

П.О. Радзієвський, М.П. Радзієвська

## Реакція організму висококваліфікованих спортсменок на зниження парціального тиску кисню у вдихуваному повітрі в умовах середньогір'я

*В роботі охарактеризовано состояние функциональной системы дыхания (ФСД) организма спортсменок высокой квалификации, его изменения в результате тренировочных сборов в условиях пониженного парциального давления  $O_2$  ( $pO_2$ ) во вдыхаемом воздухе. В первые сутки пребывания в горах при проведении учебно-тренировочного сбора в среднегорье происходит заметное снижение эффективности и экономичности кислородных режимов организма, ухудшение состояния ФСД. В альпинизме, где спортсменки хорошо адаптированы к условиям среднегорья, и чья профессиональная деятельность проходит в условиях низкого, а иногда и экстремально низкого  $pO_2$  во вдыхаемом воздухе, при переезде на высоту 2100 м не наблюдается достоверных изменений состояния ФСД.*

### ВСТУП

Основним фактором дії високогір'я на організм, як довів ще Поль Бер, є розряджене повітря, у якому парціальний тиск кисню ( $pO_2$ ) знижений. Саме знижений  $pO_2$  у вдихуваному повітрі викликає зміни в організмі, в діяльності функціональної системи дихання (ФСД), особливо в її об'єкті керування – процесі масопереносу і споживання кисню та в її керуючій ланці – нервовій та ендокринній системі [1, 2–6]. Відомо, що дія гіпоксії на організм залежить від ступеня зниження  $pO_2$  у вдихуваному повітрі, тобто від висоти над рівнем моря [7, 8].

Метою нашого дослідження було вивчити реакцію осіб, адаптованих до багаторічного впливу гіпоксії навантаження (висококваліфікованих спортсменів) на зниження  $pO_2$  у повітрі, що вдихається, одразу після переїзду в середньогір'я.

### МЕТОДИКА

Спортсменки пройшли комплексне обстеження за умов нормоксії, безпосередньо до

від'їзду в гори, потім аналогічне обстеження було проведено на початку (на 2–3-тю добу) навчально-тренувального збору в середньогір'ї (с.Терскол, Приельбрусся, 2100 м над рівнем моря). Під час тренувального збору в горах ми звернули спеціальну увагу на реакцію організму спортсменок на зниження  $pO_2$  у вдихуваному повітрі в перші дні перебування на висоті, і залежність цієї реакції від висоти перебування, на зміни загальної фізичної працездатності, аеробної продуктивності та стану ФСД і кисневих режимів організму (КРО).

Було обстежено 28 жінок віком від 24 до 26 років: з них 12 велосипедисток масою  $59,4 \text{ кг} \pm 1,1 \text{ кг}$ , довжиною тіла  $165,0 \text{ см} \pm 2,3 \text{ см}$  (заслужені майстри спорту та майстри спорту міжнародного класу), 4 альпіністки масою  $58,0 \text{ кг} \pm 1,1 \text{ кг}$ , довжиною тіла  $160,0 \text{ см} \pm 1,2 \text{ см}$  (майстри спорту міжнародного класу, майстри спорту). До контрольної групи ввійшли 12 нетренираних жінок того самого віку, масою  $61,0 \text{ кг} \pm 1,3 \text{ кг}$ , довжиною тіла  $159,1 \text{ см} \pm 2,5 \text{ см}$ .

Було застосовано комплексний метод оцінки функціонального стану, аеробної

продуктивності та працездатності, оснований на одночасній реєстрації змін показників дихання, кровообігу, дихальної функції крові і газообміну з наступним аналізом швидкості масопереносу кисню і  $pO_2$ , швидкості надходження кисню в легені, в альвеоли, швидкості транспорту кисню артеріальною та змішаною венозною кров'ю, швидкості споживання кисню, парціального тиску кисню у вдихуваному й альвеолярному газі, напруження кисню в артеріальній і змішаній венозній крові. Також проаналізовано ефективність й економічність КРО, якості їхнього регулювання, вентиляційного і гемодинамічного еквівалентів, кисневих ефектів дихального і серцевого циклів (кисневий пульс) у спокої і при навантаженні [4–6].

