

SPORT

Перебудови в системі дихання спортсменів при адаптації до середньогір'я

*В. М. Ильїн¹, М. М. Філіппов¹, Г. В. Клименко²¹Національний університет фізичного виховання і спорту України,²Київський університет ім. Бориса Грінченка

*Corresponding author E-mail ilyin_nufvsu@ukr.net

Paper received 31.12.18; Accepted for publication 07.01.19.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2019-193VII23-17>

Анотація. Стаття присвячена вивченню особливостей функціонування системи дихання і енергетичного метаболізму у спортсменів при фізичному навантаженні в процесі адаптації до середньогір'я. Обстежено 12 спортсменів - борців на початку і в кінці тренувального збору в Приельбруссі (2100 м н.р.м). Досліджували газовий склад повітря, що видихається, і альвеолярного повітря, легеневу вентиляцію і її компоненти в процесі роботи поступово-зростаючої потужності від 50 до 250 Вт протягом 5 хв на велоергометрі і в період відновлення. Розраховували внесок аеробних і анаеробних компонентів в енергообмін при роботі. Характер змін споживання кисню при роботі і відновленні на початку і в кінці тренувального збору був схожим, але при повторному обстеженні швидкість перехідних процесів зростає, киснева вартість роботи знизилася, що стало проявом гіпометаболічної перебудови енергообміну. Виявлено, що на початку роботи різко знижується P_{aO_2} і зменшується P_{aCO_2} , що свідчить про підвищення дифузійної здатності легень. В результаті активної адаптації при роботі зростає ефективність легеневого газообміну - зменшувався вентиляційний еквівалент за O_2 . Показано, що поєднаний вплив гіпобаричної гіпоксії і гіпоксії навантаження розширює функціональні можливості організму, а тренувальний ефект досягається за рахунок ремоделювання енергетичних ресурсів.

Ключові слова: адаптація, фізична робота, зовнішнє дихання, газообмін, гіпометаболізм, аеробний і анаеробний обмін, спортсмени, середньогір'я.

Постановка проблеми. Відомо, що проведення тренувальних зборів в горах використовується в підготовці спортсменів як один з активних чинників 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 результативності, найчастіше ґрунтуючись на принципі «know how».

Виходячи з цього, метою даного дослідження було вивчення особливостей функціонування системи дихання у спортсменів і змін енергетичного метаболізму при роботі аеробно-анаеробного характеру на початковому і кінцевому етапах тритижневого перебування в горах.

Методи і організація досліджень. В обстеженні взяли участь 12 спортсменів з вільної боротьби, 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 (Приельбрусс, висота 2100 м н.р.м.) на початку і в кінці тренувального збору.

Фізична робота поступово-зростаючої потужності (від 50 до 250 Вт) моделювалася за допомогою велоергометра за наступною схемою обстеження: 5 хв - вихідний стан, 5 хв - навантаження, 10 хв - відновлення. Газовий склад вдихуваного, видихуваного і альвеолярного повітря визначали за допомогою мас-спектрографа МХ 6202 (Україна), легеневу вентиляцію – волюметра 45084 (Німеччина). Газообмін розраховували з

приведенням отриманих значень до стандартних умов (STPD), легеневі обсяги - до умов тіла (BTPS). Кількісно оцінювали внесок аеробних і анаеробних джерел в енергообмін при м'язовій діяльності [3].

Статистичну обробку результатів проводили с використанням програмного пакету SPSS 21.0 (IBM) і пакету Microsoft Excel.

Результати досліджень та їх обговорення. Аналіз показників функції зовнішнього дихання при фізичній роботі в початковий період 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 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 обстеженнях (рис.1). Так, після переїзду 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 характер метаболічних процесів: поступове вичерпання окислювальних процесів при зростаючому навантаженні і явне накопичення продуктів метаболізму, що проявилася в період відновлення.

В альвеолярному повітрі при початковому обстеженні протягом першої хвилини роботи відбувалося різке падіння парціального тиску кисню (P_{aO_2}) з 101 до 72 мм рт. ст. і значне підвищення парціального тиску вуглекислого газу (P_{aCO_2}) з 33 - до 54 мм рт. ст. (рис.2), в кінці тренувального збору діапазон таких змін був меншим.

