

**диаграмма**, показывающая относительное соотношение величин компонентов VLF, LF, HF.

Анализ и отображение данных производится в режиме реального времени с сохранением массивов зарегистрированных значений длительностей NN-интервалов для отсроченного анализа.

Прибор успешно используется в практике анестезиологии, реаниматологии для слежения за состоянием больных.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Баевский Р.М., Иванов Г.Г.* Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения. – М.: Медицина, 2000. – 295 с.
2. *Баевский Р.М., Берсенева А.П.* Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. – М.: Медицина, 1997. – 265 с.
3. Task Force of the European Society of Cardiology and North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use // *Circulation*. – 1996. – Vol. 93 (5). – P. 1043-1065.
4. *Калакутский Л.И., Манелис Э.С.* Аппаратура клинического мониторинга для отделений анестезиологии и реанимации // *Тюменский мед. журн.* – 2005. – № 1. – С. 3-5.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., проф. В.Е. Высоцкий.

**Калакутский Лев Иванович** – ГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)»; e-mail: bme@ssau.ru; 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34; тел.: 88462674549; кафедра радиотехника и МДС; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

**Молчков Евгений Васильевич** – e-mail: biotech@ssau.ru; 443086 г. Самара, ул. Лукачева, 45; тел.: 88462674474; кафедра радиотехники и МДС; ведущий инженер.

**Бахтинов Павел Иванович** – кафедра радиотехники и МДС; ведущий инженер.

**Kalakutskiy Lev Ivanovich** – Samara State Aerospace University (National Research University); e-mail: bme@ssau.ru, 34, Moscow highway, Samara, 443086, phone: +78462674549; the department of radio engineering and MDS; head of the department; dr. of eng. sc.; professor.

**Molchkov Evgeniy Vasilyevich** – e-mail: biotech@ssau.ru, 45, Lukacheva street, Samara, 443086, Russia; phone: +78462674474; the department of radio engineering and MDS; leading engineer.

**Bakhtinov Pavel Ivanovich** – the department of radio engineering and MDS; leading engineer.

УДК 616.83/85

**Е.А. Макаренкова, М.В. Малахов**

#### **ВЛИЯНИЕ ГИПЕРВЕНТИЛЯЦИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ СТАБИЛОГРАФИИ В ТЕСТАХ СО ЗРИТЕЛЬНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

*Изучено влияние гипервентиляции на способность контролировать положение центра давления в стабิโลграфическом тесте со зрительной обратной связью. На стабילוграфической платформе «Стабилан-01 ОКБ «Ритм» определялись классические стабิโลметрические параметры, а также спектральные показатели колебаний центра давления до, во время и после периода гипервентиляции (n=39). Повышение всех стабิโลметрических параметров при гипервентиляции отражало снижение устойчивости вертикальной позы и было обусловлено дыхательными движениями, а также метаболическими сдвигами вследствие гипервентиляции. При гипервентиляции также отмечалось увеличение высоко-*

*частотных колебаний центра давления. Таким образом, произвольное увеличение частоты и глубины дыхания приводит к снижению эффективности зрительной обратной связи в регуляции устойчивости вертикальной позы человека.*

*Гипервентиляция; стабилोगрафия; зрительная биологическая обратная связь.*

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

### **INFLUENCE OF HYPERVENTILATION ON STABILOGRAPHIC PARAMETERS IN VISUAL BIOFEEDBACK TESTS**

*The influence of hyperventilation on the ability to control center of pressure in the visual biofeedback stabilographic test was studied. Classic stabilometric parameters and the power spectrum indices were estimated on the force platform "Stabilan-01 SDB "Ritm" before, during and after the period of hyperventilation (n=39). Increase of all stabilometric parameters during hyperventilation reflected the decrease of postural stability and was related to the respiration movements and metabolic changes induced by hyperventilation. We also found the elevation of high frequency spectrum indices. Thus, voluntary increase of respiration amplitude and frequency is the reason of less effective visual biofeedback mechanism of posture tolerance in humans.*

*Hyperventilation; stabilography; visual biofeedback.*

**Введение.** Стабилометрия – это метод исследования устойчивости человека, основанный на анализе перемещения центра давления стоп испытуемого на платформе. Этот метод используется в медицине для диагностики различных функций равновесия в норме и при различных заболеваниях [1].

Одним из тестов, используемых в стабилोगрафии, 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 дополнительно контролировать положение своего центра давления с помощью зрительной обратной связи.

Известно, что дыхание оказывает влияние на функцию равновесия человека [2], причём в наибольшей степени устойчивость меняется при гипервентиляции [3, 4]. Однако в доступной нам литературе нет работ, посвящённых исследованию влияния гипервентиляции на устойчивость в тестах с биологической обратной связью.

