

В.С.Міщенко, О.М.Лисенко, В.Є.Виноградов

## Типи фізіологічної реактивності системи дихання та особливості прояву фізичної працездатності спортсменів

*На основании исследований характера реакций системы дыхания (СД) на гиперкапнию и физическую нагрузку у квалифицированных спортсменов (бегунов на 100, 800 и 5000 м) проанализированы особенности физиологической реактивности системы на сдвиги дыхательного гомеостаза, отражающие различную направленность долговременной адаптации (спортивной тренировки). Показана взаимосвязь чувствительности и устойчивости реакций на гиперкапнию ( $CO_2-H^+$ ), а также пределов и кинетических характеристик реакции СД на физическую нагрузку с проявлениями работоспособности и особенностями мобилизации аэробных и анаэробных механизмов энергообеспечения при физических нагрузках. С помощью таксономического анализа выделены типы индивидуальных реакций организма квалифицированных спортсменов на основе характера реагирования СД на гиперкапнические сдвиги дыхательного гомеостаза в состоянии покоя. Они были в высокой степени обусловлены специализацией спортсменов.*

### ВСТУП

Відомо, що здатність людини протистояти екстремальним факторам значною мірою залежить від індивідуальних особливостей фізіологічної реактивності організму, швидкості залучення й ефективності механізмів термінової адаптації [1, 4, 5, 10, 11, 15, 16]. Механізми адаптації при різних впливах середовища та фізичних навантажень мають як загальні, так і індивідуальні риси. Напружене фізичне навантаження характеризується вираженими гіпоксичними явищами в організмі. Регулярна повторюваність реакцій компенсації гіпоксії протягом років спортивного тренування певним чином змінює загальну реакцію організму на дію різних факторів [13, 23, 26, 28, 32, 33]. Такі зміни поєднують у собі як вплив зазначених факторів, так і індивідуальні спадкові властивості реагування. Такий індивідуальний характер реагування показаний стосовно гуморальних стимулів

і характеру енергетичного метаболізму (залучення аеробних і анаеробних процесів), які взаємопов'язані зі специфікою м'язових волокон і нервово-м'язового апарату в цілому, включаючи його аферентацію [17, 25]. Такі відмінності зв'язані також з особливостями вегетативного балансу та індивідуально-типологічними характеристиками вищої нервової діяльності. Показано, що на основі оцінки характеристик реакції функціональних систем організму на зовнішні подразники і зрушення гомеостазу всіх людей умовно можна розділити на осіб з гіпер-, гіпо- чи нормореактивним типом реакції [3–5, 16, 18, 26]. Разом з тим дотепер немає досить обґрунтованих маркерів і критеріїв для визначення зазначених типів реакцій.

Гіперкапнічна стимуляція системи дихання (СД), опосередкована хеморецепторами, як відомо, є основним механізмом, що установлює відповідність легеневої

© В.С.Міщенко, О.М.Лисенко, В.Є.Виноградов

вентиляції інтенсивності метаболічних процесів у організмі. Показано, що чутливість до гіперкапнічних ( $\text{CO}_2\text{-H}^+$ ) зрушень дихального гомеостазу може відображати загальну фізіологічну реактивність. Вона пов'язана зі швидкістю та рівнем реакції СД на дію подразників різного характеру, у тому числі і фізичного навантаження [5, 12, 13, 19, 27]. При формуванні методичних підходів у даному дослідженні виходили з того, що одним з основних регуляторів системи дихання виступає  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул і тому вплив багатьох факторів, що стимулюють дихання у людини, може бути описано зміною реакції на нього [2, 6, 8, 14].

Характер спрямованості багаторічного спортивного тренування багато в чому визначається специфікою реалізації енергетичних можливостей у конкретних умовах діяльності (зокрема, при різній тривалості змагальної дистанції) і, відповідно, часу роботи, протягом якого повинні бути максимально реалізовані такі можливості спортсмена. Це припускає істотну роль початкової кінетики реакцій енергозабезпечення роботи і її модифікацію, як елемент оптимізації фізіологічної реактивності в процесі адаптації. У зв'язку з цим є підстави припускати, що важливим елементом пристосування фізіологічної реактивності СД спортсменів різних спеціалізацій є модифікація кінетики її реакцій. Виходили з того, що, використовуючи різні дисципліни спорту як модель певного виду діяльності людини, можна визначити діапазон і характер відмінностей фізіологічної реактивності СД, який пов'язаний зі специфікою довгострокової адаптації. Такі відмінності повинні відображати особливості реалізації енергетичних і функціональних можливостей людини в умовах фізичних навантажень.

Мета нашої роботи – охарактеризувати особливості реакції СД на гіперкапнічні зрушення дихального гомеостазу, виділити типи фізіологічної реакції системи за їх виразністю та визначити особливості реакції на фізичні навантаження, характер реалізації енергетичного і функціонального

потенціалу у кваліфікованих спортсменів, які довгостроково спеціалізувалися в легкоатлетичному бігу на різних дистанціях.

