

4.6. Адаптація до тренувальних навантажень

4.6.1. Основні поняття про адаптацію

Адаптація, *adaptation* – процес пристосування організму, популяції або іншої біологічної системи до умов функціонування, що змінюються.

У спорті поняття адаптації трактується як зміна стану функціональних систем організму з підвищенням зовнішніх дій для досягнення більш високого рівня результатів. Процеси адаптації виникають за певної інтенсивності та тривалості виконання тренувальних вправ. Наслідком адаптації є реакція організму спортсмена на дію будь-якого фізичного навантаження.

Під фізичним навантаженням в теорії і практиці спортивного тренування розуміють будь-яку форму м'язової активності, що включає одноразове або повторне виконання певного типу фізичних вправ, під час яких в організмі виникають виражені функціональні (фізіологічні і біохімічні) зміни, що допомагають росту тренуваності.

Поняття «фізичне навантаження» за своїм змістом ширше поняття «фізична вправа». Фізичне навантаження включає в себе комплекс вправ, що призводять до адаптаційних змін в організмі. Ці зміни викликають певні фізіологічні та біохімічні зрушення в організмі, наслідком яких є підвищення рівня тренуваності.

Адаптаційні зміни, що проходять в організмі підвищують здібність до виконання специфічних рухових завдань. Характер і ступінь цих змін залежить від інтенсивності і тривалості фізичних вправ, методики тренування і частоти тренувальних дій, а також від генетичних передумов і рівня попередньої активності людини.

Процес адаптації фахівцями з теорії і практики спорту розглядають з двох боків – спортивної педагогіки і біологічних закономірностей.

У спортивній педагогіці, зокрема в теорії спортивного тренування, процес адаптації розглядається з урахуванням динаміки приросту працездатності спортсмена як інтегрального показника функціональних пристосувань організму.

Педагогічний підхід до змін адаптації в спорті полягає, перш за все, в узагальненні результатів спортивної практики для удосконалення методики тренування на основі апробованих положень.

У той же час зрозуміло, що лише на основі біологічних закономірностей функціонування організму в зміні умов дій фізичних навантажень можна з'ясувати ефективні шляхи пристосування до цих навантажень, що дозволить реалізувати програму підготовки спортсменів для досягнення певних спортивних результатів.

Фізіологічна адаптація, в загальному вигляді, розуміється як сукупність фізіологічних реакцій, що лежать в основі пристосування організму до змін оточуючих умов і спрямованих на збереження відносної постійності його внутрішнього середовища – гомеостазу.

Залежно від характеру і часу пристосування реакцій організму, виділяють термінову і довготривалу адаптацію.

Термінова адаптація – це безпосередня відповідь на одноразові дії фізичного навантаження. Реалізується вона на основі раніше сформованих фізіологічних і біохімічних механізмів і зводиться до змін енергетичного об'єму і функцій вегетативного його обслуговування.

Довготривала адаптація охоплює великий проміжок часу, розвивається поступово (на основі багаторазової реалізації термінової адаптації) як результат сумування слідів навантажень, що повторюються, пов'язаних з виникненням в організмі структурних і функціональних змін.

4.6.2. Фізіологічні механізми адаптації до навантажень

Адаптація спортсмена до фізичних навантажень здійснюється через пристосування різних систем організму до умов специфічної діяльності: серцево-судинної, дихальної, нервово-м'язової.

4.6.2.1. Адаптація серцево-судинної системи. Фізичні навантаження викликають в організмі зміни, проходить активна адаптація і перебудова різних органів і систем. Одну з головних ролей в пристосуванні організму до м'язової діяльності відіграє серцево-судинна система.

Фізичні навантаження призводять до змін основних показників функцій серцево-судинної системи.

М'язова робота призводить до змін серцевої діяльності, які здійснюються у два етапи. Перший з них – це період впрацювання, під час якого основні параметри кровообігу поступово змінюються від величини спокою до величини, що відповідає певному рівню навантаження. Тривалість цього етапу невелика (від 30 с до 2-2,5 хв). Він у свою чергу поділяється на періоди стартової реакції і початкової стабілізації.

Другий етап – стійкий стан (*steady state*) характеризується встановленим режимом серцевої діяльності на певному рівні навантаження.

Реакція серцево-судинної системи на фізичне навантаження визначається в основному такими показниками гемодинаміки:

- частотою серцевих скорочень;
- ударним об'ємом серця;
- артеріальним тиском;
- хвилинним об'ємом серця;
- судинним опором;
- регіональним кровотоком.

Частота серцевих скорочень. Частота серцевих скорочень (ЧСС) залежить від багатьох факторів, включаючи вік, стать, умови навколишнього середовища, функціональний стан, положення тіла. Вона вища у вертикальному положенні порівняно з горизонтальним. ЧСС зменшується з віком, доступна добовим коливанням (біоритмам). Під час сну ЧСС зменшується на 3-7 і більше ударів, після прийому їжі

збільшується, особливо якщо їжа багата на білки, що пов'язано зі збільшенням надходження крові до органів черевної порожнини. Температура навколишнього середовища також впливає на ЧСС, та збільшується в лінійній залежності від неї [22].

Відзначається лінійна залежність між ЧСС та інтенсивністю роботи 50-90% (рис. 4.16).

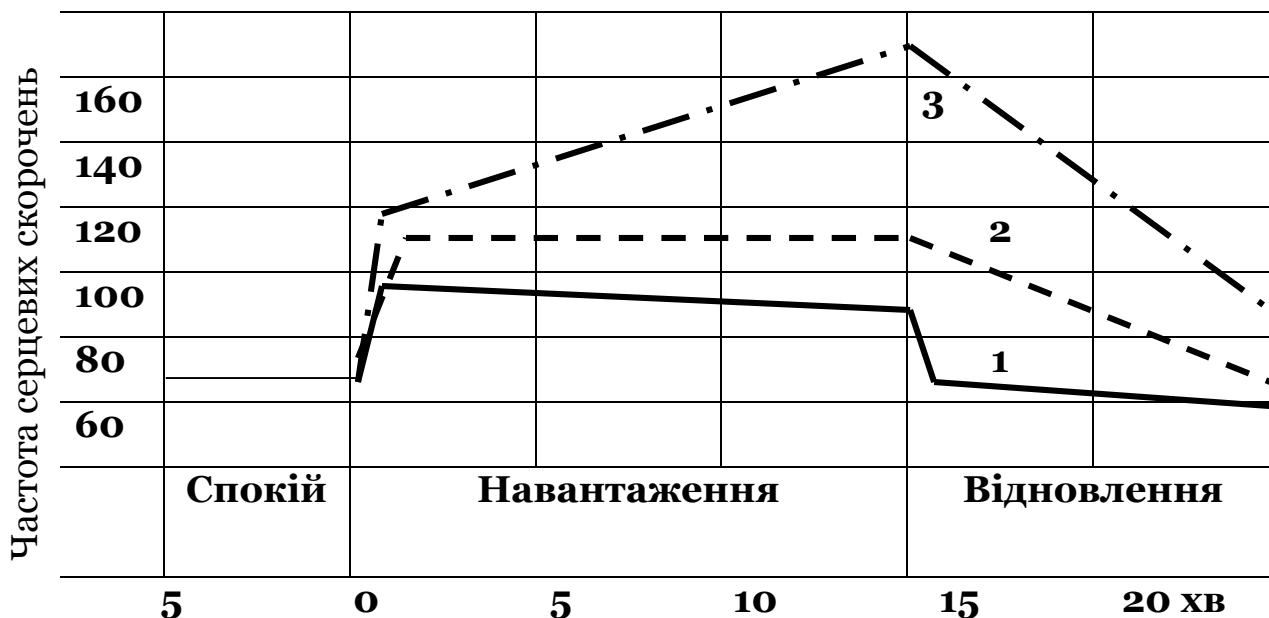


Рисунок 4.16. — Вплив інтенсивності фізичного навантаження на ЧСС: 1 – легке навантаження; 2 – середнє; 3 – важке навантаження (L. Broucha).