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

**Материалы и методы.** *Организация исследования.* В исследовании принимали участие 39 (12 девушек) здоровых добровольцев в возрасте 18–23 года. Испытуемые проходили тест со зрительной обратной связью «Мишень». Стоя на стабилोगрафической платформе (Стабилан-01 ОКБ «Ритм») исследуемые должны были удерживать маркер в центре мишени при большом масштабе изображения. Тест длительностью 1 минуту делился 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»).

*Стабилометрические параметры.* На стабилोगрафическом анализаторе определялись следующие классические 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 стабилограммы без выбросов ( $S_{эл}$ , мм<sup>2</sup>), а также показатели спектра: мощность спектра 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 ДДПТ-1, входящего в комплекс Стабилан-01. Тензометрический датчик крепится ремнём к грудной клетке, он регистрирует её экскурсию и позволяет рассчитать частоту дыхательных движений ( $f$ , мин<sup>-1</sup>), а также относительный показатель – амплитуду дыхания (RA, у.е), который равняется разности между максимумом вдоха и минимумом выдоха. На основе  $f$  и RA можно вычислить косвенный показатель вентиляции (Vent, у.е) [5].

*Статистика.* Данные представлены как среднее арифметическое ( $M$ ) ± среднеквадратическое отклонение ( $s$ ). Гипотеза о взаимосвязи данных проверялась с помощью параметрической корреляции Пирсона. Для выявления различий между стабิโลграфическими 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 <sup>-1</sup>	7,51±7,17	17,54±5,12***	10,95±11,16^^^
RA, у.е	0,37±0,33	1,64±0,84***	0,60±0,43***^^^
Vent, у.е	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» возросли. 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 классических стабิโลграфических показателей ( $Q_x$  увеличился в 1,8 раз,  $Q_y$  – в 2,28 раза,  $V_{cp}$  – в 2,26 раз и  $S$  – в 4,14 раз) (табл. 2). В период восстановления стабิโลграфические параметры снижались, однако исходных значений не достигали.

Таблица 2

**Основные стабิโลграфические 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***^^^
$V_{cp}$ , мм/с	10,59±4,17	23,98±9,00***	13,41±4,78***^^^
$S$ , мм <sup>2</sup>	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 показателя мощности высокочастотной части спектра как во фронтальной (табл. 3), так и в сагиттальной плоскостях (табл. 4). В сагиттальной плоскости отмечается также снижение показателя мощности спектра в области низких частот (табл. 4).

Таблица 3

**Показатели мощности спектра 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

**Показатели мощности спектра 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».

Таблица 5

**Корреляции (r) между стабิโลграфическими параметрами и показателями дыхания (n = 39)**

	Q(x), мм	Q(y), мм	V, мм/с	S, мм <sup>2</sup>
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.

Нами выявлены корреляционные связи разной силы между всеми показателями дыхания и стабิโลграфическими параметрами (табл. 5). При этом показатели дыхания (RA и Vent) в наибольшей степени были связаны с разбросом центра давления по сагиттали, линейной скоростью и площадью доверительного эллипса.

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 параметрами мощности спектра и показателями 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.

По данным нашего исследования все классические стабิโลграфические 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 стабилографические параметры снижались, но исходных значений не достигали (табл. 2). Влияние дыхания на вертикальную устойчивость подтверждается также наличием корреляционных связей стабилографических параметров с показателями дыхания (табл. 5)

При изучении влияния дыхания на устойчивость вертикальной позы, как при спокойном дыхании, так и при гипервентиляции разными авторами получены различные результаты. Так, в работе [6] 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 [2] 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 [3] получены данные 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 [2, 3], нами установлено, что произвольная гипервентиляция в большей степени оказывала влияние на разброс ЦД по сагиттали: значение  $Q_y$  во время этапа «Гипервентиляция» возрастало в большей степени, чем  $Q_x$  (табл. 2). Кроме того, корреляционные связи показателей дыхания с  $Q_y$  были сильнее выражены, чем с  $Q_x$  (табл. 5).

В работе [4] указывается, что снижение устойчивости вертикальной позы при увеличении глубины и частоты дыхания связано не только с дыхательными движениями, но и с метаболическими изменениями, которые развиваются вследствие гипервентиляции.

Таким образом, основываясь на собственных и литературных данных можно предположить, что снижение эффективности зрительной обратной связи в поддержании вертикального положения тела во время произвольного увеличения частоты и глубины дыхания было обусловлено дыхательными движениями и метаболическими сдвигами, которые развивались во время гипервентиляции.

По данным нашего исследования в течение этапа «Гипервентиляция» отмечалось увеличение высокочастотных спектральных показателей как по фронтали, так и по сагиттали (табл. 3, 4). Снижение  $Pw1S$ , как мы полагаем, было относительным, связанным со значительным увеличением  $Pw3S$ .

