

## **15. НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПІДГОТОВЛЕНОСТІ СПОРТСМЕНІВ, ЯКІ СПЕЦІАЛІЗУЮТЬСЯ У ВИДАХ СПОРТУ, ЩО ПОТРЕБУЮТЬ ВИСОКОГО РІВНЯ ПРОЯВУ ВИТРИВАЛОСТІ**

*Кронта Р. В., Грузевич І. В.*

Застосування медико-біологічних методів діагностики функціональних можливостей в традиційному поєднанні з педагогічними засобами контролю, з урахуванням вимог виду спорту, багато в чому сприяє підвищенню ефективності оцінки властивостей і здібностей організму спортсменів, раціональному плануванню тренувальних і змагальних навантажень протягом року, етапу підготовки, дозволяє індивідуалізувати тренувальні і змагальні навантаження.

Дослідження і оцінка функціональної підготовленості спортсменів в конкретних умовах того чи іншого виду спорту, не можлива без урахування уявлень про шляхи та механізми енергозабезпечення м'язових волокон, причин розвитку втоми та ін. в органічному взаємозв'язку з техніко-тактичними здібностями спортсменів [5, 9, 14]. У циклічних видах спорту оптимізація функціональної підготовленості пов'язана з направленим вдосконаленням трьох основних компонент, які визначають результативність змагальної діяльності, перша з яких – потужність біоенергетичних процесів та ефективність реалізації як аеробних, так і анаеробних можливостей м'язів [3, 4, 8], друга – ефективність техніки виконання змагальної локомоції [1, 11], яка безпосередньо впливає не тільки на швидкість проходження дистанції, а й визначає третю компоненту – економічність і узгодженість роботи функціональних систем, які забезпечують рухову діяльність спортсмена [4, 10, 18]. У зв'язку з цим науково-методичне забезпечення спортивної підготовки має бути пов'язано в першу чергу з обґрунтуванням тих підходів до оцінки підготовленості, які з високою вірогідністю дозволять вивчати весь комплекс функціональних можливостей організму спортсмена, що визначають рівень готовності окремих функцій та організму в цілому до спортивних досягнень.

Пошук шляхів вирішення зазначеної проблеми привело до появи в науково-методичній літературі поняття «функціональна підготовленість спортсмена», що відображає медико-біологічну характеристику стану організму спортсменів. Його введення обумовлено, насамперед, постійним розширенням і поглибленням знань про весь комплекс процесів, безпосередньо відбуваються в організмі спортсменів під впливом виконання тренувальної роботи будь-якої спрямованості [7, 16] і до сьогоднішнього дня в більшій мірі використовується в спортивно-педагогічних дослідженнях, ніж у фізіологічному аналізі.

Функціональна підготовленість (стан) – інтегральна характеристика функцій і якостей людини, які прямо чи опосередковано зумовлюють ефективність змагальної діяльності [11].

У циклічних видах спорту, функціональна підготовленість розглядається як основа забезпечення роботоздатності спортсменів в умовах безпосереднього проходження відповідної змагальної дистанції або виконання змагальної вправи. Отже, функціональні можливості органів і систем, що забезпечують змагальну діяльність, визначають характер і тривалість змагальної роботи. Наприклад,

відомо, що найбільші значення показників аеробної потужності фіксуються у спортсменів при специфічній змагальній локомоції [21, 32, 30] і в специфічних умовах змагальної діяльності [12, 38].

Досить великою проблемою оцінки і корекції функціональної підготовленості спортсменів засобами тренування є відсутність на сьогоднішній день уніфікованого понятійного апарату, системи оцінки та методологічної основи функціональної підготовленості спортсменів. Так, функціональну підготовленість пов'язують, насамперед, з можливостями нервово-м'язової та кардіо-респіраторної системи, а також ефективністю біоенергетичних процесів в організмі спортсменів, а її діагностика заснована на комплексній оцінці різних функцій організму [10, 18, 22, 29], дослідженні систем енергозабезпечення [3], вегетативних функцій [11, 24, 26, 31, 33, 37], фізіологічної реактивності [11], нервово-м'язової системи [13].

З іншого боку, можна стверджувати, що в процесі спеціалізованого спортивного тренування відбувається формування певної рухової функціональної системи, відповідальної за пристосувальні зміни в організмі спортсмена в умовах напруженої м'язової діяльності, яка найбільш ефективно діє в умовах конкретної локомоції. У цьому зв'язку, функціональна підготовленість організму спортсмена відображає стан готовності рухової функціональної системи, що забезпечує роботоздатність в певному виді рухової діяльності [11, 20].

Досягнення кінцевої мети досліджень функціональної підготовленості спортсмена – оптимізації управління підготовкою та змагальною діяльністю на основі об'єктивної інформації про підготовленість спортсменів [2, 3, 5, 16, 22, 38], часто ускладнено неможливістю відтворення специфічних умов тренувальної та змагальної діяльності в лабораторних умовах вивчення функціональних можливостей і роботоздатності спортсменів [1, 5, 7, 12, 16, 24]. Достатньо ефективно вирішення вказаної проблеми досягається за рахунок використання спеціалізованих ергометрів, обґрунтованих протоколів тестування, що враховують особливості змагальної діяльності, а також інструментальних методів оцінки функціональних можливостей нервово-м'язової та кардіореспіраторної систем, біохімічних методів дослідження крові спортсменів.

Методологічною основою дослідження функціональної підготовленості спортсменів є одночасне вимірювання двох груп показників: роботи, яку виконує спортсмен в умовах тесту у та рівня фізичного навантаження під час її виконання (рис. 1). Лише співвідношення в реальному масштабі часу потужності роботи з рівнем напруги під час її виконання дає можливість отримувати достовірні відомості щодо стомлення, відновлення та рівня фізичної роботоздатності, сильні і слабкі сторони функціональної підготовленості спортсмена (табл. 15.1).



Рис. 15.1. Методологічні основи дослідження функціональної підготовленості спортсменів: Рудими стрілками показана послідовність станів, що виникають в організмі спортсмена під впливом фізичних навантажень; жовтими стрілками – додаткові фактори, які мають вплив на окремі стани.