За легкого фізичного навантаження, ЧСС спочатку значно збільшується, а потім поступово знижується до рівня, який зберігається протягом всього періоду стабільної роботи. По мірі подальшого підвищення навантаження (більше 1000 кг м·хв⁻¹) серцеві скорочення прискорюються більш помірно і поступово вони досягають максимальної величини – 170-200 уд·хв⁻¹. Подальше підвищення навантаження уже не супроводжується збільшенням ЧСС.

ЧСС понижується з віком, так, якщо у віці 20 років максимальна ЧСС – 200 уд·хв⁻¹, то до 64 років вона знижується приблизно до 160 уд·хв⁻¹.

За рекомендацією Всесвітньої організації здоров'я допустимими вважаються навантаження, під час яких частота серцевих скорочень досягає 170 уд·хв⁻¹ і цей рівень використовують для визначення перенесення фізичних навантажень і функціонального стану серцево-судинної і дихальної системи.

Ударний об'єм серця. Ударний об'єм серця (УОС) при переході від стану спокою до навантаження швидко збільшується і досягає стабільного рівня під час інтенсивної ритмічної роботи тривалістю 5-10 хвилин.

Встановлено, що ударний об'єм серця досягає максимальних величин під час помірних навантажень за частоти серцевих скорочень біля $130 \text{ уд} \cdot \text{хв}^{-1}$ коли споживання кисню складає 40% аеробної продуктивності.

Протягом тривалих і наростаючих навантажень ударний об'єм не збільшується, навіть трохи зменшується.

Хвилинний об'єм серця. Хвилинний об'єм серця (ХОС) визначається ударним об'ємом серця і частотою серцевих скорочень, залежить від положення тіла людини, її статі, віку, тренуваності, умов зовнішнього середовища і багатьох інших чинників.

Під час фізичних навантажень середньої інтенсивності сидячи і стоячи ХОС приблизно на $2 \text{ л} \cdot \text{хв}^{-1}$ менше, ніж у процесі виконання того ж навантаження лежачи. Пояснюється це накопиченням крові в судинах нижніх кінцівок під дією сили тяжіння.

За інтенсивного навантаження хвилинний об'єм серця може зростати в 6 разів порівняно зі станом спокою. Коефіцієнт утилізації кисню збільшується у 3 рази. У результаті доставка кисню до тканин збільшується приблизно у 18 разів, що дозволяє під час інтенсивного навантаження у тренуваних людей досягти зросту метаболізму в 15-20 разів порівняно з рівнем основного обміну.

Артеріальний тиск. Як відомо, з кожним скороченням серця, постачає артеріальній системі кінетичну і потенційну енергію. Кінетична енергія проявляється в русі крові та його прискоренні під час виштовхування крові з серця, потенційна – у збільшенні АТ з кожним серцевим скороченням. Під час систоли серце викидає кров зі шлуночка в головні артерії. Ця додаткова порція крові (сistolічний об'єм) розтягує еластичні стінки головних артерій і підвищує тиск в артеріальній системі. Максимальний тиск крові в аорті (і великих артеріях), що досягається в процесі систоли шлуночків, називається *сistolічним* або *максимальним тиском*.

Протягом діастоли шлуночків (і першої частини систоли – періоду напруги) кров поступово виходить із артерій і, відповідно, тиск в них знижується. Мінімальний тиск крові у фазу діастоли шлуночків, до яких вона потрапляє, називається *діастолічним* або *мінімальним тиском*.

Тиск в артеріях коливається протягом серцевого циклу між систолічним і діастолічним. Зазвичай, в нормі в стані спокою систолічний тиск складає 120 мм.рт.ст., діастолічний – 80 мм.рт.ст.

Різниця між систолічним і діастолічним тиском в артеріях називається *пульсовим тиском*.

Початковий період підвищення систолічного артеріального тиску за ритмічної роботи продовжується 1–2 хвилини, після чого він підсилюється на стабільному рівні, що залежить від інтенсивності навантаження. Після закінчення роботи систолічний артеріальний тиск протягом 5–10 с зменшується до нижчого рівня, ніж початковий, а потім зростає до величини, що перевищує початкову. Діастолічний артеріальний тиск залишається без суттєвих змін і тільки трохи підвищується під час важкого

фізичного навантаження, в результаті чого значно збільшується пульсовий тиск.

Судинний опір. Під впливом фізичних навантажень, суттєво змінюється судинний опір. Збільшення м'язового опору призводить до посилення кровотоку через м'язи, що скорочуються, завдяки чому місцевий кровотік збільшується в 12–15 разів порівняно з нормою.

Одним із найважливіших чинників, що сприяють підсиленню кровотоку у процесі м'язової роботи є різке зменшення опору в судинах м'язів, що призводить до значного зниження загального периферичного опору. Це зниження опору починається через 5–10 с від початку скорочення м'язів і досягає максимуму через 1 хвилину або після більш значного терміну.

Регіональний кровотік. В умовах, коли збільшується фізичне навантаження суттєво змінюється кровотік в органах і тканинах. М'язи, що працюють, потребують підсилення обмінних процесів і значного збільшення доставки кисню. Крім того, збільшується навантаження на систему кровообігу у зв'язку з підвищенням вимог до регуляції температури тіла, оскільки додаткове тепло, що виробляється м'язами, які скорочуються, повинно бути відведене на поверхню тіла. Збільшення хвилинного об'єму серця само по собі не може забезпечити адекватний кровообіг за значних фізичних навантажень. Тому, забезпечення найбільш сприятливих умов для обмінних процесів в умовах фізичного навантаження потребує перерозподілу регіонального кровотоку.

Кровотік значно змінюється під час навантаження порівняно зі станом спокою. В стані спокою кровотік у м'язах складає близько 4 мл·хв⁻¹ на 100 г м'язової тканини. У м'язах, які інтенсивно працюють, кровотік зростає в 15–20 разів, до того ж кількість функціонуючих капілярів може збільшуватися у 50 разів. Кровотік збільшується на початку навантаження, а потім досягає стабільного рівня. Період адаптації залежить від інтенсивності навантаження і, зазвичай, триває від 1 до 3 хвилин. В табл. 4.6.1 наведено дані про розподіл кровотоку у спокої та під час фізичних навантажень.

