

## ЗМІНА СТАНУ СИСТЕМИ ДИХАННЯ, АЕРОБНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ В ПРОЦЕСІ БАГАТОРІЧНОЇ СПОРТИВНОЇ ПІДГОТОВКИ

*Упродовж понад десяти років вивчали систему дихання спортсменів найвищої кваліфікації, зайнятих в різних видах спорту. Історія фізичної культури, матеріали, накопичені фізіологією спорту, свідчать, що багаторічна систематична спортивна підготовка впливає на функціональний стан організму спортсменів, розширює його функціональні можливості, сприяє розвитку системи дихання.*

**Актуальність.** Під аеробною продуктивністю організму розуміють такі його властивості, що забезпечують надходження кисню до працюючих тканин і здатність до споживання  $O_2$  для утворення АТФ — основного джерела енергії під час м'язової діяльності [1—4, 5—7]. Рівень аеробної продуктивності залежить від системи постачання організму кисню — функціональної системи дихання (ФСД), яка доставляє кисень з навколишнього середовища до працюючих тканин і виконує функцію органів зовнішнього дихання, транспорту газів кров'ю (який забезпечується функцією системи кровообігу і дихальною функцією крові) і тканинного дихання [4].

Аеробна продуктивність (особливо в циклічних видах спорту) — один з найважливіших факторів, що визначає працездатність і витривалість спортсменів. Сьогодні у будь-якому виді спорту під час відповідальних національних і міжнародних змагань, особливо таких, як Олімпійські ігри та чемпіонати світу, організм спортсмена постійно відчуває зростаючі психічні й фізичні навантаження, які особливо впливають на стан ФСД, що постачає організм необхідним для м'язової діяльності киснем.

**Мета роботи** — оцінити вплив багаторічної спортивної підготовки на стан системи дихання, аеробну продуктивність і працездатність спортсменів на підставі тривалих спостережень за учасниками збірних команд України з велосипедного спорту.

**Методи дослідження.** Протягом декількох олімпійських циклів, упродовж річного макроциклу і його структурних складових, у стані спокою обстежено 28 висококваліфікованих спортсменів і 28 осіб, що не займаються спортом. Усі обстежені нами особи пройшли медичний контроль і були допущені до лабораторного тестування. Загальні дані про обстежуваних наведені в табл. 1.

Для визначення показників легеневого дихання і газообміну, а саме: дихального (ДО) і хвилинного

об'ємів дихання (ХОД), його частоти (ЧД), альвеолярної вентиляції (АВ) та її відношення до ХОД (АВ/ХОД), газового складу повітря, що вдихається ( $F_{iO_2}$ ,  $F_{iCO_2}$ ) та видихається ( $F_{eO_2}$ ,  $F_{eCO_2}$ ), об'ємної швидкості споживання кисню і виділення вуглекислого газу, вентиляційного еквівалента, кисневого ефекту дихального циклу був застосований метод Дугласа-Холдена. Об'єм видихуваного повітря вимірювали за допомогою волюметра Atem volumeter 45084 (Німеччина) і апарата ММС "Beckman" (США). Газовий склад повітря визначали за допомогою мас-спектрографа (Україна), газоаналізаторів ММС "Beckman" і "Спіроліт" (Німеччина).

Хвилинний об'єм крові визначали за допомогою методу поворотного дихання  $SO_2$  за Дефаром в модифікації В. Л. Карпмана. Вимірювали частоту серцевих скорочень і в разі необхідності фіксували в пам'яті спорттестера Polar PE-3000 (Фінляндія). Показники дихальної функції крові, вміст Hb у крові визначали гемоглобінціанідним методом на фотокалориметрі МКМФ-1, кисневу ємність крові розраховували за константою Гюффера. Насичення крові киснем ( $SaO_2$ ) реєстрували за допомогою пульсового оксиметра "Oxishuttle" (США).

Аналіз каскадів швидкості просування кисню в організмі та його парціального тиску проводили за допомогою математичної моделі системи регулювання кисневих режимів (СКРК) [4]. Для розрахунків використовували персональний комп'ютер IBM PS. Усі дихальні об'єми приводилися до умов ВТРС. Для розрахунків параметрів КРО, а також похідні від цих параметрів дихальні об'єми приводилися до стандартних умов STPD.

Статистична обробка й аналіз результатів включали розрахунки наступних статистичних параметрів вибірки: середнього арифметичного ( $\bar{x}$ ), дисперсії ( $a^2$ ), середньоквадратичного відхилення ( $a$ ), помилки репрезентативності ( $t$ ), коефіцієнта варіації ( $v$ ). Вірогідність розходжень вибірових середніх визначалася за критерієм Ст'юдента ( $t$ ).

