Р, а у повільно повзаючої Жаби - 30 мг%; а у черепахи, яка є символом повільності - всього 18 мг%. З чотирьох гризунів (миша, щур, кролик і морська свинка) миша рухається найшвидше, морська свинка - найповільніше; вміст креатинфосфату в ікрах ніг цих гризунів складає рівно 51, 44, 36 і 28 мг%. Ця ж закономірність виявляється у відношенні анаеробного (гліколітичного) ресинтезу АТФ: у жаби він на 50% інтенсивніший, ніж у повільно повзаючої жаби, а у миші на 30% інтенсивніший, ніж у морської свинки.

Це відмічається не тільки у вищих, але і у безхребетних тварин. Так, при однаковому вмісті АТФ вміст аргінінфосфату (який замінює у безхребетних креатинфосфат) в м'язах кінцівок в повільного жука складає 58 мг%, а у швидкого польового скакуна - 121 мг%; у швидко стрибаючого коника - 116 мг%, а у саранчі, яка повільно пересувається по рослинах - 65 мг%. Разом з тим інтенсивність аеробного окислення в м'язах крил саранчі, яка літає на значні віддалі і володіє великою витривалістю трохи вища, ніж в м'язах крил коника, що перелітає невеликі віддалі. У великих грудних м'язах перелітних птахів інтенсивність дихання і вміст фосфоліпідів вища, ніж у м'язах птахів, які не здійснюють значних перельотів.

Тварини, що швидко рухаються активніше мобілізують і хімічну енергію АТФ, яка перетворюється в механічну енергію м'язових скорочень. АТФ-азна активність м'язів майже в двічі вища у миші ніж у морської свинки.

Інтенсивність тканинного дихання м'язів лисиці в двічі вища, ніж у безпородних собак і лабораторних тварин, а вміст міоглобіну в м'язах диких тварин і птахів набагато вищий, ніж у домашніх.

Таким чином, при однаковій кількості АТФ м'язи різних тварин відрізняються ( в залежності від характеру руху) можливостями її використання, а також можливостями анаеробного і аеробного ресинтезу при м'язовій діяльності.

Далеко неоднакову роботу виконують і окремі м'язи однієї і тієї тварини, наприклад дихальні м'язи і м'язи діафрагми протягом всього життя людини або тварини ритмічно скорочуються, не маючи будь-якого тривалого відпочинку. Ці м'язи майже завжди працюють в умовах стійкого стану і відрізняються вели-

кою витривалістю. Для м'язів кінцівок, навпаки, характерні різні переходи від більш менш тривалого стану спокою до інтенсивної діяльності з великою частотою і силою скорочень. М'язи нижніх кінцівок або спини відрізняються більшою силою і витривалістю, ніж, наприклад, м'язи передпліччя, але останнім властива велика швидкість скорочення.

М'язи, для яких характерні різкі переходи від стану відносного спокою до швидких і енергійних скорочень, володіють широкими можливостями анаеробного ресинтезу багатих енергією фосфорних сполук, високою АТФ-азною активністю і значною буферністю. М'язи тієїж тварини, які здійснюють тривалу роботу, навпаки, володіють великою інтенсивністю дихання і високою активністю ферментів аеробного окислення. М'язи для яких характерні значні силові напруження, найбільш багаті міозином і мають високу АТФ-азну активність.

Навіть в межах одного м'язу, волокна його відрізняються за своїми властивостями і хімізмом. Одні волокна, які скорочуються повільніше, здатні до тривалої роботи, вони багатіші фосфоліпідами, міоглобіном, в них більший вміст мітохондрій (і при цьому більш великих) і вища активність ферментів дихального циклу. Інші волокна м'язу скорочуються набагато швидше. Вони багаті креатинфосфатом, глікогеном, в них сильніше розвинутий саркоплазматичний ретикулум і вища активність гліколітичних ферментів. Крім того, існують п е р е х і д н і в о л о к н а, які займають проміжне положення між першою і другою групами. Співвідношення цих волокон у функціонально різних м'язах неоднакове, а під впливом тренування (в залежності від характеру застосовуваних навантажень) в м'язі посилюються властивості, які характерні для першого і другого типу волокон.

Всі ці дані свідчать про специфічність адаптації організму до різного типу м'язової діяльності. (табл.8 за Яковлевим).