Таблиця 4.16 — Показники кровотоку в спокої і при фізичних навантаженнях різної інтенсивності (К. Andersen)

Кровообіг	Спокій		Фізичне навантаження					
			Легке		Середнє		Максимальне	
	мл·хв ⁻¹	%	мл·хв ⁻¹	%	мл·хв ⁻¹	%	мл·хв ⁻¹	%
Органи черевної порожнини	1400	4	1100	12	600	3	300	1
Нирки	1100	19	900	10	600	3	250	1
Мозок	750	13	750	8	750	4	750	3
Коронарні судини	250	4	350	4	750	4	1000	4
Скелетні м'язи	1250	21	450	17	12500	71	22500	88
Шкіра	500	9	1500	15	1900	12	600	2
Інші органи	600	10	400	3	400	3	100	1
Усього	5800	100	3500	100	17500	100	2500	100

4.6.2.2. Адаптація дихальної системи до фізичних навантажень. Дихальна і серцево-судинна система створюють ефективну систему транспорту кисню в тканини організму і виведення з них діоксиду вуглецю. Система транспорту включає чотири окремих процеси:

- 1) легеневу вентиляцію (дихання), що являє собою переміщення газів в легені та з легенів;
- 2) дифузію – газообмін між легенями і кров'ю;
- 3) транспорт кисню і діоксиду вуглецю з кров'ю;
- 4) капілярний газообмін – газообмін між капілярною кров'ю і метаболічно активними тканинами.

Легенева вентиляція (дихання) – це сукупність процесів, які забезпечують доступ в організм кисню і виведення з організму вуглецю. Кисень необхідний для окислення органічних речовин, в результаті чого звільнюється енергія. Вуглець створюється в процесі окислення вуглеводів.

Показники зовнішнього дихання: 1. Дихальний об'єм (ДО) – об'єм повітря, що вдихується і видихається протягом кожного дихального циклу.

2. Резервний об'єм вдихання ($PO_{вд}$) – максимальний об'єм вдихання повітря, який можна вдихнути після спокійного видиху – 1500-2500 мл.

3. Резервний об'єм видиху ($PO_{вид}$) – максимальний об'єм повітря, що можна видихнути після спокійного видиху – 1300 мл.

4. Життєва ємність легенів (ЖЄЛ) – об'єм повітря, який можна максимально видихнути після максимального вдиху. ЖЄЛ складається із ДО, $PO_{вд}$, $PO_{вид}$. ЖЄЛ в середньому складає у жінок – 2,5–4 л, у чоловіків – 3,5–5 л, у добре тренуваних спортсменів ЖЄЛ може досягати 8 л.

5. Частота дихання (ЧД) за 1 хвилину у стані спокою у дорослих людей, що не займаються спортом і активною фізичною діяльністю, складає 16-20 дихальних рухів і 8-14 – у спортсменів.

6. Хвилинний об'єм дихання (ХОД) – це кількість повітря, що вентилюється у легенях за 1 хвилину. У стані спокою хвилинний об'єм дихання коливається від 4 до 10 л, за умови значного фізичного навантаження може сягнути 160–180 л і більше. Збільшення хвилинного об'єму легень знаходиться у пропорційній залежності від потужності виконуваної роботи, але до визначеної межі, після досягнення якої, незважаючи на подальше підвищення навантаження, підвищення хвилинного об'єму легень не спостерігають. Що більше навантаження за величиною відповідає граничним значенням хвилинного об'єму легень, то вище функціональний стан зовнішнього дихання.

$$ХОД \text{ л} \cdot \text{хв}^{-1} = ЧД \cdot ДО \quad (4.21)$$

За умови однакових значень хвилинного об'єму легень ефективність вентиляції легенів буде вищою тоді, коли його визначають здебільшого завдяки збільшенню дихального об'єму, ніж частоти дихання.

7. Максимальна вентиляція легенів (МВЛ) – це об'єм повітря, що вентилюється легенями за одиницю часу за умови максимальної глибини і частоти дихання. Максимальна вентиляція легень залежить від життєвої

ємкості легенів, стану бронхіальної прохідності і сили дихальної мускулатури. Цей показник дає можливість оцінити функціональну здатність системи зовнішнього дихання, а тому, на відміну від інших спірографічних показників (ХОД, ЖЄЛ тощо), може бути використаним для оцінки тренуваності спортсменів.

У нормі МВЛ становить: у здорової людини – 80 – 100 л/хв, у спортсменів – 180 – 240 (200) л/хв (зазвичай форсоване дихання проводиться протягом 15 с і множиться на 4, це і буде величина МВЛ).

Споживання кисню – це сумарний показник, що відображає функціональний стан серцево-судинної і дихальної систем.

Споживання кисню збільшується пропорційно до збільшення навантаження. Однак настає межа, коли подальше збільшення навантаження не супроводжується збільшенням споживання кисню. Цей рівень називається *максимальним споживанням кисню (МСК)* або кисневою межею.

Величина максимального споживання кисню – це найвищий досяжний рівень аеробного обміну під час фізичного навантаження. Зазвичай, таке навантаження виснажує обстежуваного за 5–10 хв. Вище цієї межі м'язи, що працюють, виявляються в умовах недостатнього постачання киснем і в них збільшуються анаеробні обмінні процеси. Максимальне споживання кисню є показником аеробної спроможності організму.

Максимальне споживання кисню вимірюється в літрах на хвилину ($\text{л}\cdot\text{хв}^{-1}$). З урахуванням того, що воно пропорційно масі тіла, для отримання порівняльних даних його часто відносять до 1 кг маси тіла обстежуваного ($\text{мл}\cdot\text{хв}^{-1}\cdot\text{кг}^{-1}$).

МСК забезпечується максимальною діяльністю органів газотранспортної системи: дихальною, серцево-судинною і системою крові.

У стані спокою споживання кисню складає $0,2\text{--}0,3 \text{ л}\cdot\text{хв}^{-1}$, під час фізичної роботи у дорослих чоловіків, які не займаються активною спортивною діяльністю, МСК дорівнює $2,5\text{--}3,5 \text{ л}\cdot\text{хв}^{-1}$ ($40\text{--}50 \text{ мл}\cdot\text{хв}^{-1}\cdot\text{кг}^{-1}$). МСК у добре тренуваних спортсменів, особливо у тих, які займаються циклічними видами спорту, може складати $7\text{--}8 \text{ л}\cdot\text{хв}^{-1}$ ($70\text{--}90 \text{ мл}\cdot\text{хв}^{-1}\cdot\text{кг}^{-1}$).

Величина МСК залежить від таких чинників, як об'єм м'язів, задіяних у роботі, положення тіла, вага, характер роботи.

За даними досліджень, МСК у спортсменів під час педалювання лежачи на спині на 15% нижче, ніж в положенні сидячи. МСК з при роботі руками складає тільки 66–70% від рівня, що досягається під час педалювання ногами. За одночасної роботи руками і ногами МСК таке ж, як і під час роботи лише ногами.

Рівень МСК залежить від максимальних можливостей двох функціональних систем: киснево-транспортної і системи утилізації кисню.