Таблиця 15.1

### Основні поняття, на визначенні яких ґрунтується дослідження функціональної підготовленості спортсменів

Поняття	Зміст поняття	Чим вимірюється
Робота (потужність)	Рухові дії, які виконує спортсмен (циклічні, ациклічні, силові, швидко-силові, на витривалість, то що)	Показниками потужності (Вт, $\text{кгм}\cdot\text{с}^{-1}$ ), швидкості руху ( $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ ), вагою (кг) та ін.
Навантаження (інтенсивність)	Міра впливу фізичної роботи на організм спортсмена, яка відображається у рівні активності функцій	Показниками ЧСС ( $\text{уд}\cdot\text{хв}^{-1}$ ) споживання кисню ( $\text{л}\cdot\text{хв}^{-1}$ ), вентиляції легень, та ін.
Напруга	Рівень «важкості», що виникає в організмі спортсмена під час фізичної роботи	Показниками ЧСС (% від $\text{ЧСС}_{\text{max}}$ ) споживання кисню (% від МСК), вентиляції легень, та ін.
Стомлення	Тимчасове зменшення фізичної роботоздатності спортсмена	Показниками фізичної роботоздатності та фізіологічними зрушеннями в організмі
Відновлення	Повернення організму до вихідного стану	Показниками швидкості відновлення

#### 15.1. Ергометрія як метод дослідження функціональних можливостей організму кваліфікованих спортсменів

Ергометрія у сучасних дослідженнях є найбільш поширеним методом оцінки фізичної роботоздатності спортсменів що пов'язано з можливостями моделювати змагальні локомоції та уніфікацією розрахунку показників потужності роботи.

Потужність роботи спортсмена при застосуванні бігових ергометрів (оцінка потужності ходьби, бігу, бігу на лижних ролерах та ін.) побудована на урахуванні

швидкості руху доріжки (спортсмена), градієнту підйому в гору та маси спортсмена (рис. 15.1.2а) і має загальний вигляд:

$$P = M \times d \times \sin \alpha \times t^{-1}, \quad (1)$$

де:  $P$  – потужність, Вт;  $M$  – маса тіла спортсмена, кг;  $d$  – дистанція, м;  $\sin \alpha$  – кут підйому, градус;  $t$  – час, с.



Рис. 15.1.2. Принципи визначення потужності роботи спортсмена на різних ергометрах:

а) *тредбан-ергометри*: в залежності від швидкості руху полотна ергометра, центр ваги спортсмена переміщується на відстань  $d$  за певний час ( $t$ ), знижуючись на висоту  $h$  (за умови руху вгору під кутом  $\alpha$ ); для підтримання сталого положення у просторі, спортсмен повинен рухатись зі швидкістю, яка відповідає швидкості руху полотна ергометра, виконуючі роботу, як вказано у формулі (1).

б) *ергометри з обертанням «барабану»*: швидкість обертання «барабану» ергометра задається частотою рухів спортсмена, а також м'язовим зусиллям у кожному русі; потужність визначається шляхом реєстрації частоти обертів колеса  $\eta$  та сили протидії повітря або тормозного пристрою  $F$  (у випадку роботи на велосипеді, потужність визначається лише реєстрацією частоти обертання колеса  $\eta$  та враховується радіус колеса).

Враховуючі, що ергометр вимірює власні параметри роботи, кожен виробник виробних бігових доріжок самостійно розраховує коефіцієнти обертання валів доріжки, спротиву полотна та ін. і вводить вираховані коефіцієнти в розрахунок потужності. Прикладом результату цього є формула розрахунку потужності для бігових ергометрів від відомого виробника дослідницького обладнання «Jaeger» (Німеччина):

$$P = \frac{(V \cdot M \cdot (2,11 + 0,25\alpha) + 2,2 \cdot M - 151)}{10,5}, \quad (2)$$

де:  $P$  – потужність, Вт;  $V$  – швидкість руху, км·год<sup>-1</sup>.;  $M$  – маса тіла спортсмена, кг;  $\alpha$  – градієнт підйому, %.

Використання ергометрів барабанного типу (велоергометри, веслові ергометри, ергометри для плавання тощо) має інші принципи визначення характеристики роботи, побудовані на реєстрації частоти обертання барабану оптичними або електричними засобами. Відомий виробник веслових та лижних ергометрів «барабанного» типу (рис. 2б) «Concept» (США), ергометри якої найбільш затребувані сьогодні на ринку веслових тренажерів, для розрахунку робочих параметрів використовує залежність:

$$P = \frac{2,8}{V^3}, \quad (3)$$

де  $P$  – потужність, Вт;  $V$  – швидкість подолання дистанції, с; 2,8 – коефіцієнт опору ергометра, підтверджений численними дослідженнями. Зазначена модель легко дозволяє розрахувати швидкість «руху» спортсмена по дистанції:

$$V = \sqrt[3]{\frac{P}{2,8}} \quad (4)$$

Враховуючі, що величина опору в умовах веслування на воді вже не буде константою, тому для веслування на воді модель (3) матиме вигляд [34]:

$$P = \frac{DFB}{V^3} \quad (5)$$

де  $DFB$  - коефіцієнт опору човна, різний щодо маси весляра і класу човна.

Крім того, потужність, що розвивається спортсменом на ергометрі, в умовах веслування на воді не вся використовується для просування човна вперед. Це умова вимагає певної поправки на пропульсивний коефіцієнт весла  $E$ , середнє значення якого для всіх класів академічних суден близько 81,6%.

З урахуванням цього, модель розрахунку швидкості (4) для веслування на воді буде мати такий вигляд [34]:

$$V = \sqrt[3]{\frac{P}{DFB}} E \quad (6)$$

Наявність двох змінних величин в моделі (6), пов'язаних з морфологічними особливостями спортсменів і швидкістю човна дозволяє встановити певні співвідношення між результатами, показаними спортсменом на ергометре і на воді і успішно переносити результати лабораторного тестування на ергометрі на показники тренувальної і змагальної діяльності веслярів.

