

УДК 612.017.2+612.273+612.766.1:796

**СТІЙКІСТЬ РЕАКЦІЙ КАРДІОРЕСПІРАТОРНОЇ СИСТЕМИ ЗА УМОВ  
ДОСЯГНЕННЯ МАКСИМАЛЬНОГО РІВНЯ СПОЖИВАННЯ КИСНЮ У  
КВАЛІФІКОВАНИХ СПОРТСМЕНІВ-БІГУНІВ**

**О. Лисенко**

*Науково-дослідний інститут Національного університету фізичного  
виховання і спорту України  
вул. Фізкультури, 1, Київ-150, 03680, Україна  
e-mail: luslena@rambler.ru*

Виявлено негативний взаємозв'язок між характеристиками чутливості КРС на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул і рівнем реакцій КРС за умов аеробного навантаження максимальної потужності. Відзначили протилежну взаємозалежність між рівнем чутливості КРС на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул та рівнем економічності і стійкості функціонування, а також позитивний взаємозв'язок із рівнем активності анаеробних гліколітичних процесів у енергозабезпеченні фізичних навантажень.

*Ключові слова:* кваліфіковані спортсмени, реактивність, кардіореспіраторна система, фізична працездатність.

Механізми адаптації при різних впливах середовища та фізичних навантажень мають як загальні, так і індивідуальні риси. Спортсмени різної спеціалізації відрізняються між собою високою фізичною працездатністю насамперед у звичних для них видах м'язової діяльності. Зазвичай, це має бути пов'язано з відповідними морфофункціональними і фізіологічними пристосувальними механізмами. Такі відмінності формуються на основі індивідуальних спадкових властивостей протягом певного періоду накопичення однотипних по головному механізму тренувальних впливів на організм спортсмена [11, 14]. Специфіка умов конкретного виду м'язової діяльності чітко відображається на рівні та динамічних характеристиках реакції кардіореспіраторної системи (КРС) на дію гіперкапічнічних і гіпоксичних зрушень дихального гомеостазу як у стані спокою, так і в умовах напружених фізичних навантажень [7, 13, 14, 20]. У кваліфікованих спортсменів, які тривалий час спеціалізуються в обраному виді спорту, виявлені особливості фізіологічної реактивності організму, що є одночасно як наслідком тривалої адаптації до напруження фізичних навантажень певної спрямованості, так і наслідком багаторічного відбору спортсменів за характером вентиляторної реакції на гіперкапічний стимул [10, 11, 13, 14, 16, 18, 20].

За останні роки накопичилося багато принципово нових знань про сутність функціональних можливостей спортсменів і опубліковано велику кількість даних, що відображають верхні межі функціональних можливостей людини, отриманих при обстеженні елітних спортсменів [2, 5, 11, 13, 14, 21, 23, 26]. При вирішенні завдань вдосконалення фізіологічного контролю процесу адаптації спортсменів до напруженого спортивного тренування у спортивній фізіології на перший план завдань виходить визначення фізіологічних факторів, що забезпечують ефективність спортивної діяльності. Вважають, що загальна функціональна і метаболічна продуктивність організму спортсменів, їх аеробна продуктивність при максимальній інтенсивності фізичного навантаження залежать від таких властивостей фізіологічної реактивності: функціональна

та метаболічна потужність, стійкість, рухливість, економічність і реалізованість, що достатньо повно враховують вимоги до основних сторін діяльності функціональних систем в умовах напружених спортивних навантажень [10–12, 14]. У процесі тренування спортсменів властивості фізіологічної реактивності закономірно змінюються, і це лежить в основі змін спеціальної працездатності й функціональної підготовленості спортсменів на основі стабілізації рівня фізіологічних функцій і метаболізму, а також є основою сталого функціонального стану організму спортсмена [11, 12].

Дедалі очевиднішим стає той факт, що при приблизно однаковому енергетичному і функціональному потенціалі фізіологічних систем, провідних для виду спорту, перевагу отримує той спортсмен, який в конкретних умовах змагань здатен довго утримувати максимальні рівні функціонування [11–14] і є більш стійким до прогресуючої втоми. Стійкість розглядається як відображення здатності організму підтримувати високий ефективний рівень функціональних реакцій в умовах граничної інтенсивності фізичних навантажень, що характерні для змагальної діяльності у спорті [11, 12]. Можливо, прояви стійкості функціональних реакцій за умов напружених фізичних навантажень будуть залежати як від індивідуальних особливостей спортсменів, так і від особливостей їх довготривалої адаптації до змагальних навантажень різної тривалості.

Метою роботи було визначення залежності здатності організму утримувати високі рівні енергетичних процесів і функціонування КРС при напружених фізичних навантаженнях залежно від рівня чутливості й загальної реактивності КРС на  $\text{CO}_2$ - $\text{H}^+$ -стимул у кваліфікованих спортсменів.

#### Матеріали та методи

Дослідження проводили в лабораторних умовах на експериментальній базі НДІ Національного університету фізичного виховання і спорту України у змагальному періоді підготовки за участю 54 кваліфікованих спортсменів-чоловіків (КМС-МС) віком від 19 до 24 років, які 8–14 років спеціалізувалися в легкій атлетиці.