Киснево-транспортна система включає дихальний апарат, кров і кровообіг. Можливості цієї системи визначаються вмістом кисню в артеріальній крові та серцевим викидом, а також частково впливає на них вміст кисню в змішаній венозній крові.

Система утилізації кисню. В цій системі головну роль відіграють скелетні м'язи, а також деякою мірою дихальні м'язи і міокард. Швидкість і об'єм утилізації ними кисню, переважно, визначається вмістом кисню в змішаній венозній крові.

МСК визначається продуктивністю трьох основних процесів:

1) абсорбцією (захватом) кисню із зовнішнього середовища;

2) транспортом кисню від легенів до тканин;

3) утилізацією (використанням) кисню тканинами, особливо м'язами, що працюють.

Кисневий борг. У процесі м'язової роботи у міру збільшення інтенсивності руху для досить ефективного ресинтезу АТФ включаються анаеробні процеси. Це обумовлено, по-перше, тим, що серцево-судинній і дихальній системі не вдається постачати м'язи, що працюють, киснем достатньою мірою, і, по-друге, – це пов'язано з тим, що окислювальне фосфолування – відносно повільний процес, і він не встигає під час інтенсивної м'язової діяльності забезпечувати достатню швидкість ресинтезу АТФ. Тому, після закінчення роботи виникає необхідність підтримувати споживання кисню протягом певного часу на підвищеному рівні, щоб ресинтезувати затрачену кількість креатинофосфату і ліквідувати молочну кислоту.

Кисневий борг означає кількість кисню, необхідне для окислення продуктів при обміні речовин, що накопичилися при фізичній роботі.

Величина кисневого боргу може досягати 15–20 л. Кисневий борг, особливо за навантажень великої інтенсивності, перевищує початковий дефіцит кисню (рис. 4.17).

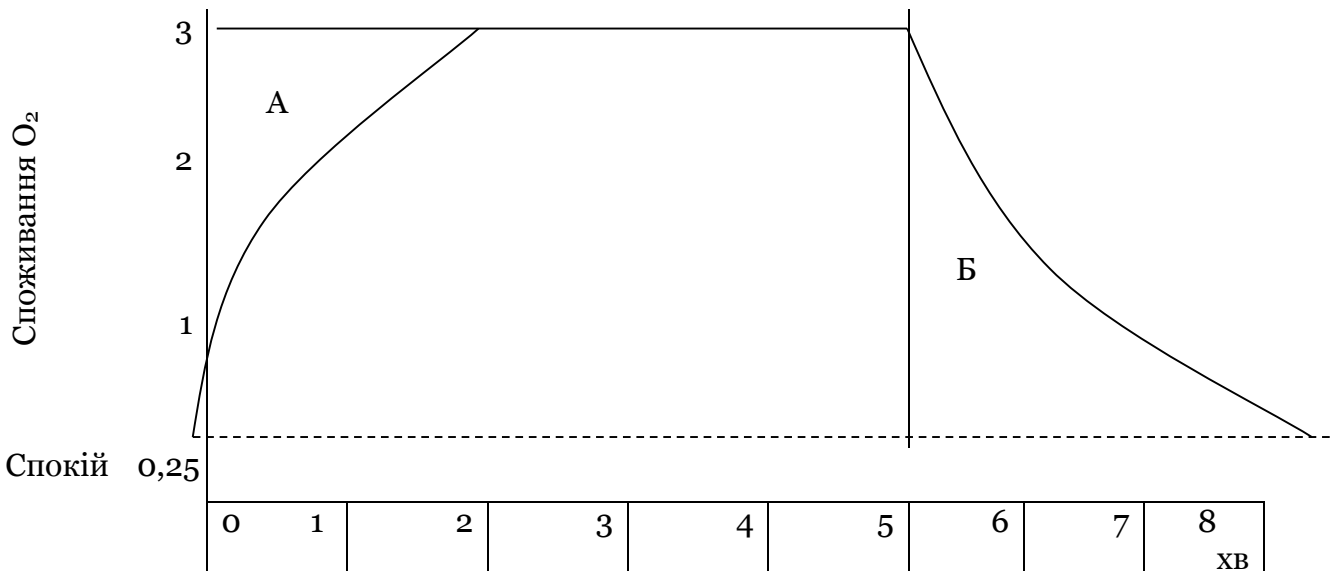


Рисунок 4.17. – Зміни споживання кисню при фізичному навантаженні: А – дефіцит кисню; Б – кисневий борг (за: М. М. Амосов)

Це пояснюється тим, що анаеробні реакції, які виникають в адаптаційний період, в енергетичному відношенні менш продуктивні, ніж

процеси аеробного обміну. Період адаптації до фізичного навантаження триває 1-2 хв.

Кисневий борг включає два компоненти:

1) алактатний кисневий борг – це кількість кисню, яку необхідно затратити для ресинтезу АТФ і КФ і поповнення тканинного резервуару кисню (кисень, пов'язаний у м'язовій тканині з міоглобуліном);

2) лактатний кисневий борг – це кількість кисню, яка необхідна для ліквідації накопиченої під час м'язової роботи молочної кислоти.

Алактатний кисневий борг ліквідується на перших хвилинах після закінчення роботи. Ліквідація лактатного кисневого боргу може продовжуватися 30 хвилин і більше.

Кисневий запит. Під кисневим запитом розуміють необхідну кількість кисню для виконання м'язової роботи певної інтенсивності. Протягом високо інтенсивної роботи кисневий запит перевищує максимальне споживання кисню. Таким чином, кисневий запит складається з кількості споживання кисню під час м'язової роботи і кисневого боргу (рис. 4.18).

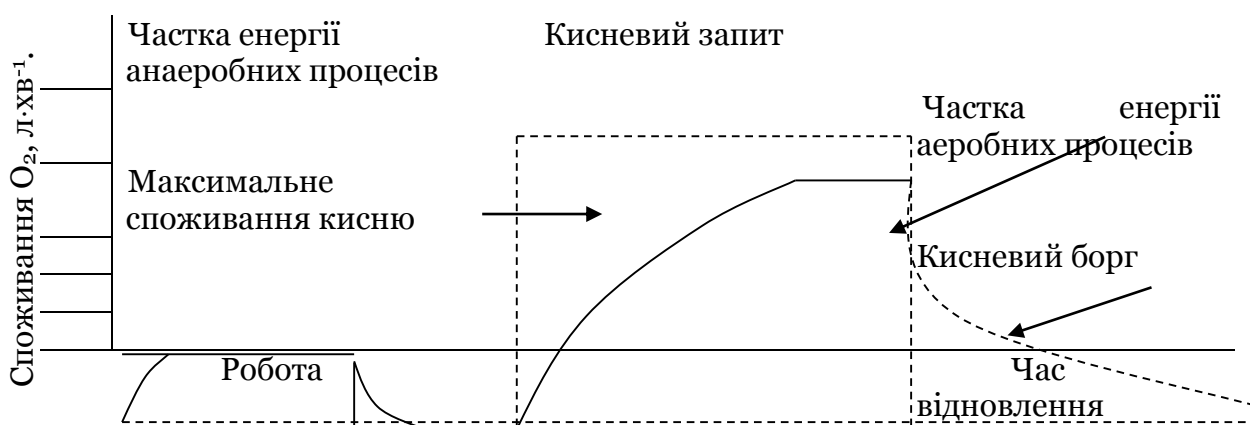


Рисунок 4.18. – Кисневий запит, споживання кисню і кисневий борг у процесі виконання м'язової роботи. Ліворуч – легка робота, праворуч – дуже важка робота (за: А. А. Віру)

Поріг анаеробного обміну (ПАНО). Поріг анаеробного обміну є показником ємності механізмів енергозабезпечення. ПАНО характеризує момент переходу енергозабезпечення м'язової діяльності від аеробних джерел до анаеробних. У цей період зникає пряма залежність між потужністю роботи і споживанням кисню.