У процесі багаторічного спортивного вдосконалення значущість критеріїв оцінки функціональної підготовленості змінюється в залежності від особливостей етапу підготовки, характеру тренувальних засобів і методів, підготовленості і кваліфікації спортсменів [2, 5, 12, 22]. При цьому нормативні основних показників, що характеризують функціональну підготовленість, встановлюються виключно за результатами тестування спортсменів в лабораторних умовах на ергометрах, без урахування технічної частини. У цьому, власне, і полягає одна з провідних проблем контролю спеціальної підготовленості і функціональних можливостей організму спортсменів в спорті – низька надійність екстраполяції результатів діагностики компонент спеціальної підготовленості, досліджуваних в лабораторних умовах, на спеціальну роботоздатність спортсменів, що реалізується в умовах змагальної діяльності.

Надійність лабораторних досліджень та ефективність висновків істотно знижується у зв'язку з механічними відмінностями в роботі на ергометрах і в природних умовах, що принципово впливає на рівень реалізації функціональних резервів спортсмена. У зв'язку з цим актуальності набуває проблема вдосконалення дослідницьких процедур в лабораторії і на воді, розробка такої дослідницької стратегії, які дозволила б об'єктивно оцінити підготовленість спортсмена або команди за результатами діагностики спеціальної підготовленості.

Сучасна практика оцінки функціональної підготовленості спортсменів орієнтована на використання великого комплексу показників, досить об'єктивно відображають інформацію про функціональні можливості кардіо-респіраторної системи організму спортсменів, одержуваних в умовах, що моделюють спеціальну роботу. У ході дослідження вивчаються особливості реакції дихання і кровообігу на стандартні та індивідуально-максимальні навантаження, що з певною мірою достовірності дозволяє досліджувати рівень функціональної підготовленості спортсменів в умовах виконання моделюючих навантажень [5, 9, 16, 26, 29, 37].

Програма такого дослідження як правило побудована на послідовному виконанні декількох тестових навантажень з інтервалами пасивного відпочинку, тривалістю від однієї хвилини або до повного відновлення [2, 11, 12]. В ході тестувань найчастіше застосовуються:

- тести зі «стандартним» рівномірним навантаженням: навантаження однакове для всіх спортсменів (дозується у  $\text{Вт}\cdot\text{кг}^{-1}$  маси тіла); дозволяють оцінити економічність і порівнювати спортсменів в групі;
- тест зі східчасто-зростаючим навантаженням: (рамповий тест, PWC-170): призначений для комплексної оцінки функціональних можливостей спортсменів, визначення анаеробного порогу і граничних меж роботоздатності;
- тести з одноразовою граничною роботою: (10, 60, 90, 120 секунд) призначені для оцінки анаеробної роботоздатності;
- тести з повторною граничною роботою: ( $3\times 90$  з інтервалом 90 с) призначені для оцінки анаеробної витривалості;
- тест на утримання «критичної» потужності роботи: призначені для оцінки аеробної витривалості, здатності спортсмена протистояти втомі
- тести, що моделюють подолання змагальної дистанції: дозволяють оцінити спеціальну роботоздатність спортсмена.

Кожна із застосовуваних навантажень дозволяє вирішити певні діагностичні задачі.

Рівномірне навантаження тривалістю 5-6 хвилин, потужність якої розраховується відносно маси тіла спортсмена:

$$P = 3,5 \times m, \quad (7)$$

що складає близько 60% від дистанційної потужності фізичної роботи (зона помірної потужності з В.С. Фарфелем) і дозволяє досліджувати параметри розгортання функцій дихання і кровообігу в аеробних умовах, стандартизованих для всіх спортсменів.

Східчасто-зростаюче навантаження, в якому потужність поступово збільшується через однакові проміжки часу на однакову кількість ватт, а загальна кількість «сходинок» обмежується неможливістю підтримувати задану потужність навантаження, дозволяє отримати дані, що характеризують потужність роботи спортсмена, фізіологічні та метаболічні реакції в умовах аеробно-анаеробного переходу. Найбільш цінним результатом тесту із зростанням потужності роботи є розрахунок індивідуальних зон переважної

спрямованості тренувальних навантажень на основі аналізу комплексу процесів аеробно-анаеробного переходу.

Максимальне навантаження тривалістю 30-120 с дозволяє виявити особливості реалізації анаеробного енергозабезпечення.

Навантаження критичної потужності, також використовується в ході комплексної оцінки функціональної підготовленості, дозволяє досліджувати стійкість реакції кардіо-респіраторної системи в умовах роботи на рівні максимального споживання кисню [6].

### **15.2. Фізіологічні і біохімічні методи дослідження функціональних можливостей організму кваліфікованих спортсменів**

Сучасна оцінка реакції кардіореспіраторної системи спортсменів у процесі виконання тестів забезпечується автоматизованими дослідницькими комплексами (рис. 15.3), що реєструють показники зовнішнього дихання, газового складу повітря, що видихається («Oxcon», «Cosmed» тощо), реєстраторами ЧСС («Polar», «Garmin», «Sounto» та ін.), що забезпечують пряме вимірювання наступних показників:

- частоти дихання (діх.рух. · хв<sup>-1</sup>);
- обсягу повітря, що видихається (л);
- концентрації O<sub>2</sub> і CO<sub>2</sub> у видихуваному повітрі (FEO<sub>2</sub>, FECO<sub>2</sub>, %);
- частоти серцевих скорочень (ЧСС, уд · хв<sup>-1</sup>).

На підставі зареєстрованих даних розраховуються понад 100 показників діяльності кардіо-респіраторної системи, енерговитрат під час роботи, співвідношення роботи різних систем організму. Розрахунки ґрунтуються на відомих фізіологічних моделях і дозволяють з високою мірою достовірності оцінити прояв функціональних можливостей організму спортсменів.

Дані, отримані при аналізі повітря, що видихається і пульсометрії доповнюються біохімічними показниками крові. Такий аналіз також автоматизований і проводиться з використанням біохімічних аналізаторів («LP 400», «BIOSEN C-Line»). При комплексному обстеженні спортсменів найбільш часто досліджуються показники концентрації гемоглобіну (Hb, мМоль · л<sup>-1</sup> крові) і лактату (La, мМоль · л<sup>-1</sup> крові). Забір крові для дослідження лактату проводиться під час виконання тестів і під час відновлення [8, 14].