Використовувався методичний підхід для оцінки функціональних можливостей спортсменів [10, 11] і діагностичний ергоспірометричний комплекс «Охусон Про» («Jaeger», Німеччина). Досліджувалися показники газообміну, зовнішнього дихання, центральної гемодинаміки, ацидемічних зрушень крові та фізичної працездатності спортсменів в умовах фізичних тестових навантажень [4, 5, 17, 21, 23, 26]. З цією метою використовували тест на утримання навантаження на рівні «критичної» потужності ( $W_{\text{кр}}$ ), який використовується для визначення максимальної аеробної ємності [5, 19, 25, 26] та здатності утримувати високі рівні енергетичних процесів і функціонування КРС в умовах напружених фізичних навантажень [11]. Результати в тесті з навантаженням ступенево зростаючої потужності були використані для розрахунку значень рівня навантаження «критичної» потужності, яка визначалася як той найменший рівень навантаження, при якому вперше досягався рівень максимального споживання  $\text{O}_2$  –  $\text{VO}_{2\text{max}}$  [4, 8, 24]. Тестові навантаження на рівні  $W_{\text{кр}}$  виконувалися на тредмілі LE-200 С (Jaeger, Німеччина) з постійною швидкістю до моменту «відмови» випробуваного від продовження роботи.

У реальному масштабі часу (breath by breath) визначали основні характеристики реакції КРС: легеневу вентиляцію ( $V_E$ ), частоту дихання ( $f_T$ ), дихальний об'єм ( $V_T$ ), концентрацію  $\text{CO}_2$  і  $\text{O}_2$  у видихуваному ( $F_E\text{O}_2$ ,  $F_E\text{CO}_2$ ) і в альвеолярному повітрі ( $F_A\text{O}_2$ ,  $F_A\text{CO}_2$ ), споживання  $\text{O}_2$  ( $\text{VO}_2$ ), виділення  $\text{CO}_2$  ( $\text{VCO}_2$ ), газообмінне відношення ( $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$ ), вентиляційні еквіваленти для  $\text{O}_2$  ( $V_E/\text{VO}_2$ ) і для  $\text{CO}_2$  ( $V_E/\text{VCO}_2$ ), кисневий пульс (" $\text{O}_2$ -пульс"= $\text{VO}_2/\text{ЧСС}$ ) та ін. З огляду на те, що виміри проводилися у відкритій системі,

показники зовнішнього дихання приведені до умов ВTPS, а газообміну – до умов STPD. Реєстрацію частоти серцевих скорочень (ЧСС) проводили за допомогою «Sport Tester Polar». Концентрацію лактату (HLA) в капілярній крові визначали ензиматичним методом («Dr. Lange-400»). Статистичне опрацювання результатів проводили з використанням комп'ютерної програми «Microsoft Excel» з визначенням основних статистичних показників.

Тестування проводили після дня відпочинку при стандартизованому режимі харчування і питного режиму. Спортсмени були інформовані про зміст тестів і дали згоду на їх проведення.

### Результати і їхнє обговорення

Проведені раніше дослідження в умовах дії прогресуючої гіперкапічної стимуляції дали змогу виділити три групи спортсменів, які відрізнялися за типом реагування кардіореспіраторної системи (КРС) на  $\text{CO}_2$ - $\text{H}^+$ -стимул [13, 14, 20], а також спеціалізувалися в бігу на змагальних дистанціях різної тривалості (100 м, 800 м і 5000 м). Першу групу (17 спортсменів) становили спортсмени-спринтери з високим рівнем фізіологічної реактивності (біг на 100 м). Друга група – 19 спортсменів з відносно середнім рівнем фізіологічної реактивності, які спеціалізувалися на середніх змагальних дистанціях (біг на 800 м). Третя група – 18 спортсменів-стаєрів зі зниженим рівнем фізіологічної реактивності (біг на 5000 м).

Тест на утримання навантаження на рівні «критичної» потужності за енергозабезпеченням роботи є навантаженням максимальної аеробної потужності з дистанційним рівнем споживання кисню ( $\text{VO}_2$ ) 90–100% від індивідуального  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , виконання якого потребує максимальної мобілізації аеробних процесів у працюючих м'язах – в енергозабезпеченні навантаження переважає аеробний компонент і становить до 70–80% [11, 12, 22, 24]. Відзначається і значне посилення в енергозабезпеченні анаеробних гліколітичних процесів, тому що локалізація анаеробного порога у спортсменів зазвичай виявляється на рівні близько 65–75% від індивідуального  $\text{VO}_{2\text{max}}$  [6–8, 11]. При аналізі особливостей реакції КРС на фізичні навантаження «критичної» потужності враховували, що спортсмени різних груп при виконанні тесту утримують різну потужність навантаження на рівні максимального споживання  $\text{O}_2$  ( $W_{\text{кр}}$ ) і виконують різний об'єм роботи на рівні навантаження «критичної» потужності (ОКР, Дж·кг<sup>-1</sup>) – табл. 1.