ПАНО (анаеробний поріг) означає початок помітного відхилення концентрації молочної кислоти, показників зовнішнього дихання, киснево-лужної рівноваги (рН) крові, що свідчать про корінну перебудову регулярних функцій і енергозабезпечення м'язової діяльності.

Виділяють три фази анаеробного переходу.

У першій фазі, у міру зростання навантаження, збільшується утилізація кисню в м'язах, що працюють. За інтенсивного навантаження

концентрація молочної кислоти починає збільшуватись, тому першу фазу означають як аеробну.

У другій фазі під час підвищення навантаження до 40–65% від МСК, ЧСС продовжує лінійно зростати, збільшується вентиляція легенів. Цю фазу позначають як період ізоканічного буферування з достатньою респіраторною конденсацією.

У третій фазі, при подальшому зростанні потужності навантаження (65–85% від МСК), починається посилене виділення молочної кислоти, концентрація її в середньому перевищує 4 ммоль·л⁻¹, що призводить до помітного зниження рН крові і концентрації гідрогенкарбонатних іонів.

Аеробно-анаеробний перехід здійснюється на рівні 40-45% від максимуму споживання кисню у нетренованих людей, 55–65% – у спортсменів високого класу. Таким чином, спортсмен, який має більш високий ПАНО може підтримувати високоінтенсивну роботу без значного накопичення в організмі продуктів анаеробного обміну – молочної кислоти та інших метаболітів.

4.6.3. Енергетичні витрати

Енергетичні витрати в організмі поділяють на дві групи – основний обмін і додаткові витрати енергії. Першу групу складають енергетичні витрати, пов'язані з підтриманням необхідного для життя клітин рівня окисних процесів, з діяльністю постійно працюючих органів і систем (дихальної мускулатури, серця, нирок, печінки, мозку) і з підтримкою мінімального рівня м'язового тону. Відповідні енергетичні витрати позначають як основні витрати енергії або основний обмін. Найбільший вплив на основний обмін мають скелетні м'язи (20-30%), печінка і органи харчування (20-30%).

Середній енергетичний еквівалент для кисню дорівнює 5 ккал·л⁻¹, тобто у процесі згорання в організмі білків, жирів і вуглеводів на кожен 1 л використаного кисню звільнюється близько 5 ккал. Таким чином, для забезпечення енергетичних потреб основного обміну потрібно близько 200-250 мл·хв⁻¹ кисню.

Додаткові витрати енергії складають витрати на виконання будь-яких актів життєдіяльності, у тому числі виконання фізичних вправ.

Більшість фізичних вправ, що застосовуються у спорті, пов'язані з великими витратами енергії. Однак їх виконання обмежено секундами або хвилинами. Навіть під час 2–3-разових занять в день час, затрачений на виконання вправ, відносно невеликий. Тому добові витрати енергії не перевищують у спортсменів 4500–5000 ккал, з яких 1700–1800 ккал витрачаються на основний об'єм, 150–200 ккал на специфічно-динамічні дії їжі, а також витрати енергії на виконання різних побутових дій (збільшуються витрати енергії на 30-60 % порівнянно з рівнем основного обміну) і розумову діяльність (енергетичні витрати складають до 40–90 % від основного обміну).

4.6.4 Адаптація нервово-м'язової системи до фізичних навантажень

М'язи людини складаються з волокон двох типів: «повільні» волокна – повільно скорочуються (ПС), «швидкі» – швидко скорочуються (ШС).

Назви ПС і ШС-волокон обумовлені різницею у швидкості їх дій, що здійснюються різними формами міозин-АТФази. У відповідь на нервову стимуляцію АТФ швидше розщеплюються в ШС, ніж в ПС-волокнах. Внаслідок цього ШС-волокна швидше отримують енергію для скорочення, ніж ПС-волокна. «Повільні» м'язові волокна утримують більше мітохондрій, вони густіше пронизані капілярами, в яких більше міоглобуліну, що транспортує кисень з капілярів у м'язи. «Швидкі» волокна відрізняються високою швидкістю АТФ у безкисневих умовах, а це означає і швидке енергозабезпечення м'язових скорочень, тому вони мають високий гліколітичний потенціал, в них утримується значно менше мітохондрій, колір їх світліший, через що їх іноді називають ще білими волокнами («повільні» – червоними волокнами).

Волокна, що швидко скорочуються, в свою чергу, поділяються на швидко скорочувальні типу «а» (ШСа) і швидко скорочувальні волокна типу «б» (ШСб). Існує і третій тип швидко скорочувальних волокон типу «в» (ШСв). В середньому м'язи складаються на 50% з ПС і на 25% з ШС – волокон типу «а». Інші 25% складають головним чином ШС – волокна типу «б», тоді як ШС – волокна типу «в» складають всього 1-3%.

Хімічний склад м'язової тканини складає 72-80% води і 20-28% сухого залишку від маси м'язів. Вода входить до складу більшості клітинних структур і слугує розчинником для багатьох речовин. Більшу частину сухого залишку складають білки та інші органічні з'єднання.

Серед білків м'язової тканини виділяють три основні групи: саркоплазматичні білки – близько 35%, міофібріальні білки – 45% і білки строми – 20%.

М'язові волокна мають різні характеристики (табл. 4.17).

Таблиця 4.17 — Класифікація типів м'язових волокон (за: Дж. Уілмор)

Характеристика	Тип волокна		
	ПС (тип I)	ШСа (тип IIa)	ШСб (тип IIb)
Окислювальна спроможність	Висока	Помірно висока	Низька
Гліколітична спроможність	Низька	Висока	Максимальна
Швидкість скорочення	Повільна	Швидка	Швидка
Опір втомі	Високий	Середній	Низький
Сила рухомої одиниці	Низька	Висока	Висока

ПС-волокнам притаманний високий аеробний рівень витривалості, тобто здійснення реакцій для отримання енергії в «присутності кисню». В ПС-волокнах переважно проходить окислення вуглеводів і жирів. В процесі окислення ПС-волокна продовжують синтезувати АТФ, що дає можливість волокнам залишатися активними і дозволяє їм підтримувати м'язову активність протягом тривалого часу. Завдяки цьому вони більш пристосовані до виконання тривалої роботи невисокої інтенсивності.

ШС-волокна характеризуються відносно низькою аеробною витривалістю. Вони більш пристосовані до анаеробної (безкисневої) діяльності.

