

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.886

Е. А. Макаренкова, М. В. Малахов, А. А. Мельников

Влияние различных режимов легочной вентиляции на вертикальную устойчивость спортсменов

В статье представлены результаты психофизиологического исследования спортсменов фитнес-аэробики различной квалификации. Проведен анализ сенсомоторных параметров, а также свойств центральной нервной системы, отражающих нейродинамический и психический компоненты функциональной подготовленности организма спортсменов. Выявлена зависимость уровня психофизиологических показателей от этапа многолетней адаптации к специфической мышечной деятельности в фитнес-аэробики.

Ключевые слова: легочная вентиляция, стабилография, баланс, спортсмены.

E. A. Makarenkova, M. V. Malakhov, A. A. Melnikov

Influence of Different Lung Ventilation Modes on a Standing Balance of Athletes

We studied the influence of inspiratory breath-holding and maximal voluntary hyperventilation on the postural stability of athletes. It was found that more pronounced impact of the respiratory muscles on a standing balance of the athletes didn't cause a greater loss of their steadiness. More effective compensation of perturbing influence of ventilation in the athletes was achieved by the greater activity of the postural control system.

Keywords: lung ventilation, hyperventilation, stabilography, a balance, athletes.

Введение

Известно, что дыхание влияет на систему постурального контроля, поскольку дыхательные движения отклоняют тело от вертикального положения [1]. Влияние дыхания на функцию равновесия достаточно широко освещено в литературе [1–4], при этом в различных источниках описано изменение вертикальной устойчивости при разных режимах легочной вентиляции. Согласно [2] задержка дыхания приводит к улучшению вертикальной устойчивости, поскольку отсутствует возмущающее действие дыхательных движений на постуральную систему. Напротив, значительное увеличение частоты и глубины дыхания сопровождается снижением функции равновесия [3, 4].

Известно, что функция равновесия у спортсменов развита лучше, чем у лиц, не занимающихся спортом, поскольку регулярные занятия спортом приводят к повышению чувствительности проприорецепторов, а проприорецепция является важным афферентным входом в систему постурального контроля [5]. Кроме того, у спортсменов способность

интегрировать афферентную информацию на уровне высших отделов ЦНС значительно более развита по сравнению с не спортсменами [6, 7].

Следовательно, можно предположить, что при различных режимах легочной вентиляции вертикальная устойчивость у спортсменов и у лиц, не занимающихся спортом, будет различаться.

Цель нашего исследования – сравнить влияние различных режимов легочной вентиляции на устойчивость вертикальной позы спортсменов и не спортсменов.

Методы исследования

Организация исследования. Испытуемые были разделены на две группы: «Спортсмены» и «Контроль». Группа «Спортсмены» включала в себя 38 человек (из них 19 женщин) в возрасте $19,8 \pm 1,0$ лет, регулярно занимающихся сложнокоординационными видами спорта (борьба, игровые виды) (средняя недельная нагрузка $11,2 \pm 4,5$ часов, средний стаж тренировок $7,6 \pm 4,6$ лет). Контрольная группа состояла из 28 здоро-

вых добровольцев (из них 18 женщин) в возрасте 22,4±4,6 лет, не занимающихся спортом.

Испытуемые спокойно стояли на стабилографической платформе Стабилан 01-2 «ОКБ» Ритм. Этот этап изучения обозначался как «Спонтанное дыхание». Затем исследуемым предлагалось стоя на стабилографической платформе дышать как можно глубже и чаще («Гипервентиляция»), а затем задерживать дыхание после максимального вдоха («Апноэ»).

Длительность каждого этапа обследования составляла 20 с. Во время тестов испытуемые стояли, стараясь как можно меньше отклонять тело от вертикального положения, и смотрели на белый круг на черном фоне, расположенный на расстоянии 1,5 м на уровне глаз.

Стабилометрические параметры. На стабилографическом анализаторе определялись следующие стабилометрические параметры для каждого из этапов обследования: среднее квадратическое отклонение (разброс) смещения ЦД во фронтальном (Q_x , мм) и сагиттальном (Q_y , мм) направлениях, скорость перемещения ЦД (V , мм/с), площадь доверительного эллипса, то есть основная часть площади стабилотограммы без выбросов ($S_{эл}$, мм²).

Показатели дыхания. Для каждого этапа исследования рассчитывались показатели дыхания. Дыхание оценивалось с помощью тензометрического датчика, который входит в комплекс Стабилан-01 ОКБ «Ритм». Тензометрический датчик крепился ремнем к грудной клетке и регистрировал ее экскурсию, что позволило рассчитать частоту дыха-

тельных движений (f , мин⁻¹), а также относительный показатель – амплитуду дыхания (RA), который равняется разности между максимумом вдоха и минимумом выдоха. На основе f и RA вычислялся косвенный показатель, вентиляция (Vent) [8].