*Рис. 15.3. Дослідження функціональних можливостей спортсменів в звичайних умовах тренування (лижний стадіон) та в лабораторних умовах (веслування на ергометрі).*

*Безпосередньо на спортсменах надіти тестуючі прилади: спірогазоаналітичний комплекс з маскою і пульсометр. Для оцінки потужності бігу на лижах використовувався датчик GPS-навігації (закріплений на передпліччі спортсменки) який реєструє швидкість бігу та перепад висоти (кут нахилу).*

Достовірна оцінка функціональної підготовленості спортсменів також потребує врахування техніки рухів, рівня технічної підготовленості, що істотно впливають, перш за все, на можливості реалізації функціонального потенціалу спортсменів. Наприклад, такі дослідницькі завдання як дослідження готовності спортсмена підтримувати необхідну змагальну швидкість переміщення в умовах стомлення, бажано вирішувати в умовах, максимально наближених до умов змагальної діяльності. Головною умовою для вибору того чи іншого тесту серед величезної кількості рекомендованих, може бути простота виконання і незначна стомлюваність (що, безумовно, значимо для спортсмена) і висока інформативність і надійність тесту. У 60-70 роках для вирішення таких завдань рекомендувалися повторні тести.

Наприклад, для оцінки підготовленості веслярів пропонувався тест 2×1000 метрів: 1000 м з максимальною швидкістю плюс 1000 м з підтриманням модельної швидкості з інтервалом відпочинку між підходами 5 хвилин. У ході дослідження отримували дані про можливість підтримувати доступну даного екіпажу швидкість, виявлялися функціональні (пульсометрія, біохімічний аналіз лактату) і технічні (кіно- чи відеозйомка) чинники, що обмежують швидкість спортсмена або екіпажу.

Також високу ефективність показав тест із збільшенням частоти рухів спортсменів [1, 34]. Суть тесту полягає в подоланні 5-6 відрізків фіксованою тривалості (200, 250 або 500 м). Основною умовою тесту є утримання заданої для кожного відрізка частоти рухів (наприклад – 20, 24, 28, 32, 36, 40 гребків у веслуванні академічному при максимальному зусиллі в кожному гребку). Алгоритм розрахунку на основі аналізу темпу веслування і прокату човна дозволяє з високим ступенем достовірності оцінити швидкість веслування спортсмена (екіпажу), виявити найбільш раціональний темп роботи для змагальної діяльності. Методика орієнтована на облік переважно технічного боку роботи гребний механічної системи. Її інформативність може бути підвищена при паралельній реєстрації функціональних параметрів (ЧСС, лактат).

Для ігрових видів спорту, актуальним є використання так званого тесту «йо-йо», в ході якого спортсмени виконують човниковий біг на дистанції 20-25 метрів з поступовим збільшенням швидкості руху. Частота шагів задається спортсмену метрономом. Такій тест є максимально наближеним до умов змагальної діяльності в іграх, де постійно присутній компонент зміни напрямку руху спортсмена.

Дані літератури [3, 22, 38] свідчать, що функціональна підготовленість спортсменів пов'язана як з гліколітичними так і з аеробними можливостями м'язів. Дослідниками [9, 12, 14, 20] показано взаємозв'язок між потужністю роботи, споживанням кисню при її виконанні і величиною лактату, зафіксованої у спортсменів високого класу. Так, аеробні можливості спортсменів дозволяють підтримувати потужність роботи тривалістю 6 хвилин на рівні 360±40 Вт



(близько  $3,67 \text{ Вт} \cdot \text{кг}^{-1}$  ваги тіла), що тісно пов'язано біомеханічною структурою рухів в локомоції, масою тіла спортсмена. Інтенсивність споживання кисню під час такої становить роботи близько  $55 \text{ мл} \cdot \text{хв} \cdot \text{кг}^{-1}$  у спортсменів, що відповідає величині споживання кисню близько  $5 \text{ л} \cdot \text{хв}^{-1}$  [14]. Величина лактату при такій роботі практично не змінюється. Збільшення потужності роботи до  $450 \pm 50 \text{ Вт}$ , можливо за рахунок активного використання і аеробних і анаеробних можливостей – відбувається досягнення меж споживання кисню, концентрація лактату в артеріальній крові істотно збільшується [11, 14].

Додаткові можливості оцінки функціональних можливостей спортсменів пов'язують з використанням так званих «супрамаксимальних тестів» з потужністю роботи 110-130% від максимальної потужності. При такому підході досліджуються резервні можливості переважно анаеробного метаболізму на основі оцінки акумульованого кисневого дефіциту ( $AO_2D$ ). В основі методу лежить рекомендована Saltin [37] і Shepard [38] концепція виміру анаеробної енергії при виснажливій роботі. Вдосконалений Medbo et al. [35], даний метод дозволяє оцінювати анаеробний резерв в спеціальних тестах [6, 35], на основі лінійної екстраполяції залежності і потужності навантаження на супрамаксимальний рівні потужності з подальшим розрахунком величини акумульованого кисневого дефіциту, що використовується як критерію максимальної анаеробної потужності, що детермінують, спільно з показником максимального споживання кисню спеціальну роботоздатність спортсменів [35]. Модель (7) є прикладом визначення рівня спеціальної підготовленості спортсменів у циклічних видах спорту на основі визначення показників максимального споживання кисню та максимального акумульованого кисневого дефіциту:

$$T_{2000} = 6,603 - 0,022 \times AO_2D + 0,012 \times \dot{V}_{O_{2\max}}, \quad (7)$$

де  $T_{2000}$  - час подолання змагальної дистанції (хв);  $AO_2D$  – акумульований кисневий дефіцит (мл);  $\dot{V}_{O_{2\max}}$  – максимальне споживання кисню ( $\text{мл} \cdot \text{хв} \cdot \text{кг}^{-1}$ )

Завершальним етапом оцінки функціональної підготовленості є аналіз, який проводиться за спеціально розробленим алгоритмом [11]. У ході аналізу розраховується комплекс показників, що дозволяють диференціювати такі провідні фактори функціональної підготовленості, як аеробна і анаеробна потужність, граничні можливості кардіо-респіраторної системи щодо транспорту респіраторних газів, ємність буферних систем крові, стійкість організму до дії ацидозу і лактату, швидкість розгортання вегетативних систем, тощо.