## МЕТОДИКА

Дослідження проводили під час найбільш високого рівня спеціальної працездатності, що у річному циклі підготовки звичайно відмічається у змагальному періоді. Обстежено 54 кваліфікованих легкоатлета зі спортивним розрядом кандидат у майстри спорту та майстер спорту віком від 19 до 24 років, які протягом 5–8 років спеціалізувалися в бігу на 100 м ( $n=19$ ), на 800 м ( $n=15$ ) і на 5000 м ( $n=16$ ). Фізіологічну реактивність СД оцінювали на підставі вимірів чутливості та стійкості реакцій легеневої вентиляції ( $V_E$ ), частоти серцевих скорочень (ЧСС) і серцевого ритму на гіперкапнічні ( $\text{CO}_2\text{-H}^+$ ) та гіпоксичні зрушення дихального гомеостазу в стані спокою, а також за реакцією на виснажувальне ступінчастозростаюче (кожні 2 хв) фізичне навантаження. Гіпоксичну стимуляцію (у ізокапнічних умовах) створювали методом зворотного дихання [13, 20] у діапазоні зниження  $P_A\text{O}_2$  від 120 до 45 мм рт.ст. Прогресуючу гіперкапнічну стимуляцію на фоні підвищеного вмісту  $\text{O}_2$  (близько 50 %) у газовій суміші створювали методом зворотного дихання [20, 31]. Оцінювали нахил лінії залежності  $V_E\text{-}P_A\text{CO}_2$ , що відображає приріст легеневої вентиляції на 1 мм рт.ст. збільшення  $P_A\text{CO}_2$  і характеризує чутливість реакції до гіперкапнії. Екстрапольована точка перетину лінії  $V_E\text{-}P_A\text{CO}_2$  з віссю абсцис (точка “апное”), характеризувала поріг вентиляторної реакції на  $\text{CO}_2$ . Структуру вентиляторної відповіді оцінювали за співвідношенням Хью–Ейлера, що описує залежність між легеневою вентиляцією і дихальним об'ємом за допомогою двох показників: нахилу лінії  $V_E\text{-}V_T$  ( $M$  або  $\Delta V_E/\Delta V_T$ ) і точки її перетину з віссю абсцис ( $K$  – поріг

реакції рецепторів розтягнення легень). Обробку результатів проводили за спеціально розробленим алгоритмом [12, 13].

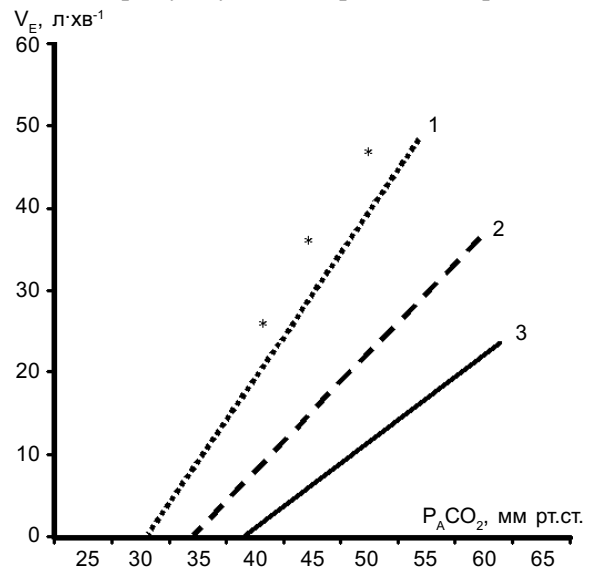
Для аналізу реакції СД на фізичне навантаження використовували тестове навантаження ступінчастозростаючої потужності тривалістю 12–18 хв до моменту досягнення індивідуальних меж споживання  $O_2$  (позначена як “критична” потужність –  $W_{кр}$ ). Така модель навантаження застосовується для визначення максимальної аеробної потужності організму (за значеннями  $VO_{2max}$ ), аеробної ефективності. Тестові навантаження виконували на тредмілі L-500 (“Jaeger”, Німеччина). Тестування проводили після дня відпочинку при стандартизованому режимі харчування та питного режиму. Спортсмени були інформовані про зміст тестів і дали згоду на їхнє проведення.

Показники реакції СД реєстрували в реальному масштабі часу (breath by breath) за допомогою автоматизованого кардіоспірометричного комплексу “Oxuson Pro” (“Jaeger”, Німеччина). Визначали легеневу вентиляцію ( $V_E$ ), частоту дихання ( $f$ ), дихальний об’єм ( $V_T$ ), концентрацію  $CO_2$  і  $O_2$  у видихуваному ( $F_E O_2$ ,  $F_E CO_2$ ) і альвеолярному повітрі ( $F_A O_2$ ,  $F_A CO_2$ ), споживання  $O_2$  ( $VO_2$ ), виділення  $CO_2$  ( $VCO_2$ ), газообмінне відношення ( $RQ=VCO_2/VO_2$ ), вентиляційні еквіваленти для  $O_2$  ( $EQO_2=V_E/VO_2$ ) і для  $CO_2$  ( $EQCO_2=V_E/VCO_2$ ), кисневий пульс ( $VO_2/ЧСС$ ). З огляду на те, що виміри проводили у відкритій системі, значення показників зовнішнього дихання наведено до умов ВTPS, а газообміну – до умов STPD. Концентрацію лактату в капілярній крові визначали ензиматичним методом (“Dr. Lange-400”). Статистичне опрацювання результатів проводили з використанням комп’ютерної програми “Microsoft Excel”. Для систематизації індивідуальних реакцій організму на прогресуючу гіперкапінію використовували метод таксономічного аналізу [7].