Статистика. Данные представлены как среднее арифметическое (M) ± стандартное отклонение (s). Для выявления различий между стабилографическими и дыхательными показателями на разных этапах исследования использовался однофакторный дисперсионный анализ для повторных измерений (ANOVA). Апостериорные сравнения выполнены с применением критерия Фишера. Различия между показателями в группах определялись с помощью t -критерия Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 представлены показатели дыхания на разных этапах исследования. При спонтанном дыхании показатель вентиляции у спортсменов был меньше, чем в контрольной группе. Во время этапа «Гипервентиляция» отмечался выраженный рост всех показателей дыхания в обеих группах, что свидетельствует о наличии гипервентиляции у испытуемых, при этом по данным однофакторного анализа степень прироста RA и Vent у спортсменов была значительно выше ($p=0,01$ и $p=0,003$ соответственно), что, очевидно, связано с большими функциональными возможностями их системы дыхания [9].

Таблица 1

Показатели дыхания в группах на разных этапах исследования ($M \pm s$)

	Спонтанное дыхание		Гипервентиляция	
	Контроль	Спортсмены	Контроль	Спортсмены
RA	0,62±0,42	0,48±0,27	2,06±0,85***	2,48±0,96***
f , мин ⁻¹	14,79±5,37	13,32±5,25	52,07±14,43***	58,89±21,62***
Vent	8,4±4,5	6,12±3,48^	102,5±41,8***	136,49±50,3***^^

Примечание: *** – $p < 0,001$ по сравнению с этапом «Спонтанное дыхание» в той же группе; ^, ^^ – $p < 0,05$, $< 0,01$ по сравнению с контрольной группой на соответствующем этапе исследования.

В табл. 2 представлены стабилографические показатели на разных этапах исследования в контрольной группе, а в табл. 3 – в группе «Спортсмены». При сравнении стабилометрических показателей между группами на этапе «Спонтанное дыха-

ние» нами установлено, что скорость колебаний ЦД у спортсменов была ниже, чем у лиц, не занимающихся спортом ($p=0,004$), что свидетельствует о меньшем напряжении системы пострального контроля у спортсменов при спокойном стоянии.

Таблица 2

Стабилографические показатели в группе «Контроль» на разных этапах исследования (M±s)

	Апноэ	Спонтанное дыхание	Гипервентиляция
Q(x), мм	2,63±1,11	2,31±0,67	4,02±1,33***
Q(y), мм	3,16±1,51	3,02±1,09	6,17±2,00***
V, мм/с	9,83±2,86**	8,51±2,28	25,45±11,12***
Sэл, мм ²	117,3±89,09	98,53±57,29	346,1±205,51***

Примечание: **, *** – p<0,01, <0,001 по сравнению с этапом «Спонтанное дыхание».

Таблица 3

Стабилографические показатели в группе «Спортсмены» на разных этапах исследования (M±s)

	Апноэ	Спонтанное дыхание	Гипервентиляция
Q(x), мм	2,24±0,82	2,11±0,81	3,98±1,35***
Q(y), мм	2,78±1,21	2,7±0,82	6,55±2,40***
V, мм/с	8,81±2,51***	7,06±1,68	37,76±29,00***
Sэл, мм ²	84,76±51,3	76,22±34,15	386,7±245,6***

Примечание: *** – p<0,001 по сравнению с этапом «Спонтанное дыхание».

На этапе «Апноэ» происходило повышение V в обеих группах, что отражает большее напряжение системы постурального контроля [7], остальные стабилметрические параметры не менялись. Таким образом, наши данные противоречат результатам [2], где указывается на улучшение вертикальной устойчивости при задержке дыхания.

По данным [10], при задержке дыхания дыхательные мышцы не находятся в состоянии покоя, а совершают высокочастотные низкоамплитудные сокращения. Поскольку дыхательные мышцы принимают участие в поддержании вертикальной позы [11], их сокращения, по-видимому, являются возмущающим фактором для системы постурального контроля. Таким образом, выявленное нами повышение скорости смещения ЦД на этапе «Апноэ» (табл. 2, 3), вероятно, связано с напряжением системы поддержания равновесия вследствие высокочастотных и низкоамплитудных сокращений дыхательной мускулатуры.

По данным однофакторного анализа у спортсменов на этапе «Апноэ» отмечалось большее повышение V, чем в контрольной группе (p=0,0001). Известно, что дыхательные мышцы у спортсменов развиты сильнее, чем у лиц, не занимающихся спортом [9], поэтому их сокращения при задержке дыхания, по-видимому, были более мощными, чем у ис-

пытываемых контрольной группы. Более сильные сокращения дыхательной мускулатуры, очевидно, сопровождалась большей нагрузкой на постуральную систему, что обусловило большее повышение скорости смещения ЦД.