Для визначення показників легеневого дихання та газообміну дихального (ДО) і хвилинного об'ємів дихання (ХОД), його частоти (ЧД), альвеолярної вентиляції (АВ) і відношення АВ до ХОД (АВ/ХОД), газового складу вдихуваного, видихуваного повітря, об'ємної швидкості споживання кисню та виділення вуглекислого газу, вентиляційного еквівалента, кисневого ефекту дихального циклу застосовано метод Дугласа–Холдена. Визначення газового складу повітря проводили за допомогою маспектографа (Україна), газоаналізаторів ММС «Backman» і «Спіроліт» (Німеччина). Хвилинний об'єм крові розраховували за формулою Старра для дорослих. Частоту серцевих скорочень (ЧСС) виміряли і фіксували в електронну пам'ять спорттестера Polar PE-3000 (Фінляндія). Під час виконання тестових навантажень вимірювали артеріальний тиск методом Короткова. Показники дихальної функції крові, вміст гемоглобіну у крові визначали гемоглобінціанідним методом на фотокалориметрі МКМФ–1, кисневу ємність крові розраховували за константою Гюффера. Насичення крові киснем реєстрували за допомогою пульсового оксиметра «Oxyshuttle» (США).

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У перші доби після переїзду в середньогір'я у висококваліфікованих велосипедисток, незважаючи на те, що більшість з них неодноразово бували в горах, відзначалася зміна самопочуття: ейфорійний настрій, більш швидкі рухи, жестикуляція і темп мови прискорювалися. У деяких спортсменок дія гіпоксії виявляється не тільки об'єктивно, але і суб'єктивно – з'являлося відчуття тяжкості в голові і у всьому тілі. Інколи відзначався головний біль, нудота, порушення сну.

Переміщення в середньогір'я (с.Терскол, Приельбрусся) викликало в організмі спортсменок компенсовану гіпоксію, що призводило не тільки до посилення функції всієї системи дихання, але і до перерозподілу її резервів.

Проведені нами обстеження кваліфікованих велосипедисток показали, що переїзд у гори, на висоту 2100 м над рівнем моря спричинює достовірне збільшення ХОД, АВ в умовах спокою. При цьому, незважаючи на деяке збільшення ЧД, ДО був більшим, ніж в умовах нормоксії (табл. 1).

Дослідження діяльності серцево-судинної системи, проведені відразу після переїзду в гори, показали збільшення в спокої ЧСС на  $6 \text{ хв}^{-1} \pm 1 \text{ хв}^{-1}$  і хвилинного об'єму крові на  $384 \text{ мл} \cdot \text{хв}^{-1} \pm 13 \text{ мл} \cdot \text{хв}^{-1}$ , при цьому систолічний об'єм вірогідно не змінювався, а мав деяку тенденцію до зниження (табл. 2).

Як показали наші дослідження, у перші доби перебування спортсменок у середовищі зі зниженим  $pO_2$  у вдихуваному повітрі не відбувається збільшення вмісту гемоглобіну в крові і її киснева ємність у порівнянні з нормоксією не змінюється. Вміст кисню в артеріальній крові також знаходився в межах норми. Насичення артеріальної крові киснем мало тенденцію до збільшення в перші доби перебування на висоті внаслідок компенсаторного посилення функції системи зовнішнього дихання (див. табл. 2).

**Таблиця 1. Зміна показників зовнішнього дихання в спортсменок-велосипедисток високої кваліфікації в стані спокою в умовах рівнини та у перші доби перебування середньогір'я (Терскол-1)**

Показник	Київ	Терскол –1
Частота дихання, хв <sup>-1</sup>	12,0±2,0	14,0±2,0
Дихальний об'єм, мл	475±15	559±21*
Хвилинний об'єм дихання, л · хв <sup>-1</sup>	5,70±0,30	7,83±0,27*
Альвеолярна вентиляція, л · хв <sup>-1</sup>	4,03±0,02	5,68±0,02*
Відношення альвеолярної вентиляції до хвилинного об'єму дихання, %	70,7±0,3	72,5±0,5*
Швидкість споживання кисню, мл · хв <sup>-1</sup>	202±4	209±11
Відношення швидкості споживання кисню до маси тіла, мл · хв <sup>-1</sup> · кг <sup>-1</sup>	3,42±0,09	3,54±0,12

Примітка. Тут і в табл. 2–4 \* P<0,05.