Математичну обробку статистичних даних проводили на персональному комп'ютері IBM PS с використанням процесора Pentium II і статистичних пакетів STADIA, STATGRAPHICS, STATISTICA.

Результати дослідження. Вплив багаторічної спортивної підготовки на організм висококваліфікованих спортсменів насамперед позначається на стані системи дихання у спокої. Порівняння показників зовнішнього дихання у кваліфікованих спортсменів і нетренованих осіб свідчить про те, що в результаті багаторічних регулярних тренувань дихання у спокої уповільнюється, трохи знижується хвилиний об'єм дихання (ХОД) (табл. 2).

Важливо підкреслити, що в результаті систематичного спортивного тренування змінюється ефективність і економічність зовнішнього дихання. Висококваліфікованим велосипедистам для споживання 1 л кисню необхідно провентилувати на 3,0—3,5 л повітря менше, ніж нетренованим чоловікам, спортсменкам-велосипедисткам тієї ж кваліфікації — на 3,5—4,0 л менше, ніж нетренованим жінкам того ж віку, тобто вентиляційний еквівалент (ВЕ) у спортсменів і спортсменок виявляється нижчий. Кваліфікованими спортсменами більше споживається кисню за один вдих — кисневий ефект дихального циклу (КЕДЦ) у спортсменів і спортсменок у спокої достовірно вищий, ніж у нетренованих.

Спортивне тренування, помітно змінюючи загальний фізичний розвиток, позначається і на серцево-судинній системі.

За нашими спостереженнями, так само як і за спостереженнями інших авторів [1—6], багаторічна спортивна підготовка призводить до зменшення серцевого ритму в спокої. У висококваліфікованих спортсменів і спортсменок частота серцевих скорочень на 10—15 уд./хв нижче, ніж у нетренованих, що зумовлює в них менший хвилиний об'єм крові (МОК). Різниця ударного об'єму крові (УО) у тренуваних і нетренованих у спокої недостовірна (табл. 3).

Водночас наші дослідження показали, що систематичні тренування підвищують ефективність і економічність кровотока щодо постачання тканин киснем у стані спокою. Органи і тканини у спортсменів і спортсменок спроможні отримувати з крові кисню більше, ніж нетренованих. Гемодинамічний еквівалент (ГЕ) у тренуваних нижчий: для споживання 1 л кисню спортсменам високої кваліфікації необхідно пропустити через серце на 3,5—4 л менше крові, ніж нетренованим чоловікам, спортсменкам — на 1,2—1,5 л менше, ніж нетренованим жінкам того ж віку. У спортсменів і спортсменок кисневий пульс (КП) у спокої вищий — за одне серцеве скорочення їх організм споживає достовірно більше кисню, ніж організм тих, хто спортом не займається.

При систематичному тренуванні, згідно з нашими даними, збільшується вміст гемоглобіну в крові, а разом з ним і киснева ємність крові (табл. 4).

Як показали результати наших обстежень, насичення артеріальної крові киснем у тренуваних чоловіків і жінок трохи нижче, ніж у нетренованих. У зв'язку з цим напруження кисню в артеріальній крові в спортсменів достовірно нижче ( $p < 0,05$ ) (табл. 4).

Зміни зовнішнього дихання, кровообігу, дихальної функції крові і механізмів, відповідальних за утилізацію кисню в тканинах, призводять до того що під впливом спортивного тренування кисневі режими організму зазнають істотних змін у стані спокою.

Необхідно зазначити, що загальна тенденція до підвищення потужності ФСД у спокої в спортсменів виявляється незалежно від статі. Однак через анатомічні і фізіологічні особливості організму жінок, меншу, ніж у чоловіків, м'язову масу, менш потужна система дихання навіть у спортсменок найвищої кваліфікації не забезпечує таку поетапну швидкість доставки кисню і його утилізацію, як це відбувається в організмі чоловіків. Навіть у спортсменок найвищої спортивної кваліфікації швидкість поетапної доставки кисню і його споживання нижче, ніж у нетренованих чоловіків.

Незважаючи на те, що загальна тенденція до підвищення потужності й економічності ФСД у спокої внаслідок тренуваності виражена досить чітко, поетапна швидкість надходження кисню в легені й альвеоли через більш низький ХОД у спокої в спортсменів достовірно не відрізняється від таких у нетренованих. Хоча насиченість крові киснем у тренуваних трохи нижче, ніж у нетренованих, у спортсменів завдяки більшій кисневій ємності крові вміст кисню в артеріальній крові вищий (див. табл. 4). Трохи менший ХОД зумовлює в спортсменів зменшення швидкості транспорту кисню артеріальною і змішаною венозною кров'ю (на 10—15 % нижче, ніж у нетренованих). У той же час, у зв'язку з більш розвиненими механізмами утилізації кисню в тканинах у спортсменів швидкість споживання кисню в спокої вище (див. табл. 2).