Гипервентиляция приводила к выраженному повышению всех стабилметрических показателей в обеих группах (табл. 2, 3), что отражает значительное снижение вертикальной устойчивости. Ухудшение равновесия при произвольной гипервентиляции было связано с повышением частоты и амплитуды дыхательных движений [3], а также, вероятно, с рядом метаболических изменений. Гипервентиляция очень быстро вызывает гипоканию и алкалоз, что приводит к ишемии и гипоксии ЦНС [12], вследствие чего, по-видимому, снижается эффективность системы постурального контроля. Кроме того, алкалоз вызывает повышенную возбудимость нервных волокон, что является причиной искажения афферентной информации с проприорецепторов. Поскольку проприоцептивная информация представляет собой важный афферентный вход для постуральной системы, ее искажение приводило к снижению вертикальной устойчивости [13].

Применение однофакторного анализа показало, что при гипервентиляции степень прироста разброса смещения ЦД и площади доверительного эллипса

у спортсменов была такой же, как в контрольной группе, тогда как скорость смещения ЦД повышалась в большей степени по сравнению с контролем ($p=0,02$). Поскольку Vent у спортсменов на этапе «Гипервентиляция» был выше, чем в контрольной группе (табл. 1), очевидно, что все описанные факторы, оказывающие влияние на вертикальную устойчивость при произвольном увеличении глубины и частоты дыхания, у спортсменов были выражены сильнее. Таким образом, отсутствие различий между группами в показателях Qx, Qu и Sэл на этапе «Гипервентиляция» свидетельствует о том, что более сильное по сравнению с контролем воздействие на вертикальную устойчивость спортсменов не приводит к большему ее снижению, то есть система постурального контроля у спортсменов, очевидно, более эффективно компенсирует действие возмущающих факторов. Вместе с тем более значительное, чем в контрольной группе, возрастание V говорит о том, что компенсация влияния гипервентиляции достигается за счет большего напряжения постуральной системы.

Наши результаты косвенно подтверждают литературные данные о большей способности спортсменов поддерживать баланс в динамических тестах из-за более развитой способности интегрировать афферентную информацию [6, 7].

Выводы

При спонтанном дыхании вертикальная устойчивость у спортсменов не отличается от контрольной группы, однако поддержание ими вертикальной позы обеспечивается меньшим напряжением системы постурального контроля.

Задержка дыхания после максимального вдоха сопровождалась напряжением системы постурального контроля, обусловленным низкоамплитудными и высокочастотными сокращениями дыхательных мышц, при этом более сильные сокращения дыхательной мускулатуры у спортсменов приводили к большему напряжению системы поддержания равновесия.

Гипервентиляция служила причиной выраженного снижения вертикальной устойчивости в обеих группах, что было, по-видимому, связано с увеличением глубины и частоты дыхательных движений, а также с метаболическими сдвигами, оказывающими существенное влияние на систему постурального контроля. Более интенсивная вентиляция у спортсменов не вызывала большее снижение вертикальной устойчивости по сравнению с контрольной группой. Более эффективная компенсация возмущающего влияния гипервентиляции достигалась у спортсменов большим напряжением постуральной системы.

Библиографический список

1. Войнов, В. Б. Методы оценки состояния систем кислородообеспечения организма человека [Текст] : учебно-методическое пособие / В. Б. Войнов, Н. В. Воронова, В. В. Золотухин. – Ростов-на-Дону : УНИИ валеологии РГУ, 2002. – 99 с.
2. Hunter, I. W. Respiratory components of human postural sway / I. W. Hunter, R. E. Kearney // *Neurosci. Lett.* – 1981. – V. 25, № 2. – P. 155–159.
3. Asseman, F. Effects of the removal of vision on body sway during different postures in elite gymnasts / F. Asseman, O. Caron, J. Cremieux // *Inter. J. of Sports Med.* – 2005. – V. 26. – P. 116–119.
4. Caron, O. Effects of ventilation on body sway during human standing / O. Caron, P. Fontanari, J. Cremieux, F. Joulia // *Neurosci. Lett.* – 2004. – V. 366, № 1. – P. 6–9.
5. Hodges, P. W. Activation of the human diaphragm during a repetitive postural task / P. W. Hodges, S. C. Gandevia // *J. Physiol.* – 2000. – V. 522. – P. 165–175.
6. Hodges, P. W. Coexistence of stability and mobility in postural control: evidence from postural compensation for respiration / P. W. Hodges, V. S. Gurfinkel, S. Brumagne, T. C. Smith, P. C. Cordo // *Exp. Brain. Res.* – 2002. – V. 144, № 3. – P. 293–302.
7. Kuczyński, M. Effects of Accelerated Breathing On Postural Stability / M. Kuczyński, M. Wieloch // *Human Movement.* – 2008. – V. 9, № 2. – P. 107–110.
8. Lum, L. C. Hyperventilation: the tip and the iceberg / L. C. Lum // *J. Psychosom. Res.* – 1975. – V. 19. – P. 375–383.
9. Muaidi, Q. I. Do elite athletes exhibit enhanced proprioceptive acuity, range and strength of knee rotation compared with non-athletes? / Q. I. Muaidi, L. L. Nicholson, K.M. Refshauge // *Scand. J. Med. Sci. Sports.* – 2009. – V. 19. – P. 103–112.
10. Robinson, E. P. Improvement in ventilatory muscle function with running / E. P. Robinson, J. M. Kjeldgaard // *J. Appl. Physiol.* – 1982. – V. 52. – P. 1400–1406.
11. Sakellari, V. The effects of hyperventilation on postural control mechanisms / Sakellari V., Bronstein A. M., Corna S., Hammon C. A., Jones S., Wolsley C. J. // *Brain.* – 1997. – V. 120. – P. 1659–1673.
12. Vuillerme, N. The effect of expertise in gymnastics on proprioceptive sensory integration in human subjects / N. Vuillerme, N. Teasdale, V. Nougier // *Neurosci. Lett.* – 2001. – V. 311(2). – P. 73–76.
13. Whitelaw W.A. Similarities between behavior of respiratory muscles in breath-holding and in elastic loading / W.A. Whitelaw, J. Derenne, S. Noble,