У період впрацьовування при першому обстеженні спостерігалось експоненціальне наростання хвилиного

об'єму дихання V_E (рис.3) поряд з паралельним зростанням альвеолярної вентиляції.

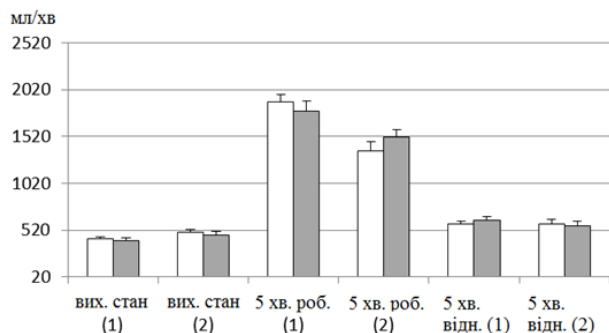


Рис. 1. Споживання O₂ (□) та виділення CO₂ (■) на початковому (1) і заключному (2) етапах перебування в горах

В процесі продовження роботи, і особливо, в період відновлення, P_{AO_2} поступово зростає до значень спокою, а P_{ACO_2} - знижується навіть до значень нижче вихідних. Характер таких змін на початку роботи міг свідчити про різке підвищення дифузійної здатності легень як для O₂ так і CO₂. Подібний ефект відбувається і на рівнині, тільки ступінь його виразності значно менший [4].

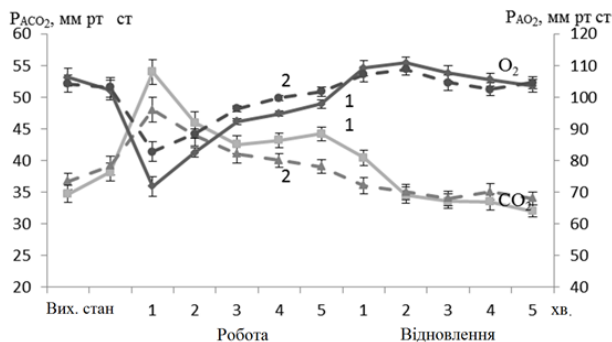


Рис. 2. Парціальні тиски O₂ і CO₂ в альвеолярному повітрі (■) на початковому (1) і заключному (2) етапах перебування в горах

Після адаптації такої паралельності не було, що може пояснюватися зменшенням фізіологічного мертвого дихального простору і свідчити про підвищення ефективності легеневого газообміну. Тобто, тритижневе перебування спортсменів в середньогір'ї характеризувалося значною оптимізацією функції зовнішнього дихання. Про це також свідчило зменшення вентиляційного еквіваленту за O₂ (рис.4).

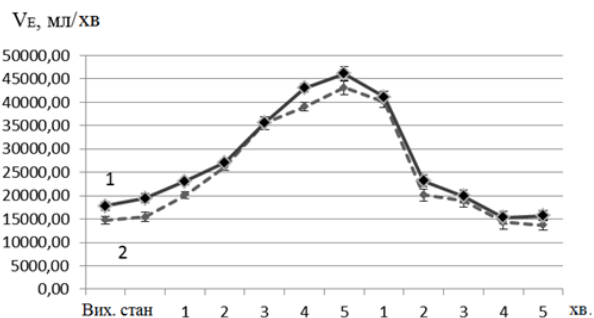


Рис. 3. Хвилинний об'єм дихання на початковому (1) і заключному (2) етапах перебування в горах

Відношення V_A/V_E як при першому, так і при повторному обстеженні на початку навантаження різко зростало і зберігалось таким до кінця (рис.5). Більш високий зріст альвеолярної вентиляції на початку

роботи в горах призводить до різкого вимивання CO₂ [9], при цьому нахил графіка залежності легеневої вентиляції від швидкості виділення CO₂ в горах змінюється [2], відбувається перебудова регуляції дихання, в результаті чого зростає використання кисню в легенях [5]. Тобто, збільшення відношення V_A/V_E при роботі в умовах гіпоксичної гіпоксії необхідно в першу чергу не тільки для того, щоб збільшити PO₂, але і для того, щоб забезпечити надходження необхідної кількості кисню в альвеоли.