Так, у спортсменів-бігунів на дистанції 5000 м, яких відрізняв знижений рівень чутливості КРС на  $\text{CO}_2$ - $\text{H}^+$ -стимул, відзначався достовірно високий рівень навантаження на рівні «критичної» потужності й об'єм виконаної роботи на даному рівні порівняно зі спортсменами-бігунами на дистанції 100 м і 800 м ( $p < 0,05$ ). Спортсмени-стаєри досягали і більших граничних рівнів функціонування КРС ( $\text{VO}_{2\text{max}}$  60,79±3,30 мл·хв<sup>-1</sup>·кг<sup>-1</sup>,  $V_{\text{Emax}}$  2037,52±123,24 мл·хв<sup>-1</sup>·кг<sup>-1</sup>) у поєднанні з відносно вищим рівнем ефективності реакцій КРС за рахунок більшого кисневого ефекту серцевого циклу (« $\text{O}_2$ -пульс» 22,67±1,27 мл·уд<sup>-1</sup>). Відносно знижене значення максимальної частоти серцевих скорочень у спортсменів даного типу фізіологічної реактивності може вказувати на більший систолічний об'єм крові в умовах даного тесту, що в цілому свідчить про більший ступінь розвитку аеробних механізмів енергозабезпечення, економічності й загальної продуктивності реакцій КРС [3, 4] в умовах максимального аеробного тесту. У спортсменів-спринтерів із високим рівнем фізіологічної реактивності (біг на дистанції 100 м) відзначався відносно знижений рівень загальної фізичної працездатності, який поєднувався із меншими граничними рівнями функціонування КРС та кисневим ефектом серцевого циклу (« $\text{O}_2$ -пульс»), що свідчило

про знижений рівень економічності функціонування серцево-судинної системи (ССС) у спортсменів-спринтерів (див. табл. 1). Середній рівень фізичної працездатності, як і загальний рівень аеробних можливостей організму, економічності функціонування ССС відзначався у спортсменів-бігунів на дистанції 800 м.

Таблиця 1

Відмінності максимального рівня реакції кардіореспіраторної системи в умовах підтримки навантаження на рівні «критичної» потужності у кваліфікованих спортсменів з різним рівнем фізіологічної реактивності на зрушення дихального гомеостазу,  $X \pm S$

Показники	Групи спортсменів за рівнем фізіологічної реактивності, спортивної спеціалізації			p (t-тест) <0,05
	1 група – знижений, біг на 100 м	2 група – середній, біг на 800 м	3 група – знижений, біг на 5000 м	
Потужність «критичного» навантаження ( $W_{кр}$ ), Вт	231,85±7,05	270,15±12,99	311,97±11,13	1-2,3;2-3
Потужність «критичного» навантаження ( $W_{кр}$ ) на кг маси тіла, Вт·кг <sup>-1</sup>	3,18±0,17	3,57±0,15	4,82±0,22	1-2,3;2-3
Об'єм виконаної роботи на рівні «критичної» потужності, ОКР, Вт·хв <sup>-1</sup> ·кг <sup>-1</sup>	16,97±1,07	22,29±1,28	41,98±4,58	1-2,3;2-3
Максимальний рівень легеневої вентиляції ( $V_{E_{max}}$ ), л·хв <sup>-1</sup>	109,20±10,30	128,79±10,13	131,68±6,62	1-3
Максимальний рівень легеневої вентиляції ( $V_{E_{max}}$ ) на кг маси тіла, мл·хв <sup>-1</sup> ·кг <sup>-1</sup>	1497,74±163,74	1704,02±133,94	2037,52±123,24	3-1,2
Максимальний рівень споживання $O_2$ ( $VO_{2max}$ ), мл·хв <sup>-1</sup>	3088,9±220,0	3766,5±171,5	3934,8±190,2	1-2,3
Максимальний рівень споживання $O_2$ ( $VO_{2max}$ ) на кг маси тіла, мл·хв <sup>-1</sup> ·кг <sup>-1</sup>	42,36±3,89	49,83±2,04	60,79±3,30	1-2,3;2-3
Максимальний рівень ЧСС ( $ЧСС_{max}$ ), уд·хв <sup>-1</sup>	189,17±5,26	183,04±4,19	181,00±4,94	
Вентиляційний еквівалент для $O_2$ ( $E_{QO_2}$ )	28,80±1,05	27,99±1,30	26,96±0,96	
Максимальний кисневий ефект серцевого циклу (« $O_2$ -пульс» <sub>max</sub> ), мл·уд <sup>-1</sup>	16,21±1,18	20,60±0,92	22,67±1,27	1-2,3

Крім того, як видно з табл. 2, в умовах утримання навантаження на рівні «критичної» потужності спортсмени різних груп і спортивної спеціалізації розрізнялися і за рівнем активності анаеробних гліколітичних процесів в енергозабезпеченні тестового навантаження. За цих умов виконання тесту у кваліфікованих спортсменів більшого значення набуває здатність утримувати високі рівні енергетичного метаболізму і функцій КРС, тобто властивість стійкості [2, 12, 22, 24].

