

УДК 612.085.4

РОЛЬ ЗРИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В КОНТРОЛЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЧЕЛОВЕКА ДО И ПОСЛЕ 5-СУТОЧНОЙ «СУХОЙ» ИММЕРСИИ

Амирова Л.Е., Шишкин Н.В., Китов В.В., Савеко А.А., Томиловская Е.С., Козловская И.Б.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: lyubove.dmitrieva@gmail.com

Цель работы – исследование роли зрительной обратной связи при выполнении задач поддержания вертикальной стойки после пребывания в условиях, моделирующих физиологические эффекты невесомости.

В исследовании приняло участие 20 молодых мужчин-добровольцев. В качестве модели микрогравитации в работе использовали «сухую» иммерсию (СИ), воспроизводящую в полной мере свойственное невесомости устранение опорных и физических нагрузок. Стабилографические обследования проводили дважды до начала иммерсии, в первые 30 мин после завершения иммерсионного воздействия и на 2-е сутки периода восстановления.

Результаты исследования выявили сразу же после завершения СИ увеличение всех исследуемых стабилографических показателей при стойке с открытыми глазами – амплитуда колебаний тела во фронтальной и сагиттальной плоскостях увеличивалась на 30–35 %, средняя скорость перемещения центра давления возрастала на 10 %, на 50 % увеличивались значения площади эллипса. При выполнении вертикальной стойки без зрительной обратной связи после СИ наблюдались 2 разнонаправленных типа изменений позной устойчивости: у одних наблюдалось увеличение коэффициента Ромберга на 43 %, а у других напротив, наблюдалось снижение на 37 %. На 2-е сутки периода восстановления исследуемые значения возвращались к фоновому уровню.

Ключевые слова: «сухая» иммерсия, вертикальная устойчивость, стабилография, зрительная обратная связь.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 7 (спецвыпуск). С. 31–37.

DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-7-31-37

В гравитационном поле Земли тело человека никогда не находится в состоянии абсолютного покоя. В основе многокомпонентного постурального обеспечения лежит анализ центральной первичной интеграции большого количества сенсорной информации и управление множеством команд, каждая из которых направлена на решение своей подзадачи. При этом все сигналы сравниваются, суммируются и обрабатываются с учетом уже накопленного опыта

от различных сенсорных систем – вестибулярной, зрительной, проприоцептивной, что и позволяет поддерживать заданную позу – сохранять сложившиеся взаимные расположения сегментов тела и противостоять внешним возмущениям [1].

В невесомости гравитационный вектор исчезает, соответственно снимается задача удержания тела в вертикальной позиции. При переходе к невесомости у космонавтов формируется флексорная позная установка, обусловленная снижением тонуса мышц-экстензоров [2, 3], и подавлением их электромиографической активности, в то время как в фазы перегрузок электромиографическая активность повышается [4]. В условиях невесомости сформированный и закрепленный на Земле сенсорный комплекс, в котором каждая сенсорная система имеет определенное место и вносит свой вклад в организацию моторного контроля, распадается: опорные сигналы отсутствуют, проприоцептивная афферентация, в связи с атонией экстензоров существенно снижена, сигналы от отолитов искажены [5]. Относительно сохранной при этом остается лишь информация, поступающая от зрительного анализатора.

Известно, что даже после полетов небольшой длительности у космонавтов наблюдаются существенные нарушения позной устойчивости [6–11]. Данное явление обуславливается развитием нарушений в деятельности скелетно-мышечной и сердечно-сосудистой систем, развивающихся вследствие отсутствия в условиях микрогравитации привычных для Земли локомоторных и постуральных нагрузок.

Постурографические обследования космонавтов после коротких и длительных космических полетов (КП) выявили выраженные изменения стабилографических характеристик позы, увеличение электромиографической активности постуральных мышц и удлинение периода восстановления стабильности позы после возмущений, выводящих тело из состояния равновесия [6, 12]. Нарушения позы при этом существенно усугублялись при увеличении длительности полета [6], свидетельствуя о том, что восприимчивые к отсутствию гравитации