ШСа-волокна виробляють значно більшу силу, ніж ПС-волокна, однак, вони легко втомлюються завдяки обмеженій витривалості. ШСа-волокна використовуються здебільшого під час виконання короткострокової роботи високої інтенсивності.

ШСб-волокна використовуються переважно під час вибухових видів діяльності.

М'язові рухи здійснюються в трьох режимах: концентричному, статичному і ексцентричному.

При концентричному скороченні довжина м'язів скорочується, при статичному – не змінюється і при ексцентричному – подовжується.

ШС- і ПС-волокна відрізняються різною силою і швидкістю скорочень. Час, необхідний для максимальної потужності ШС-волокон, зазвичай не перевищує 0,3-0,5 с, тоді як ПС-волокна здатні розвивати максимальну потужність лише через 0,8-1,1 с. Активність анаеробних ферментів ШС-волокон більше ніж у два рази перевищує активність цих ферментів в ПС-волокнах.

4.6.4.1. Нервово-м'язова адаптація у силовій підготовці. Сила м'язів збільшується лише завдяки тренуванням. Протягом 3–6 місяців силового тренування можна збільшити силу м'язів на 25–100 %. Згідно таким твердженням, розвиток сили проходить за рахунок нервової адаптації і гіпертрофії м'язів.

Нервова адаптація включає: поліпшену координацію, поліпшене засвоєння, підвищену активацію первинних двигунів. За рахунок нервової адаптації збільшення сили проходить на початковому етапі тренування. Довготривалі зміни сили є результатом гіпертрофії тренувальних м'язів або групи м'язів.

Існують два типи гіпертрофії: короткочасна і довготривала. Перша являє собою «накачування» м'язів під час однократного фізичного навантаження. Це відбувається, здебільшого, внаслідок накопичення рідини, що поступає з плазми крові в інтерстиціальному і внутрішньоклітинному просторі м'язів. Короткочасна гіпертрофія продовжується недовго, рідина повертається у кров протягом декількох годин після фізичного навантаження.

Довготривала гіпертрофія виявляється у збільшенні м'язового розміру внаслідок тривалих силових тренувань. Вона відображає дійсні структурні зміни у м'язах внаслідок збільшення розміру окремих м'язових волокон (гіпертрофія).

В процесі силових тренувань гіпертрофія м'язових волокон зумовлена збільшенням білкового синтезу у м'язах. Білок у м'язах підлягає постійним процесам синтезу і розщеплення. Під час виконання фізичних навантажень синтез зменшується, а розщеплення збільшується. Для періоду відновлення, після фізичних навантажень, характерне збільшення синтезу білка.

Силове тренування може призвести до зміни типу м'язового волокна. В 20-тижневому експерименті, призначеному для отримання сили, були отримані дані, що свідчать про те, що середня кількість ШСб-волокон значно зменшилась, тоді як ШСа – збільшилась.

Тренувальні програми з розвитку сили дозволяють протягом 8–10 тижнів збільшити силу до 22 %. У спортсменів, що брали участь у дослідженні, які потім не тренувалися, спостерігали 68 % зниження збільшеної, внаслідок тренування, сили. У тих, хто продовжував тренуватися лише один день на тиждень, рівень сили не зменшувався протягом майже 12 тижнів.

4.6.4.2. Адаптація нервово-м'язової системи до аеробних навантажень. Адаптація нервово-м'язової системи до аеробних навантажень проходить через виконання великих обсягів тренувальних робіт. Інтенсивність навантаження повинна бути трохи більша порогу анаеробного обміну, що відповідає концентрації лактату в межах 3–4 ммоль·л⁻¹.

Залежно від рівня підготовки спортсменів, а також специфіки видів спорту, ПАНО досягають на рівні 40–50 % VO_{2max} з тривалістю роботи 30–40 хв. недостатньо треновані спортсмени. Для спортсменів більш високого класу (бігунів, лижників) стимуляційною фазою буде робота тривалістю 1–2 години з інтенсивністю від 80 до 90 % VO_{2max} . Для більшості спортсменів, які спеціалізуються в єдиноборствах і спортивних іграх, досягнення ПАНО проходить за інтенсивності 65–75 % від максимального споживання кисню.

Як відомо, між споживанням кисню і частотою серцевих скорочень існує лінійна залежність. Тому, для визначення раціональної інтенсивності виконання вправ за допомогою розвитку аеробного потенціалу спортсменів може слугувати реєстрація ЧСС (табл. 4.18).

Навантаження в межах 90 % і більше від VO_{2max} значною мірою залежить від включення в роботу ШС-волокон, яким необхідні анаеробні джерела енергії. В той же час, за інтенсивності навантаження, що не перевищує ПАНО (наприклад, при 60–70 % VO_{2max}) в роботі, в основному, використовуються ПС-волокна. Така робота може виконуватися досить тривалий час.

Тривалість вправ стимулюють адаптаційні процеси всього комплексу змін геодинаміки, метаболічних процесів, серцево-судинної та дихальної систем, що зрештою призводить до підвищення рівня витривалості.

Таблиця 4.18 – Залежність між ЧСС і VO_{2max} при м'язовій роботі (за: В. М. Платонов)

ЧСС за 1 хвилину	Максимальне споживання кисню, %
110-130	40-45
130-150	50-55
150-170	60-65
170-180	75-80
180-190	85-90
190-210	90-100

Для розвитку витривалості пропонується використовувати шкалу інтенсивності (табл. 4.19), яка складається з 6-ти зон інтенсивності: відновлювальна, підтримуюча, розвиваюча, економізації, субмаксимальна, максимальна.

Таблиця 4.19 – Шкала інтенсивності розвитку витривалості (за: А. Г. Рибківський)

Зона інтенсивності	ЧСС, що рекомендується після роботи тривалістю 1 хвилина
Відновлювальна	114-132
Підтримуюча	138-150
Розвиваюча	156-168
Економізації	174-186
Субмаксимальна	186-192
Максимальна	Більше 192

Адаптація організму спортсмена до анаеробних навантажень здійснюється на рівні перших чотирьох зон інтенсивності: відновлювальної, підтримуючої, розвиваючої та економізації.

У процесі тренування спортсменів, які спеціалізуються в спортивних іграх і до яких ставлять високі вимоги до рівня аеробної продуктивності, в першу чергу, це стосується футболістів та хокеїстів на траві, необхідно виконати досить великий об'єм роботи, спрямований на підвищення аеробного процесу енергозабезпечення. Аеробне тренування в невеликому

обсязі має вузько спрямований характер (наприклад, кросовий біг). Переважно, аеробні можливості розвиваються паралельно з вирішенням інших завдань – розвитком спеціальної витривалості, удосконаленням техніко-тактичної майстерності в умовах гри тощо.

Одним із основних чинників покращення показників витривалості є підвищення МСК. За даними досліджень МСК може підвищуватися від 15 до 39 % в перші 2–3 місяці тренування. Тренування протягом 9–24 місяців може збільшити МСК до 40–50 %. Проте, тривала аеробна робота може призвести до зміни ШСа- і ШСб-волокон, що значною мірою збільшує їх витривалість, але одночасно погіршується рівень прояву швидкісно-силових якостей. Тому, виникає небезпека у видах спорту з високими вимогами до швидкісно-силових якостей, збільшення обсягу аеробної роботи.