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Дослідження реакції СД на прогресуючу гіперкапінію ( $CO_2-H^+$ ) стимуляцію показали, що серед обстежених спортсменів спостерігались істотні індивідуальні відмінності. Застосування алгоритму таксономії за допомогою об’єднання в один таксон (групу) осіб, які найбільш подібно реагували на зазначений стимул (за величиною та інтенсивністю реакцій СД), дозволило виділити три типи реагування на  $CO_2-H^+$ -стимул. Класифікація індивідуальних реакцій на гіпоксичний стимул не дала чітких результатів для виділення груп спортсменів за типом реагування. У зв’язку з цим наступний аналіз реакції СД на фізичні навантаження було проведено окремо для груп спортсменів різного типу реагування за критеріями реакції СД на  $CO_2-H^+$ -стимул.

Залежність між приростом  $P_A CO_2$  за умов гіперкапінії та збільшенням легеневої вентиляції (чутливість реакції) у спортсменів з різним типом реагування представлено на рисунку. Найвираженіша реакція



Залежність легеневої вентиляції від напруження  $CO_2$  в альвеолярному повітрі в умовах прогресуючої гіперкапінічної стимуляції у кваліфікованих спортсменів з різним типом реагування системи дихання: 1 – I тип, 2 – II тип, 3 – III тип.

\* відмінності вірогідні між усіма групами ( $P<0,05$ )

відзначалася в групі спортсменів з I типом реагування. У цих спортсменів “коефіцієнт підсилення” реакції, тобто її збільшення щодо приросту  $P_A\text{CO}_2$  на 1 мм рт.ст. ( $\Delta V_E / \Delta P_A\text{CO}_2$ ), становив  $2,27 \text{ л}\cdot\text{хв}^{-1}\cdot\text{мм рт.ст.}^{-1} \pm 0,16 \text{ л}\cdot\text{хв}^{-1}\cdot\text{мм рт.ст.}^{-1}$ . У спортсменів з III типом реагування відзначався вірогідно знижений “коефіцієнт підсилення” вентиляторної реакції ( $1,09 \text{ л}\cdot\text{хв}^{-1}\cdot\text{мм рт.ст.}^{-1} \pm 0,14 \text{ л}\cdot\text{хв}^{-1}\cdot\text{мм рт.ст.}^{-1}$ ) відносно спортсменів інших груп. Для спортсменів з II типом реагування відзначався середній рівень цього показника ( $1,59 \text{ л}\cdot\text{хв}^{-1}\cdot\text{мм рт.ст.}^{-1} \pm 0,11 \text{ л}\cdot\text{хв}^{-1}\cdot\text{мм рт.ст.}^{-1}$ ,  $P < 0,05$ ). Ці результати можуть скласти основу для диференціації норм фізіологічної реактивності СД у спортсменів. Порівняння цих результатів з даними для нетренованих людей даного віку [5, 30] також указує на великий діапазон індивідуальних відмінностей як і в обстежених спортсменів. Разом з тим відзначається виразна тенденція до більш низьких значень  $\Delta V_E / \Delta P_A\text{CO}_2$  у спортсменів. Слід зазначити, що рівень  $P_A\text{CO}_2$ , при якому припинялося зворотне дихання  $\text{CO}_2$  через важкі суб’єктивні відчуття, був вірогідно більш низьким ( $53,31 \text{ мм рт.ст.} \pm 1,04 \text{ мм рт.ст.}$ ) у спортсменів I типу реагування, ніж у спортсменів II ( $59,08 \text{ мм рт.ст.} \pm 3,21 \text{ мм рт.ст.}$ ) і III ( $58,71 \text{ мм рт.ст.} \pm 2,04 \text{ мм рт.ст.}$ ) типів. Достовірні відмінності між групами спортсменів відзначалися не тільки за “коефіцієнтом підсилення” реакції вентиляції, але і за її порогом (точка “апное”). Так, у спортсменів з I типом реагування відзначалися вірогідно нищі значення  $P_A\text{CO}_2$  точки “апное” (див. рисунок) –  $31,3 \text{ мм рт.ст.} \pm 0,9 \text{ мм рт.ст.}$  у порівнянні зі спортсменами II ( $35,4 \text{ мм рт.ст.} \pm 0,9 \text{ мм рт.ст.}$ ) та III ( $36,6 \text{ мм рт.ст.} \pm 0,8 \text{ мм рт.ст.}$ ) типів реагування ( $P < 0,05$ ). Як видно з порівняння зазначених на рисунку груп спортсменів, зниження  $\Delta V_E / \Delta P_A\text{CO}_2$  супроводжувалося підвищенням порога вентиляторної реакції на  $\text{CO}_2$ . Це особливо чітко видно при порів-

нянні результатів спортсменів I і III типів реагування. Подібні дані можуть свідчити про розширення зони нечутливості цих хеморецепторів до  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимулу у спортсменів визначених спеціалізацій [6, 12, 13].