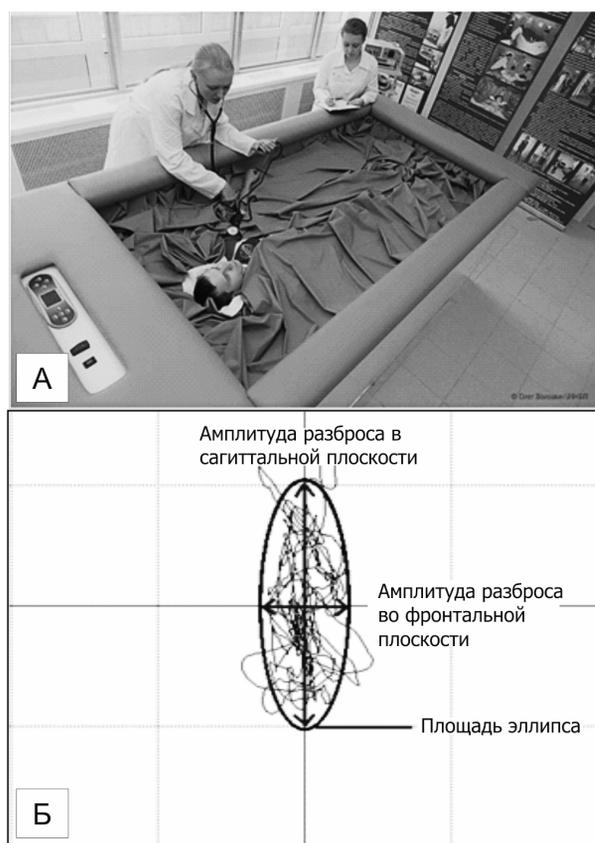


Рис. 1. А – общий вид иммерсионной ванны с помещенным в нее испытуемым. Б – пример статокинезиограммы испытуемого и анализируемые параметры

механизмы поддержания вертикальной устойчивости обладают функцией памяти.

Снижение позной устойчивости наблюдается также после пребывания человека в условиях наземных моделей невесомости, таких как гипокнезия и иммерсионное погружение [13]. После воздействия «сухой» иммерсии (СИ) обследуемые, как правило, отмечают затруднения в поддержании равновесия, ощущение неуверенности стойки в вертикальном положении. У многих при стоянии регистрируется тремор мышц ног. В пробе с нанесением возмущений, отклоняющих тело от вертикали, пороговые значения возмущений резко снижаются, а амплитуды отклонений увеличиваются, нередко возникающие даже при незначительных касаниях закрепленной на груди пластины вызывают позные коррекционные реакции [13].

Факт прямого участия зрения в контроле позы не вызывает сомнений, однако механизмы его участия до сих пор остаются предметом исследования. Предполагается, что центральное и периферическое зрение выполняют функционально разные и взаимодополняющие задачи в обеспечении позных регуляций: центральное зрение вовлечено в контроль колебаний в переднезаднем направлении,

а периферическое – в боковом [14–16]. Согласно данным авторов работы [17], формирование мышечных команд, корректирующих вертикальную позу, лучше отлажено под зрительную афферентацию, чем под проприоцептивную и вестибулярную. Это положение подтверждается экспериментальными данными, свидетельствующими о том, что в нормальных условиях при отсутствии зрительной афферентации имеет место значительное ухудшение параметров вертикальной стойки [17–19].

При переходе к невесомости роль зрительной информации возрастает [10, 20]. Это положение справедливо и для характеристик позных реакций после завершения космических полетов. Согласно данным ряда авторов, у космонавтов в первые дни после возвращения на Землю исследования вертикальной стойки выявили отчетливое увеличение вклада в ее регуляцию зрительной и соматосенсорной информации [12, 21]. Увеличение роли зрительной информации в поддержании вертикальной позы при нарушениях работы других сенсорных входов отмечается и в клинических исследованиях [22].

Исходя из сказанного, представлялось важным определить влияние выключения зрительной обратной связи при выполнении задач поддержания вертикальной стойки после пребывания в условиях, моделирующих эффекты невесомости.

Методика

В качестве модели в работе использовали «сухую» иммерсию, воспроизводящую в полной мере свойственное невесомости устранение опорных и физических нагрузок. Установка «сухой» иммерсии представляет собой ванну с водой размером 256 × 148 × 110 см, к бортам которой прикреплена тонкая и прочная водонепроницаемая ткань (рис. 1, А). Размеры последней в несколько раз превосходят зеркало воды, так что человек, погружаемый в ванну, не соприкасается с водой и с бортами, будучи отделен от них свободноплавающей водонепроницаемой тканью. Длительность непрерывного иммерсионного воздействия в эксперименте составляла 5 сут, в течение которых ежедневно 15–30 мин отводилось для гигиенических процедур. Все добровольцы получали стандартное питание и не были ограничены в потреблении воды.