Кваліфіковані спортсмени різних груп підтримували різний рівень «критичної» потужності навантаження й утримували його різний час, а також утримували і різний рівень споживання  $O_2$ . Так, у спортсменів-стаєрів зі зниженим рівнем чутливості КРС на  $CO_2$ - $H^+$ -стимул (3 група) загальний час роботи на рівні «критичної» потужності 4,82±0,22 Вт·кг<sup>-1</sup> становив 8,71±0,32 хвилини (табл. 3) при середньому рівні  $VO_2$  54,47±3,11 мл·хв<sup>-1</sup>·кг<sup>-1</sup>. Це достовірно більше, ніж загальний час роботи у спортсменів зі середнім рівнем фізіологічної реактивності ( $T_{кр}$  6,17±0,39 хв) на рівні  $W_{кр}$  3,57±0,15 Вт·кг<sup>-1</sup> і при середньому рівні

$VO_2$   $45,05 \pm 2,39$  мл·хв<sup>-1</sup>·кг<sup>-1</sup>, а також у спортсменів-спринтерів (Ткр  $5,33 \pm 0,21$  хв) при  $W_{кр}$   $3,18 \pm 0,17$  Вт·кг<sup>-1</sup> і при середньому рівні  $VO_2$   $39,26 \pm 2,74$  мл·хв<sup>-1</sup>·кг<sup>-1</sup>.

Таблиця 2

Активність анаеробних гліколітичних процесів в енергозабезпеченні в умовах утримання навантаження на рівні «критичної» потужності у кваліфікованих спортсменів із різним рівнем фізіологічної реактивності на зрушення дихального гомеостазису,  $X \pm S$

Показники	Групи спортсменів за рівнем фізіологічної реактивності, спортивної спеціалізації			p (t-тест) <0,05
	1 група – знижений, біг на 100 м	2 група – середній, біг на 800 м	3 група – знижений, біг на 5000 м	
Максимальний рівень виділення $CO_2$ ( $VCO_{2max}$ ) на кг маси тіла, мл·хв <sup>-1</sup> ·кг <sup>-1</sup>	50,36±3,24	41,56±2,19	47,59±2,34	2-1,3
Газообмінне відношення при фізичному навантаженні ( $VCO_2/VO_2$ фн)	1,24±0,19	0,89±0,06	0,82±0,06	1-2,3
Газообмінне відношення у відновлювальному періоді ( $VCO_2/VO_2$ відн)	1,28±0,14	1,11±0,13	0,97±0,09	1-3
Концентрація лактату в крові (HLа), ммоль·л <sup>-1</sup>	10,43±1,01	7,84±0,94	6,03±0,79	1-2,3

За весь період тесту потужність навантаження була постійною, але швидкість споживання  $O_2$  безперервно збільшувалася. Виявлені відмінності між групами як за часом досягнення  $VO_{2max}$ , так і за часом стійкого утримання споживання  $O_2$  на максимальному рівні, тобто за часом утримання високої ефективності роботи (% від загальної тривалості роботи). Як видно з табл. 3, максимальна швидкість споживання  $O_2$  у спортсменів-стаєрів зі зниженим рівнем фізіологічної реактивності КРС на  $CO_2$ -H<sup>+</sup>-стимул (3 група, біг на 5000 м), порівняно зі спортсменами з середнім рівнем фізіологічної реактивності (2 група, біг на 800 м), досягалася раніше на  $4,05 \pm 0,19$  хвилині виконання тесту, а період стійкого утримання  $VO_{2max}$  становив  $54,53 \pm 1,74\%$  від загального часу підтримки навантаження на рівні «критичної» потужності. Більш низький рівень стійкості функціональних реакцій відзначали у спортсменів-спринтерів із високим рівнем фізіологічної реактивності (1 група, біг на 100 м). Так,  $VO_{2max}$  відзначався на  $5,51 \pm 0,34$  хвилині й утримувався на високому рівні  $10,69 \pm 1,02\%$  від загального часу підтримки навантаження на рівні «критичної» потужності.

Таблиця 3

Особливості підтримки навантаження на рівні «критичної» потужності у кваліфікованих спортсменів з різним рівнем фізіологічної реактивності на зрушення дихального гомеостазису,  $X \pm S$

Показники	Групи спортсменів за рівнем фізіологічної реактивності, спортивної спеціалізації			p (t-тест) <0,05
	1 група – знижений, біг на 100 м	2 група – середній, біг на 800 м	3 група – знижений, біг на 5000 м	
Загальний час виконання тесту (Ткр), хв	5,33±0,21	6,17±0,41	8,71±0,32	1-2,3; 2-3
Час досягнення максимального рівня споживання $O_2$ , хв	5,12±0,18	5,51±0,34	4,05±0,19	3-1,2
Час підтримки високої ефективності роботи в % від загальної тривалості навантаження, %	3,94±0,24	10,69±1,02	54,53±1,74	1-2,3; 2-3

Крім того, в умовах тесту при незмінному рівні потужності роботи відзначалося безперервне збільшення частоти серцевих скорочень, позначене як пульсовий «дрейф» [1,

9, 11, 12]. Так, у спортсменів-стаєрів зі зниженим рівнем фізіологічної реактивності (III група) відзначався найменший пульсової «дрейф» за значенням коефіцієнта функціональної стійкості за ЧСС (КФС ЧСС  $3,34 \pm 0,39\%$ ), що свідчило про більш високий рівень стійкості циркуляторної реакції в умовах тривалого навантаження. Трохи нижчий рівень стійкості функціональних реакцій за «дрейфом» ЧСС відзначався у спортсменів II групи (біг на 800 м) зі середнім рівнем фізіологічної реактивності (КФС ЧСС  $5,53 \pm 0,78\%$ ).