Адаптація нервово-м'язової системи до анаеробних навантажень супроводжується підвищенням алактатних і лактатних (гліколітичних) можливостей організму спортсменів.

4.6.4.3. Підвищення алактатних анаеробних можливостей.

Підвищення алактатних анаеробних можливостей спортсменів проходить під активним впливом вправ швидкісного і швидкісно-силового характеру. В результаті тренування алактатної анаеробної спрямованості збільшується щільність мітохондрій, що призводить до збільшення концентрації фосфагенів. Також відбувається підвищення активності ферментів, що визначають швидкість розщеплення ресинтезу фосфатів – креатинфосфокінази, міокінази тощо.

Вміст креатинфосфату в скелетних м'язах збільшується в процесі адаптації організму до швидкісних і силових фізичних навантажень в 1,5–2 рази, що впливає на ємність креатинфосфокіназного механізму енергозабезпечення м'язової діяльності.

Результативність у спринтерській і швидкісно-силовій роботі значною мірою обумовлено здатністю спортсменів до швидкої мобілізації великої кількості енергії за рахунок використання алактатних анаеробних джерел. Добре треновані і кваліфіковані спортсмени мають більш високу швидкість розпаду високоенергетичних фосфатів під час виконання високоінтенсивної роботи, ніж менш кваліфіковані спортсмени.

Потужність алактатних анаеробних джерел залежить від рівня підготовки і кваліфікації спортсменів, виражена в еквівалентах кисню та може коливатися у межах від 140 мл·кг⁻¹·хв⁻¹ – у недостатньо тренованих спортсменів до 200–250 мл·кг⁻¹·хв⁻¹ – у добре тренованих спортсменів. Цим визначається оптимальна тривалість вправ. У спортсменів відносно невисокої кваліфікації тривалість вправ швидкісно-силової спрямованості складає 10–15 с, у спортсменів високого спортивного рівня – до 20–25 с, а іноді й більше.

Під дією навантажень алактатної анаеробної спрямованості збільшуються показники ємності анаеробної системи енергозабезпечення.

Загальні запаси фосфогенів у нетренованих досліджуваних забезпечують енергію в кількості біля $420 \text{ Дж}\cdot\text{кг}^{-1}$ або $15,2 \text{ л}\cdot\text{хв}^{-1}$ споживання кисню, а у високотренованих спортсменів – в двічі більше.

Анаеробні алактатні джерела сприяють енергозабезпеченню м'язової роботи максимальної інтенсивності тривалістю 15–30 с (табл. 4.20).

Таблиця 4.20 – Енергозабезпечення м'язової роботи
(за: В.М. Платонов)

Джерело	Шляхи створення	Час створення	Термін дії	Тривалість максимального виділення енергії
Алактатні анаеробні	Креатинфосфокіназна і міокіназна реакції, АТФ м'язів	0	До 30 с	До 10 с
Лактатні анаеробні	Гліколіз з утворенням лактату	15-20 с	Від 30 с до 5-6 хв	Від 30 с до 1 хв 30 с
Анаеробні	Окислення вуглеводів і жирів киснем повітря	До 180 с	До декількох годин	2-5 хв

Результативність у прояві швидкісних і швидкісно-силових якостей значною мірою обумовлена здатністю спортсменів мобілізувати у м'язах велику кількість енергії за рахунок алактатних анаеробних джерел (АТФ і КФ).

4.6.4.4. Підвищення лактатних (гліколітичних) анаеробних можливостей. Лактатні (гліколітичні) анаеробні можливості спортсменів підвищується в результаті адаптації організму до навантаження субмаксимальної інтенсивності, які характеризуються, в першу чергу, гліколітичним механізмом енергозабезпечення м'язової діяльності. Як відомо, хімічні реакції, що призводять до забезпечення м'язів енергією, протікають в трьох енергетичних системах: 1) анаеробній алактатній (АТФ – КФ); 2) анаеробній лактатній (гліколітичній); 3) аеробній (окислювальній).

Гліколітична система забезпечення енергією м'язової роботи заснована переважно на механізмі анаеробного окислення вуглеводів – гліколізу.

Максимальна потужність гліколізу у добре тренованих спортсменів може складати $3,1 \text{ кДж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{хв}^{-1}$, а у нетренованих людей – $2,5 \text{ кДж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{хв}^{-1}$. Це дещо нижче, ніж потужність креатинфосфокіназної реакції, але в 2-3 рази вище потужності аеробного процесу. На максимальну потужність цей механізм виходить уже на 20–30 секунді після початку роботи. До кінця 1-ї хвилини роботи гліколіз стає основним механізмом ре синтезу АТФ.

Кількість АТФ, що отримується в результаті анаеробного гліколізу значно менша, ніж в результаті реакцій аеробного окислення. Так, повне окислення однієї молекули глюкози до CO_2 і H_2O призводить

довивільнення 39 молекул АТФ, а в процесі гліколізу використання 1 молекули глюкози призводить до утворення 3 молекул АТФ.

Одним із важливих показників росту ступеня тренуваності і адаптації до тренувальних навантажень анаеробної гліколітичної спрямованості є поріг анаеробного обміну (ПАНО). Величина ПАНО визначається за показниками концентрації молочної кислоти (лактата), рН крові, рівня легеневої вентиляції і «надлишкового» виділення вуглецю від потужності виконуваної роботи.

В процесі тривалої адаптації м'язової системи до анаеробної лактатної роботи відбувається значне збільшення вмісту у м'язах глікогену (до 3 разів), що слугує збільшенню потужності системи гліколізу. Найбільш ефективними для підвищення лактатної анаеробної продуктивності є вправи субмаксимальної інтенсивності тривалістю 2–4 хвилини.

Резюме

Якісне управління тренуванням спортсменів високої кваліфікації базується на закономірностях застосування тренувальних і змагальних навантажень. Урахування цих закономірностей дозволяє цілеспрямовано здійснювати ефективну підготовку спортсменів.

Основною ключовою ланкою під час підготовки та участі спортсменів до змагань є їх адаптація до тренувальних і змагальних навантажень, яка здійснюється в процесі окремих вправ та занять. Результатом адаптації є зміна внутрішніх систем організму спортсмена, їх пристосування до специфічних умов тренувальної і змагальної діяльності, що загалом призводить до підвищення рівня функціональної та фізичної підготовленості.

Використана та рекомендована література

Амосов Н. М., Бендет Я. А. (1989) Физическая активность и сердце. 3-е изд., перераб. и доп. К.: Здоров'я. 216 с.

Амосов М. М. (1990) Роздуми про здоров'я . К.: Здоров'я. 166 с.

Виру А. А. (1982) Физиология энергетического обмена. В кн. Физиология мышечной деятельности / Под ред. Я. И. Коца. М.: Физкультура и спорт. С. 412–420.

Вілмор Дж. Х, Костілл Д. Л. (2003) Фізіологія спорту. Київ : Олімп. література. 654 с.

Волков Н.И., Олейников В.И. (2011) Биоэнергетика спорта. М.: Советский спорт. 160 с.