В исследовании приняло участие 20 молодых мужчин-добровольцев, возраст которых составил $26,4 \pm 6,4$ года, рост – $1,76 \pm 0,041$ м, масса тела – $69,7 \pm 7,3$ кг, индекс массы тела – $22,5 \pm 1,9$ кг/м². Все участники были ознакомлены с условиями эксперимента и дали письменное Информированное согласие на участие в нем. Все исследования проведены в соответствии с Хельсинкской декларацией и одобрены биоэтической комиссией ГНЦ РФ – ИМБП РАН.

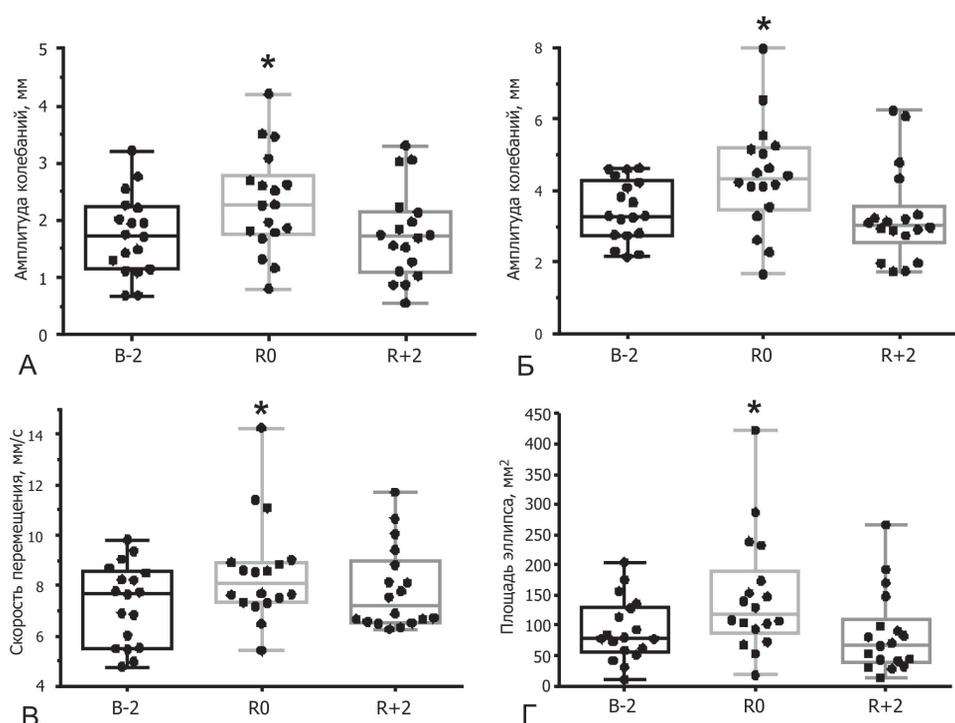


Рис. 2. Стабилографические показатели при стойке с открытыми глазами.

А – амплитуда колебаний ЦД во фронтальной плоскости; Б – амплитуда колебаний ЦД в сагиттальной плоскости; В – скорость перемещения центра давления; Г – площадь эллипса.

По оси ординат: А и Б – амплитуда колебаний ЦД в мм; В – скорость перемещения ЦД в мм/с; Г – площадь в мм². По оси абсцисс: В-2 – 2-е сутки перед воздействием; R0 – день завершения СИ; R+2 – 2-е сутки периода восстановления. Данные представлены в процентном значении в виде медианы, минимума и максимума с 25 и 75 % перцентилями; * – $p \leq 0,05$ по сравнению с фоновыми значениями

Стабилографическое тестирование проводили дважды до погружения, непосредственно после окончания иммерсионного воздействия и на 2-е сутки периода восстановления. При проведении первого обследования испытуемые сами выбирали комфортную для себя позу со слегка разведенными носками (европейская стойка): эта поза воспроизводилась во всех дальнейших исследованиях. До начала теста испытуемым давалась инструкция «стоять спокойно и ровно», сфокусировав взгляд перед собой. По условиям теста испытуемые вставали на стабилоплатформу из положения лежа, стояли в течение 1 мин с открытыми глазами (ГО), а затем с 1-й минуты – с глазами закрытыми (ГЗ).