Виходячи з цього, що біохімічні зміни які викликані тренуванням, є адаптацією (приспосуванням) організму до даного виду м'язової діяльності, слід очікувати, що тренування в різних фізичних вправах повинно приводити до неоднакових біохімічних змін в організмі.

Проведені в лабораторії М.М.Яковлева дослідження на тваринах і спостереження за спортсменами підтвердили правильність цього положення. Дослідження на тваринах показали, що під впливом експериментального тренування відбуваються всі перераховані в попередньому розділі біохімічні зміни. Однак чим більше виражений в процесі тренування швидкісний компонент, чим більшої інтенсивності навантаження застосовуються, тим в більшій мірі зростають можливості анаеробного забезпечення роботи (значно збільшується вміст креатинфосфату, інтенсивність гліколізу і т.п.). При тренуванні з використанням тривалих навантажень, навпаки, більш помітно

зростають можливості аеробних окисних процесів і в більшій мірі збільшується вміст речовин, які мають до них відношення. При силових навантаженнях особливо великі зміни відбуваються зі сторони м'язових білків, вміст яких у цьому випадку зростає найбільш помітно. (табл.9 за Яковлевим).

Все це підтверджується спостереженнями за спортсменами. Відомо, що тренування в силових вправах (важка атлетика, гімнастика і т.п.) приводить до збільшення м'язової маси, тобто супроводжується посиленням синтезом структурних білків м'язів.

Тренування у вправах середньої і помірної потужності призводить до значного підвищення можливостей аеробного енергетичного забезпечення роботи, тренування у вправах максимальної потужності - до особливо великого збільшення можливостей анаеробного енергетичного забезпечення роботи як гліколітичного, так і креатинфосфатного, а тренування у вправах субмаксимальної потужності приблизно в рівній мірі розвиває ці два біохімічні механізми.

Тому в лижників, легкоатлетів-сталерів, марафонців, гребців, велосипедистів і у представників тих видів спорту, для яких характерні більш або менші тривалі навантаження, з ростом тренуваності відносна величина кисневого боргу при виконанні цих навантажень зменшується. Меншим стає і підвищення рівня молочної кислоти в крові. Робота зі зростанням тренуваності стає все більш "аеробною", ресинтез АТФ під час роботи в більшій мірі здійснюється шляхом енергетично вигіднішого дихального фосфорилування.

У легкоатлетів-спринтерів з підвищенням тренуваності відносна величина кисневого боргу при бігу на 100 м, навпаки, дещо збільшується. Пояснюється це тим, що інтенсивність роботи (швидкість бігу) з підвищенням тренуваності зростає, а тривалість роботи (час проходження дистанції) зменшується, що створює ще гірші умови для постачання організму необхідною кількістю кисню. Більш інтенсивна робота ще в більшій мірі енергетично забезпечується анаеробними реакціями, можливості яких під впливом тренування підвищуються. При цьому в недостатньо тренуваних спринтерів покращення результатів в бігу на короткі дистанції супроводжується більшим, ніж на початку тренування, підвищенням вмісту молочної кислоти в крові, а у високотренуваних - меншим її підвищенням. Пояснюється це тим, що можливості анаеробного ресинтезу АТФ під впливом тренування збільшується спочатку внаслідок посилення гліколізу (звідси більше, ніж на початку тренування, молочної кислоти), а потім за рахунок креатинфосфату (звідси зменшення утворення молочної кислоти під впливом бігу не дивлячись на збільшену величину відносного кисневого боргу). (табл.10 за Яковлевим).

Дослідження, проведені на тваринах, показують, що біохімічні зміни у внутрішніх органах і центральній нервовій системі також залежать від

застосування в тренуванні навантажень. Так, тривалі навантаження на витривалість викликають більш значні збільшення вуглеводних запасів печінки, ніж швидкісні навантаження. Біохімічні зміни в м'язі серця, які викликаються експериментальними тренуваннями з застосуванням швидкісних і тривалих навантажень, також неоднакові: збільшення сухого залишку м'яза серця і збільшення споживання серцем цукру з крові більш значні при тренуванні із застосуванням тривалих навантажень, а підвищення вмісту глікогену, міоглобіну, активності гексокінази і споживання серцем молочної кислоти в крові – при навантаженнях швидкісних.

Щодо біохімічних змін в головному мозку, то підвищення активності окислювальних ферментів і збільшення буферних властивостей тканин головного мозку більш значні при експериментальних швидкісних навантаженнях порівняно з тривалими навантаженнями на витривалість.