У спортсменів-спринтерів з високим рівнем чутливості КРС на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул при аналізі динаміки рівня споживання  $\text{O}_2$  в умовах тесту на утримання навантаження на рівні «критичної» потужності не відзначалося вираженої стадії «стійкого» стану. Швидкість споживання  $\text{O}_2$  безперервно наростала протягом тестового навантаження і максимальний рівень  $\text{VO}_2$  відзначався на  $5,12 \pm 0,18$  хвилині, а період стійкого утримання  $\text{VO}_{2\text{max}}$  становив лише  $3,94 \pm 0,24\%$  від загального часу підтримки навантаження на рівні «критичної» потужності. У цій групі спортсменів відзначали і найменший рівень стійкості за пульсовим «дрейфом» (КФС ЧСС  $6,26 \pm 0,37\%$ ). Подібна закономірність відмінностей серед груп в умовах підтримки навантаження на рівні «критичної» потужності відзначалася і за коефіцієнтом функціональної стійкості для ефективності легеневого газообміну за  $\text{O}_2$  («дрейф»  $\text{EQO}_2$ ).

Результати кореляційного аналізу виявили негативний взаємозв'язок рівня фізичної працездатності, максимального рівня функціонування КРС (за рівнем легеневої вентиляції та споживанням  $\text{O}_2$ ), рівня економічності (за « $\text{O}_2$ -пульс», вентиляційним еквівалентом для  $\text{O}_2$ ) і стійкості (за КФС ЧСС та КФС  $\text{EQO}_2$ ) функціональних реакцій в умовах підтримки навантаження на рівні «критичної» потужності з характеристиками чутливості реакцій КРС на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул. Пряма взаємозумовленість відзначалася між рівнем чутливості КРС на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул і рівнем активності анаеробних гліколітичних процесів ( $\text{VCO}_2$ ,  $\text{VCO}_2/\text{VO}_{2\text{фн}}$ ,  $\text{VCO}_2/\text{VO}_{2\text{відн}}$ ,  $\text{HLA}$ ).

Дослідження динаміки виділення  $\text{CO}_2$  при поступово зростаючих навантаженнях у аеробному режимі [1, 4, 7, 8] показали, що зі збільшенням потужності спостерігався прогресивний приріст виділення  $\text{CO}_2$ . Вважають, що ступінь підвищення активності анаеробних процесів при виконанні фізичних навантажень достатньо чітко відображає рівень виділення  $\text{CO}_2$ . Крім того, рівень виділення  $\text{CO}_2$  через легені перебуває у прямій залежності від інтенсивності фізичного навантаження і у протилежній – від фізичної підготовленості спортсмена [1, 8, 11]. Однак у даній роботі не виявлено вірогідних відмінностей за значеннями виділеного  $\text{CO}_2$  на рівні максимального споживання  $\text{O}_2$  у кваліфікованих спортсменів-бігунів на дистанції різної тривалості. Водночас важливо відзначити, що спортсмени за умов тесту досягають різних рівнів  $W_{\text{кр}}$  і  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , а також є вірогідні відмінності у значеннях вентиляційного еквівалента за  $\text{CO}_2$  і газообмінного відношення ( $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$ ). Виявити відмінності між групами за рівнем виділення  $\text{CO}_2$  дав змогу лише аналіз динаміки  $\text{VCO}_2$  і  $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$  залежно від потужності навантаження при виконанні ступенево зростаючого навантаження.

Найбільший рівень виділення  $\text{CO}_2$  при однаковому механічному значенні потужності навантаження відзначався у спортсменів-спринтерів, які мали найменший рівень фізичної працездатності. Так, у спринтерів при навантаженні  $W$  245,91 Вт мав місце вірогідно вищий рівень  $\text{VCO}_2$  ( $56,94 \pm 3,71$  мл·хв<sup>-1</sup>·кг<sup>-1</sup>) і  $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$  ( $1,17 \pm 0,14$ ), ніж у спортсменів-бігунів на 800 м ( $\text{VCO}_2$   $38,18 \pm 2,54$  мл·хв<sup>-1</sup>·кг<sup>-1</sup>,  $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$   $0,91 \pm 0,13$ ) і у спортсменів-стаєрів ( $\text{VCO}_2$   $34,51 \pm 3,26$  мл·хв<sup>-1</sup>·кг<sup>-1</sup>,  $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$   $0,79 \pm 0,17$ ) при тому ж рівні механічної потужності навантаження. Отримані дані свідчать про вищий рівень



активності анаеробних гліколітичних процесів у енергозабезпеченні [7, 8, 21] при однаковій потужності навантаження у спортсменів-спринтерів (біг на 100 м). Крім того, переважання рівня виділення  $\text{CO}_2$  над рівнем споживання  $\text{O}_2$  сприяло розвитку рухової гіпокапнії, яку вважають лімітуючим фактором фізичної працездатності й функцій КРС [8, 21]. Знижена продукція  $\text{CO}_2$  на всіх рівнях потужності навантаження мала місце у спортсменів із високим рівнем фізичної працездатності, які спеціалізувалися у бігу на 5000 м, що свідчило про переважання в енергозабезпеченні тестового навантаження аеробних механізмів і про менше виділення “неметаболічного”  $\text{CO}_2$ .