КРО в обстежуваних спортсменок відразу після переїзду на висоту 2100 м над рівнем моря стали менш економічними. Помітно збільшився вентиляційний еквівалент: на кожен літр спожитого кисню припадала велика (на 32,6 % ± 1,5 %) кількість вентилязованого повітря. Гемодинамічний еквівалент підвищився, хоча і не так істотно, як вентиляційний еквівалент. Кисневий пульс і кисневий ефект дихального циклу у перші доби перебування на висоті в порівнянні з результатами обстеження, отриманими в спокої на рівнині, були нижчими (табл. 3).

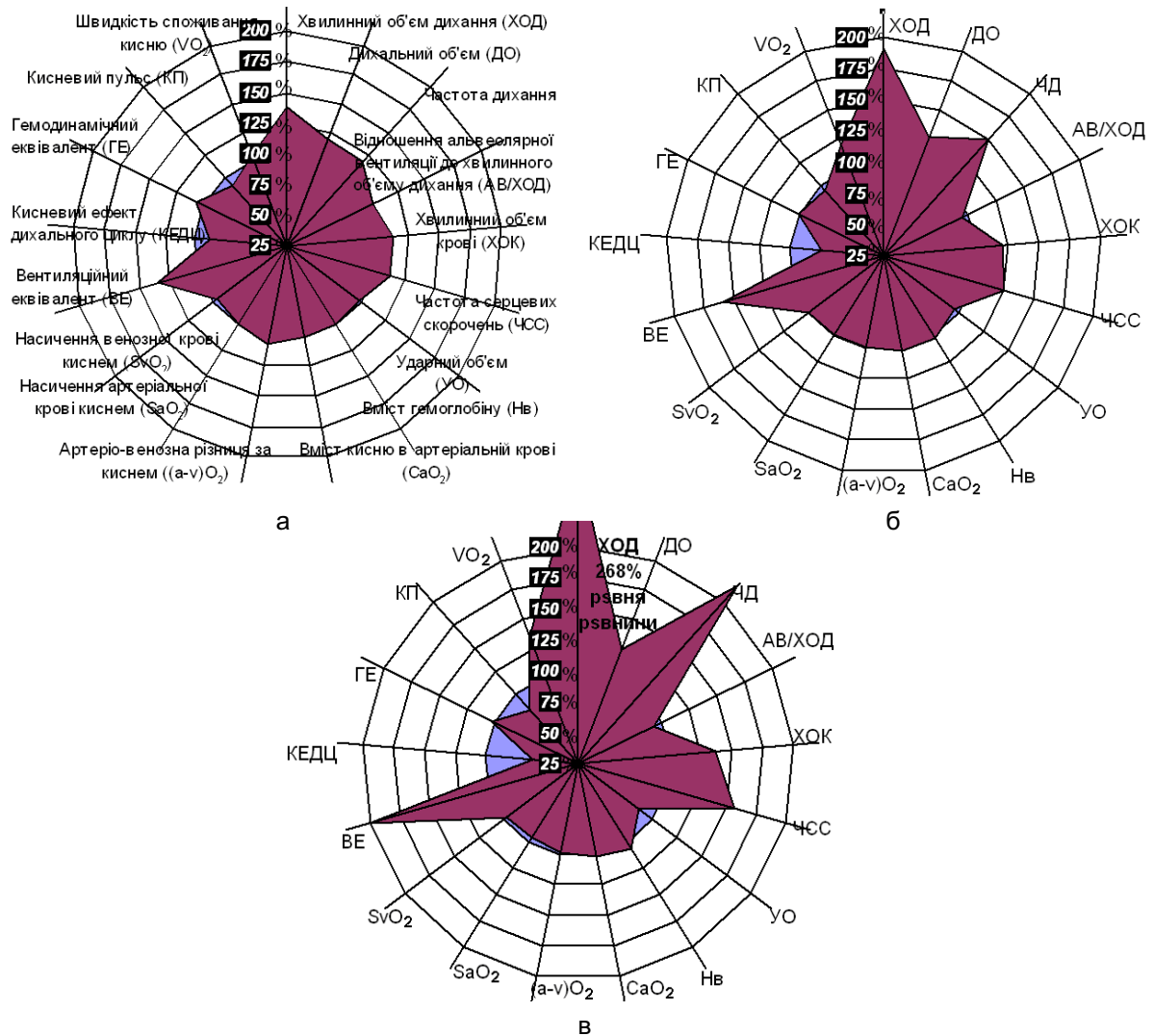
Проведене визначення стану ФСД у велосипедисток високої кваліфікації в спокої на різних висотах (2100, 3500 і 4200 м) показало, що процес масопереносу кисню залежить від ступеня зниження рО<sub>2</sub> у вдихуваному повітрі (рисунок). Якщо на висоті 2100 м над рівнем моря в спокої відхилення показ-