Існують відомості, що довготривала адаптація спортсменів до високоінтенсивних тренувальних навантажень з переважно анаеробним гліколітичним енергозабезпеченням призводить до зсуву лінії залежності  $V_E\text{-}P_A\text{CO}_2$  “вправо” [9, 13, 22]. Такі зміни зв’язуються зі збільшенням здатності затримки  $\text{CO}_2$  в організмі та накопиченням недоокиснених продуктів обміну, що може бути чинником підвищення працездатності при подібних навантаженнях. В основі таких змін і підвищення порога вентиляторної реакції на  $\text{CO}_2$  повинні лежати визначені пристосування регуляції дихання до підвищеного вмісту ендогенної вуглекислоти, іонів водню в процесі напруженого фізичного навантаження. Результати цього дослідження показують, що знижений рівень чутливості СД у сполученні з високим порогом вентиляторної реакції на  $\text{CO}_2$  вірогідно відрізняв спортсменів-бігунів на дистанції 5000 м ( $P < 0,05$ ). Ця дистанція пред’являє найбільше високі вимоги до реалізації аеробних можливостей у комплексі з анаеробними гліколітичними. Одночасно вона характеризується найбільшим сумарним об’ємом виведення неметаболічного  $\text{CO}_2$  у процесі подолання дистанції, що відображає інтенсивність дихальної компенсації метаболічного ацидозу [27, 28, 32].

Більш висока реактивність СД спортсменів I типу реагування характеризувалася також вираженішою реакцією ЧСС на 1 мм рт.ст. збільшення  $P_A\text{CO}_2$ , величини легеневої вентиляції і ЧСС при стандартних рівнях гіперкапнічної стимуляції ( $P_A\text{CO}_2 = 50 \text{ мм рт.ст.}$ , табл. 1). Ці показники у спортсменів I типу реагування були вірогідно більш високими, ніж у спортсменів III типу. Відмінності реакцій СД у спортсменів

різних типів видно також за структурою вентиляторної реакції, зумовленої механізмами саморегуляції дихання. Так, для спортсменів з I типом реагування рівень легеневої вентиляції при стандартній величині дихального об'єму 2 л ( $V_{E2л}$ ) був вірогідно вищим ( $507,3 \text{ мл}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{хв}^{-1} \pm 37,1 \text{ мл}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{хв}^{-1}$ ), ніж у спортсменів з II і III типом реагування ( $P<0,05$ ). Для спортсменів I типу реагування щодо III типу був характерний і більш високий приріст легеневої вентиляції на одиницю збільшення дихального об'єму ( $\Delta V_E/\Delta V_T$ ), що свідчило про підвищену чутливість рефлексу Геринг-Брейера.

Для оцінки елементів взаємозалежного функціонування СД спортсменів різних типів реагування аналізували зміни дихальної (синусової) аритмії серцевих скорочень у процесі наростаючої гіперкапнії. В літературі є дані про те, що залежність дихальної аритмії (ДА) серцевого ритму від напруження  $\text{CO}_2$  в альвеолярному повітрі дозволяє оцінити стійкість регуляції

серцевого ритму [12]. Дослідження показали, що у визначеному діапазоні  $P_A\text{CO}_2$  у всіх спортсменів спостерігалось близьке до лінійного наростання ДА серцевого ритму (див.табл.1). При досягненні визначеного індивідуального рівня  $P_A\text{CO}_2$  починалося зниження ДА. Як видно з табл. 1, значення  $P_A\text{CO}_2$  початку зниження ДА серцевого ритму у спортсменів з III типом реагування було вірогідно вище, ніж у спортсменів з I і II типами реагування. Це зниження може вказувати на вичерпання визначених факторів забезпечення стійкості ефективної регуляції, головним чином через активізацію симпатичного каналу такої регуляції [21]. При цьому наростає "ціна" регуляції та адаптації в цілому [13, 21, 29]. Таким чином, найвища стійкість регуляції серцевого ритму за умов гіперкапнії відзначалась у спортсменів з III типом реагування і найнижча – з I типом. В останніх відзначалися також і вірогідно менші значення максимуму ДА ( $DA_{max}$ ) і ДА серцевого ритму при  $P_A\text{CO}_2$  50 мм рт.ст. ( $DA_{50}$ ), що

**Таблиця 1.** Характеристика реакції системи дихання за умов прогресуючої гіперкапнічної стимуляції у стані спокою у кваліфікованих спортсменів з різним типом реагування на  $\text{CO}_2$ - $\text{H}^+$ -стимул ( $M \pm m$ )

