

УДК 612.017.2+612.273+612.766.1:796

Лисенко О.М.

## ВПЛИВ ЧУТЛИВОСТІ КАРДІОРЕСПІРАТОРНОЇ СИСТЕМИ ДО ГІПЕРКАПНІЇ НА СТІЙКІСТЬ РЕАКЦІЙ ЗА УМОВ ДОСЯГНЕННЯ МАКСИМАЛЬНОГО РІВНЯ СПОЖИВАННЯ КИСНЮ

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

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

**Постановка проблеми.** 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 морфо-функціональними 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 [4, 7]. Специфіка умов конкретного виду м'язової діяльності чітко відображається на рівні і динамічних характеристиках реакції кардіореспіраторної системи (КРС) на дію гіперкапнічних і гіпоксичних зрушень дихального гомеостазису як у стані спокою, так і в умовах напружених фізичних навантажень [6, 7, 10]. 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 гіперкапнічний стимул [4, 6, 7, 8, 10].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В останні роки накопичилося багато принципово нових знань про сутність функціональних можливостей спортсменів та опубліковано велику кількість даних, що відображають верхні межі функціональних можливостей людини, отриманих при обстеженні елітних спортсменів [0, 4, 6, 8, 11]. При вирішенні завдань вдосконалення фізіологічного контролю процесу адаптації спортсменів до напруженого спортивного тренування у спортивній фізіології на перший план 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 залежить від наступних властивостей фізіологічної реактивності таких як, функціональна та метаболічна потужність, стійкість, рухливість, економічність і реалізуємість, що достатньо повно враховують вимоги до основних сторін діяльності функціональних систем в умовах напружених спортивних навантажень [4, 5, 7, 8]. У процесі тренування спортсменів властивості фізіологічної реактивності закономірно змінюються і це лежить в основі змін спеціальної працездатності і функціональної підготовленості спортсменів на основі стабілізації потужностних характеристик фізіологічних функцій і метаболізму, а також є основою сталого функціонального стану організму спортсмена [4, 5].

Все більш очевидним стає той факт, що при приблизно рівному енергетичному і функціональному потенціалу фізіологічних систем провідних для виду спорту, перевагу отримує той спортсмен, який в конкретних умовах змагань здатний довго утримувати біля максимальні рівні функціонування [4, 5, 6, 7]. Властивість "стійкості", як здатність організму підтримувати високий ефективний рівень функціональних реакцій при різних зрушеннях внутрішнього середовища організму, головним чином ацидемичним в результаті анаеробного енергозабезпечення в конкретних умовах змагальної діяльності, стає ключовою [4, 5].

Робота виконана згідно держбюджетної науково-дослідної теми "Критерії оцінки функціонального потенціалу спортсменів високого класу" (№ держреєстрації 0114U001482) в межах програми "Прикладні дослідження і розробки за напрямами науково-технічної діяльності вищих навчальних закладів та наукових установ" Міністерства освіти і науки України.

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

**Матеріали і методи.** Дослідження проводилися в лабораторних умовах в змагальному періоді підготовки за участю 54 кваліфікованих спортсмена (КМС-МС) на експериментальній базі НДІ Національного університету фізичного виховання і спорту України.

Використовувався методичний підхід для оцінки функціональних можливостей спортсменів [4] і діагностичний ергоспірометричний комплекс "Oxcon Pro" ("Jaeger", Німеччина). Досліджувалися показники газообміну, зовнішнього дихання, центральної гемодинаміки, ацидемичних зрушень крові та фізичної працездатності спортсменів в умовах фізичних тестових навантажень [2, 9, 11]. З цією метою використовували тест на утримання навантаження на рівні "критичної" потужності ( $W_{кр}$ ), який використовується для визначення максимальної аеробної ємності [13] і здатності утримувати високі рівні енергетичних процесів і функціонування КРС в умовах напружених фізичних навантажень [4]. Результати в тесті з навантаженням ступенезростаючої потужності були використані для розрахунку значень рівня навантаження "критичної" потужності, яка визначалася як той найменший рівень навантаження, при якому вперше досягався рівень максимального споживання  $\text{O}_2 - \text{VO}_{2\max}$  [2, 3, 12]. Тестові навантаження на рівні  $W_{кр}$  виконувалися на тредмілі LE-200 C (Jaeger, Німеччина) з постійною швидкістю до моменту "відмови" випробуваного від продовження роботи.

В 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. Реєстрація частоти серцевих скорочень (ЧСС,  $\text{уд}\cdot\text{хв}^{-1}$ ) проводилася за допомогою "Sport Tester Polar" (Фінляндія). Концентрацію лактату ( $\text{HLa}$ ,  $\text{ммоль}\cdot\text{л}^{-1}$ ) 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 проводилося після дня відпочинку при стандартизованому режимі харчування і питного режиму. Спортсмени були інформовані про зміст тестів і дали згоду на їх проведення.