B. McBride // *Respir. Physiol.* –1988. – V. 72. –P. 151– 161.

Bibliograficheskiy spisok

1. Voynov, V. B. Metody otsenki sostoyaniya sistem kislorodoobespecheniya organizma cheloveka [Tekst] : uchebno-metodicheskoye posobiye / V. B. Voynov, N. V. Voronova, V.V. Zolotukhin. – Rostov-na-Donu : UNII valeologii RGU, 2002. – 99 s.
2. Hunter, I. W. Respiratory components of human postural sway / I. W. Hunter, R. E. Kearney // *Neurosci. Lett.* – 1981. – V. 25, № 2. – P. 155–159.
3. Asseman, F. Effects of the removal of vision on body sway during different postures in elite gymnasts / F. Asseman, O. Caron, J. Cremieux // *Inter. J. of Sports Med.* – 2005. – V. 26. – P. 116–119.
4. Caron, O. Effects of ventilation on body sway during human standing / O. Caron, P. Fontanari, J. Cremieux, F. Joulia // *Neurosci. Lett.* – 2004. – V. 366, № 1. – P. 6–9.
5. Hodges, P. W. Activation of the human diaphragm during a repetitive postural task / P. W. Hodges, S. C. Gandevia // *J. Physiol.* – 2000. – V. 522. – P. 165–175.
6. Hodges, P. W. Coexistence of stability and mobility in postural control: evidence from postural compensation for respiration / P. W. Hodges, V. S. Gurfinkel, S. Brumagne, T. C. Smith, P. C. Cordo // *Exp. Brain. Res.* – 2002. – V. 144, № 3. – P. 293–302.
7. Kuczyński, M. Effects of Accelerated Breathing On Postural Stability / M. Kuczyński, M. Wieloch // *Human Movement.* – 2008. – V. 9, № 2. – P. 107–110.
8. Lum, L. C. Hyperventilation: the tip and the iceberg / L. C. Lum // *J. Psychosom. Res.* – 1975. – V. 19. – P. 375–383.
9. Muaidi, Q. I. Do elite athletes exhibit enhanced proprioceptive acuity, range and strength of knee rotation compared with non-athletes? / Q. I. Muaidi, L. L. Nicholson, K. M. Refshauge // *Scand. J. Med. Sci. Sports.* – 2009. – V. 19. – P. 103–112.
10. Robinson, E. P. Improvement in ventilatory muscle function with running / E. P. Robinson, J. M. Kjeldgaard // *J. Appl. Physiol.* – 1982. – V. 52. – P. 1400–1406.
11. Sakellari, V. The effects of hyperventilation on postural control mechanisms / Sakellari V., Bronstein A. M., Corna S., Hammon C. A., Jones S., Wolsley C. J. // *Brain.* – 1997. – V. 120. – P. 1659 – 1673.
12. Vuillerme, N. The effect of expertise in gymnastics on proprioceptive sensory integration in human subjects / N. Vuillerme, N. Teasdale, V. Nougier // *Neurosci. Lett.* – 2001. – V. 311(2). – P. 73–76.
13. Whitelaw W. A. Similarities between behavior of respiratory muscles in breath-holding and in elastic loading / W. A. Whitelaw, J. Derenne, S. Noble, B. McBride // *Respir. Physiol.* –1988. – V. 72. –P. 151–161.