Водночас, підвищення ефективності дихання призводить до того, що кисневі режими організму спортсменів виявляються більш напруженими. Оскільки відсоток утилізації кисню в легенях у процесі спортивних тренувань зростає, вміст кисню у повітрі, що видихається і, відповідно, в альвеолярному повітрі зменшується.

При аналізі каскадів парціального тиску кисню зауважили, що в спокої парціальний тиск кисню в альвеолярному повітрі в спортсменів на 3—4 мм рт. ст., напруження кисню в артеріальній

Таблиця 1. ХАРАКТЕРИСТИКА КОНТИНГЕНТУ ОБСТЕЖУВАНИХ

№ п/п	Спеціалізація	Спорт, кваліфікація	Вік, роки	Маса, кг	Зріст, см	Кількість
1	Велоспорт (шосе) (чоловіки)	ЗМС, МСМК	22,4 ± 1,8	75,7 ± 1,4	178,5 ± 2,1	14
2	Велоспорт (шосе) (жінки)	ЗМС, МСМК	24,7 ± 1,3	59,4 ± 1,1	165,0 ± 2,3	12
3	Нетреновані чоловіки	Контроль	25,5 ± 1,7	76,8 ± 2,1	172,8 ± 4,1	14
4	Нетреновані жінки	Контроль	26,1 ± 2,2	61,0 ± 1,3	159,1 ± 2,5	12

Таблиця 2. ПОКАЗНИКИ ЗОВНІШНЬОГО ДИХАННЯ У ТРЕНОВАНИХ І НЕТРЕНОВАНИХ ЧОЛОВІКІВ І ЖІНОК У СТАНІ СПОКОЮ

Показник	Чоловіки		Жінки	
	Треновані	Нетреновані	Треновані	Нетреновані
ЧД, дих./хв	10,0 ± 2,0	14,0 ± 2,0	12,0 ± 2,0	16,0 ± 2,0
ДО, мл	726 ± 24*	581 ± 25	475 ± 15*	400 ± 20
ХОД, л/хв	7,26 ± 0,40*	8,14 ± 0,50	5,7 ± 0,30	6,4 ± 0,20
АВ, л/хв	5,17 ± 0,24	5,61 ± 0,31	4,03 ± 0,09	4,29 ± 0,18
АВ/ХОД, %	71,2 ± 0,6*	69,0 ± 0,5	70,7 ± 0,6*	67,0 ± 0,4
СО <sub>2</sub> , мл/хв	279,5 ± 19,5	266,0 ± 24,5	202,0 ± 13,8	199,0 ± 25,0
СО <sub>2</sub> /М, мл/хв*кг	3,78 ± 0,15	3,42 ± 0,24	3,37 ± 0,28	3,26 ± 0,47

\* – різниця достовірна порівняно з нетренованими (P &lt; 0,05).

Таблиця 3. ПОКАЗНИКИ КРОВООБИГУ В ТРЕНОВАНИХ І НЕТРЕНОВАНИХ ЧОЛОВІКІВ І ЖІНОК У СТАНІ СПОКОЮ

Показник	Чоловіки		Жінки	
	Треновані	Нетреновані	Треновані	Нетреновані
ЧСС, уд./хв	47,0 ± 3,0	60,0 ± 5,0	48,0 ± 3,0*	62,0 ± 3,0
ХОК, л/хв	3854 ± 21*	4680 ± 35	3504 ± 27*	3720 ± 25
УО, мл	82 ± 5	78 ± 4	73 ± 5	60 ± 3
АВ/ХОК	1,34 ± 0,12	1,20 ± 0,11	1,15 ± 0,09	1,15 ± 0,08
СД, мм рт. ст.	120 ± 5	125 ± 5	115 ± 5	117 ± 8
ДД, мм рт. ст.	70 ± 5	75 ± 5	65 ± 5	75 ± 5

\* – різниця достовірна порівняно з нетренованими (p &lt; 0,05).