**Результати та їх обговорення.** Проведені раніше дослідження в умовах дії прогресуючої гіперкапічної стимуляції дозволили виділити три групи спортсменів, які відрізнялися за типом реагування кардіореспіраторної системи (КРС) на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул [6, 7, 10], а також спеціалізувалися в бігу на змагальних дистанціях різної тривалості (100 м, 800 м і 5000 м). 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  $\text{O}_2$  ( $W_{кр}$ ) і виконують різний об'єм роботи на рівні навантаження "критичної" потужності (ОКР,  $\text{Дж}\cdot\text{кг}^{-1}$ ) – таблиця 1.

Так, у спортсменів-бігунів на дистанції 5000 м, яких відрізняв знижений рівень чутливості КРС на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул відзначався достовірно більш високий рівень навантаження на рівні "критичної" потужності і об'єм виконаної роботи на даному рівні в порівнянні зі спортсменами-бігунами на дистанції 100 м і 800 м ( $p < 0,05$ ). Спортсмени-стаєри досягали і більш високих граничних рівнів функціонування КРС у поєднанні з відносно вищим рівнем ефективності реакцій КРС за рахунок більшого кисневого ефекту серцевого циклу. Відносно знижена величина максимальної частоти серцевих скорочень у спортсменів даного типу фізіологічної реактивності може вказувати на більший систолічний об'єм крові в даному тесті, що, в цілому, свідчить про більш високий ступінь розвитку аеробних механізмів енергозабезпечення, економічності і загальної продуктивності реакцій КРС [2] в умовах максимального аеробного тесту.

У спортсменів-спринтерів з високим рівнем фізіологічної реактивності (біг на дистанції 100 м), відзначався відносно знижений рівень загальної фізичної працездатності, який поєднувався зі зниженими граничними рівнями функціонування КРС і більш високим рівнем максимальної частоти серцевих скорочень (ЧСС), а також зниженими кисневим ефектом серцевого циклу (" $\text{O}_2$ -пульс"), що свідчило про знижену економічність функціонування серцево-судинної системи (ССС) у спортсменів-спринтерів (див. табл.1). Середній рівень фізичної працездатності, так і загальний рівень аеробних можливостей організму, економічності функціонування ССС відзначався у спортсменів-бігунів на дистанції 800 м.

Крім того, як видно з таблиці 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 більше значення набуває здатність утримувати високі рівні енергетичного метаболізму і функцій КРС, які специфічні для даної змагальної дистанції, тобто властивість стійкості [0, 5, 12].

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 гомеостазису,  $X \pm S$**

Показники	Групи спортсменів по рівню фізіологічної реактивності, спортивній спеціалізації			p (t-тест) <0,05
	I група – знижений, біг на 100 м	II група – середній, біг на 800 м	III група – знижений, біг на 5000 м	
Потужність "критичного" навантаження ( $W_{кр}$ ) на кг маси тіла, $Вт \cdot кг^{-1}$	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, $Вт \cdot хв^{-1} \cdot кг^{-1}$	16,97±1,07	22,29±1,28	41,98±4,58	1-2,3;2-3
Максимальний рівень легеневої вентиляції ( $V_{Emax}$ ) на кг маси тіла, $мл \cdot хв^{-1} \cdot кг^{-1}$	1497,74±163,74	1704,0±133,9	2037,52±123,2	3-1,2
Максимальний рівень споживання $O_2$ ( $VO_{2max}$ ) на кг маси тіла, $мл \cdot хв^{-1} \cdot кг^{-1}$	42,36±3,89	49,83±2,04	60,79±3,30	1-2,3;2-3
Максимальний рівень ЧСС ( $ЧСС_{max}$ ), $уд \cdot хв^{-1}$	189,17±5,26	183,04±4,19	181,00±4,94	
Вентиляційний еквівалент для $O_2$ ( $EQO_2$ )	28,80±1,05	27,99±1,30	26,96±0,96	
Максимальний кисневий ефект серцевого циклу (" $O_2$ -пульс" $_{max}$ ), $мл \cdot уд^{-1}$	16,21±1,18	20,60±0,92	22,67±1,27	1-2,3