При обработке статокинезиограммы (СКГ) анализировали (см. рис. 1, Б.):

- амплитуду колебаний центра давления (ЦД) во фронтальной и сагиттальной плоскостях;
- среднюю скорость перемещения ЦД, представленную отношением длины пути ЦД ко времени исследования:

$$V_{\text{перемещ.ЦД}} = \frac{L_{\text{цд}}}{T_{\text{исследования}}},$$

где $V_{\text{перемещ.ЦД}}$ – средняя скорость перемещения центра давления, $L_{\text{цд}}$ – длина пути, пройденного центром давления, $T_{\text{исследования}}$ – время исследования;

– площадь эллипса СКГ – показатель, описывающий 90 % поверхности, занимаемой статокинезиограммой, отражающий площадь опоры испытуемого за время обследования;

– коэффициент Ромберга (КР) – выраженное в процентах отношение площади эллипса при стойке с закрытыми глазами к площади эллипса при стойке с открытыми глазами, отражающее вклад зрения в поддержание вертикальной устойчивости и рассчитываемое по формуле

$$KР = \frac{S_{\text{эл ГЗ}} \times 100\%}{S_{\text{эл ГО}}},$$

где КР – коэффициент Ромберга, $S_{\text{эл ГЗ}}$ – площадь эллипса при стойке с глазами закрытыми, $S_{\text{эл ГО}}$ – площадь эллипса при стойке с глазами открытыми.

Для регистрации показателей устойчивости использовали стабилоплатформу «Стабилан-01» (ОБК «Ритм», Россия) с частотой дискретизации 50 Гц.

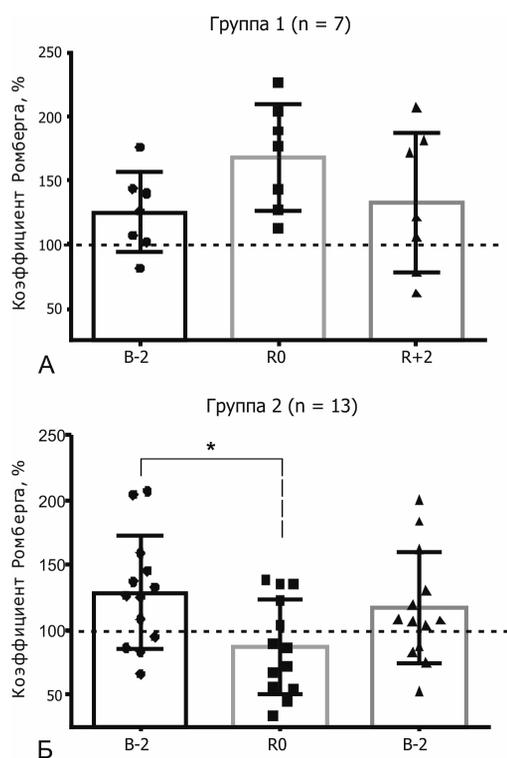


Рис. 3. Значения коэффициента Ромберга в 2 группах испытуемых до и после 5-суточного иммерсионного воздействия: А – группа 1; Б – группа 2.

По оси ординат процентное отношение площади эллипса при стойке с закрытыми глазами к площади эллипса при стойке с глазами открытыми. По оси абсцисс: B-2 – 2-е сутки перед воздействием; R0 – день завершения СИ; R+2 – 2-е сутки периода восстановления. Данные представлены в виде средних значений \pm стандартное отклонение; * – $p \leq 0,05$ по сравнению с фоном. Пунктирной линией отмечено 100 %, к которым приравнивались значения при открытых глазах

Статистическую обработку данных проводили в программной среде GraphPad Prism 6 с использованием однофакторного дисперсионного анализа ANOVA с поправкой Бонферрони. Графики, на которых показаны абсолютные значения, представлены в виде медианы, минимума и максимума с 25 и 75 перцентиллями. Графические материалы, представленные в процентном изменении показателей, показаны в виде среднего значения и стандартного отклонения.

Результаты и обсуждение

Стабилометрические показатели при стойке с открытыми глазами

В фоне, до погружения в иммерсию медианное значение разброса колебаний во фронтальной плоскости составляло в группе 1,7 мм. После воздействия СИ амплитуда колебаний увеличивалась до

2,3 мм (рис. 2, А). На 2-е сутки периода восстановления значения амплитуды колебаний возвращались к исходным.