ників ФСД і КРО від значень аналогічних показників на рівнині в більшості випадків невірогідне, то при підйомі на висоту 3500 і 4200 м вони стають більш вираженими. Слід зазначити, що підйом на висоти 3500 і 4200 м здійснювався вже після 10 і 12 діб акліматизації на висоті 2100 м. Незважаючи на це, чим більше знижувався рО<sub>2</sub> у вдихуваному повітрі, тим виразнішим було відхилення показників ФСД на даних висотах від таких в умовах рівнини (див. рисунок).

Як зазначалося вище, зміни стану ФСД у спокої, на висоті 2100 м над рівнем моря в перші доби перебування в середньогір'ї були в більшості випадків недостовірні, але проведенне вивчення працездатності (велосипедистичний тест зі ступінчастозростаючим навантаженням до відмови від роботи) показало, що в цей час працездатність спортсменок вірогідно знижується (потужність граничного навантаження – 250 Вт ±

**Таблиця 2. Зміна показників кровообігу і дихальної функції крові у висококваліфікованих велосипедисток у спокої в умовах рівнини і в перші дні перебування в умовах середньогір'я (Терскол-1)**

Показник	Київ	Терскол –1
Частота серцевих скорочень, хв <sup>-1</sup>	48±3	54±5
Хвилинний об'єм крові, мл · хв <sup>-1</sup>	3504±260	3888±220
Ударний об'єм, мл	73,0±2,5	72,0±2,0
Відношення альвеолярної вентиляції до хвилинного об'єму крові, %	1,150±0,15	1,460±0,24
Насичення артеріальної крові киснем, %	96,2±0,8	96,5±1,0
Вміст кисню в артеріальній крові, мл · л <sup>-1</sup>	180,5±1,5	181,0±3,0
Вміст гемоглобіну, г · л <sup>-1</sup>	138±4	138±7



Моделні характеристики ФСД велосипедисток високої кваліфікації в стані спокою в перші доби перебування на висотах 2100 м (а), 3500 м (б), 4200 м над рівнем моря (в)

10 Вт). Жодна зі спортсменок (в попередні роки неодноразово проходили тренувальні збори в горах) не змогла виконати навантаження потужністю  $300 \text{ Вт} \pm 10 \text{ Вт}$ , тобто навантаження, яке вони виконували за умов нормального атмосферного тиску безпосередньо перед тренувальним збором у горах. При цьому, як показало комплексне обстеження, адитивна дія двох типів гіпоксії викликала при інтенсивних фізичних навантаженнях значно більші відхилення в стані ФСД (табл.4). Ще більш значні зміни були отримані при дослідженні в цих умовах

максимальних можливостей гемодинаміки. Під час навантаження з максимальним споживанням кисню, незважаючи на збільшення ЧСС на  $6 \text{ хв}^{-1} \pm 1 \text{ хв}^{-1}$ , ХОК був нижчим на  $1,67 \% \pm 0,03 \%$  в основному через помітно менший (на  $7,4 \% \pm 1,14 \%$ ), ніж на рівнині ударний об'єм крові (див. табл. 4).