При трактуванні результатів такого тестування необхідно пам'ятати, що така формалізована оцінка дозволяє виявити «відстаючі» чинники або ранжувати спортсменів за рівнем прояву функціональних можливостей кардіо-респіраторної системи в умовах, що моделюють роботу весляра на тренуванні або на змаганнях. Будь-яке використання результатів формалізованої оцінки структури функціональної підготовленості для відбору або комплектування команд, апроксимація їх на спортивний результат спортсменів методично не виправдана. Для цих цілей необхідно використовувати безпосередньо комплекс

досліджуваних показників, вивчивши їх автентичність для певного виду спорту, що можливо тільки на основі фундаментальних біологічних досліджень.

### **15.3. Методи визначення показників аеробно-анаеробного переходу в дослідженні функціональних можливостей організму кваліфікованих спортсменів**

Оцінка функціональної підготовленості спортсменів у видах спорту, які потребують прояву витривалості в значній мірі ґрунтується на дослідженні процесів аеробно-анаеробного переходу з подальшим визначенням індивідуальних зон переважної спрямованості тренувальних навантажень.

Аеробно-анаеробний перехід – функціональні зміни в організмі спортсмена, зумовлені поступовим рекрутуванням рухових одиниць різних типів під впливом навантаження, що східчасто зростає.

Дослідження процесу аеробно-анаеробного переходу пов'язано з індивідуалізацією процесу функціональної підготовки спортсменів, а саме:

- з можливістю визначення індивідуальних меж зон інтенсивності фізичного навантаження, на основі дослідження «порогів навантаження» – аеробного порогу та анаеробного порогу фізичного навантаження;

- з можливістю вивчення індивідуальної адаптації людини до фізичних навантажень (тобто, ефективності дії програми підготовки), на основі дослідження динаміки «порогів навантаження» у часі.

Вихідними передумовами використання критеріїв аеробно-анаеробного переходу для оцінки функціональної підготовленості і спеціальної роботоздатності спортсменів, розвитку витривалості у циклічних видах спорту можна вважати класичні дослідження ролі молочної кислоти при м'язовому скороченні – роботи Гельмгольца (1845), які встановили накопичення речовин, здатних розчинюватись у спиртах, в м'язі; дослідження Дюбуа-Раймона (1859), який констатував в експерименті зрушення рН стомлених м'язів в кислу сторону і Спіро (1870), що визначили причину зазначених процесів – накопичення молочної кислоти. Ці факти, узагальнені в роботах Мейергофа (1926) і фундаментальні дослідження 60-80 рр. ХХ ст. [8, 18, 22, 24, 27, 29, 31, 37, 38] істотно змінили уявлення про метаболічні і функціональні зміни в організмі під впливом фізичних навантажень.

Сучасні автори, багато в чому переосмислюючи роль аеробних і гліколітичних процесів в забезпеченні роботоздатності м'язів, значущість впливу ацидозу і лактату на прояв і лімітування функціональних можливостей [8, 18, 22, 24, 27, 29, 31, 37, 38], в повній мірі підтверджують практичну значущість дослідження аеробно-анаеробного переходу для якісного управління тренувальними навантаженнями в спорті.

Існуюча сьогодні можливість визначати інформативні ергометричні параметри під час тестування спортсменів призвела до впорядкування понять про метаболічні зміни в м'язах, які обумовлюють динаміку і порушення газообміну, розвиток стомлення при виконанні фізичних вправ. Як було з'ясовано, аеробно-анаеробний перехід визначає ефективність енергетичного регулювання, впливає на величину споживання  $O_2$  і в кінцевому рахунку на здатність спортсмена виконати необхідну тренувальну роботу. Особливо цей аргумент важливий у

контексті факту, що на сучасному етапі розвитку спорту, в дисциплінах, що вимагають прояви витривалості, швидкість подолання змагальної дистанції вимагає від спортсмена роботи потужністю вище рівня аеробно-анаеробного переходу, тобто в умовах збільшення ацидозу. Тому контроль показників аеробно-анаеробного переходу – аеробного порогу і анаеробного порогу – визнаний корисним для визначення оптимальної інтенсивності тренувальних навантажень відповідно до програми підготовки спортсменів.

Ефективність управління тренувальними навантаженнями за показниками аеробно-анаеробного переходу визначило існуюче різноманіття підходів до його кількісної оцінки (табл. 15.3.2). Сьогодні набули поширення кілька методів оцінки показників аеробно-анаеробного переходу на основі реєстрації фізіологічних і метаболічних показників в умовах тесту зі «східчастим» збільшенням потужності, характеристики якого (швидкість або потужність роботи, кількість і тривалість «сходинок» тощо) визначаються специфічними особливостями змагальної діяльності (табл. 15.3).

За методом визначення показників анаеробного-анаеробного переходу, у літературних джерелах вирізняють:

- «лактатний» поріг;
- «вентиляторний» поріг;
- «точка Conconi», або «пульсовий» поріг.

Таблиця 15.2

### Основні підходи до визначення показників аеробно-анаеробного переходу у спортсменів

Автор (рік)	Авторська назва показника	Спосіб визначення
1	2	3
Wasserman K. at al. (1964, 1973)	Anaerobic threshold	Потужність роботи, при якій динаміка $RQ$ різко зростає
	Anaerobic threshold	Потужність роботи, при якій лактат крові досягає концентрації $4 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$ і прогресивно збільшується
Волков Н.И. и др. (1969)	Анаеробний поріг	Потужність роботи, при якій починається експоненційне зростання $\text{ExhCO}_2^3$ : $\text{ExhCO}_2 = \dot{V}_{\text{CO}_2} - RQ_n \cdot \dot{V}_{\text{O}_2}$ <p>где <math>\text{ExhCO}_2</math> – екссес <math>\text{CO}_2</math> (<math>\text{мл} \cdot \text{хв}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}</math>); <math>\dot{V}_{\text{CO}_2}</math> – рівень віділення <math>\text{CO}_2</math> (<math>\text{мл} \cdot \text{хв}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}</math>); <math>RQ_n</math> – респіраторний коефіцієнт у стані відносного спокою (у.о.); <math>\dot{V}_{\text{O}_2}</math> – споживання <math>\text{O}_2</math> (<math>\text{мл} \cdot \text{хв}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}</math>).</p>
Conconi at al. (1982)	Anaerobic threshold	Швидкість бігу, при якому фіксується другий «злам» сигмоподібної кривої «ЧСС – потужність» у відповідь на зростання швидкості руху

<sup>3</sup> За даними Горизонтова П.Д. і Сиротиніна Н. Н. (1973) динаміка цього метаболічного показника при м'язовій роботі достовірно відображає зміни концентрації молочної кислоти і бікарбонатів крові.

