

¹**ПОРТНІЧЕНКО В.І.**, к.мед.н., старший науковий співробітник,

^{1,2}**ІЛЬІН В.М.**, д.біол.н., професор,

^{1,2}**ФІЛІПОВ М.М.**, д.біол.н., професор

¹*Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень НАН України, м. Київ*

²*Національний університет фізичного виховання і спорту України, м. Київ*

ЗМІНИ В СИСТЕМІ ДИХАННЯ ТА ЕНЕРГЕТИЧНОМУ ОБМІНІ У БОРЦІВ ПРИ ФІЗИЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ В ПРОЦЕСІ АДАПТАЦІЇ ДО СЕРЕДНЬОГІР'Я

Анотація. Показано, що в процесі адаптації в горах відбулися гіпометаболічні зміни: економною стала функція зовнішнього дихання, підвищилася стійкість як до гіпобаричної гіпоксії так і до гіпоксії навантаження, що важливо для спортивної результативності.

Ключові слова: адаптація, фізичне навантаження, гіпометаболізм, аеробний та анаеробний обмін, зовнішнє дихання, спортсмени, середньогір'я.

Вступ. Проведення тренувальних зборів в горах використовується в спортивній підготовці для підвищення працездатності [1], однак фізіологічні механізми впливу гірського клімату на організм спортсменів, у яких аеробна працездатність не є провідною, до цих пір залишаються маловивченими і суперечливими [7,10,14]. Проте, тренери тих видів спорту, в яких працездатність не залежить від чисто аеробного метаболізму, також роблять спроби проведення тренувальних зборів в умовах середньогір'я, бажаючи отримати позитивний ефект в подальшій спортивній діяльності.

Мета дослідження. Проаналізувати прояви гіпометаболічного ефекту в реакціях системи дихання у спортсменів на фізичне навантаження при адаптації до середньогір'я.

Матеріал і методи дослідження. В обстеженні взяли участь 12 борців вільного стилю (МС та МСМК), які в літній період протягом трьох тижнів перебували на навчально - тренувальному зборі в середньогір'ї (2100-2300 м н.р.м.).

Спортсмени обстежувалися на базі Ельбруської медико-біологічної станції Міжнародного центру астрономічних і медико-екологічних досліджень НАН України (Приельбрусся, висота 2100 м н.р.м.) на початку і в кінці тренувального збору. Фізична робота поступово-зростаючої потужності (від 50 до 250 Вт) моделювалася на велоергометрі за наступною схемою обстеження: 5 хв - початковий стан, 5 хв - навантаження, 5 хв - відновлення.

Газовий склад видихуваного і альвеолярного повітря визначали за допомогою масс-спектрографа МХ 6202 (Україна), легеневу вентиляцію (V_E) - волюметра 45084 (Німеччина). Газообмін розраховували шляхом приведення набутих значень до стандартних умов (STPD), легеневі об'єми - до умов тіла (BTPS). Кількісно оцінювали вклад аеробних і анаеробних джерел в

енергообмін при м'язовій діяльності [3]. Статистичну обробку результатів проводили з використанням програмного пакету SPSS 21.0 (IBM) и пакету Microsoft Excel.

Результати дослідження та їх обговорення. Аналіз показників функції зовнішнього дихання при фізичній роботі на початку перебування в горах показав, що споживання O_2 (VO_2) при роботі значно збільшувалося в період впрацьовування, потім зростання уповільнювалося. Аналогічний характер змін спостерігався при повторному обстеженні, проте швидкість перехідного процесу зростає, а VO_2 стало більш економним. Останнє свідчить про зниження кисневої вартості роботи, тобто проявився гіпометаболічний ефект енергообміну в результаті активної адаптації в горах.

Загальний характер змін VO_2 і виділення CO_2 (VCO_2) в динаміці роботи і відновлення був різним при першому і другому обстеженні (рис.1). Так, після приїзду в гори було зафіксовано відставання VCO_2 від VO_2 в процесі роботи, потім - його перевищення в період відновлення. Така динаміка газообміну характеризує змішаний аеробно-анаеробний енергообмін: поступове вичерпання окислювальних процесів при зростаючому навантаженні і явне накопичення продуктів метаболізму, що проявилось в період відновлення.