Амплитуда колебаний в сагиттальной плоскости до иммерсии существенно превосходила таковую во фронтальной, достигая 3,2 мм (см. рис. 2, Б). После завершения СИ амплитуда колебаний была увеличенной на 32 %, достигая величин 4,3 мм и возвращаясь к исходному уровню (3,3 мм) на 2-е сутки периода восстановления.

То же было справедливо и для скорости перемещения ЦД при стойке с открытыми глазами (см. рис. 2, В), которая в фоновом исследовании составляла 7,7 мм/с, сразу же после иммерсионного воздействия достоверно увеличивалась на 10 %, достигнув 8,1 мм/с и на 2-е сутки периода восстановления была несколько ниже исходных значений, составив 7,2 мм/с.

Площадь эллипса (см. рис. 2, Г) во время стойки с открытыми глазами после СИ увеличивалась более, чем на 50 % (118,9 мм²) и также возвращалась к исходным значениям на 2-е сутки периода восстановления.

Стабилометрические показатели при стойке с закрытыми глазами

В ходе анализа после воздействия моделируемой микрогравитации при стойке с закрытыми глазами были обнаружены 2 разнонаправленных типа изменений характеристик позы устойчивости. По наблюдаемым изменениям испытуемые подразделились на 2 группы.

В ходе фонового обследования площадь опоры после закрытия глаз в обеих группах увеличивалась, в среднем на 25–30 %. После завершения СИ у испытуемых, вошедших в группу 1 (7 человек), коэффициент Ромберга по сравнению с фоновыми значениями увеличивался в среднем на 43 % (рис. 3, А). У испытуемых, входящих во 2-ю группу (13 человек), напротив КР достоверно уменьшался в среднем на 37 % по сравнению с фоном (см. рис. 3, Б). На 2-е сутки периода восстановления коэффициент Ромберга в обеих группах вновь возвращался к фоновым значениям.

То же было справедливо и для других параметров стабиллографической стойки. В группе 1 сразу же после завершения СИ при закрытых глазах амплитуды колебаний во фронтальной ($0,3 \pm 0,8$ мм) и сагиттальной ($0,04 \pm 1,4$ мм) плоскостях увеличивались. То же было справедливо и для скоростей перемещения ЦД ($1,4 \pm 2,4$ мм/с) и площадей эллипсов (53 ± 53 мм²).

В группе 2 значения данных параметров уменьшались сразу же после иммерсии. Амплитуда колебаний во фронтальной плоскости снижалась на 6 ± 7 мм, а в сагиттальной снижение составило 9 ± 9 мм. Средняя скорость перемещения ЦД