<i>Продовження табл. 15.2</i>		
1	2	3
Мищенко В.С. (1990, 1997)	ПАНО <sub>2</sub>	Потужність роботи, при якій спостерігається різке підвищення рівня лактату крові; Потужність роботи, де реєструється найменший рівень показника вентиляторного еквіваленту за СО <sub>2</sub> з його подальшим стабільним підвищенням.
Мякинченко Е.Б., Селуянов В.Н. (1991, 2005)	Аеробний поріг (АеП); анаеробний поріг (АнП)	АеП за першим «зломом» кривої « $\dot{V}_E$ – потужність», АнП – за другим «зломом» і моментом перетину цієї кривої з лінією, паралельною вихідному напрямку кривої « $\dot{V}_E$ – потужність».

«Лактатний поріг» визначають як потужність роботи (рівень фізичного навантаження), при яких спостерігається початок поступового зростання (аеробний поріг) а потім – різкого, експоненційного зростання (анаеробний поріг) кількості лактату крові. Відомо, що в середньому, поступове зростання спостерігається при досягненні рівня лактату крові 2 ммоль·л<sup>-1</sup> крові, тоді як різке – при досягненні рівні лактату крові 4 ммоль·л<sup>-1</sup> крові, але існують значні індивідуальні розбіжності. Згідно огляду Beneke R., в практиці підготовки спортсменів використовуються більше 30 способів оцінки лактатного порогу [25]. Широко поширені методи, засновані на використанні певної концентрації лактату крові, а саме – 4 ммоль·л<sup>-1</sup>, як порогової величини. Отримана таким чином точка лактатної кривої визначається як «момент початку акумуляції лактату в крові» (onset of blood lactate accumulation – OBLA).

*Таблиця 15.3*

### Методичні засади регламентування тестових навантажень відносно умов змагальної діяльності у видах спорту, які потребують витривалості

Вид спорту	Біатлон	Веслування академічне	Веслування на каное (500м)
Умови змагальної діяльності			
Тривалість	25-40 хвилин	6-7,5 хвилин	1,5-2 хвилин
Потужність роботи	220-480 Вт (з бігом втору)	300-500 Вт	120-200 Вт
Наявність зупинок	так (стрільба)	Ні	ні
Регламент тесту із східчасто-зростаючим навантаженням			
Початкові умови	2,5-3 м·с <sup>-1</sup> ; кут нахилу 0°	80-100 Вт	20-40 Вт
Умови збільшення потужності	За рахунок збільшення кута нахилу на 1°	На 20 Вт	На 20 Вт
Тривалість роботи на кожному етапі	240 с	90 с	90 с
Інтервал між етапами (зупинка)	Так, 30 с	Ні/так (якщо є вимірювання лактату)	Ні/так (якщо є вимірювання лактату)
Кількість етапів тесту	До відмови	До відмови	До відмови

Використання фіксованих значень лактату часто пов'язують з труднощами точного визначення моменту зламу лактатний кривою, що відбиває стан аеробно-анаеробного переходу [8, 25]. Даний спосіб є більшою мірою придатним для порівняльної оцінки роботоздатності спортсменів, ніж для виявлення критичного стану, при якому потужність механізмів продукування лактату починає превалювати над механізмами його компенсації (що початково закладено у визначенні лактатного порогу), так як не враховує значні індивідуальні особливості лактатний кривої спортсмена. У теж час, характеристики інтенсивності навантаження по ЧСС в точці OBLA широко застосовуються для градації зон інтенсивності навантаження в багатьох лабораторіях.

Так як в аналізі лактатний кривої спостерігається істотна відмінність «критичної» величини лактату - від 2,4 до 7,3 ммоль·л<sup>-1</sup> [8, 24, 25], саме момент зламу досить часто використовують для визначення порогів. У цьому випадку використовують терміни «аеробний поріг» (aerobic threshold), «анаеробний поріг» (anaerobic threshold), «лактатний поріг» (lactate threshold), розуміючи їх як моменти початку зміни величини лактату в крові відносно вихідних значень спокою [8].

В останні роки в літературі з'являється все більша кількість робіт, що використовують для детермінації зон інтенсивності показник максимальної концентрації лактату у відносно-стаціонарному стані (maximal lactate steady state – MLSS) [25]. Дана концепція заснована на тому, що розвиток витривалості і відомий зсув лактатної кривої більшою мірою пов'язані з удосконаленням механізмів компенсації ацидозу, тобто із зростанням потужності буферних систем, і, отже, виникає необхідність визначення робочої потужності, при якій між механізмами продукування лактату і механізмами його компенсації встановлюватися відносний баланс.

Тестування MLSS здійснюється в субмаксимальної рівномірному тесті, тривалістю 20 і 30 хвилин. MLSS визначають після 10 хвилини як потужність при якій коливання лактату крові знаходиться в межах  $\pm 1$  ммоль · л<sup>-1</sup>.

Альтернативним способом визначення найбільшої інтенсивності навантаження, при якій ще підтримується баланс кількості лактату, що утворюється в працюючих м'язах і утилізованого в організмі, є вимірювання концентрації лактату в крові при трьох рівнях інтенсивності. Для цього виконуються три навантаження постійної потужності с, рівним 70, 80 і 90%, тривалістю 10 хв кожна. Інтервал відпочинку між ними становить 40 хв. Визначається концентрація лактату в крові на 5-й і 10-й хвилині кожної навантаження, а також і ЧСС. Обчислюється приріст лактату ( $\Delta La = La_{10} - La_5$ ) для кожної потужності навантаження. Далі обчислюється та потужність навантаження, при якому приріст лактату дорівнює нулю ( $\Delta La = 0$ ). Вона ідентифікується по і ЧСС [11, 20, 22].