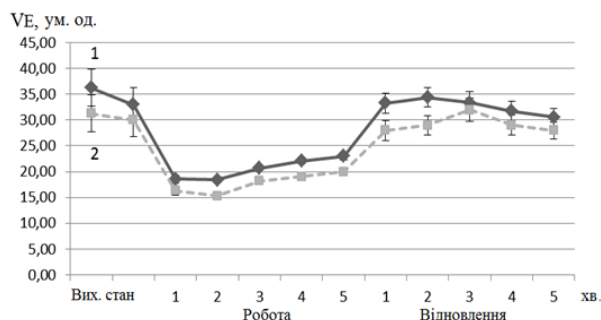


Рис. 4. Вентиляційний еквівалент за O₂ на початковому (1) і заключному (2) етапах перебування в горах

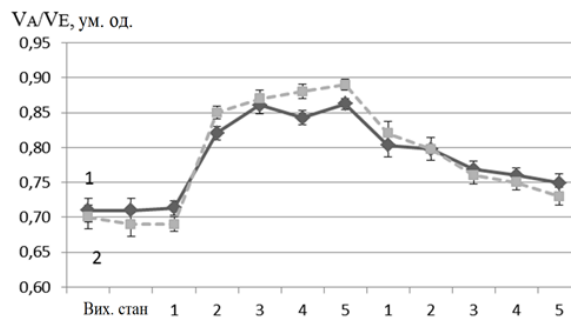


Рис. 5. Відношення V_A/V_E на початковому (1) і заключному (2) етапах перебування в горах

Також відомо, що при перебуванні в горах рефлекторно підвищується тиск судин в малому колі кровообігу [9,10], тому при роботі подоланням такого стану може бути венозний гіперкапічний стимул, що формується, який призводить до розслаблення судин легенів і таким чином сприяє збільшенню об'ємного кровотоку, поліпшенню дифузії газів в легенях і, відповідно, підвищенню швидкості транспорту O₂ артеріальною кров'ю.

Характерною особливістю змін функціонування системи дихання в період відновлення є практично повне відновлення патерну дихання, про що свідчила нормалізація концентрації O₂ і CO₂ в альвеолярному повітрі.

Більш високе, в порівнянні зі спокоєм, відношення в період відновлення V_A/V_E побічно могло свідчити про підвищення тиску 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 використанні 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 O₂ підвищенням анаеробного обміну [8,12]. У гірських умовах первинна тканинна

гіпоксія (гіпоксія навантаження [5]), що розвивається в результаті посиленого при роботі витрачення O_2 в м'язах, посилюється обмеженням можливостей киснево-транспортної системи організму в результаті гіпоксичної гіпоксії. Саме сполучення цих двох впливів і здійснює тренуючий фізіологічний ефект – розширення функціональних можливостей організму до спортивної 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 переносимість 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). 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 воно має і свої негативні сторони. В результаті обмеження кровотоку через печінку і нирки в значній мірі знижується швидкість утилізації в працюючих м'язах молочної кислоти, що утворюється, в крові збільшується концентрація іонів водню, зсувається кислотно-лужний стан в м'язах і крові і порушуються умови для утилізації O_2 [5]. Якщо враху-

вати, що в горах в здоровому організмі в спокої спостерігається газовий алкалоз, викликаний посиленням функції зовнішнього дихання і розвитком гіпокапнії, при цьому посилено вимиваються нирками луки [13], зменшується ємність бікарбонатного резерву. Це призводить до того, що 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].