Виявлені відмінності за рівнем  $\text{VCO}_2$  пояснюються тим, що при виконанні однакової механічної роботи кваліфіковані спортсмени, які довгостроково виконували тренувальні навантаження, що потребують прояву витривалості (біг на 5000 м), порівняно зі спортсменами інших груп, споживали менше  $\text{O}_2$ , менше витрачали енергії, і отже, менше виділяли  $\text{CO}_2$  як метаболічного, так і «неметаболічного» походження, що утворився при нейтралізації ацидемічних зрушень в організмі, пов'язаних з утворенням лактату. У зв'язку з цим стає зрозумілою можливість прогнозування фізичної підготовленості спортсменів різної спортивної спеціалізації не тільки за об'ємом спожитого  $\text{O}_2$  (при стандартному навантаженні), але і за об'ємом виділеного  $\text{CO}_2$ . Приріст  $\text{VCO}_2$  і його співвідношення з  $\text{VO}_2$  ( $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$ ) прямо співвідноситься з рівнем чутливості КРС на  $\text{CO}_2$ - $\text{H}^+$ -стимул. Таким чином, у процесі адаптації має місце такий характер модифікації фізіологічної реактивності (чутливості і стійкості) КРС до зрушень дихального гомеостазису, який може виступати як механізм формування потужності дихальної компенсації метаболічного ацидозу і забезпечувати ефективність основних факторів, що визначають рівень фізичної працездатності і енергетичних процесів.

Водночас не виявлено взаємозв'язку між показниками фізичної працездатності (за об'ємом виконаної роботи) і рівнем активності анаеробних процесів у енергозабезпеченні, на який вказують деякі дослідники [7, 11, 14]. Можна думати, що при порівнянні груп спортсменів, різнорідних за спрямованістю процесу адаптації до тренувальних навантажень, для досягнення високого рівня загальної фізичної працездатності й об'єму виконаної роботи за даних умов тесту домінуючого значення набуває рівень аеробних можливостей організму в поєднанні зі зниженим рівнем активності анаеробних процесів у енергозабезпеченні. При цьому значення аеробної продуктивності значно переважає. На це вказували результати кореляційного аналізу в *гетерогенній* групі спортсменів. Так, виявлено негативний взаємозв'язок величини потужності тестового навантаження на рівні “критичної” потужності ( $W_{\text{кр}}$ ) з показниками, що характеризують активність анаеробних гліколітичних процесів ( $\text{VCO}_2/\text{VO}_2\text{фн}$ ,  $\text{VCO}_2/\text{VO}_2\text{відн}$ ,  $\text{HLa}$ ) і позитивний взаємозв'язок з показниками, що характеризують рівень аеробних можливостей організму ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ , « $\text{O}_2$ -пульс», ЧСС).

Лише аналіз характеру взаємозв'язків і їх виразності за значенням коефіцієнтів кореляції в *однорідних* групах спортсменів за направленістю процесу довгострокової адаптації (окремо для спортсменів-бігунів на 100 м, 800 м і 5000 м) підтвердили дані інших дослідників [7, 11, 14]. Вони показали, що рівень фізичної працездатності за об'ємом виконаної роботи і значенням навантаження “критичної” потужності позитивно пов'язаний з інтенсивністю анаеробних процесів у енергозабезпеченні (табл. 4). Крім того, значення коефіцієнтів кореляції по групах розрізнялася, що, очевидно, залежить від різного значення активності анаеробних процесів у забезпеченні високого рівня фізичної працездатності за умов напружених тривалих навантажень у кваліфікованих спортсменів

із різним рівнем фізіологічної реактивності КРС на зрушення дихального гомеостазу та спрямованістю процесу довготривалої адаптації (біг на 100 м, 800 м, 5000 м).

Таблиця 4

Кореляційний взаємозв'язок «критичної» потужності навантаження ( $W_{кр}$ ) з показниками, що характеризують активність анаеробних гліколітичних процесів у енергозабезпеченні при навантаженні ступенезростаючої потужності у кваліфікованих спортсменів

Показники	Змагальна дистанція		
	100 м	800 м	5000 м
	Значення коефіцієнтів кореляції		
	$r_{0,05} > 0,48, n=17$	$r_{0,05} > 0,46, n=19$	$r_{0,05} > 0,47, n=18$
Газообмінне відношення при фізичному навантаженні ( $VCO_2/VO_2$ фн)	0,52	0,55	0,51
Газообмінне відношення у відновлювальному періоді ( $VCO_2/VO_2$ відн)	0,56	0,62	0,53
Концентрація лактату у крові (HLA), ммоль·л <sup>-1</sup>	0,54	0,64	0,39

Специфічні прояви адаптації до конкретного виду фізичних навантажень характеризуються спрямованою модифікацією реактивності КРС (чутливості і стійкості) до зрушень дихального гомеостазу як у стані відносного спокою, так і в умовах напружених фізичних навантажень. Така модифікація може виступати як механізм формування потужності дихальної компенсації метаболічного ацидозу.