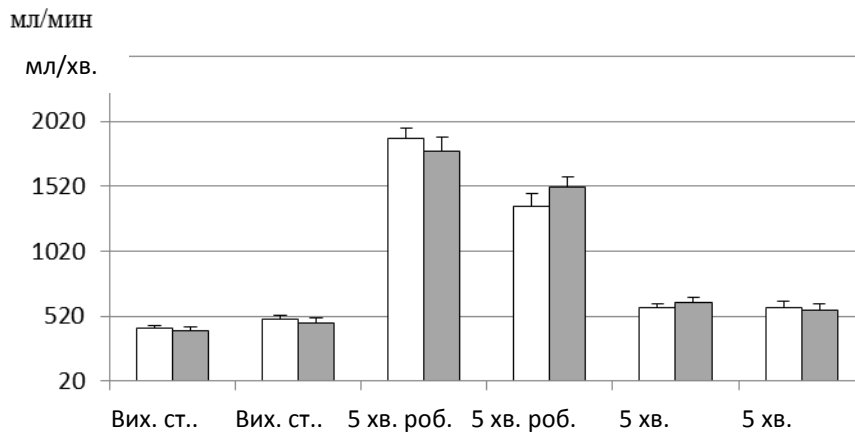


Рис.1 Споживання O_2 (□) і виділення CO_2 (■) на початковому (1) і заключному (2) етапах перебування в горах

В альвеолярному повітрі при початковому обстеженні протягом першої хвилини роботи відбувалося різке падіння парціального тиску O_2 (PAO_2) з 101 до 72 мм рт. ст. і значне підвищення парціального тиску CO_2 ($PACO_2$) з 33 - до 54 мм рт ст. (рис.2), в кінці тренувального збору діапазон таких змін був меншим.

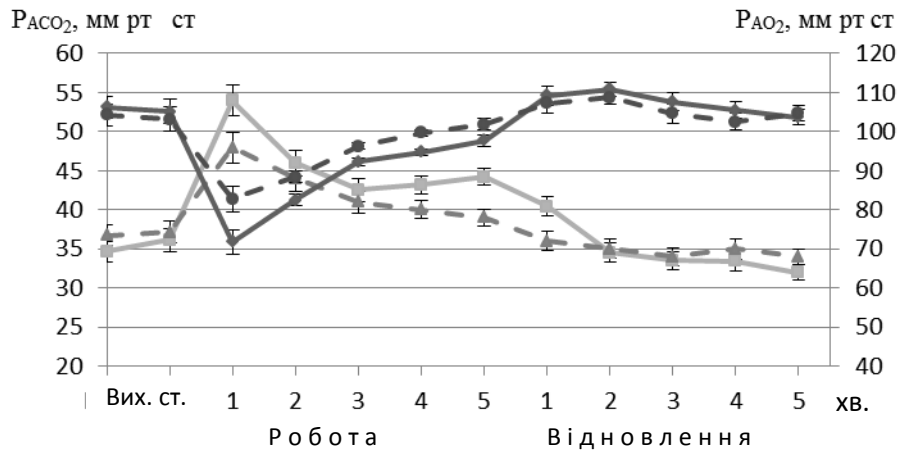


Рис.2. Парціальні тиски O₂ і CO₂ в альвеолярному повітрі на початковому (----) і заключному (- - -) етапах перебування в горах

В процесі продовження роботи, і особливо, в період відновлення, поступово зростало PAO₂ до значень спокою, а PACO₂ - знижувалося навіть до значень нижче вихідних. Характер таких змін на початку роботи свідчить про різке підвищення дифузійної здатності легень як для O₂ так і CO₂. Подібний ефект відбувається і на рівнині, тільки його вираженість значно менша [4].

У період впрацювання, при першому обстеженні, спостерігалось експоненціальне наростання V_E (рис.3) поряд з паралельним зростанням альвеолярної вентиляції (V_A).