У перші доби перебування в горах не відбувається різкого збільшення вмісту гемоглобіну в крові. У обстежених велосипедисток на 2–3-тю добу перебування на висоті він практично не збільшився, що не дозволило помітно підвищити кисневу

**Таблиця 3. Зміна показників економічності функціональної системи дихання у висококваліфікованих велосипедисток у спокої та в умовах рівнини і в перші доби перебування в умовах середньогір'я (Терскол-1)**

Показник	Київ	Терскол -1
Вентиляційний еквівалент, ум.од.	28,2±0,4	37,4±1,5*
Кисневий ефект дихального циклу, мл · хв <sup>-1</sup>	16,8±1,4	14,9±0,8
Гемодинамічний еквівалент, ум.од.	17,3±0,3	18,6±0,6
Кисневий пульс, мл · хв <sup>-1</sup>	4,2±0,2	3,9±0,1

ємність крові. Вміст кисню в артеріальній крові знизився на 3,41 % ± 0,31 %, тому що насичення крові киснем при навантаженні максимальної інтенсивності в горах виявлялося більш низьким (85,0 % ± 0,5 %), ніж в аналогічних умовах на рівнині (88,0 % ± 0,5 %; див. табл. 4).

На наш погляд було б цікаво порівняти реакцію висококваліфікованих велосипедисток і альпіністок на переїзд в гори.

Спостереження, проведені в перші доби перебування альпіністок на висоті 2100 м, не виявили погіршення самопочуття, характерного для спортсменів інших спеціалізацій, і тим більше для нетренованих людей, що переїхали до середньогір'я. У стані

спокою, після переїзду в гори (на 2–3-тю добу перебування в середньогір'ї – висота 2100 м) також не спостерігали значних змін ФСД альпіністок у порівнянні з нормоксичними умовами. Порівняння результатів обстеження альпіністок найвищого класу з висококваліфікованими велосипедистами того самого віку показало, що деяке збільшення ХОД у перші доби перебування на висоті забезпечувалося в альпіністок тільки внаслідок збільшення ДО, тому що ЧД у порівнянні з даними нормоксії не підвищувалася. Швидкість споживання кисню в стані спокою в обстежених альпіністок після переїзду в середньогір'я вірогідно не змінювалася (P>0,05). ЧСС у альпіністок

**Таблиця 4. Зміна показників зовнішнього дихання, кровообігу і дихальної функції крові у велосипедисток при навантаженні з максимальним споживанням кисню на рівнині та у перші доби перебування в середньогір'ї (Терскол-1)**

Показник	Москва –1	Терскол -1
Частота дихання, хв <sup>-1</sup>	47,0±2,0	54,0±2,0
Дихальний об'єм, мл	1874±15	1844±16
Хвилинний об'єм дихання, л · хв <sup>-1</sup>	88,1±1,02	99,60±2,12*
Альвеолярна вентиляція, л · хв <sup>-1</sup>	74,5±1,4	81,1±1,9*
Відношення альвеолярної вентиляції до хвилинного об'єму дихання, %	84,6±0,08	81,50±0,50*
Швидкість споживання кисню, мл · хв <sup>-1</sup>	3172±43	2792±38*
Відношення швидкості споживання кисню до маси тіла, мл · хв <sup>-1</sup> · кг <sup>-1</sup>	53,8±2,31	47,32±1,18
Частота серцевих скорочень, хв <sup>-1</sup>	192±3	198±5
Хвилинний об'єм крові, мл · хв <sup>-1</sup>	24,96±0,12	24,55±0,15
Ударний об'єм, мл	130±5	121±4
Киснева ємність крові, мл · л <sup>-1</sup>	192,8±4,5	193,1±3,3
Насичення артеріальної крові киснем, %	88,0±0,5	85,0±0,5*
Вміст кисню в артеріальній крові, мл · л <sup>-1</sup>	169,7±1,5	164,1±1,2*
Артеріо-венозна різниця за киснем, мл · л <sup>-1</sup>	127,1±2,4	113,8±1,2*
Вміст кисню в венозній крові, мл · л <sup>-1</sup>	42,6±2,15	50,30±2,20
Насичення венозної крові киснем, %	22,1±0,44	26,10±0,90

на цій висоті не підвищувалася, а ударний об'єм і хвилинний об'єм крові мали лише невелику тенденцію до збільшення ( $P > 0,05$ ).