Кваліфіковані спортсмени-бігуни на змагальні дистанції різної тривалості (100 м, 800 м, 5000 м) і з різним рівнем чутливості й загальної реактивності КРС  $CO_2$ - $H^+$ -стимул при виконанні напруженого тестового навантаження «до відмови» відрізнялися як за максимальним досягнутим рівнем фізичної працездатності й за верхніми межами (піками) реакції кардіореспіраторної системи, так і за здатністю тривалий час підтримувати ефективний високий рівень функціонування організму.

Виявлено негативний взаємозв'язок рівня чутливості й загальної реактивності КРС на  $CO_2$ - $H^+$ -стимул у стані спокою з максимальним рівнем відповідної реакції та характеристиками стійкості функціональних реакцій при виконанні тестового навантаження на рівні «критичної» потужності, а також позитивний взаємозв'язок з рівнем активності анаеробних гліколітичних процесів за цих же умов.

При порівнянні груп кваліфікованих спортсменів, різнорідних за спрямованість процесу довготривалої адаптації до тренувальних навантажень та рівнем тренуваності, домінуюче значення для досягнення високого рівня загальної фізичної працездатності має рівень аеробних можливостей організму в поєднанні зі зниженим рівнем активності анаеробних процесів у енергозабезпеченні. При цьому значення аеробної продуктивності значно переважає.

Аналіз однорідних груп спортсменів за спрямованістю процесу довготривалої адаптації та рівнем тренуваності підтвердили дані інших дослідників: рівень фізичної працездатності прямо залежить від інтенсивності анаеробних процесів у енергозабезпеченні.

*Робота виконувалася в межах держбюджетної науково-дослідної теми «Моніторинг процесу адаптації кваліфікованих спортсменів з урахуванням їх індивідуальних особливостей» (номер держреєстрації теми: №0111U001732, КПКВ 2201040).*

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агаджанян Н. А., Елфимов А. И. Функции организма в условиях гипоксии и гиперкапнии. М.: Медицина, 1986. 272 с.



2. *Алексеев В. М., Коц Я. М.* Изменение в частоте сердечных сокращений (пульсовой «дрейф») на протяжении работы постоянной аэробной мощности у спортсменов и не-спортсменов // Физиология человека. 1983. Т. 9. № 2. С. 316–322.
3. *Астранд П.-О.* Факторы, обуславливающие выносливость спортсмена // Наука в олимпийском спорте. 1994. № 1. С. 43–46.
4. *Виру А. А.* Энергообеспечение мышечной работы при одновременном использовании аэробных и анаэробных механизмов энергообеспечения // Главы из спортивной физиологии. Тарту, 1988. С. 51–70.
5. *Волков Н. И.* Тесты и критерии для оценки выносливости спортсменов. М.: ГЦОЛИФК, 1989. 44 с.
6. *Волков Н. И., Дардури У., Сметанин В. Я.* Градации гипоксических состояний у человека при напряженной мышечной деятельности // Физиология человека. 1998. Т. 24. № 3. С. 51–63.
7. *Гайлюне А. В.* Гуморальные факторы развития утомления у представителей разного возраста при напряженной мышечной деятельности // Кислородные режимы организма, работоспособность, утомление при напряженной мышечной деятельности. Вильнюс, 1989. Ч. I. С. 27–35.
8. *Красников Н. П.* Исследование функции внешнего дыхания и кровообращения, определяющих и лимитирующих физическую работоспособность человека // Физиология человека. 1984. Т. 10. № 6. С. 1036–1041.
9. *Коген Э., Уильямс Б.* Метаболическая адаптация к физическим тренировкам, направленным на развитие выносливости // Метаболизм в процессе физической деятельности. К.: Олимпийская литература, 1998. С. 195–232.
10. *Колчинская А. З.* Кислород, физическое состояние, работоспособность. К.: Наук. думка, 1991. 204 с.
11. *Конрад А. Н.* Критерии метаболических состояний у спортсменов при нагрузках критической мощности // Актуальные проблемы физической культуры и спорта. М., 1974. С. 23–24.
12. *Матсин Т. А., Виру А. А.* Функциональная устойчивость тренированного организма при выполнении длительных равномерных нагрузок в стандартных условиях // Физиология человека. 1980. Т. 6. № 1. С. 85–89.
13. *Мищенко В. С.* Свойства регуляции кислородтранспортной системы как отражение функционального потенциала организма спортсменов // Медико-биологические основы оптимизации тренировочного процесса в циклических видах спорта. К.: КГИФК, 1980. С. 108–133.
14. *Мищенко В. С.* Функциональные возможности спортсменов. К.: Здоров'я, 1990. 200 с.
15. *Мищенко В. С., Павлик А. И., Дяченко В. Ф.* Функциональная подготовленность как интегральная характеристика предпосылок высокой работоспособности спортсменов: метод. пособие. К.: ГНИИФКС, 1999. 128 с.
16. *Мищенко В. С., Лисенко О. М., Виноградов В. Є.* Типи фізіологічної реактивності системи дихання і специфіка прояву спеціальної працездатності спортсменів // Фізіол. журн. 2006. Т. 52. № 4. С. 69–77.
17. *Мищенко В. С., Лисенко Е. Н., Виноградов В. Е.* Реактивные свойства кардиореспираторной системы как отражение адаптации к напряженной физической тренировке в спорте. К.: Наук. світ, 2007. 351 с.
18. *Моногаров В. Д.* Утомление в спорте. К.: Здоров'я, 1986. 120 с.