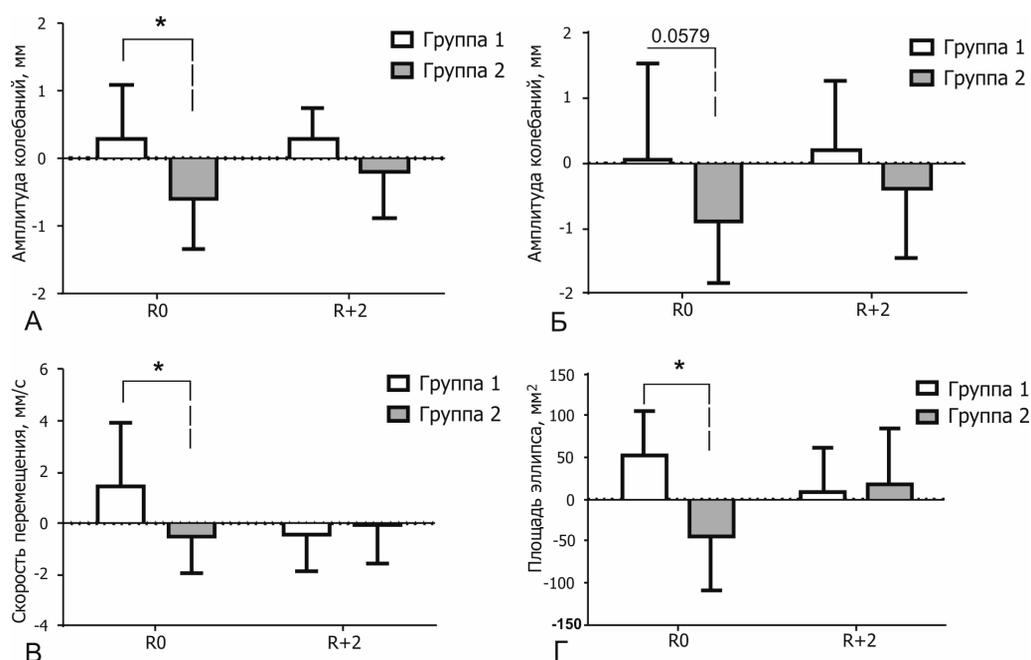


Рис. 4. Изменение вклада зрительной системы в стабилизацию стойки в 2 группах испытуемых после 5-суточного иммерсионного воздействия: А – амплитуда колебаний ЦД во фронтальной плоскости; Б – амплитуда колебаний ЦД в сагиттальной плоскости; В – средняя скорость перемещения ЦД; Г – площадь эллипса.

Данные представлены в виде средних значений \pm стандартное отклонение; параметры СТГ, полученные при стойке с закрытыми глазами, делились на параметры, полученные при глазах открытых. Изменения показаны относительно фоновых значений; * – $p \leq 0,05$ при сравнении между группами

снижалась на $0,5 \pm 1,3$ мм/с. Площадь эллипса снижалась на 43 ± 66 мм². В период восстановления происходило увеличение исследуемых стабилеографических параметров с сохранением высокой вариабельности группы (рис. 4).

Как следует из результатов исследования, после 5-суточного пребывания в иммерсии вертикальная устойчивость человека снижалась. Эти результаты согласуются с данными большинства исследовавших данный феномен авторов [6–10]. Вместе с тем результаты исследований параметров СТГ при выключении зрительной обратной связи оказались неожиданными. У 13 из 20 испытуемых при закрытых глазах улучшался показатель стабильности вертикальной стойки после пребывания в условиях «сухой» иммерсии.

После КП большинство авторов отмечали увеличение коэффициента Ромберга, свидетельствующее о снижении вертикальной устойчивости и об увеличении вклада зрительной информации в ее поддержание [10]. Вместе с тем исследователи отмечали тенденции к некоторому улучшению параметров вертикальной стойки при выключении зрительной обратной связи у пожилых людей [23, 24]. По мнению авторов работы [24], этот результат мог быть связан со снижением у пожилых людей ингибирующих влияний зрительной системы на систему поддержания равновесия. На возможность

того, что при усложнении постральной задачи у людей с дефицитом соматосенсорной чувствительности зрительные сигналы могут дестабилизировать стойку, указывал также автор работы [25]. Инвертированный коэффициент Ромберга был отмечен у пациентов, страдающих детским церебральным параличом [26]. Авторы связывают этот феномен с тем, что при данном заболевании вестибулярная и проприоцептивная системы могут брать на себя ведущую роль в управлении позой. В нашем случае отмеченная стабилизация также может быть результатом усложнения задачи вследствие сенсорного рассогласования и описанного ранее снижения порогов опорных раздражений в условиях микрогравитации [6].

По данным авторов работы [27] показано, что в параболическом полете имеет место унификация двигательной стратегии – для контроля вертикальной ориентации тела все испытуемые вне зависимости от того, на какую информацию – зрительную или проприоцептивную, они опирались как на референтную в нормальных условиях, использовали преимущественно визуальную систему отсчета.

В этом плане вызывают интерес также данные, представленные в работе [28], авторы не наблюдали у здоровых испытуемых в ходе нескольких экспериментальных срезов однонаправленного увеличения или уменьшения значений коэффициента

Ромберга. Объясняется это тем, что при стойке на ровной устойчивой горизонтальной поверхности имеет место избыточность сенсорной информации [29], которая позволяет испытуемым использовать с успехом менее устойчивую стратегию поддержания вертикальной позы. Вместе с тем, при заболеваниях, затрагивающих позную регуляцию, значения коэффициента Ромберга могут быть более повторяемы [30]. Эти наблюдения могут согласовываться с результатами, полученными в данной работе – пониженный коэффициент Ромберга после воздействия СИ у группы 2 может обуславливаться завышенными стабิโลграфическими значениями в фоновом исследовании при стойке с открытыми глазами.

