

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612

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

Изменение стабิโลграфических параметров под влиянием гипервентиляции в тестах со зрительной биологической обратной связью

Изучено влияние гипервентиляции на способность контролировать положение центра давления в стабิโลграфическом тесте со зрительной обратной связью. Установлено, что гипервентиляция приводила к уменьшению способности контролировать положение центра давления, что проявлялось в повышении всех стабิโลметрических параметров. Снижение устойчивости было обусловлено дыхательными движениями и метаболическими сдвигами.

Ключевые слова: гипервентиляция, стабิโลграфия, зрительная биологическая обратная связь.

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

Alterations of Stabilographic Indices under Influence of Hyperventilation in Visual Biofeedback Tests

The influence of hyperventilation on the ability to control the center of pressure in the visual biofeedback stabilographic test was studied. It was found that hyperventilation decreased the ability to control the center of pressure position and causes elevation of all stabilometric indices. Decrease of the postural stability was reasoned with respiration movements and metabolic.

Keywords: hyperventilation, stabilography, visual biofeedback.

Введение

Стабิโลметрия – это метод исследования функции равновесия человека, основанный на анализе перемещения центра давления стоп испытуемого на платформу прибора. Этот метод используется в медицине для диагностики различных заболеваний [11], в физиологии спорта [2], труда [8].

Одним из тестов, используемых в стабิโลграфии, является тест со зрительной биологической обратной связью, в котором смещение центра давления (ЦД) исследуемого человека отражается в виде движения маркера на дисплее монитора, таким образом, испытуемый может контролировать положение своего центра давления. Этот тест применяется для оценки функционального состояния и уровня квалификации спортсменов [3], а также как метод реабилитации больных с различной патологией [13].

Известно, что дыхание оказывает влияние на функцию равновесия человека [5, 7], причем в наибольшей степени устойчивость меняется при гипервентиляции [9, 12]. Однако в доступной

нам литературе нет работ, посвященных изучению воздействия гипервентиляции на устойчивость в тестах с биологической обратной связью.

Цель нашей работы – исследовать изменение стабิโลграфических показателей в тестах со зрительной биологической обратной связью под влиянием гипервентиляции и непосредственно сразу после нее.

Материалы и методы

Организация исследования. В исследовании принимали участие 39 здоровых добровольцев (12 женщин) в возрасте 18–30 лет. Испытуемые проходили тест со зрительной обратной связью «Мишень». Стоя на стабิโลграфической платформе (Стабилан-01 ОКБ «Ритм», г. Таганрог), испытуемые должны были удерживать маркер в центре мишени при большом масштабе изображения. Исследование делилось на три этапа. Первые 20 секунд испытуемые дышали спонтанно («Покой»), затем, в течение следующих 20 секунд – максимально глубоко и часто («Гипервентиляция») и последние 20 секунд – снова

спонтанно («Восстановление»). Таким образом, длительность исследования составляла 1 минуту.

Стабилометрические параметры. На стабилографическом анализаторе определялись следующие стабилометрические параметры для каждого из этапов обследования: среднеквадратическое отклонение (разброс) смещения ЦД во фронтальном (Q_x , мм) и сагиттальном (Q_y , мм) направлениях, средняя скорость перемещения ЦД ($V_{ср}$, мм/с), площадь доверительного эллипса, то есть основная часть площади стабилотограммы без выбросов ($S_{эл}$, мм²), а также спектральные показатели в диапазоне низких частот (0–0,2 Гц) по фронтали ($Pw1F$, %) и сагиттали ($Pw1S$, %), в диапазоне средних (0,2–2 Гц) ($Pw2F$, $Pw2S$, %) и высоких (2–6 Гц) ($Pw3F$, $Pw3S$, %) частот.