Всі ці дані показують, що біохімічна адаптація, яка виникає під впливом тренування як м'язової системи, так і всього організму є пристосуванням не до роботи в загальному, а до конкретних її видів. Біохімічні зміни, які відбуваються в організмі під впливом тренування, специфічні і залежать від характеру тренувальних навантажень (принцип специфічності біохімічної адаптації організму до м'язової діяльності - М.М.Яковлев).

### Біохімічна характеристика сили, пружності та витривалості і шляхи їх розвитку.

З усього сказаного стає зрозумілим, що біохімічною основою сили є, перш за все, структурні білки м'язів і, особливо, скорочувальний білок міозин та величина його АТФ-азної активності, що визначає здатність організму до швидкої мобілізації хімічної енергії АТФ і перетворення її в механічну енергію м'язового скорочення. При цьому сила скорочення або подолання опору для всього м'яза буде тим більша, чим більша його маса, тобто чим більшою кількістю структурних білків він розпоряджається. Б і о х і м і ч н а о с н о в а п р у д к о с т і також пов'язана з АТФ-азною активністю міозину, тобто зі швидкою мобілізацією хімічної енергії. Однак при виконанні більшості спортивних вправ швидкість неможлива без швидкісної витривалості, тобто здатності продовжувати швидкі і інтенсивні м'язові скорочення в часі. Біохімічна ж основа останньої може бути пов'язана з потенціальними можливостями анаеробного ресинтезу багатих енергією фосфорних сполук, а також з адаптацією організму до роботи у анаеробних умовах.

Б і о х і м і ч н о ю о с н о в о ю в и т р и в а л о с т і д о д о в г о ч а с н о ї р о б о т и є потенціальні можливості дихального, аеробного ресинтезу багатих енергією фосфорних сполук і загальна величина енергетичних запасів організму

(в першу чергу величина запасів глікогену в печінці і м'язах). У спортивній практиці розрізняють і інші спеціальні форми витривалості (силову витривалість і т.п.). Уточнення біохімічних основ цих форм досить важке. Новий, перспективний підхід до вирішення цього питання запропонований В.М.Заціорським. Він визначає витривалість як здатність до виконання будь-якої діяльності в часі без зниження ефективності і ставить цю якість в залежність від анаеробної і аеробної продуктивності людини при напруженій м'язовій діяльності, яка становить його загальні енергетичні можливості. Аеробна продуктивність вимірюється величинами максимального споживання кисню і максимальними можливостями аеробного ресинтезу АТФ. Анаеробна продуктивність характеризується максимальною відносною величиною кисневого боргу і максимальними можливостями анаеробного ресинтезу АТФ (креатинкіназний і гліколітичний механізми). Інакше кажучи, витривалість визначається можливостями ефективного ресинтезу АТФ при тій або іншій роботі. У відповідності з інтенсивністю і тривалістю роботи витривалість буде залежати від величини анаеробної або аеробної продуктивності або від поєднання їх на тому або іншому рівні.

Вдосконалення якостей рухової діяльності в процесі тренування пов'язане з характером і методикою виконання фізичних вправ. Це впливає з положення про специфічність біохімічної адаптації організму. Силові вправи розвивають перш за все силу, швидкісні - прудкість, тривалі - витривалість. Однак вправи, спрямовані на розвиток якої-небудь якості, можуть створювати біохімічні передумови і для розвитку інших якостей. Причини цього криються в особливостях проходження біохімічних процесів при роботі різного характеру і різної тривалості.

В процесі тренування розвиваються і вдосконалюються ті біохімічні системи, які мають найбільше значення під час роботи. При виконанні швидких і субмаксимальних вправ в максимальній і субмаксимальній інтенсивності ресинтез АТФ відбувається переважно анаеробним шляхом, тому під впливом тренування в цих вправах особливо збільшуються можливості анаеробного ресинтезу АТФ, що складає одну з біохімічних основ швидкісної витривалості. Однак при вправах цього типу через наступання зниження вмісту АТФ утруднюється синтез білків. Розщеплення починає переважати над синтезом і вміст білків в м'язах також знижується. В період відпочинку синтез білків збільшується і настає не тільки відновлення, але і надвідновлення витрачених білків. Вміст їх в м'язах є більшим, ніж до роботи. Відбувається збільшення м'язової маси, а в зв'язку зі збільшенням вмісту міозину збільшується і АТФ-азна активність м'язів. Все це становить біохімічну основу якостей сили. В період відпочинку після швидкісних вправ анаеробний ресинтез АТФ змінюється енергійним аеробним окисненням і дихальним фосфорилуванням. А це, в свою