Таблиця 4. ПОКАЗНИКИ КИСНЕТРАНСПОРТНОЇ ФУНКЦІЇ КРОВІ ТРЕНОВАНИХ І НЕТРЕНОВАНИХ ЧОЛОВІКІВ І ЖІНОК У СТАНІ СПОКОЮ

Показник	Чоловіки		Жінки	
	Треновані	Нетреновані	Треновані	Нетреновані
КЕК, мл/л	212,1 ± 3,4	190,4 ± 3,1	187,6 ± 3,8	176,8 ± 4,3
СаО <sub>2</sub> , %	96,0 ± 0,5	97,2 ± 0,8	96,2 ± 0,3	96,7 ± 0,5
СаО <sub>2</sub> , мл/л	203,8 ± 4,1*	186,1 ± 3,8	180,5 ± 3,1*	168,8 ± 2,4
(а-ν)О <sub>2</sub> , мл/л	72,5 ± 2,4*	56,9 ± 1,0	57,8 ± 1,8	53,5 ± 2,5
СνО <sub>2</sub> , мл/л	131,3 ± 1,8	129,1 ± 3,4	122,7 ± 2,7	115,3 ± 4,1
СνО <sub>2</sub> , %	61,9 ± 1,9	67,3 ± 2,3	65,0 ± 3,1	65,4 ± 2,4
Нв, г/л	155 ± 4*	140 ± 3	138 ± 3	130 ± 2

\* – різниця достовірна порівняно з нетренованими (p &lt; 0,05).

на 5—7 мм рт. ст., а в змішаній венозній крові — на 2—3 мм рт. ст. нижчі, ніж у нетренованих осіб. Коли зважати на те, що артеріовенозні розбіжності за киснем у спортсменів вищі, то можна побачити, що навіть у спокої тренований організм здатний повніше утилізувати кисень із крові при менших величинах  $pO_2$ .

Наведені дані дозволяють стверджувати, що в стані спокою кисневі режими організму спортсменів високої кваліфікації характеризуються меншою швидкістю надходження кисню в легені й альвеоли, уповільненим транспортом кисню артеріальною і змішаною венозною кров'ю, підвищеною швидкістю споживання кисню тканинами порівняно з нетренованими. У тренуваних людей більш ефективні співвідношення між швидкістю просування кисню на різних ділянках його шляху в організмі і швидкістю споживання тканинами, більш економічна функція доставки кисню до тканин. Це

потверджують більш низькі в спортсменів у стані спокою вентиляційний і гемодинамічний еквіваленти, більш високі кисневі ефекти дихального і серцевого циклів, велика частка альвеолярної вентиляції в дихальному і хвилинному об'ємі дихання.

Таким чином, розвиток механізмів, що збільшують використання кисню в легенях: скорочення відносних розмірів функціонального мертвого дихального простору, збільшення частки альвеолярної вентиляції в загальній вентиляції легень, збільшення дифузійної поверхні легень, а також механізмів, що зумовлюють більш повну утилізацію кисню з крові: розвиток капілярної сітки в м'язах, збільшення загальної дифузійної поверхні для кисню в тканинах, нагромадження в м'язах міоглобіну, активізація дихальних ферментів мітохондрій — призводять до того, що діяльність функціональної системи дихання та кисневі режими організму стають більш ефективними й економічними.

1. *Аstrand П. О.* Факторы, обуславливающие выносливость спортсмена // Наука в олимпийском спорте.— 1994.— № 1.— С. 43—47.
2. *Дзяк Н. В.* Spirograficheskoe issledovanie u sportsmenov (pokazately vneshnego dyhania). — Dnepropetrovsk. — 1970,— 70 с.
3. *Костия Д. Л.* Метаболические характеристики скелетных мышц при перетренировке пловцов // Мед. науч. спорт, журн — 1985.— Т. 17,— № 3.— С. 339—343.
4. *Колчинская А. З., Хацук Б. Х., Закусило М. П.* Кислородная недостаточность, деструктивное и конструктивное действие.— Нальчик: КБНЦ РАН.— 1999.— 239 с.
5. *Платонов В. Н.* Общая теория подготовки спортсменов в олимпийском спорте.— К.: Олимпийская литература, 1997.— 583 с.
6. *Шеннард Р. Дж.* Максимальное потребление кислорода // Выносливость и спорт. Оксфорд, 1995.— С. 192—200.
7. *Astrand P., Rodahl K.* A textbook of work physiology.— New York: Mc Crow Hill Book, 1970 — 476 p.

*Radzievskiy P. A., Zakusilo M. P., Dyba T. G., Kasyan T. P.*

## CHANGE OF THE SYSTEM OF BREATH CONDITION, ITS AEROBIC PRODUCTIVITY AND PHYSICAL CAPACITY DURING LONG-TERM SPORTS PREPARATION

*The submitted opportunity to work in research institute at National University of physical education and sports of Ukraine and to take part in structure of complex scientific brigades at modular teams USSR and Ukraine in different kinds of sports has enabled on an extent over ten years to observe and to survey system of breath of the highest qualification sportsmen, the materials of results of these researches and are stated in clause. History of physical culture, the materials saved by physiology of sports, do not leave doubt that the long-term regular sports preparation influences a condition of system of breath of the sportsmen, expands its functionalities.*