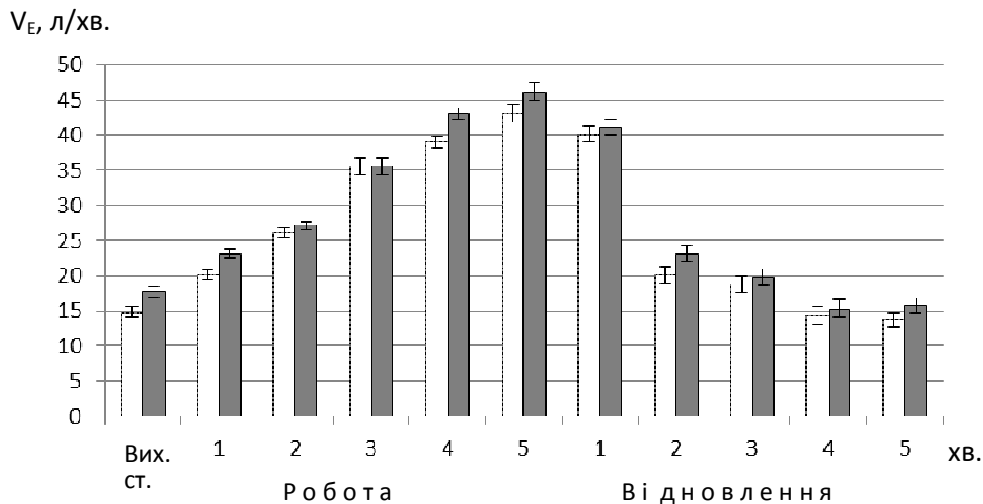


Рис.3. Хвилинний об'єм дихання на початковому (□) і заключному (■) етапах перебування в горах

Після адаптації такої паралельності не було, що може пояснюватися зменшенням фізіологічного мертвого дихального простору і свідчити про підвищення ефективності легеневого газообміну. Тобто, трьохтижневе

перебування спортсменів в середньогір'ї характеризувалося значною оптимізацією функціонування системи зовнішнього дихання. Про це також свідчило зменшення вентиляційного еквіваленту за O_2 (рис. 4).

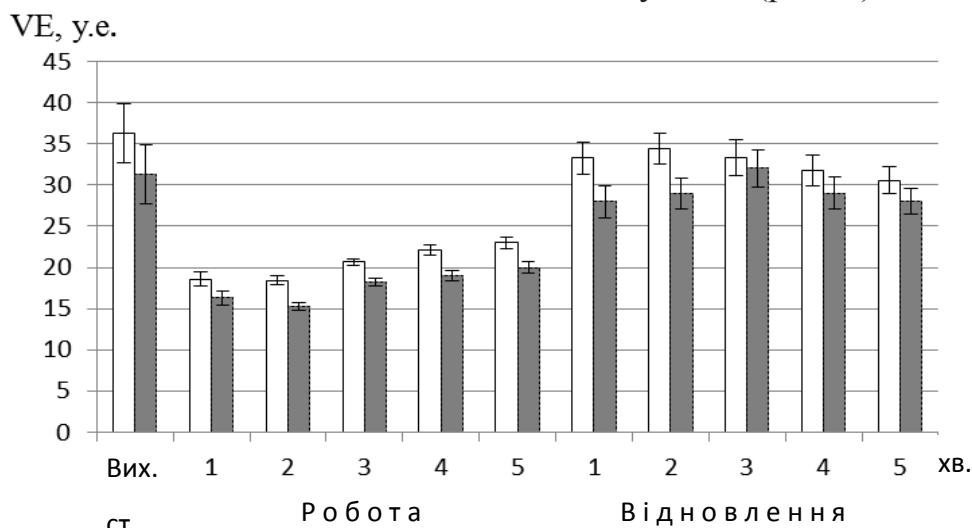


Рис.4. Вентиляційний еквівалент за O_2 на початковому (□) і заключному (■) етапах перебування в горах

Відношення V_A/V_E , як при першому так і при повторному обстеженні, на початку навантаження різко зросло и зберігалось таким до кінця (рис.5).