«Вентиляторний поріг» визначають як потужність роботи (рівень фізичного навантаження), при яких спостерігається початок поступового зростання (ПАНО<sub>1</sub>) а потім – різкого, експоненційного зростання (ПАНО<sub>2</sub>) показника хвилинової вентиляції легень  $\dot{V}_E$ , що пов'язано із збільшенням вмісту неметаболического CO<sub>2</sub> у крові; також, «вентиляторним» критерієм досягнення

ПАНО<sub>2</sub> вважають початок зростання показників вентиляторного еквіваленту за СО<sub>2</sub> та ексцесу СО<sub>2</sub>; Альтернативні способи засновані на вимірі «вентиляторного порога» по динаміці показників функції зовнішнього дихання (легеневої вентиляції або обсягу видихуваного вуглекислого газу, величини дихального коефіцієнта), похідних показників дихання і кровообігу (неметаболічний надлишок СО<sub>2</sub>, кисневий пульс), частоти скорочень серця. У всіх перерахованих випадках при досягненні порогової потужності порушується лінійність залежності зазначених показників від характеристик роботи спортсмена.

Практикується також використання непрямого методу визначення верхньої межі потужності навантаження, при якій підвищений рівень лактату ще може бути стабільним. Для цього при тих же рівнях потужності навантаження (тобто при близько 70, 80 і 90%, тривалістю по 10 хв) вимірюється приріст вентиляційного еквіваленту по О<sub>2</sub> ( $\Delta\text{ВЕО}_2$ ) від 5 до 10 хв. навантаження. Далі за цими даними розраховується навантаження, при якій  $\Delta\text{ВЕО}_2$  дорівнює нулю [11].

Визначення порогових точок аеробного енергозабезпечення може здійснюватися на основі реєстрації інтенсивності виконуваної спортсменом роботи – за показниками швидкості бігу і ЧСС. Дослідження Conconi at al. [28] дозволили встановити, що крива зв'язку між показниками інтенсивності виконуваної роботи і ЧСС має «сигмовидну» форму [19, 22, 28, 33]. Другий (верхній) перелом цієї кривої з мінімальною помилкою збігався з моментом виходу спортсмена на інтенсивність анаеробного порогу (ПАНО<sub>2</sub>), тобто такого навантаження, при якій активація достатньої кількості швидких гліколітичних нейромоторних одиниць обумовлювала підвищення вмісту лактату в крові.

Отже показник «точка Conconi» визначають як потужність роботи (рівень фізичного навантаження), при якій спостерігається уповільнення темпу зростання ЧСС порівняно з темпами зростання потужності роботи. Динаміка роботоздатності, що оцінюється по зростанню потужності в «точці Conconi» у спеціально-підготовчому періоді достовірно відображає зростання тренуваності спортсменів [10].

Дані ряду авторів [19, 33] дозволяють стверджувати, що «ефект Conconi», не є обов'язковим, а зміна ЧСС в більшій мірі пов'язана з рекрутуванням гліколітичних м'язових волокон: чим більше їх рекрутується, тим більше ацидоз в м'язах і крові, тим більше наростає швидкість зміни ЧСС. Так, Hofmann at al. [33], на підставі тестування 227 спортсменів встановили відмінності в реакції швидкості приросту ЧСС в тесті із потужністю, що східчасто зростала, при відсутності достовірних відмінностей за ЧСС, потужності і концентрації лактату. Дані Hofmann at al. показують, що чим вище рівень показників аеробно-анаеробного переходу ( $y\%$  від  $\dot{V}_{O_2 \max}$ ), тим менше вірогідність прояву «ефекту

Conconi», оскільки відсутній стимул для зростання ЧСС – ацидоз, пов'язаний зі збільшенням числа рекрутованих гліколітичних волокон [33].

**Резюме:** Розглянуто науково-методичні засади дослідження функціональної підготовленості кваліфікованих спортсменів, що спеціалізуються у циклічних видах спорту з проявом витривалості. У циклічних видах спорту, функціональна підготовленість розглядається як основа забезпечення роботоздатності

спортсменів в умовах безпосереднього проходження відповідної змагальної дистанції або виконанні змагальної вправи, тому функціональні можливості органів і систем, що забезпечують змагальну діяльність, визначають характер і тривалість змагальної роботи.

Розкрито сутність ергометричних, фізіологічних та біохімічних методів дослідження функціональної підготовленості спортсменів, а також методи визначення показників аеробно-анаеробного переходу (аеробний та анаеробний пороги) під час дослідження функціональної підготовленості кваліфікованих спортсменів. Методологічною основою дослідження функціональної підготовленості спортсменів є одночасне вимірювання двох груп показників: роботи, яку виконує спортсмен в умовах тесту у та рівня фізичного навантаження під час її виконання. Співвідношення в реальному масштабі часу потужності роботи з рівнем напруги під час її виконання дає можливість отримувати достовірні відомості щодо стомлення та фізичної роботоздатності, сильні і слабкі сторони функціональної підготовленості спортсмена.

Визначено методологічні засади дослідження процесів аеробно-анаеробного переходу – комплексу функціональних змін в організмі спортсмена, зумовлені поступовим рекрутуванням рухових одиниць різних типів під впливом навантаження, що східчасто зростає та особливості використання різних функціональних порогів (лактатного, вентиляторного) при діагностиці аеробних можливостей спортсменів.