Таблиця 2

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

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

Так, за весь період тесту потужність навантаження була постійною, але швидкість споживання  $O_2$  безперервно збільшувалася, що вимагало від організму підтримувати максимальний або біля максимальний рівня споживання  $O_2$  для загальної робочої продуктивності спортсменів. Кваліфіковані спортсмени різних груп, підтримували різний рівень "критичної" потужності навантаження і утримували його різний час, а також утримували і різний рівень споживання  $O_2$ . 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). Максимальна швидкість споживання  $O_2$  у спортсменів-стаєрів зі зниженим рівнем фізіологічної реактивності КРС на  $CO_2$ - $H^+$ -стимул (III група, біг на 5000 м), в порівнянні зі спортсменами з середнім

рівнем фізіологічної реактивності (II 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 відзначався у спортсменів-спринтерів з високим рівнем фізіологічної реактивності (I група, біг на 100 м). Так,  $VO_{2max}$  відзначався на  $5,51 \pm 0,34$  хвилині і утримувався на високому рівні  $10,69 \pm 1,02\%$  від загального часу підтримки навантаження на рівні "критичної" потужності.

Крім того, в умовах тесту при незмінному рівні потужності роботи відзначалося безперервне збільшення частоти серцевих скорочень позначене як пульсової "дрейф" [4, 5]. Так, у спортсменів-стаєрів зі знизеним рівнем фізіологічної реактивності (III група) відзначався найменший пульсової "дрейф" за величиною коефіцієнта функціональної стійкості по ЧСС (КФС ЧСС  $3,34 \pm 0,39\%$ ), що свідчило про більш високий рівень стійкості циркуляторної реакції в умовах тривалого навантаження. Трохи нижче рівень стійкості функціональних реакцій по "дрейфу" ЧСС відзначався у спортсменів II групи (біг на 800 м) з середнім рівнем фізіологічної реактивності (КФС ЧСС  $5,53 \pm 0,78\%$ ).

У спортсменів-спринтерів з високим рівнем чутливості КРС на  $CO_2-H^+$ -стимул при аналізі динаміки рівня споживання  $O_2$  в умовах тесту на утримання навантаження на рівні "критичної" потужності не відзначалося вираженої стадії "стійкого" стану. Швидкість споживання  $O_2$  безперервно наростала протягом тестового навантаження і максимальний рівень  $VO_2$  відзначався на  $5,12 \pm 0,18$  хвилині, а період стійкого утримання  $VO_{2max}$  становив лише  $3,94 \pm 0,24\%$  від загального часу підтримки навантаження на рівні "критичної" потужності. У цій групі спортсменів відзначався і найменший рівень стійкості по пульсовому "дрейфу" (КФС ЧСС  $6,26 \pm 0,37\%$ ). Подібна закономірність відмінностей серед груп в умовах підтримки навантаження на рівні "критичної" потужності відзначався і за коефіцієнтом функціональної стійкості для ефективності легеневого газообміну по  $O_2$  ("дрейф"  $EQO_2$ ).

Таким чином кваліфіковані спортсмени-бігуни на змагальні різної тривалості (100 м, 800 м, 5000 м) та з різним рівнем чутливості і загальної реактивності кардіореспіраторної системи  $CO_2-H^+$ -стимул при виконанні тестового навантаження максимальної аеробної потужності відрізнялися як по максимальному досягнутому рівню фізичної працездатності, так і по верхнім межах (пікам) реакції кардіореспіраторної системи. При цьому, результати кореляційного аналізу виявили негативну взаємозумовленість рівня фізичної працездатності, максимального рівня функціонування КРС (за рівнем легеневої вентиляції та споживанням  $O_2$ ), рівня економічності (за " $O_2$ -пульс", вентиляційним еквівалентом для  $O_2$ ) і стійкості (за КФС ЧСС та КФС  $EQO_2$ ) функціональних реакцій в умовах підтримки навантаження на рівні "критичної" потужності з характеристиками чутливості реакцій КРС на  $CO_2-H^+$ -стимул. Пряма взаємозумовленість відзначалася між рівнем чутливості КРС на  $CO_2-H^+$ -стимул і рівнем активності анаеробних гліколітичних процесів ( $VCO_2$ ,  $VCO_2/VO_{2fn}$ ,  $VCO_2/VO_{2vidn}$ ,  $HLa$ ).