Таким чином, показники дихання, кровообігу та споживання кисню в альпіністок на висоті 2100 м у стані спокою змінюються менше, а кисневий ефект дихального циклу та кисневий пульс більше, ніж у велосипедисток. Це свідчить про більшу ефективність зовнішнього дихання і більш високу економічність КРО альпіністок на цій висоті в порівнянні з аналогічними функціональними показниками велосипедисток в умовах середньогір'я. Це підтверджується також і тим, що при меншому ХОД на висоті 2100 м АВ в альпіністок практично не відрізняється від значень у велосипедисток. Тривала альпіністська підготовка зумовила і вищу резистентність організму до більш низького  $pO_2$  в артеріальній крові. На висоті 2100 м ( $pO_2$  у вдихуваному повітрі 123–130 мм рт.ст.) в альпіністок високої кваліфікації в стані спокою парціальний тиск кисню в альвеолах становив 76,13 мм рт.ст.  $\pm 0,9$  мм рт.ст., а напруження його в артеріальній крові – 70,2 мм рт.ст.  $\pm 1,2$  мм рт.ст.

## ВИСНОВКИ

1. Переїзд висококваліфікованих велосипедисток на висоту 2100 м над рівнем моря викликає погіршення стану ФСД і регулювання КРО, що виявляється зниженням працездатності й аеробної продуктивності. Ці відхилення тим сильніше, чим більше зниження  $pO_2$  парціального тиску кисню у повітрі, що вдихається.

2. При переїзді на висоту 2100 м над рівнем моря і вище в перші доби перебування треба зменшити обсяг та інтенсивність тренувального навантаження, тому що зміни, які відбуваються в стані організму спортсменів у цей час не дозволяють підтримувати рівень працездатності на нормоксичному рівня. Бажано, щоб така корекція проводилась індивідуально з

урахуванням даних попередніх перебувань спортсменок на аналогічній висоті.

3. Слід відзначити, що в спортсменів циклічних видів спорту рівень максимального споживання  $O_2$  при нормальному  $pO_2$  у вдихуваному повітрі набагато вищий, ніж в альпіністів, однак переїзд у середньогір'я навіть у висококваліфікованих спортсменів, що неодноразово проходили тренувальні збори в горах, викликає погіршення працездатності і різке зниження максимального споживання кисню, тоді як в альпіністів цього не спостерігається.

## Radziewski Pawel, Radziewska Maria

### DEPENDENCE OF THE FUNCTIONAL RESPIRATION SYSTEM STATE FROM THE PARTIAL OXYGEN PRESSURE IN INHALED AIR IN HIGHLY-QUALIFIED SPORTSMEN IN THE FIFTH DAYS AFTER MOVEMENT TO MOUNTAIN CONDITION

Functional respiration system (FRS) state and its changes in highly-qualified sportsmen after decrease of the  $O_2$  partial tension ( $pO_2$ ) in inhaled air was investigated. Significant decrease of oxygen regimen efficacy accompanied by alteration of FRS was registered in the first day of altitude hypoxia. In sportsmen well adapted to hypoxia and whose professional activity is associated with low and extremely low  $pO_2$  in inhaled air there are no changes in FRS after moving to mountain conditions.

*University of Shehecin, Poland*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. – М.: Медицина, 1975. – 447 с.
2. Колчинская А.З. К вопросу об акклиматизации нетренированного и тренированного организма к высокогорному климату и роли высокогорной акклиматизации в повышении физической выносливости. – В кн.: Всесоюз. науч. конф. «Акклиматизация и тренировка спортсменов в горной местности». – Алма-Ата, 1965. – С.53–54.
3. Колчинская А.З. О регулировании кислородных режимов организма (КРО) в старческом возрасте. – В кн.: Тез. докл. IX Междунар. конф. геронтологов. – К.: Медгиз, 1972. – Т. 3. – 338 с.
4. Колчинская А.З. Кислородные режимы организма ребенка и подростка. – К.: Наук. думка, 1973. – 319 с.

5. Колчинская А.З., Маньковская И.Н., Мисюра А.Г. Дыхание и кислородные режимы организма дельфинов. – К.: Наук. думка, 1980. – 332 с.
6. Колчинская А.З. Кислород. Физическое состояние. Работоспособность. – К.: Наук. думка, 1990. – 232 с.
7. Стрелков Р.Б. Нормобарическая гипокситерапия. Метод. рекомендации. – М.: Минздрав России, 1994. – 13 с.
8. Суслов Ф.П. Тренировка в условиях среднегорья как средство повышения спортивного мастерства. Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – М., 1983. – 48 с.

*Щецинський ун-т, Польща*

*Матеріал надійшов до  
редакції 15.11.2005*