Волков Н.И., Несен Э. Н., Осипенко А. А., Корсун С. Н. (2000) Биохимия мышечной деятельности .К.: Олимпийская література. 502 с.

Голлинк Ф., Германсен Л. (1982) Биохимическая адаптация к упражнениям: аэробный метаболизм // Наука и спорт. М.: Прогресс. С. 14–59.

Дембо А.Г. (1988) Врачебный контроль в спорте. М.: Медицина. 288 с.

Защиторский В. М., Алешинский С. Ю., Якунин Н. А. (1982) Биохимические основы выносливости. М.: Физкультура и спорт. 208 с.

Земцова І. І. (2008) Спортивна фізіологія: навч. посіб. Київ: Олімп. література. 206 с.

Карпман В. П., Хрущев С. В., Борисова Ю. А. (1978) Сердце и работоспособность спортсмена. М.: Физкультура и спорт. 120 с.

Карпман В. П., Белоцерковский З. Б., Гудков И. А. (1988) Тестирование в спортивной медицине. М.: Физкультура и спорт. 208 с.

Костюкевич В. М., Воронова В. І., Шинкарук О. А., Борисова О. В. (2016) Основи науково-дослідної роботи магістрантів та аспірантів у вищих навчальних закладах (спеціальність: 017 Фізична культура і спорт): Навчальний посібник. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД». 554 с.

Коц Я. М. (1986) Физиологические основы физических (двигательных) качеств // Спортивная физиология. М.: Физкультура и спорт. С. 53–105.

Медико-біологічне забезпечення підготовки спортсменів збірних команд України з олімпійських видів спорту: навчально-методичний посібник (2009). О. А. Шинкарук, О. М. Лисенко, Л. М. Гуніна [та ін.] ; ред. О. А. Шинкарук ; НУФВСУ. Київ : Олімпійська література. 144 с. : іл.

Мохан Р., Глессон М., Гринхафф П. (2001) Биохимия мышечной деятельности. К.: Олимпийская литература. 299 с.

Озолин Н. Г. (2003) Настольная книга тренера: Наука побеждать. М.: ООО «Издательство Астрель»: «Издательство АСТ». 863 с.

Петровский В. В., Андрианов Ю. Я., Дрюков В. А. (1984) Педагогическое управление процессом адаптации спортсменов к тренировочным нагрузкам // Адаптация спортсменов к тренировочным нагрузкам. К.: Вища школа. С. 3–10.

Платонов В. Н. (1988). Адаптация в спорте. К.: Здоров'я. 214 с.

Платонов В. Н., Булатова М. М. (1995) Фізична підготовка спортсмена. К.: Здоров'я. 320 с.

Платонов В. Н. (2013) Периодизация спортивной тренировки. Общая теория и ее практические применение. К.: Олимп. лит. 624 с.

Платонов В. Н. (2015) Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте: Общая теория и ее практические приложения. К.: Олимп. лит., Кн .2. С.916–940.

Романенко В. А. (1998) Диагностика двигательных способностей. Учебное пособие. Донецк: Изд-во ДонГУ. 300 с.

Рыбковский А. Г. (1998) Управление двигательной активностью человека (системный анализ). Донецк, ДонГУ. 300 с.

Спортивна медицина: учебник для студентов высших учебных заведений физического воспитания и спорта (2016)/ Л. Я.–Г. Шаплина,

Б.Г. Коган, Т.А. Терещенко, В.П. Тищенко, С.М. Футорный// под общ. ред. Л. Я.–Г.Шахлиной. Киев: Наукова думка. С.173–198.

Спортивная медицина. Справочное издание (2003). М.: Терра-спорт. 240 с.

Спортивна морфологія та фізіологія спорту і фізичного виховання у запитаннях та відповідях: навч. посіб. / [Л.С. Вовканич, Д.І. Бергтраум, М.Я. Гриньків та ін.] (2014). Вид. 2-е, доп. Львів: Сполом. 113 с.

Уилмор Дж.Х., Костілл Д.Л. (1997) *Физиология спорта и двигательной активности: Пер. с англ.* К.: Олимпийская литература. 503 с.

Физиологическое тестирование спортсменов высокого класса: [научно – практическое руководство] / науч. ред. Дж.Д. Мак Дугал, Г.Э. Уэнгер, Г.Дж. Грин (1998). Киев: Олимпийская литература. 431 с.

Шкретій Ю., М. (2005) *Управління тренувальними і змагальними навантаженнями спортсменів високого класу*. К.: Олімпійська література, 2005. 257 с.

Яковлев Н.Н.(1974) *Биохимия спорта*. М.: Физкультура и спорт. 278 с.

Яремко Є.О. Вовканич Л. С. (2014) *Фізіологія фізичного виховання і спорту* : навч. посіб. Львів: ЛДУФК. 192 с.

Astrand P., Rodahl K. (1997) *Textbook of Work Physiology: Physiological bases of exercise (sec.ed.)* // New–York: McGraw Hill Book co. 584 p.

Andersen K. *Fundamentals of exercise testing.* / K. Andersen, R. Shephard WHO, Geneva, 1971. – 135 p.

Brooks G.A., Fahey T.D., Baldwin K.M. (2004) *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and its Applications.* 4th edn. New York: McGraw-Hill. Pp. 149–150. 43, 137, 147.

Broucha L. (1960) *Physiology in industry.* New York, Pergamon. 262 p.

Hoffman J. (2014) *Physiological Aspects of Sport Training and Performance, Second Edition Human Kinetics.* 520 p.

Sale D.I. (1988) *Neural adaptation to resistance training Medicine und Science in sports and Exercise.* S. 135–145.

Sjostrand T. (1955) *Das sport berz. Disch Med. Wsch.,* 25. P. 963–966.

Запитання для самоконтролю

1. Що ви розумієте під адаптацією?
2. Дайте визначення термінової та довготривалої адаптації.
3. В чому проявляються фізіологічні механізми адаптації до навантажень?
4. Охарактеризуйте серцево-судинну систему адаптації до фізичних навантажень через основні показники гемодинаміки: ЧСС, ударний об'єм серця, артеріальний тиск, хвилинний об'єм серця, судинний опір, регіональний кровоток.
5. Дайте характеристику адаптації дихальної системи до фізичних навантажень.
6. У чому заключаються механізми прояву таких показників як: споживання кисню, МСК, кисневий борг, кисневий запит, ПАНО.
7. Охарактеризуйте енергетичні витрати організму спортсмена.
8. Які основні особливості адаптації нервово-м'язової системи до фізичних навантажень?
9. Як класифікуються м'язові волокна і в чому проявляється функція волокон різних типів?
10. Охарактеризуйте нервово-м'язову адаптацію у силовій підготовці.
11. Що ви розумієте під гіпертрофією м'язів?
12. Через які механізми здійснюється адаптація нервово-м'язової системи до аеробних навантажень?
13. Які Ви знаєте зони інтенсивності для розвитку витривалості?
14. Через які фізіологічні механізми відбувається розвиток алактатних анаеробних можливостей спортсменів?
15. У чому заключається основна сутність адаптації організму спортсменів до гліколітичних навантажень?