Показник	I тип	II тип	III тип
Легенева вентиляція при $P_A\text{CO}_2$ 50 мм рт.ст., $\text{мл}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{хв}^{-1}$	535,0 $\pm$ 42,9*	294,8 $\pm$ 39,2*	207,8 $\pm$ 28,2*
Частота серцевих скорочень при $P_A\text{CO}_2$ 50 мм рт.ст., $\text{хв}^{-1}$	74,3 $\pm$ 2,8***	70,8 $\pm$ 3,2	67,0 $\pm$ 2,0
Приріст частоти серцевих скорочень на 1 мм рт.ст. збільшення $P_A\text{CO}_2$ , $\text{хв}^{-1}\cdot\text{мм рт.ст.}^{-1}$	1,29 $\pm$ 0,13*	0,96 $\pm$ 0,09*	0,64 $\pm$ 0,14*
Легенева вентиляція при дихальному об'ємі 2 л, $\text{л}\cdot\text{хв}^{-1}$	36,9 $\pm$ 1,7*	24,0 $\pm$ 2,1*	17,5 $\pm$ 3,0*
Приріст легеневої вентиляції на 1 мл збільшення дихального об'єму, $\text{хв}^{-1}$	20,9 $\pm$ 1,2*	16,2 $\pm$ 1,9*	11,9 $\pm$ 1,8*
Поріг реакції рецепторів розтягування легень, л	0,24 $\pm$ 0,04*	0,46 $\pm$ 0,02*	0,57 $\pm$ 0,05*
Максимальний рівень дихальної аритмії серцевого ритму, %	14,13 $\pm$ 2,24**	19,51 $\pm$ 2,24	22,08 $\pm$ 2,96
$P_A\text{CO}_2$ при максимальному рівні дихальної аритмії серцевого ритму, мм рт.ст.	49,67 $\pm$ 1,12****	51,48 $\pm$ 1,17	53,81 $\pm$ 0,96
Рівень дихальної аритмії серцевого ритму при $P_A\text{CO}_2$ 50 мм рт.ст., %	12,30 $\pm$ 1,01*	14,29 $\pm$ 0,82*	18,73 $\pm$ 1,04*
$P_A\text{CO}_2$ початку зниження максимального рівня дихальної аритмії, мм рт.ст.	49,91 $\pm$ 0,98*	53,04 $\pm$ 1,08*	56,18 $\pm$ 1,18*
Максимальний рівень $P_A\text{CO}_2$ , мм рт.ст.	53,31 $\pm$ 1,04	59,08 $\pm$ 3,21	58,71 $\pm$ 2,04

Примітка. Тут і в табл. 2 \* вірогідні відмінності між усіма групами ( $P<0,05$ ); \*\* I групи відносно II і III груп ( $P<0,05$ ); \*\*\* I групи відносно III групи ( $P<0,05$ ); \*\*\*\* I групи відносно II групи ( $P<0,05$ ).

може свідчити про більш раннє збільшення симпатичних впливів у регуляції серцевого ритму при наростанні ацидотичних змін внутрішнього середовища організму.

Отримані результати свідчать про те, що зі збільшенням тривалості основної змагальної дистанції відзначається зниження чутливості реакцій до гіперкапнії. Це підтверджується аналізом взаємозв'язку тривалості дистанції, на якій спеціалізуються спортсмени, і показниками реактивності на гіперкапнію (за  $\Delta V_E / \Delta P_A CO_2$   $r = -0,87$ ; за  $\Delta ЧСС / \Delta P_A CO_2$   $r = -0,82$ , за  $V_{E50}$   $r = -0,64$ ; за  $ЧСС_{50}$   $r = -0,46$ ;  $P < 0,05$ ). Подальший аналіз показав, що в групу з високим рівнем фізіологічної реактивності (І тип) входили в основному (93,7 %) спортсмени, які довгостроково та успішно спеціалізувалися в бігу на короткі змагальні дистанції (100 м). У групу кваліфікованих спортсменів із середнім рівнем фізіологічної реактивності (ІІ тип) входили головним чином (89,4 %) бігуни на середні дистанції (800 м), а в групу осіб зі зниженим рівнем реактивності СД (ІІІ тип, 94,8 %) спортсмени-бігуни на

довгі дистанції (5000 м).

Слід гадати, що особливості фізіологічної реактивності СД спортсменів, які спеціалізуються в бігу на дистанції різної тривалості, є одночасно наслідком як довгострокової адаптації до напруженої м'язової діяльності різної спрямованості, так і багаторічного відбору спортсменів зі спадковими відмінностями рівня чутливості СД до  $CO_2$ - $H^+$ -стимулу.

Отримані результати свідчать про те, що особливості фізіологічної реактивності СД певним чином впливають на специфічність фізичної працездатності та характер мобілізації аеробних і анаеробних факторів енергозабезпечення навантаження (табл. 2). Як видно з таблиці, в умовах навантаження ступінчастозростаючої потужності, що виконувалося до "відмови", зниження чутливості реакції СД до  $CO_2$ - $H^+$  у групах спортсменів з різним типом реагування супроводжувалося збільшенням рівня потужності фізичного навантаження, при якому досягалося  $VO_{2max}$  ( $W_{кр}$ ). Одночасно у спортсменів

**Таблиця 2. Максимально досягнутий рівень працездатності та реакції системи дихання при навантаженні ступінчастозростаючої потужності "до відмови" у кваліфікованих спортсменів груп, які відрізняються за рівнем фізіологічної реактивності на зрушення дихального гомеостазу ( $M \pm m$ )**