Для каждого этапа исследования рассчитывались также показатели дыхания. Дыхание оценивалось с помощью тензометрического датчика дыхания (Стабилан-01 ОКБ «Ритм»). Тензометрический датчик крепится ремнем к грудной клетке, он регистрирует ее экскурсию и позволя-

ет рассчитать частоту дыхательных движений (f , мин⁻¹), а также относительный показатель – амплитуду дыхания (RA , ед), – который равняется разности между максимумом вдоха и минимумом выдоха. На основе f и RA можно вычислить косвенный показатель – легочную вентиляцию (V_{ent} , ед) [1].

Статистика. Данные представлены как среднее арифметическое (M) ± стандартное отклонение (s). Гипотеза о взаимосвязи данных проверялась с помощью параметрической корреляции Пирсона. Для выявления различий между стабилотографическими параметрами и показателями дыхания на разных этапах измерения использовался однофакторный дисперсионный анализ для повторных измерений (ANOVA). Апостериорные сравнения выполнены с использованием критерия Ньюмена – Кейлса.

Результаты исследования

В табл. 1 представлены значения показателей вентиляции на разных этапах исследования.

Таблица 1

Значения показателей вентиляции на разных этапах исследования ($M \pm s$, $n = 39$)

	Покой	Гипервентиляция	Восстановление
f , мин ⁻¹	7,51±7,17	17,54±5,12***	10,95±11,16^^
RA	0,37±0,33	1,64±0,84***	0,60±0,43***^^
V_{ent}	2,28±1,89	27,66±14,61***	5,82±4,68***^^

Примечание: *** – $p < 0,001$ по сравнению с покоем, ^^ – по сравнению с этапом «Гипервентиляция».

Видно, что все показатели дыхания во время этапа «Гипервентиляция» возрастали. В период «Восстановление» значение f достигало исходной величины, в то время как показатели вентиляции и амплитуды дыхания снижались, но исходных значений не достигали.

Нами установлено, что гипервентиляция приводила к значительному росту всех исследуемых

стабилотографических показателей (Q_x увеличился в 1,8 раз, Q_y – в 2,28 раза, V – в 2,26 раз и S – в 4,14 раз) (табл. 2). В период восстановления стабилотографические параметры снижались, однако исходных значений не достигали.

Таблица 2

Основные стабилотографические показатели на разных этапах исследования ($M \pm s$, $n = 39$)

	Покой	Гипервентиляция	Восстановление
Q_x , мм	1,80±0,61	3,24±1,04***	2,52±0,75***^^
Q_y , мм	1,98±0,58	4,51±1,59***	3,04±0,90***^^
V , мм/с	10,59±4,17	23,98±9,00***	13,41±4,78***^^
S , мм ²	52,92±29,51	218,85±126,93***	114,30±60,71***^^

Примечание: *** – $p < 0,001$ по сравнению с этапом «Покой», ^^ – $p < 0,001$ по сравнению с этапом «Гипервентиляция».

В течение этапа «Гипервентиляция» происходит увеличение как PwF3 (табл. 3), так и PwS3 (табл. 4). В сагиттальной плоскости отмечается

также снижение спектральных показателей в области низких частот (табл. 4).

Таблица 3
Изменение спектральных показателей по фронтали на разных этапах исследования (M±s, n = 39)

	Покой	Гипервентиляция	Восстановление
Pw1F, %	19,77±7,95	18,23±7,33	18,74±5,86
Pw2F, %	68,56±7,72	66,64±6,79	69,49±6,43
Pw3F, %	11,62±3,70	15,15±4,00***	11,82±4,10

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

Таблица 4
Изменение спектральных показателей по сагиттали на разных этапах исследования (M±s, n = 39)

	Покой	Гипервентиляция	Восстановление
Pw1S, %	21,18±7,37	16,28±3,79***	21,90±7,13
Pw2S, %	63,00±6,88	64,13±5,56	63,28±7,25
Pw3S, %	15,77±4,92	19,62±5,47***	14,85±5,67

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

Нами выявлены корреляционные связи разной силы между всеми показателями дыхания и стабиллографическими параметрами (табл. 5). При этом показатели дыхания (RA и Vent) в наи-

большей степени были связаны с разбросом центра давления по сагиттали, линейной скоростью и площадью доверительного эллипса.