Также нами были выявлены слабые, но достоверные корреляции между параметрами дыхания и высокочастотными спектральными показателями (табл. 6).

Известно, что высокочастотные колебания ЦД отражают вклад сенсорной информации от проприорецепторов в регуляцию позы [1]. По данным литературы [7] 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 мощности высокочастотных колебаний центра давления.

**Выводы.** Произвольное увеличение частоты и глубины дыхания приводит к снижению эффективности зрительной обратной связи в регуляции устойчивости вертикальной позы. Снижение устойчивости обусловлено дыхательными движениями, а также уменьшением функции равновесия вследствие метаболических сдвигов при гипервентиляции. Возрастание высокочастотных спектральных показателей при гипервентиляции, по-видимому, связано с повышением импульсации по афферентным волокнам с проприорецепторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Oppenheim U., Kohen-Raz R., Alex D., Kohen-Raz A., Azarya M.* Postural characteristics of diabetic neuropathy // *Diabetes Care.* – 1999. – Vol. 22, № 2. – P. 328-332.
2. *Hodges P.W., Gurfinkel V.S., Brumagne S., Smith T.C., Cordo P.C.* Coexistence of stability and mobility in postural control: evidence from postural compensation for respiration // *Exp. Brain. Res.* – 2002. – Vol. 144, № 3. – P. 293-302.
3. *Kuczyński M., Wieloch M.* Effects of Accelerated Breathing On Postural Stability // *Human Movement.* – 2008. – Vol. 9, № 2. – P. 107-110.
4. *Sakellari V., Bronstein A.M., Corna S., Hammon C.A., Jones S., Wolsley C.J.* The effects of hyperventilation on postural control mechanisms // *Brain.* – 1997. – Vol. 120, № 9. – P. 1659-1673.
5. *Войнов В.Б., Воронова Н.В., Золотухин В.В.* Методы оценки состояния систем кислородобеспечения организма человека: Учебно-методическое пособие. – Ростов-на-Дону: УНИИ валеологии РГУ, 2002. – 99 с.
6. *Bouisset S., Duchêne J.L.* Is body balance more perturbed by respiration in seating than in standing posture? // *Neuroreport.* – 1994. – Vol. 5, № 8. – P. 957-960.
7. *Mogyoros I., Kiernan M.C., Burke D., Bostock H.* Excitability changes in human sensory and motor axons during hyperventilation and ischaemia // *Brain.* – 1997. – Vol. 120, № 2. – P. 317-325.

Статью рекомендовала к опубликованию к.т.н. Г.Ю. Джуплина.

**Елена Александровна Макаренкова** – ФГБОУ ВПО «Ярославского государственного педагогического университета им. К.Д. Ушинского»; e-mail: ena-4ka@male.ru; 150000, г. Ярославль, ул. Республиканская, 108; тел.: 89109792628; кафедра физического воспитания; аспирант.

**Малахов Максим Викторович** – ГБОУ ВПО ЯГМА министерства здравоохранения и социального развития; e-mail: malahovmv@mail.ru; 150000, г. Ярославль, ул. Революционная, 5; тел.: 89206508509; кафедра нормальной физиологии с биофизикой; ассистент.

**Макаренкова Елена Александровна** – Yaroslavl State Pedagogical University; e-mail: ena-4ka@male.ru; 108, Republikanskay street, Yaroslavl, 150000, Russia; phone: +79109792628; the department of physical culture and exercise; postgraduate student.

**Malakhov Maxim Viktorovich** – Yaroslavl State Medical Academy; e-mail: malahovmv@mail.ru; 5, Revolusionnaya street, Yaroslavl, 150000, Russia; phone: +79206508509; the department of normal physiology with biophysics; assistant.

УДК 621.383.8

**Мохаммед Абдуллах Гахзар**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ СИСТЕМ  
ВИЗУАЛИЗАЦИИ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Неуклонное увеличение катастроф различного происхождения с возникновением пострадавших диктует необходимость разработки и внедрения средств, направленных на скорейшее обнаружение пострадавших в обрушенных конструкциях. Предлагается методика комплексирования систем наблюдения, позволяющая повысить вероятность обнаружения пострадавших при катастрофах. В основе методики – выделение сегментов изображений с заданным тепловым контрастом в инфракрасном изображении и наложение этих сегментов на телевизионное изображение в виде пульсирующего яркостного пятна на соответствующем фрагменте последнего. Наличие определённого теплового контраста может свидетельствовать о возможном нахождении пострадавшего.*

*Телевизионная система; инфракрасное изображение; тепловой фон; матричный прибор с зарядовой связью (МПЗС).*