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

## Використані джерела

1. Алексеев В.М. Изменение в частоте сердечных сокращений (пульсовой "дрейф") на протяжении работы постоянной аэробной мощности у спортсменов и не спортсменов / В.М. Алексеев, Я.М. Коц // Физиология человека. – 1983. – Т.9, № 2. – С. 316-322.
2. Виру А.А. Энергообеспечение мышечной работы при одновременном использовании аэробных и анаэробных механизмов энергообеспечения / А.А. Виру // Главы из спортивной физиологии. – Тарту, 1988. – С. 51-70.
3. Красников Н.П. Исследование функции внешнего дыхания и кровообращения, определяющих и лимитирующих физическую работоспособность человека / Н.П. Красников // Физиология человека. – 1984. – Т.10, №6. – С. 1036-1041.
4. Конрад А.Н. Критерии метаболических состояний у спортсменов при нагрузках критической мощности / А.Н. Конрад // Актуальные проблемы физической культуры и спорта. – М., 1974. – С. 23-24.
5. Матсин Т.А. Функциональная устойчивость тренированного организма при выполнении длительных равномерных нагрузок в стандартных условиях / Т.А. Матсин, А.А. Виру // Физиология человека. – 1980. – Т.6, №1. – С. 85-89.
6. Мищенко В.С. Свойства регуляции кислородтранспортной системы как отражение функционального потенциала организма спортсменов / В.С. Мищенко // Медико-биологические основы оптимизации тренировочного процесса в циклических видах спорта. – Киев: КГИФК, 1980. – С. 108-133.

7. Мищенко В.С. Функциональная подготовленность, как интегральная характеристика предпосылок высокой работоспособности спортсменов: Методическое пособие / В.С. Мищенко, А.И. Павлик, В.Ф. Дяченко – К.: ГНИИФКС, 1999. – 128 с.
8. Міщенко В.С. Типи фізіологічної реактивності системи дихання і специфіка прояву спеціальної працездатності спортсменів / В.С. Міщенко, О.М. Лисенко, В.Є. Виноградов // Фізіологічний журнал. – 2006. – Т.52, №4. – С. 69-77.
9. Мищенко В.С. Реактивные свойства кардиореспираторной системы как отражение адаптации к напряженной физической тренировке в спорте / В.С. Мищенко, Е.Н. Лысенко, В.Е. Виноградов. – К.: Науковий світ, 2007. – 351 с.
10. Физиологическое тестирование спортсмена высокой квалификации: Пер с англ / [Бекус Р.Д.Х., Банистер Е.У., Бушар К., Дюлак С.]. – К.: Олимпийская литература, 1998. – 432 с.
11. Astrand P.-O. Influences of biological age and selection / P.-O.Astrand // *Endurance in Sport*. Blackwell Scientific Publication, 1992. – P. 285-289.
12. Lysenko Olena. Cardiorespiratory responseveness and manifestations of energy potential for elite athletes / Olena Lysenko // *Research Yearbook. Studies in Physical Education and Sport*. – 2007. – Vol. 13, №2. – P. 235-238.
13. Mac Dougal J.D. Physiological testing of the high-performance athlete / J.D. Mac Dougal, H.A. Wander, N.J. Green // *Champaing, II; Human Kinetics*. 1991. – 448 p.
14. Morrow J.R. Measurement and evaluation in Human Performance / J.R. Morrow, A.W. Jackson, J.G. Disch, D.P.Mood // *Human Kinetics Publishers*, 1995. – 416 p.

Lysenko O.

#### INFLUENCE OF SENSITIVITY OF CARDIORESPIRATORY SYSTEM TO CO<sub>2</sub>-H<sup>+</sup>-STIMULUS THE STABILITY FOR THE REACTION CONDITIONS TO ACHIEVE OF MAXIMAL OXYGEN CONSUMPTION

*The present article deals with research of the features in physical reactivity of cardiorespiratory system (CRS) to the shifts occurring in respiratory homeostasis of skilled athletes with various directions of long-term adaptation process and its mutual conditionality with characteristics in CRS responses, manifestations of physical work capacity. For evaluating cardiorespiratory responsiveness we have used a progressively increasing "purely" hypercapnic stimulation in the rest and have determinate characteristic of functional fitness of athlete. The orientation of connections between characteristics of cardiorespiratory responsiveness on hypercapnic shifts respiratory homeostasis and physical capacity for work allows to assume presence of the general appropriateness, consisting that increase of a level of sensitivity and general cardiorespiratory responsiveness on CO<sub>2</sub>-H<sup>+</sup>-stimulus are mutually conditioned by prevalence in training process of training exercises mainly anaerobic character, and decrease in sensitivity by prevailing use trainings ways directed on development of aerobic opportunities of an organism and increase level sportsmen endurance. It specifies that changes of physiological factors which determine a level of sensitivity responses CRS on shifts respiratory homeostasis, on the one hand, display long accumulation the same training influences on character of metabolism, and with another – are closely connected. Positive interrelation was revealed between characteristics of CRS sensitivity to CO<sub>2</sub>-H<sup>+</sup>-stimulus with the level of CRS responses and the rate of their development under conditions of average-power aerobic loading and negative interrelation – under conditions 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.*

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

*Стаття надійшла до редакції 15.09.2015 р.*