Таблица 5
Корреляции (r) между стабиллографическими параметрами и показателями дыхания (n = 39)

	Q(x), мм	Q(y), мм	V, мм/с	S, мм ²
f	0,27**	0,34***	0,42***	0,34***
RA	0,46***	0,66***	0,60***	0,59***
Vent	0,51***	0,69***	0,72***	0,65***

Примечание: **, *** – p<0,01, <0,001.

По данным нашего исследования, дыхательные индексы коррелировали с показателями мощности в высокочастотной части спектра.

Кроме того, показатели RA и Vent были отрицательно связаны с Pw1S (табл. 6).

Таблица 6
Корреляции (r) между спектральными показателями и параметрами дыхания (n = 39)

	Pw1(F), %	Pw2(F), %	Pw3(F), %	Pw1(S), %	Pw2(S), %	Pw3(S), %
f	-0,13	-0,04	0,28***	-0,08	-0,09	0,22*
RA	-0,13	-0,04	0,29**	-0,29***	0,06	0,27**
Vent	-0,16	-0,07	0,39***	-0,31**	-0,01	0,38***

Примечание: *, **, *** – p<0,05, <0,01, <0,001.

Обсуждение

Значительное возрастание всех показателей дыхания во время этапа «Гипервентиляция»

(табл. 1) подтверждает наличие гипервентиляции у испытуемых.

В соответствии с результатами нашего исследования все классические стабиллографические показатели во время этапа «Гипервентиляция» возрастали, что свидетельствует о снижении устойчивости и способности контролировать положение центра давления в тестах с биологической обратной связью. В течение периода восстановления стабиллографические параметры снижались, но исходных значений не достигали (табл. 2). Влияние дыхания на вертикальную устойчивость подтверждается также наличием корреляционных связей стабиллографических параметров с показателями дыхания (табл. 5)

При изучении влияния дыхания на вертикальную устойчивость как при спокойном дыхании, так и при гипервентиляции разными авторами получены различные результаты. Так, в работе [4] не выявлено существенного изменения функции равновесия при увеличении глубины и частоты дыхания у испытуемых в положении «стоя». Полученные данные авторы объясняют компенсацией отклонения центра давления, вызванного дыхательными движениями, сокращением мышц верхней части туловища, таза и нижних конечностей. Однако в статье [6] указывается, что при повышении дыхательного объема способность к такой компенсации снижается. Кроме того, в этой же работе отмечается смещение центра давления назад при произвольном увеличении глубины дыхания.

В исследовании [9] получены сведения о возрастании разброса ЦД по сагиттали, а также об увеличении средней линейной скорости перемещения центра давления под влиянием гипервентиляции с навязанным ритмом дыхания. Наши результаты подтверждают данные [9] и [6]. Мы установлено, что произвольная гипервентиляция в большей степени оказывала влияние на смещение ЦД по сагиттали: значение Q_u во время этапа «Гипервентиляция» возрастало в большей степени, чем Q_x (табл. 2). Кроме того, корреляционные связи показателей дыхания с Q_u были выражены сильнее, чем с Q_x (табл. 5).

В работе [12] указывается, что снижение устойчивости вертикальной позы при увеличении глубины и частоты дыхания связано не только с дыхательными движениями, но и с метаболиче-

скими изменениями, которые развиваются вследствие гипервентиляции.

Таким образом, основываясь на собственных и литературных данных можно предположить, что снижение функции равновесия при произвольном увеличении частоты и глубины дыхания было обусловлено дыхательными движениями и метаболическими сдвигами, которые развивались вследствие гипервентиляции.