Выводы

Опорная разгрузка во время «сухой» иммерсии приводит к изменению поструральных характеристик, в основе которых лежат сложные межсенсорные взаимодействия. После моделируемой микрогравитации у части испытуемых происходило увеличение коэффициента Ромберга, а у части – уменьшение. Разнонаправленные реакции могут быть связаны как с завышенными фоновыми значениями у части испытуемых, так и с разными стратегиями поддержания позной устойчивости.

Работа поддержана грантом РФФИ, проект 16-29-08320 ОФИ_м.

Список литературы

1. Black F.O., Wall C. 3rd, Nashner L.M. Effects of visual and support surface orientation references upon postural control in vestibular deficient subjects // *Acta Otolaryngol.* 1983. V. 95. № 3–4. P. 199–201.
2. Козловская И.Б., Григорьева Л.С., Гевлич Г.И. Сравнительный анализ влияния невесомости и ее моделей на скоростно-силовые свойства и тонус скелетных мышц человека // *Косм. Биол. и авиакосм. мед.* 1984. Т. 18. № 6. С. 22–26.
3. Kozlovskaya I.B., Grigor'eva L.S., Gevlich G.I. Comparative analysis of the effect of weightlessness and its model on the velocity-strength properties and tonus of human skeletal muscles // *Kosmicheskaya biologiya i aviakosmicheskaya meditsina.* 1984. V. 18. № 6. P. 22–26.
4. Schneider S., Peipsi A., Stokes M., Knicker A., Abeln V. Feasibility of monitoring muscle health in microgravity environments using Myoton technology // *Med. Biol. Eng. Comput.* 2015. V. 53. № 1. P. 57–66.
5. Davey N.J., Rawlinson S.R., Nowicky A.V. et al. Human corticospinal excitability in microgravity and hypergravity during parabolic flight // *Aviat. Space Environ. Med.* 2004. V. 75. № 4. P. 359–363.

5. Kozlovskaya I.B., Barmin V.A., Kreidich Yu.V., Repin A.A. The effects of real and simulated microgravity on vestibulo-oculomotor interaction // *Physiologist.* 1985. V. 28. № 6. P. 51–56.
6. Kozlovskaya I.B., Kreidich Yu.V., Oganov V.S., Koserenko O.P. Pathophysiology of motor functions in prolonged manned space flights // *Acta Astronaut.* 1981. V. 8. № 9–10. P. 1059–1072.
7. Grigoriev A.I., Egorov A.D. General mechanisms of the effect of weightlessness on the human body // *Adv. Space Biol. Med.* 1992. V. 2. P. 1–42.
8. Paloski W.H., Reschke M.F., Black F.O. et al. Recovery of postural equilibrium control following spaceflight // *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1992. V. 656. P. 747–754.
9. Reschke M.F., Bloomberg J.J., Harm D.L. et al. Posture, locomotion, spatial orientation, and motion sickness as a function of space flight // *Brain Res. Rev.* 1998. V. 28. № 1–2. P. 102–117.
10. Speers R.A., Paloski W.H., Kuo A.D. Multivariate changes in coordination of postural control following spaceflight // *J. Biomech.* 1998. V. 31. № 10. P. 883–889.
11. Саенко Д.Г., Артамонов А.А., Козловская И.Б. Характеристика позных коррекционных ответов до и после длительных космических полетов // *Физиология человека.* 2011. Т. 37. № 5. С. 91–99.
12. Saenko D.G., Artamonov A.A., Kozlovskaya I.B. Characteristics of postural corrective responses before and after long-term spaceflight // *Fiziologiya cheloveka.* 2011. V. 37. № 5. P. 91–99.
13. Cohen H.S., Kimball K.T., Mulavara A.P. et al. Posturography and locomotor tests of dynamic balance after long-duration spaceflight // *J. Vestib. Res.* 2012. V. 22. № 4. P. 191–196.
14. Saenko D.G., Miller T.F., Melnik K.A. et al. Acute effects of dry immersion on kinematic characteristics of postural corrective responses // *Acta Astronaut.* 2016. V. 121. P. 110–115.
15. Stoffregen T.A. Flow structure versus retinal location in the optical control of stance // *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 1985. V. 11. P. 554–565.
16. Warren W.H., Kurtz K.J. The role of central and peripheral vision in perceiving the direction of self-motion // *Percept. Psychophys.* 1992. V. 51. P. 443–454.
17. Agostini V., Sbrillini A., Cavallini C. et al. The role of central vision in posture: Postural sway adaptations in Stargardt patients // *Gait Posture.* 2016. V. 43. P. 228–233.
18. Сметанин Б.Н., Кожина В.Г., Попов А.К. Поддержание вертикальной позы человека в условиях виртуального зрительного окружения // *Физиология человека.* 2009. Т. 35. № 2. С. 54–59.
19. Smetanin B.N., Kozhina G.V., Popov A.K. Human upright posture control in a virtual visual environment // *Fiziologiya cheloveka.* 2009. V. 35. № 2. P. 54–59.
20. Ivanenko Y.P., Levik Y.S., Talis V.L., Gurfinkel V.S. Human equilibrium on unstable support: the importance of feet-support interaction // *Neurosci. Lett.* 1997. V. 235. № 3. P. 109–112.