Показник	І тип	ІІ тип	ІІІ тип
"Критична" потужність навантаження, $Вт \cdot кг^{-1}$	$3,18 \pm 0,17^*$	$3,57 \pm 0,15^*$	$4,82 \pm 0,22^*$
Максимальний рівень легеневої вентиляції, $мл \cdot кг^{-1} \cdot хв^{-1}$	$1574,68 \pm 124,13^*$	$1872,58 \pm 119,2^*$	$2222,64 \pm 78,54^*$
Максимальний рівень споживання $O_2$ , $мл \cdot кг^{-1} \cdot хв^{-1}$	$42,97 \pm 3,36^*$	$50,11 \pm 3,20^*$	$61,08 \pm 2,38^*$
Максимальний рівень виділення $CO_2$ , $мл \cdot кг^{-1} \cdot хв^{-1}$	$56,94 \pm 3,71$	$52,03 \pm 3,06$	$55,09 \pm 2,41$
Максимальна частота серцевих скорочень, $хв^{-1}$	$191,0 \pm 4,55$	$186,50 \pm 4,51$	$184,29 \pm 5,65$
Вентиляційний еквівалент для $O_2$	$29,97 \pm 1,84$	$30,50 \pm 2,43$	$29,89 \pm 0,70$
Вентиляційний еквівалент для $CO_2$	$26,92 \pm 3,18^*$	$32,71 \pm 1,36^*$	$36,67 \pm 2,23^*$
Газообмінне відношення при критичній потужності фізичного навантаження	$1,17 \pm 0,14^{***}$	$1,07 \pm 0,12$	$0,98 \pm 0,09$
Пікове газообмінне відношення у відновлювальному періоді	$1,45 \pm 0,12^*$	$1,22 \pm 0,11^*$	$1,04 \pm 0,08^*$
Концентрація лактату у крові відразу після навантаження, $ммоль \cdot л^{-1}$	$11,79 \pm 0,75^{**}$	$8,96 \pm 0,86$	$7,64 \pm 0,96$

з більш низькою реактивністю на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$  відзначалися закономірно великі “пікові” рівні легеневої вентиляції і  $\text{VO}_2\text{max}$  на кілограм маси тіла. При цьому не виявлені достовірні відмінності виділення  $\text{CO}_2$  ( $\text{VCO}_2$ ) на рівні потужності навантаження досягнення  $\text{VO}_2\text{max}$  у спортсменів з різним типом фізіологічної реактивності. Разом з тим важливо відзначити, що спортсмени різних груп реактивності в умовах даного тесту досягають різних рівнів  $\text{Wkr}$  і  $\text{VO}_2\text{max}$  ( $P < 0,05$ ; див. табл.2), що викликало необхідність додаткового аналізу цього питання.

Надалі була зіставлена динаміка  $\text{VCO}_2$  при виконанні навантаження ступінчато-зростаючої потужності у спортсменів різних груп. Це дозволило порівняти ефективність легеневої вентиляції щодо виведення  $\text{CO}_2$  при однакових рівнях потужності навантаження у спортсменів різних груп. Такий аналіз показав, що більше значення  $\text{VCO}_2$  при однаковій величині потужності навантаження відзначалося у осіб, які мали відносно знижені рівні  $\text{Wkr}$  і більш високі рівні чутливості СД до  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ . Так, у спортсменів I типу реакції СД при однаковому рівні навантаження 245,9 Вт був вірогідно більш високий рівень виділення  $\text{CO}_2$  ( $\text{VCO}_2$  56,9  $\text{мл}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{хв}^{-1} \pm 3,7$   $\text{мл}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{хв}^{-1}$ ) і газообмінного відношення ( $\text{VCO}_2/\text{VO}_2=1,17\pm 0,14$ ), ніж у спортсменів із II ( $\text{VCO}_2$  38,2  $\text{мл}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{хв}^{-1} \pm 2,5$   $\text{мл}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{хв}^{-1}$ ,  $\text{VCO}_2/\text{VO}_2=0,91\pm 0,13$ ) і III ( $\text{VCO}_2$  34,5  $\text{мл}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{хв}^{-1} \pm 3,3$   $\text{мл}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{хв}^{-1}$ ,  $\text{VCO}_2/\text{VO}_2=0,79\pm 0,17$ ) типами реагування. Ці результати свідчать про більш високий рівень анаеробних гліколітичних процесів в енергозабезпеченні при однаковій потужності навантаження у спортсменів з вищим рівнем реактивності СД на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ . Найбільшою мірою це відноситься до спринтерів (біг на 100 м).

Необхідно враховувати також, що ступінь відносної переваги виділення  $\text{CO}_2$  над споживанням  $\text{O}_2$  сприяє розвитку рухової гіпокапнії. Вона є чинником зниження ефективності функцій транспортування