чергу, веде в процесі тренування до збільшення можливостей аеробного окислення, що є одним з компонентів біохімічної витривалості до довгочасних навантажень. Таким чином, застосування в процесі тренування швидкісних навантажень не тільки веде до розвитку і швидкісної витривалості, але і створює передумови для розвитку сили і витривалості до тривалої роботи. Правда, швидкісні навантаження не створюють в процесі тренування другого компоненту біохімічних основ витривалості - підвищення запасів глікогену в печінці (так як глікоген печінки при швидкісних навантаженнях витрачається в малій кількості), але все ж вони впливають на організм спортсмена найбільш різнобічно.

Зовсім інше спостерігається при тренуванні з використанням тривалих навантажень в умовах стійкого стану процесів обміну речовин. Анаеробний ресинтез АТФ має місце тільки напочатку роботи в дуже короткий час і не впливає суттєво на біохімічні зміни, які відбуваються в організмі. Протягом всієї роботи переважає дихальний ресинтез АТФ. Іntenсивно використовується глікоген печінки. Розщеплення і синтез білків знаходиться в рівновазі, і вміст білків в м'язах не змінюється. Тому тренування у вправах на витривалість добре розвиває можливості аеробного, дихального ресинтезу АТФ і веде до збільшення глікогенових запасів печінки, тобто закладає біохімічні основи витривалості до довгочасної роботи. Але таке тренування не створює біохімічних основ сили і пружкості. Більше того, воно може незадовільно впливати на них. Таким чином, тривалі вправи на витривалість впливають на організм в процесі тренування односторонньо.

Тренування в силових вправах, оскільки при ньому м'язові білки піддаються найбільшим змінам, веде до найбільш значного синтезу їх, а пізніше, до найбільшого зростання м'язової маси і АТФ-азної активності м'язів, тобто біологічних основ сили. Разом з тим силові вправи в значній мірі супроводжуються анаеробним ресинтезом АТФ (хоч і в меншій мірі, ніж швидкісні навантаження). Тому силове тренування веде до деякого збільшення можливостей креатинкіназного і гліколітичного ресинтезу АТФ, створюючи передумови і для розвитку бистроти. Що ж стосується можливостей аеробного, дихального, ресинтезу АТФ, то під впливом тренування в силових вправах вони підвищуються в дуже незначній мірі. І, що цікаво, таке тренування може впливати на біохімічні основи витривалості навіть негативно. Причини цього на сьогоднішній день ще недостатньо вивчені.

Хоч, тренування, спрямоване на розвиток будь-якої однієї якості, і може створювати біохімічні передумови для розвитку інших якостей, але цих побічних впливів далеко недостатньо для досягнення високих спортивних результатів. Дійсно, чи можливе успішне вдосконалення в бігу на короткі

дистанції, якщо спортсмен не буде володіти достатньою силою відштовхування або якщо він не може зберегти на всій дистанції необхідну швидкість (не буде володіти потрібною швидкісною витривалістю). Чи може весляр або легкоатлет-стайєр розвинути необхідне, з тактичної точки зору, прискорення на тому чи іншому відрізку дистанції або при фінішуванні, якщо він не буде володіти потрібною пруд кістю. Зможе гімнаст або штангіст повторити вправу необхідну кількість разів, не володіючи витривалістю?

Таким чином, п і д г о т о в к а спортсмена повинна бути різносторонньою, у нього повинно бути в певній мірі розвинуті біохімічні основи всіх основних рухових якостей. Якщо у бігуна-марафонця провідними (в біохімічному плані) являються потенціальні можливості аеробного ресинтезу багатих енергією фосфорних сполук і величина енергетичного потенціалу організму, то звичайно більше, ніж у спортсмена, повинні бути розвинуті можливості анаеробного ресинтезу АТФ які йому також необхідні для успішного виконання прискорень на дистанції. У бігуна-спринтера провідним є анаеробний ресинтез багатих енергією фосфорних сполук і адаптація організму в умовах відносної гіпоксії; але якщо він не володіє більшими, ніж неспортсмен, можливостями аеробних окисних процесів, період відновлення після бігу буде у нього зтяжним і важким. Представники спортивних ігор, наприклад, футболісти, під час гри повинні пробігти (в сумі) значні відстані, розвивати часом спринтерську швидкість і проявляти значну силу при стрибках і ударах по м'ячу.