19. *Платонов В. Н., Булатова М. М., Морозова А. А.* Ориентация тренировочного процесса юных пловцов с учетом их предрасположенности к выступлениям на дистанции различной протяженности // Управление процессом адаптации организма спортсменов высокой квалификации. К.: КГИФК, 1992. С. 5–29.
20. Физиологическое тестирование спортсмена высокой квалификации: пер. с англ. / Бекус Р.Д.Х., Банистер Е.У., Бушар К. и др. К.: Олимпийская литература, 1998. 432 с.
21. *Филлипов М. М.* Условия образования и переноса углекислого газа в процессе мышечной деятельности // Наука в олимпийском спорте. 1994. № 1. С. 73–78.
22. *Харитонов Л. Г.* Теоретические и экспериментальное обоснование типов адаптации в спорте // Теория и практика физ. культуры. 1991. № 7. С. 21–24.
23. *Astrand P.-O.* Influences of biological age and selection // *Endurance in Sport*. Blackwell Scientific Publication, 1992. P. 285–289.
24. *Lysenko Olena.* Cardiorespiratory responseveness and manifestations of energy potential for elite athletes // *Research Yearbook. Studies in Physical Education and Sport*. 2007. Vol. 13. N 2. P. 235–238.
25. *MacDougal J. D., Wander H. A., Green N. J.* Physiological testing of the high-performance athlete // *Champaign, II; Human Kinetics*. 1991. 448 p.
26. *Moritani T., Nagata A.U., de Vries, Muro M.* Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold // *Ergonomics*. 1981. Vol. 24. N 5. P. 339–350.
27. *Morrow J. R., Jackson A. W., Disch J. G., Mood D. P.* Measurement and evaluation in Human Performance // *Human Kinetics Publishers*, 1995. 416 p.
28. *Morton R. H.* Critical power test for ramp exercise // *Europ. J. of appl. Physiol.* Berlin. 1994. Vol. 69. N 5. P. 435–438.
29. *Thoden J. S.* Testing aerobic power // *Physiological Testing of the High-Performance Athlete*. Human Kinetics, 1991. P. 107–173.
30. *Wilmore J. H., Costill D. L.* *Physiology of Sport and Exercise*. Champaign: Human Kinetics, 1994. 549 p.

*Стаття: надійшла до редакції 02.04.12*

*доопрацьована 31.08.12*

*прийнята до друку 02.10.12*

## STABILITY OF REACTIONS IN CARDIORESPIRATORY WHEN THE ACHIEVING OF MAXIMUM OXYGEN CONSUMPTION IN ATHLETES

**O. Lysenko**

*Scientific Research Institute National University of Physical Education and Sport  
of Ukraine*

*1, Fizkultury St., Kyiv-150, 03680, Ukraine*

*e-mail: luslena@rambler.ru*

Negative interrelation was revealed between characteristics of CRS sensitivity to CO<sub>2</sub>-H<sup>+</sup>-stimulus with the level of CRS responses under conditions of of maximum-power aerobic loading. Opposite interrelation was observed between the level of CRS sensitivity to CO<sub>2</sub>-H<sup>+</sup>-stimulus and the level of functioning economy and stability as well as positive

interrelation with the level of activity in anaerobic glycolytic processes during physical-load energy-supply.

*Keywords:* skilled athletes, reactivity, cardiorespiratory system, physical work capacity.

## **УСТОЙЧИВОСТЬ РЕАКЦИЙ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ДОСТИЖЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО УРОВНЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА У КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ-БЕГУНОВ**

**Е. Лысенко**

*Научно-исследовательский институт Национального университета физического воспитания и спорта Украины  
ул. Физкультуры, 1, Киев-150, 03680, Украина  
e-mail: luslena@rambler.ru*

Выявлена обратная взаимосвязь между характеристиками чувствительности КРС на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул и уровнем реакций КРС в условиях аэробной нагрузки максимальной мощности. Отмечали также противоположную взаимозависимость между уровнем чувствительности КРС на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул и уровнем экономичности и устойчивости функционирования, а также положительную взаимосвязь с уровнем активности анаэробных гликолитических процессов в энергообеспечении физических нагрузок.

*Ключевые слова:* квалифицированные спортсмены, реактивность, кардиореспираторная система, физическая работоспособность.