#### **Список використаних літературних джерел:**

1. Алешин В. С. Тренировка и планирование в академической гребле: Методическое пособие. М.: Советский спорт, 1989. 89 с.
2. Белоцерковский З.Б. Эргометрические и кардиологические критерии физической работоспособности у спортсменов. М.: Советский спорт, 2009. 348 с.
3. Волков Н.И. Энергетический обмен и работоспособность человека в условиях напряженной мышечной деятельности: Автореф. дис. ... к.б.н. М., 1969. 21 с.
4. Волков Н.И. Биоэнергетика напряженной мышечной деятельности человека и способы повышения работоспособности спортсменов: Автореф. дис. ... д.б.н. М.: НИИНФ, 1990. 101 с.
5. Дал-Монте А., Фаина М. Специальные требования к оценке функциональных возможностей спортсменов: тестирование с учётом специфических особенностей вида спорта и соревновательной деятельности; описание эргометрических приборов. Наука в олимпийском спорте. 1995. № 1, 2. С. 30–38.
6. Дьяченко А. Ю. Совершенствование специальной выносливости квалифицированных спортсменов в академической гребле: Монография. К.: НФП «Славутич-дельфин», 2004. 338 с.
7. Карпман В. Л., Белоцерковский З. Б., Гудков И. А. Исследование физической работоспособности у спортсменов. М.: Физкультура и спорт, 1974. 140 с.
8. Лактатный порог и его использование для управления тренировочным процессом: Методические рекомендации. Под. ред. Д. А. Полищука. К.: Абрис, 1997. 234 с.
9. Левенберг О. Г. Соотношение и структура эргометрических критериев работоспособности спортсменов: дис ... к.б.н.: 14.00.51. Москва, 2004. 156 с.

10. Мищенко В. С. Методические рекомендации по оценке функциональной подготовленности квалифицированных спортсменов. К., 1988. 60 с.
11. Мищенко В. С. Функциональные возможности спортсменов. К.: Здоровья, 1990. 200 с
12. Мищенко В. С. Эргометрические тесты и критерии интегральной оценки выносливости. Спортивна медицина. 2005. № 1. С. 42-52.
13. Мякинченко Е. Б., Селуянов В. Н. Развитие локальной мышечной выносливости в циклических видах спорта. М.: Дивизион, 2005. 338 с.
14. Нехвядович А. И. Биохимические критерии оценки состояния обменных процессов у биатлонистов накануне ответственных соревнований. Вопросы теории и практики физической культуры и спорта. Минск, 1995. Вып. 25. С. 103-108.
15. Платонов В. Н., Булатова М. М. Силовая подготовка спортсмена: учебно-метод. Пособие. Ч. 1. К.: КГИФК, 1992. 52 с.
16. Платонов В. Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. К.: Олимпийская литература, 2004. 808 с.
17. Приймаков А. А., Кропта Р. В. Системные взаимодействия компонентов структуры функциональных возможностей гребцов на заключительных этапах многолетнего спортивного совершенствования. Наука в олимпийском спорте. 2003. № 1. С. 92-98.
18. Селуянов В. Н., Мякинченко Е. Б., Холодняк Д. Г. Физиологические механизмы и методы определения аэробного и анаэробного порогов. Теория и практика физической культуры. 1991. № 10. С. 9-12.
19. Симонова О. Н. Оценка анаэробных порогов по изменению ЧСС при стандартных нагрузочных пробах. Физиология человека. 2001. №4, Т. 27. С. 66-68.
20. Федотов А. С. Использование зависимости «мощность работы – частота сердечных сокращений» для индивидуализации тренировочного процесса гребцов. Резервные возможности совершенствования функциональной подготовленности при больших тренировочных нагрузках. Под. ред. В. С. Мищенко. К.: ТОВ Международное финансовое агентство. С. 78-82.
21. Ширковец Е. А. Концепция анаэробного порога в спортивной практике и критический анализ методов его определения. Теория и практика физ. культуры. 1986. N 3. С. 37-40.
22. Янсен П. ЧСС, лактат и тренировки на выносливость: Пер. с англ. Мурманск: Тулома, 2007. 160 с.
23. Adam K., Lenc H., Nowacki P., Rulffs M., Schroder W. Rudertraining. Germany, Limpert Verlag GmbH, 1977. 615 p.
24. Astrand P.-O., Rodahl K. Textbook of Warie Physiology. New York: McGraw. Hill Book Co., 1970. 669 p.
25. Beneke R. Maximal lactate steady state concentration (MLSS): experimental and modelling approaches. Eur J Appl Physiol 88:361-369
26. Brooks J. A. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. Med. and Scien. in Sports and Exercise. 1985. №17. P. 22-31.
27. Bunk V., Heeller J., Leso J. Ventilatory threshold in various groups of highly trained athletes. J. Sports Med. 1987. 8. P. 275-280.
28. Conconi F., Ferrari M., Ziglio P.G. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. J. Appl. Physiol. 1982. № 52. P. 869-873.



29. Saltin B. Physiological adaptation to physical conditioning. Old problems revisited. *Acta Med Scand Suppl.* V. 711. 1985. P. 11-24.
30. Fox E. L., Mathews D. K. The physiological basis of physical education and athletics. 3d ed. Philadelphia: CBS Colledg Publ., 1981. P. 688.
31. Hagerman F. A., Connors M. C., Gault G. A., Hagerman R., Polinsky W. G. Energy expenditure during simulated rowing. *J. Appl. Physiol.* 1978. Vol. 45. P. 87-93.
32. Hartmann U., Mader A. Modeling metabolic conditions in rowing through post-exercise simulation. *FISA Coach.* Cologne, 1993. Vol. 4. N 4. P. 1-15.
33. Hofmann, P., Pokan, R., Von Duvillard, S., Schmid, P. The Conconi test: letter to the editor. *International Journal of Sports Medicine.* 1997. N 18. P. 397-399.
34. Kleshnev V. Stroke rate vs. distance in rowing during the Sydney Olympics. *Australian rowing.* 2001. N 25 (2). P. 18-21.
35. Medbo J., Gramvik P., Jebens E. Aerobic and anaerobic energy release during 10 and 30s bicycle sprints. *Acta Kinesiol. Univers. Tartuensis.* 1999. N 4. P. 122-146.
36. Russel A., Rossignol P., Sing Kai Lo. The precision of estimating the total energy demand. *An. Intern. Electronic J., JEP online J. Exerc. Physiol.* 2000. N 3(2). P. 1-10.
37. Saltin B. Anaerobic capacity: post, present and prospective. *Biochemistry of Exercise.* 1990. N7. P. 387-412.
38. Shepard R., Astrand P.-O. *Endurance in sport.* Oxford: Blackwell sci. publ., 1992. 637 p.
39. [www.biorow.com](http://www.biorow.com)