Таких прикладів можна було би привести дуже багато. Всі вони свідчать про те, що тренування в будь-якому виді спорту повинно мати в своїй основі різносторонню загальну фізичну, підготовку, на базі якої слід розвивати ті якості, які в даному виді спорту мають провідне значення.

Відмінності в ефекті тренування залежать не тільки від характеру виконуваних вправ, але і від методу їх застосування. Так, інтервальний метод тренування (поступове скорочення інтервалів відповинку між навантаженнями або збільшення навантажень при незаміненому інтервалі відпочинку між ними) у більшій мірі розвиває "анаеробну працездатність" і швидкісну витривалість, а повторний і перемінний метод ( повторення однакових або змінних навантажень при оптимальних інтервалах відпочинку) сприяють розвиткові аеробних, дихальних механізмів ресинтезу АТФ і витривалості до роботи в умовах стійкого стану. Виконання силових навантажень в ізометричному режимі призводить до значного збільшення маси і статичної сили м'язів, темпові ж силової вправи розвивають динамічну силу і прудкість.

Біохімічні зміни при тренуванні,  
розтренуванні та перетренуванні.



Дослідження, які проведені на тваринах, і спостереження за спортсменами показують, що характерні для м'язів тренуваного організму біохімічні зміни розвиваються не одночасно, а у визначеній послідовності. Найшвидше збільшуються можливості аеробних окисних процесів і вміст глікогену, потім - вміст структурних білків м'язів (міозину) і інтенсивність гліколізу і, накінець, найпізніше - вміст креатинфосфату в м'язах. По закінченню тренування в першу чергу повертається до вихідного рівня вміст креатинфосфату, потім інтенсивність гліколізу і вміст глікогену, ще пізніше - вміст міозину і в останню чергу - інтенсивність аеробних окисних процесів.

Таким чином, найшвидше розвиваються і найдовше зберігаються біохімічні основи витривалості до довгочасної роботи. Біохімічні основи прудкості і швидкісної витривалості розвиваються значно повільніше і зберігаються по припиненню тренування напруженні невеликого періоду. Розвиток сили в процесі тренування і збереження її при розтренуванні займають проміжне положення.

Все це співпадає із спостереженнями в спортивній практиці, відповідно до яких прудкість розвивається і вдосконалюється повільніше, ніж загальна витривалість до довгочасної роботи, при припиненні тренування втрачається швидше, ніж загальна витривалість. Розвиток сили і тут займає проміжне положення.

Біохімічні зміни, що відбуваються при перетренуванні, принципово відрізняються від тих змін, які відбуваються при розтренуванні. При розтренуванні, повернення до вихідного рівня різних біохімічних показників здійснюється в напрямку зворотньому до підвищення їх в процесі тренування. При перетренуванні відбувається порушення цієї послідовності. Тут перш за все має місце порушення процесів аеробного окислення, пізніше - зниження інтенсивності гліколізу і, накінець, при глибокій перетренованості - зниження вмісту глікогену в м'язах.

Зниження ефективності процесів аеробного окислення не може не призвести до спотворення хімізму м'язової діяльності.

Між іншим, порушення в протіканні саме цих процесів призводить до того, що в умовах перетренованості ресинтез АТФ відбувається менш повно, а аденолова кислота стає менш стійкою у відношенні дезамінування. Утворення аміаку в м'язах збільшується. Витрата джерел енергії при роботі стає менш економною. В результаті цього глибока перетренованість супроводжується значною втратою ваги тіла. Останнє спостерігається як в експерименті над тваринами, так і в спортивній практиці.

Спостереження за спортсменами показують, що в стані перетренованості в них різко зростає потреба організму в аскорбіновій кислоті, яка має

відношення до протікання окисних процесів, вміст її в крові і виділення з сечею різко падають. Разом з тим в стані перетренованості загальна і швидкісна витривалість страждає в більшій мірі, ніж прудкість і сила. Це повністю узгоджується з тим, що першим біохімічним порушенням при перетренованості являється зниження ефективності аеробного окислення.

Звичайно, патогенез перетренованості не вичерпується викладеним. Основу його складають порушення в діяльності центральної нервової системи, які проявляються раніше, ніж всі інші ознаки. Але біохімічна природа цих порушень ще до кінця невідома.