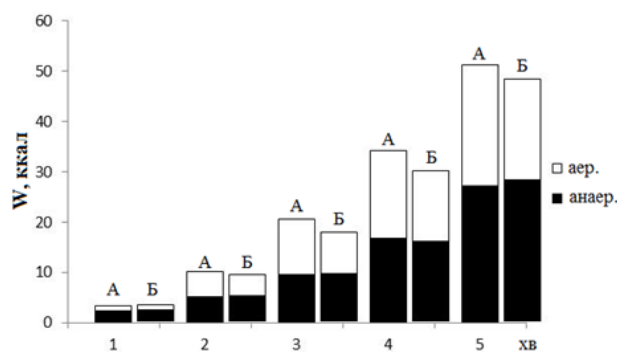


Рис. 6. Відношення аеробних та анаеробних компонентів в енергообміні на початку (А) та в кінці (Б) перебування в горах

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

ЛІТЕРАТУРА

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.рекоменд. (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. Финюгенов В.С., Козловская В.С., Любимова В.С. Особенности некоторых метаболических процессов и их взаимосвязь с мощностью работы, выполняемой в различные сроки при-

- способления гребцов к среднегорью.//Мед.-биол. проблемы физич.культры и спорта (Алма-Ата).-1978.-№6.—С.107-118.
7. Robergs R.A., Roberts S.O. Fisiologia de Exercicio.–San Paulo: Phorte Editore, 2002.- 490p.
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, Bärtsch 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.- 490p .
14. Wilber RL Application of altitude/hypoxic training by elite athletes//Med.Sci.Sports.Exerc.- 2007.- T39.-N9. –P.1610-1624.

REFERENCES

1. Bulatova MM, Platonov V.N. Athlete in various climatogeographical conditions. - Kiev .: Olympic literature 1996. - 177s.
2. Ilyin VM, Portnichenko VI, Cherkess L.I. Peculiarities of changes in external breathing in highly skilled athletes in conditions of

- middle mountains // Physiological journal of the National Academy of Sciences of Ukraine. - 2006. - 52. - №2. - S.201202.
3. Mishchenko V.S., Levin R.Ya., Nour A.M. Lactate threshold and its use to control the training process: Method.rekmen. (ed. Polishchuk DA). - Kiev: Abris, 1997, -Pyp.4. - 58s.
 4. Mishchenko V.S., Lysenko E.N., Vinogradov V.E. Reactive properties of the cardiorespiratory system as a reflection of adaptation to intense physical training in sports. -Kiev: Science Union, 2007.- 352c.
 5. Filippov MM, Davidenko D.N. Physiological mechanisms of development and compensation of hypoxia in the process of adaptation to muscle activity –SPb.-Kiev: BLA, 2010.-260c.
 6. Finogenov V.S., Kozlovskaya V.S., Lyubimova V.S. Features of some metabolic processes and their relationship with the power of work performed at different times of adaptation of rowers to the middle mountains.// Med.-Biol. problems of physical culture and sports (Alma-Ata) .- 1978.-no. 6. —S.107-118.

Adjustments in the respiratory system of athletes when adapting to the middle mountains

V. N. Ilin, M. M. Filippov, G. V. Klymenko

Abstract. The article is dedicated to study features of the respiratory system function and energy metabolism changes in athletes at loading during middle altitude adaptation. Twelve athletes - wrestlers were investigated at the beginning and at the end of training camps in Elbrus region (2100 m asl). Gas exchange and pulmonary ventilation in athletes were registered during bicycle ergometer loading of stepwise increasing power (50 to 250 watts for 5 min) and in the recovery period (10 min). The contribution of aerobic and anaerobic components in the energy metabolism during exercises was calculated. Statistical analysis was performed using software package SPSS 21.0 (IBM) and Microsoft Excel 2010. The changes in oxygen consumption during exercise loading and recovery at the beginning and at the end of the training camps were similar, but the re-testing showed increased rate of transient processes, and decreased oxygen cost of the work that evidenced hypometabolic rebuilding of energy metabolism. It was revealed that at the beginning of exercise dramatically decreased P_{AO2} and attenuated $PACO2$ indicating the rise of lung diffusion capacity. As a result of the active adaptation, at exercise loading the efficiency of pulmonary gas exchange was raised due to decreased O_2 ventilation equivalent. It was shown that the combined effect of hypobaric hypoxia and loading hypoxia extends the functionality of the body, and the training effects are achieved due to the rebuilding of energy resources.

Keywords: adaptation, physical work, external respiration, gas exchange, aerobic and anaerobic metabolism, athletes, middle mountains.