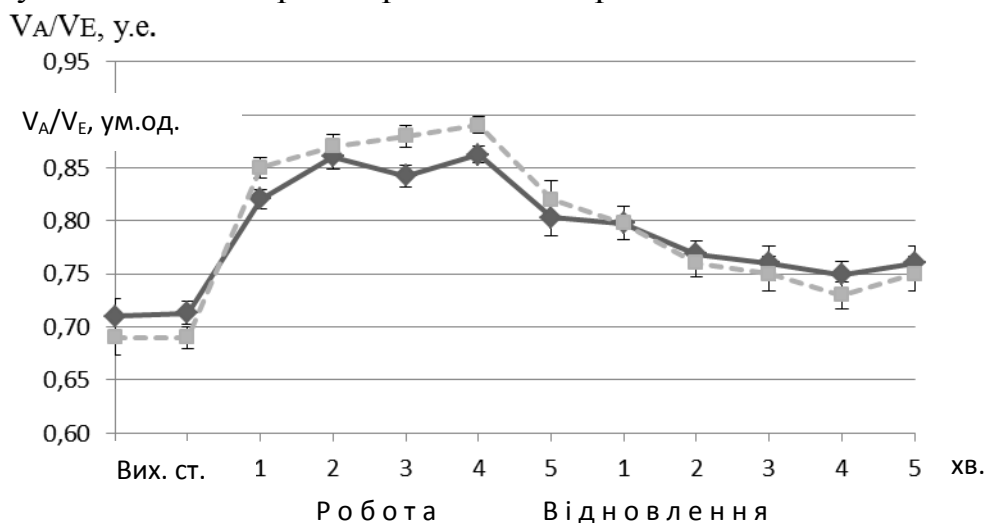


Рис.5. Відношення V_A/V_E на початковому (----) і заключному (- - -) етапах перебування в горах

Більше зростання альвеолярної вентиляції на початку роботи в горах призводить до різкого вимивання CO_2 [9], при цьому нахил графіка залежності легеневої вентиляції від швидкості виділення CO_2 в горах змінюється [2], відбувається перебудова регуляції дихання, в результаті чого зростає використання O_2 в легенях [5]. Тобто, збільшення відносини V_A/V_E при роботі в умовах гіпоксичної гіпоксії необхідно в першу чергу не тільки для того, щоб

збільшити PO_2 , але і для того, щоб забезпечити надходження необхідної кількості O_2 до альвеол.

Також відомо, що при перебуванні в горах рефлекторно підвищується тонус судин в малому колі кровообігу [9,10], тому при роботі подоланням такого стану може бути формування венозного гіперкапічного стимулу, який призводить до розслаблення судин легенів і таким чином сприяє збільшенню об'ємного кровотоку, поліпшенню дифузії газів в легенях і, відповідно, підвищенню швидкості транспорту O_2 артеріальною кров'ю.

Характерною особливістю змін функціонування системи дихання після закінчення роботи є практично повне відновлення патерну дихання, про що свідчила нормалізація концентрацій O_2 і CO_2 в альвеолярному повітрі.

Більш високе, у порівнянні зі спокоєм, відношення V_A/V_E в період відновлення побічно могло свідчити про підвищення тонузу бронхіол [7]. І хоча факт підвищення V_A/V_E розглядається фізіологами і клініцистами як позитивний фактор, що характеризує економізацію функції зовнішнього дихання, він при роботі може свідчити про граничне використання резервних можливостей зовнішнього дихання [13].

Тканинна гіпоксія, що виникає при м'язовій діяльності, є пусковим механізмом для включення цілого каскаду клітинного ремоделювання: появи нових видів мітохондрій і білків [11], активації нових генів, що компенсують недолік O_2 підвищенням анаеробного обміну [8,12]. У гірських умовах, в результаті посиленого при роботі витрачання O_2 в м'язах, розвивається первинна тканинна гіпоксія (гіпоксія навантаження [5]), яка посилюється обмеженням можливостей кисневотранспортної системи організму в результаті гіпоксичної гіпоксії. Саме поєднання цих двох впливів в горах і надає тренуючий фізіологічний ефект - розширення функціональних можливостей організму в спортивній діяльності.

Таким чином можна констатувати, що трьохтижневе тренування спортсменів в середньогір'ї привело до економізації функції системи дихання при м'язовій діяльності, розвитку гіпометаболічних реакцій, розширенню, крім аеробного енергообміну, і анаеробних механізмів, що в цілому забезпечило стійкість до гіпоксії і підвищення переносимості фізичних навантажень.