кисню в організмі та може бути одним з факторів обмеження фізичної працездатності [12, 19, 24, 27]. Тому стійкість до гіпокапнії також є важливим елементом адаптації СД до фізичних навантажень високої інтенсивності [27]. Її значення збільшується з підвищенням інтенсивності процесів дихальної компенсації метаболічного ацидозу. Це характеризує взаємозалежний аналіз газообмінного відношення і концентрації лактату в крові (див.табл. 2), який свідчить про наявність передумов, котрі найбільше сприяють виразності гіпокапнії у спортсменів з відносно вищим рівнем реактивності СД (біг на 100 та 800 м), але найбільше значення стійкості до гіпокапнії може мати при бігу на середні дистанції – на дистанції більшої тривалості в порівнянні зі спринтерськими дистанціями. Це пов’язано з тим, що в процесі подолання середніх дистанцій в енергозабезпеченні відмічається переважання анаеробних гліколітичних процесів, а також при тому самому рівні виділення  $\text{CO}_2$  (метаболічного) виділяється більше  $\text{CO}_2$  неметаболічного походження, пов’язаного з буферуванням ацидемічних зрушень. Відносно підвищена реактивність на  $\text{CO}_2$  у цих спортсменів може бути важливою ланкою збільшення потужності та кінетики дихальної компенсації метаболічного ацидозу. Кореляційний аналіз виявив позитивний взаємозв’язок рівня чутливості реакцій СД на  $\text{CO}_2$  і активності анаеробних гліколітичних процесів в енергозабезпеченні за умов тривалого навантаження. Приріст  $\text{VCO}_2$  та  $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$  прямо співвідносився з рівнем чутливості вентиляторної ( $r = 0,81$  для  $\Delta V_E/\Delta P_A \text{CO}_2$ ) і циркуляторної ( $r = 0,78$  для  $\Delta \text{ЧСС}/\Delta P_A \text{CO}_2$ ) реакції на зрушення дихального гомеостазу ( $P < 0,05$ ).

Таким чином, специфічні прояви адаптації до визначеного виду фізичних навантажень характеризуються спрямованою модифікацією реактивності СД (чутливості та стійкості) до зрушень дихального

гомеостазу. Така модифікація може виступати як механізм формування потужності дихальної компенсації метаболічного ацидозу. Це дозволяє використовувати показники чутливості та стійкості реакцій СД на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$  для оцінки і прогнозування ефектів напруженого тренування та характеру довготривалої адаптації.

Отримані результати вказують на те, що підвищена чутливість і загальна реактивність СД на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$  пов'язані з перевагою в тренувальному процесі швидкісно-силових тренувальних навантажень анаеробного характеру. Відносно знижена реактивність СД і чутливість її реакцій пов'язані з переважним використанням спортсменами засобів тренування, спрямованих на розвиток аеробних можливостей організму і такого типу витривалості. Зумовленість таких зв'язків з характером багаторічного тренування чи спадковою індивідуальністю фізіологічної реактивності оцінити важко. Разом з тим є підстави стверджувати, що зміни фізіологічних факторів, які визначають рівень чутливості реакцій СД і її загальної реактивності на зрушення дихального гомеостазу, з одного боку, відображають тривалу кумуляцію однотипових тренувальних впливів, а з іншого – тісно пов'язані з особливостями реакції СД в умовах фізичних навантажень різної тривалості та характеру енергозабезпечення.

**V.S.Michenko, O.N.Lysenko, V.J.Vinogradov**

#### **TYPES OF PHYSIOLOGICAL REACTIVITY OF RESPIRATORY SYSTEM AND THE FEATURES OF SPECIAL WORK CAPACITY MANIFESTATION IN ATHLETES**

On the basis researches of character responses of respiratory system (RS) on hypercapnic and physical load at 54 skilled athletes (the runners on 100, 800 and 5000 m) are analyzed of the features in physiological reactivity of system on shifts respiratory homeostasis, reflecting a various orientation of long-term adaptation (sports of the training). The interrelation of sensitivity and stability of responses to hypercapnic ( $\text{CO}_2\text{-H}^+$ ), and also limits and kinetic characteristics of responses

RS of physical loads with manifestation of work capacity and mobilization features aerobic and anaerobic processes of during physical loads energy-supply was demonstrated. By means of taxonomic analyses are allocated types of individual responses of organism of the skilled athletes on the basis of character RS responses to hypercapnic shifts in respiratory homeostasis. They in a high degree have been caused by sports specialization of athletes.

*Academy of Physical Education and Sports, Gdansk, Poland, National University of Physical Education and Sport of Ukraine, Kiev, Ukraine*

#### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Агаджанян Н.А., Елфимов А.И. Функции организма в условиях гипоксии и гиперкапнии. – М.: Медицина, 1986. – 272 с.
2. Агаджанян Н.А., Полуни И.Н., Степанов В.К., Поляков В.Н. Человек в условиях гипоксии и гиперкапнии. – Астрахань–М., 2001. – 340 с.
3. Адо А.Д. Вопросы общей нозологии. — М.: Медицина, 1985. — 239 с.
4. Березовський В.Я. Екологічні питання фізіології дихання та спадкові варіації реактивності // Фізіол. журн. – 1977. – 23, №4. – С.435–445.
5. Березовский В.А., Серебровская Т.В. Вентиляторный ответ на гиперкапнический стимул как показатель реактивности системы дыхания человека // Там само. – 1987. – 33, №3. – С.12–18.
6. Бреслав И.С. Паттерны дыхания. – В кн.: Физиология, экстремальные состояния, патология / Под ред. Л.Л.Шик. – Л.: Наука, 1984. – С.169–200.
7. Загоруйко Н.Г., Елкина В.Н., Лобов Г.С. Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей. – Новосибирск: Наука, 1985. – 108 с.
8. Исаев Г.Г. Регуляция дыхания при мышечной работе. – Л.: Наука, 1990. – 120 с.
9. Исеев Л.В., Медных А.Я., Воробьев В.Е., Абдрахманов В.Р. Чувствительность аппарата регуляции дыхания к  $\text{CO}_2$  в моделируемых условиях космического полета // Косм. биология и авиакосм. медицина. – 1988. – 22, №2. – С.16–20.
10. Маньковская И.Н., Филиппов М.М. Возрастные особенности развития гипоксии скелетных мышц при острой гипоксической гипоксии // Физиол. журн. – 1982. – 28, №5. – С.548–555.
11. Меерсон Ф.З., Пшенникова М.Г. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам. – М.: Медицина, 1988. – 256 с.
12. Мищенко В.С. Физиологические механизмы оптимизации реактивности системы дыхания человека при развитии ее функциональных возможностей в условиях напряженной спортивной тренировки. – В кн.: Медико-биологические основы подготовки квалифицированных спортсменов. – К.: КГИФК, 1986. – С.67–82.



13. Мищенко В.С. Функциональные возможности спортсменов. – К.: Здоров'я, 1990. – 200 с.
14. Серебровская Т. В. Чувствительность к гипоксическому и гиперкапническому стимулу как отражение индивидуальной реактивности человека // Патол. физиология и эксперим. терапия. – 1985. – 29, №5. – С.65–69.
15. Середенко М.М., Розова Е.В., Пожаров В.П., Коваленко Т.П. Влияние экзогенной гиперкапнии на внешнее дыхание и кислород-транспортную функцию легких // Укр. биохим. журн. – 1980. – 52, №3. – С.313–315.
16. Сиротинин Н. Н. Эволюция резистентности и реактивности организма. – М.: Медицина, 1981. – 235 с.
17. Харитонов Л.Г. Теоретические и экспериментальное обоснование типов адаптации в спорте // Теория и практика физ. культуры. – 1991. – №7. – С.21–24.
18. Цибенко В.О. Аналіз варіабельності показників центральної гемодинаміки у людей // Вісн. Черкас. ун-ту: Актуальні проблеми фізіології. – Черкаси, 1996. – Вип.1. – С.92–96.
19. Caputo F., Denadai B. Effect of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal exercise // Eur. J. Appl. Physiol. – 2004. – 93, № 1–2. – P. 87–95.
20. Cunningham D. The control system regulation breathing in man // Quart. Rev. Biophysics. – 1974. – 6, №6. – P.433–483.
21. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use // Eur. Heart J. – 1996. – 17. – P.354–381.
22. Kelley M.A., Lauff M., Millman K. Ventilatory response to hypercapnia before and after athletic training // Respirat. Physiol. – 1984. – 55. – P.393–400.
23. Keul J., Konig D., Huonker M. et al. Adaptation to training and performance in elite athletes // Res. Quart. Exercise and Sport. – 1996. – 67, №3. – P.29–36.
24. Knight-Maloney M., Robergs R.A., Gibson A., Ghiasvand F. Treshold changes in blood lactate, beat-to-cardiovascular function and breath-by-breath VO<sub>2</sub> during incremental exercise // J. Exercise Physiol. – 2002. – 5, №3. – P.46–52.
25. Mero A., Jaakkola L., Komi P.V. Relationships between muscle fibre characteristics and physical performance capacity in trained athletic boys // J. Sports Sci., London. – 1991. – 9, №2. – P.161–171.
26. Mishchenko V., Bulatova M. Effect of endurance physical training on cardiorespiratory system reactive features // J. Sports Med., Phys. Fitness – 1993. – №2. – P.95–106.
27. Mishchenko V., Monogarov V. Physiology of Athlete. – Barcelona: Paidotribo, 1995. – 328 p.
28. Morton R., Hodson D. The relationship between power output and endurance: a brief review. Eur. // J. Appl. Physiol. – 1996, №6. – P.491–502.
29. Ohyabu Y., Usami A., Ohyabu I. et al. Ventilatory and heart rate chemosensitivity in track-and-field athletes // Eur. J. Appl. Physiol. – 1990. – 59. – P.460–464.
30. Rebuck A., Jones N., Campbell E. Ventilatory response to exercise and to CO<sub>2</sub> rebreathing in normal subjects // Clin. Sci. – 1972. – № 13. – P.861–867.
31. Rebuck A.S. Measurement of ventilatory response to CO<sub>2</sub> by rebreathing // Chest. – 1976. – 70, Suppl. – P.118–121.
32. Roecker K., Striegel H., Freund T., Dickhuth H.H. Relative functional buffering capacity in 400-meter runners, long-distance runners and untrained individuals // Eur. J. Appl. Physiol., Berlin. – 1994. – 68, №5. – P.430–434.
33. Viru A. Adaptation in Sport Training. – In: Times mirror international publishers. – London, 1995. – 320 p.

*Академія фіз. виховання і спорту, Гданськ, Польща;  
Нац. ун-т фіз. виховання і спорту України, Київ*

*Матеріал надійшов до  
редакції 24.05.2005*