По данным нашего исследования, во время этапа «Гипервентиляция» отмечалось увеличение показателей мощности спектра как по фронтали (табл. 3), так и по сагиттали в области высоких частот (табл. 4.). Снижение P_{w1S} , как мы полагаем, было относительным, связанным со значительным увеличением P_{w3S} .

Также выявлены слабые, но достоверные корреляции между параметрами дыхания и показателями мощности спектра в высокочастотном диапазоне (табл. 6).

Известно, что высокочастотные колебания ЦД отражают механизмы регуляции, опосредованные импульсацией от проприорецепторов [11]. По данным литературы [10], гипервентиляция вызывает повышение возбудимости нервных волокон в периферических нервах. Таким образом, можно предположить, что увеличение импульсации в афферентных волокнах с проприорецепторов под влиянием гипервентиляции приводило к повышению показателей мощности спектра в высокочастотном диапазоне.

Выводы

Произвольное увеличение частоты и глубины дыхания приводит к снижению способности контролировать положение центра давления в тестах со зрительной биологической обратной связью. Снижение устойчивости вертикальной позы обусловлено дыхательными движениями, а также метаболическими сдвигами в центральной нервной системе при гипервентиляции. Возрастание спектральных показателей колебаний центра давления в высокочастотном диапазоне при гипервентиляции может отражать повышение импульсации по афферентным волокнам с проприорецепторов.

Библиографический список

1. Войнов, В. Б. Методы оценки состояния систем кислородобеспечения 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. Савин, А. А. Сравнительный анализ регуляции вертикальной позы у борцов разной спортивной квалификации [Текст] / А. А. Савин, А. Д. Викулов, А. А. Мельников // Ярославский педагогический вест-

ник. Естественные науки. – 2010. – № 4 – Том III. – С. 98–103.

3. Слива, С. С. Стабилоанализатор «стабилан-01» в спорте [Текст] / С. С. Слива, А. С. Слива, Д. В. Кривец // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2004. – Т. 41, № 6. – С. 25–29.

4. Bouisset, S. Is body balance more perturbed by respiration in seating than in standing posture? / S. Bouisset, J. L. Duchêne // Neuroreport. – 1994. – V. 5, № 8. – P. 957–960.

5. 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.

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. Hunter, I. W. Respiratory components of human postural sway / I. W. Hunter, R. E. Kearney // Neurosci. Lett. – 1981. – V. 25, №2. – P. 155–159.

8. Karita, K. Effect of overtime work and insufficient sleep on postural sway in information-technology workers

[Текст] / K. Karita, M. Nakao, M. Nishikitani, T. Iwata, K. Murata, E. Yano // J. Occup. Health. – 2006. – V. 48, №1. – P. 65–68.

9. Kuczyński, M. Effects of Accelerated Breathing On Postural Stability / M. Kuczyński, M. Wieloch // Human Movement. – 2008. – V. 9, № 2. – P. 107–110.

10. Mogyoros, I. Excitability changes in human sensory and motor axons during hyperventilation and ischaemia / I. Mogyoros, M. C. Kiernan, D. Burke, H. Bostock // Brain. – 1997. – V. 120. – P. 317–325.

11. Oppenheim, U. Postural characteristics of diabetic neuropathy / U. Oppenheim, R. Kohen-Raz, D. Alex, A. Kohen-Raz, M. Azarya // Diabetes Care. – 1999. – V. 2. – P. 328–332.

12. Sakellari, V. The effects of hyperventilation on postural control mechanisms / V. Sakellari, A. M. Bronstein, S. Corna, C. A. Hammon, S. Jones, C. J. Wolsley // Brain. – 1997. – V. 120. – P. 1659–1673.

13. Van Peppen, R.P. Effects of visual feedback therapy on postural control in bilateral standing after stroke: a systematic review [Текст] / R. P. Van Peppen, M. Kortsmit, E. Lindeman, G. Kwakkel // J. Rehabil. Med. – 2006. – V. 38, №1. – P. 3–9.