Підтвердженням такого ствердження з'явилися результати проведеного нами аналізу змін метаболічної структури енергетичного обміну у обстежених спортсменів при фізичному навантаженні. Так, якщо при першому обстеженні, починаючи з 2-ї хвилини роботи, відношення вкладу аеробних і анаеробних компонентів в енергообмін було приблизно однаковим (50/50), то при повторному - воно на 5-7% змістилося в бік анаеробного обміну (рис. 6).

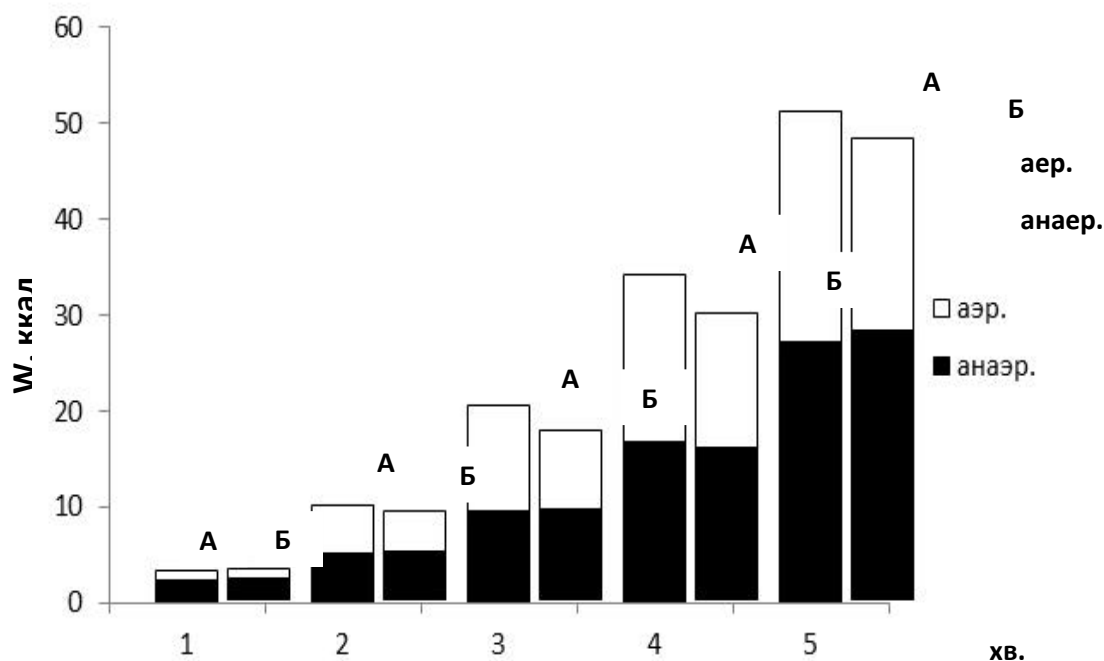


Рис.6. Відношення аеробних та анаеробних компонентів в енергообміні при роботі на початку (А) та в кінці (Б) перебування в горах

В літературі є вказівки [12] на те, що збільшення кровотоку через працюючі м'язи, серце і діафрагму при м'язовій діяльності в умовах гіпоксії супроводжується більш різким, ніж при нормальному PO_2 у вдихуваному повітрі, його зниженням через органи шлунково-кишкового тракту, печінку і нирки. Здавалося б, такий розподіл є потужним компенсаторним механізмом, спрямованим на збільшення швидкості доставки O_2 до працюючих тканин, проте це має і свої негативні сторони. В результаті обмеження кровотоку через печінку і нирки в значній мірі знижується швидкість утилізації молочної кислоти, що утворюється в працюючих м'язах, в крові збільшується концентрація іонів водню, зсувається кислотно-лужний стан в м'язах і крові і порушуються умови для утилізації O_2 [5].

Якщо врахувати, що в горах в здоровому організмі в спокої спостерігається газовий алкалоз, викликаний посиленням функції зовнішнього дихання і гіпокапнією, що розвивається, посилено вимиваються нирками луки [13], зменшується ємність бікарбонатного резерву, в результаті при м'язовій діяльності погіршується здатність нирок і печінки утилізувати молочну кислоту. Так відомо, що на висоті 1700 м н.р.м. після навантаження вміст лактату в крові виявляється значно вищим, ніж на рівні моря [6]. Аналогічні результати були отримані і на більших висотах (2100 і 3500 м н.р.м.) [5].

Висновки. В результаті перебування спортсменів-борців на тренувальному зборі в середньогір'ї в організмі при роботі відбулися наступні позитивні функціональні зміни, що характеризують гіпометаболічний ефект: більш економною стала функція зовнішнього дихання, знизився відносний

внесок у загальну систему енергозабезпечення організму аеробного компонента на тлі зростання анаеробного, підвищилася стійкість як до гіпобаричної гіпоксії так і до гіпоксії навантаження, що важливо для спортивної результативності.

Перспективи подальших досліджень. Передбачається подальше вивчення механізмів адаптації організму спортсменів до умов перебування і тренування у середньогір'ї. Безпосередньо планується вивчення особливостей кардіогемодинаміки у спортсменів з різним вкладом аеробних та анаеробних механізмів в енергообмін при фізичній роботі різної потужності в горах, а потім на основі таких комплексних досліджень проаналізувати процеси поетапного масоперенесення O_2 та CO_2 в організмі спортсменів в процесі адаптації до гірських умов.

Список використаної літератури

1. Булатова М.М., Платонов В.Н. Спортсмен в различных климатогеографических условиях. – Киев.: Олимпийская литература 1996. – 177с.
2. Ільїн В.М., Портніченко В.І., Черкес Л.І. Особливості змін зовнішнього дихання у висококваліфікованих спортсменів в умовах середньогір'я // – Фізіологічний журнал НАН України. – 2006. – 52. - №2. – С.201-202.
3. Мищенко В.С., Левин Р.Я., Ноур А.М. Лактатный порог и его использование для управления тренировочным процессом: Метод.реком. (под ред. Полищука Д.А.). – Киев: Абрис, 1997,-Вып.4. – 58с.
4. Мищенко В.С., Лысенко Е.Н., Виноградов В.Е. Реактивные свойства кардиореспираторной системы как отражение адаптации к напряженной физической тренировке в спорте. –Киев: Науковий світ, 2007. – 352с.
5. Филиппов М.М., Давиденко Д.Н. Физиологические механизмы развития и компенсации гипоксии в процессе адаптации к мышечной деятельности. – СПб.-Киев: БЛА, 2010. – 260с.
6. Финогенов В.С., Козловская В.С., Любимова В.С. Особенности некоторых метаболических процессов и их взаимосвязь с мощностью работы, выполняемой в различные сроки приспособления гребцов к среднегорью // Мед.-биол. проблемы физич.культуры и спорта (Алма-Ата).-1978. – №6. – С.107–118.
7. Robergs R.A., Roberts S.O. Fisiologia de Exercicio. – San Paulo: Phorte Editore, 2002.– 490.
8. Mason SD, Rundqvist H, Papandreou I and al. HIF-1alpha in endurance training: suppression of oxidative metabolism//Am.J.Physiol.Regul.Integr.Comp.Physiol. – 2007, T.293, N5 –P.2059-2069.
9. Friedmann B, Frese F, Menold E, Bärtzsch P. Effects of acute moderate hypoxia on anaerobic capacity in endurance-trained runners//Eur.J.Appl.Physiol.- 2007,T101,N1.-P.67-73
10. Loffredo BM, Glazer JL. The ergogenics of hypoxia training in athletes// Curr.Sports.Med.Rep.- 2006,-T5, N4.-P.203-209.

11. Semenza G.L. Mitochondrial autophagy: life and breath of the cell//Autophagy.-2008, T4, N4. –P.534-536.

12. Semenza G.L. Regulation of physiological responses to continuous and intermittent hypoxia by hypoxia-inducible factor 1//Exp.Physiol.-2006.-T91.-N5.- P.803-806.

13. Robergs R.A. Roberts S.O. Fisiologia de Exercicio. – San Paulo: Phorte Editore, 2002.- 490.

14. Wilber RL Application of altitude/hypoxic training by elite athletes//Med.Sci.Sports.Exerc.- 2007.- T39.-N9. –P.1610-1624.