19. Wood S.J., Paloski W.H., Clark J.B. Assessing sensorimotor function following ISS with computerized dynamic posturography // *Aerosp. Med. Hum. Perform.* 2015. V. 86. № 12. P. A45–A53.

20. Mechtcheriakov S., Berger M., Molokanova E. et al. Slowing of human arm movements during weightlessness: the role of vision // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2002. V. 87. P. 576–583.

21. Strzalkowski N.D., Lowrey C.R., Perry S.D. et al. Selective weighting of cutaneous receptor feedback and associated balance impairments following short duration space flight // *Neurosci. Lett.* 2015. V. 592. P. 94–98.

22. Horak F.B., Kluzik J., Hlavacka F. Velocity dependence of vestibular information for postural control on tilting surfaces // *J. Neurophysiol.* 2016. V. 116. № 3. 1468–1479.

23. Prieto T.E., Joes B., Hoffmann R.G. et al. Measures of postural steadiness: differences between healthy young and elderly adults // *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 1996. V. 43. № 9. P. 956–966.

24. Fujita T., Nakamura S., Ohue M. et al. Effect of age on body sway assessed by computerized posturography // *J. Bone Miner. Metab.* 2005. V. 23. № 2. P. 152–156.

25. Kim K.M., Kim J.S., Grooms D.R. Stroboscopic vision to induce sensory reweighting during postural control // *J. Sport Rehabil.* 2017. P. 1–11.

26. Никитюк И.Е., Мошонкина Т.Р., ЩербакOVA Н.А. и др. Влияние локомоторной тренировки и функциональной электромиостимуляции на постуральные функции у детей с тяжелыми формами ДЦП // *Физиология человека.* 2016. Т. 42. № 3. С. 37–46.

Nikityuk I.E., Moshonkina T.R., Shcherbakova N.A. et al. Vlijanie lokomotornoj trenirovki i funkcional'noj jelektromiostimuljacji na postural'nye funkcii u detej s tjazhelymi formami DCP // *Fiziologiya cheloveka.* 2016. V. 42. № 3. P. 37–46.

27. Chabeauti P.Y., Vaugoyeau M., Assaiante C. Is vertical postural orientation in weightlessness correlated with the subjects' perceptual typology? // *Gait Posture.* 2010. V. 32. № 4. P. 586–591.

28. Tjernström F., Björklund M., Malmström E.M. Romberg ratio in quiet stance posturography-test to retest reliability // *Gait Posture.* 2015. V. 42. № 1. P. 27–31.

29. Diener H.C., Dichgans J. On the role of vestibular, visual and somatosensory information for dynamic postural control in humans // *Prog. Brain Res.* 1988. V. 76. P. 253–262.

30. Lacour M., Barthelemy J., Borel L. et al. Sensory strategies in human postural control before and after unilateral vestibular neurectomy // *Exp Brain Res.* 1997. V. 115. № 2. P. 300–310.

Поступила 28.11.2017

THE ROLE OF VISUAL FEEDBACK IN THE CONTROL OF HUMAN VERTICAL STABILITY BEFORE AND AFTER 5-DAY «DRY» IMMERSION

Amirova L.E., Shishkin N.V., Kitov V.V., Saveko A.A., Tomilovskaya E.S., Kozlovskaya I.B.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2017. V. 51. № 7 (special issue). P. 31–37

The aim of the study was to assess the role of visual feedback in performing tasks of vertical posture maintenance after exposure to simulated microgravity.

The study involved 20 young male volunteers. As a model of microgravity, was the «dry» immersion (DI) that reproduces the elimination of support and physical loads was used. Postural tests were performed twice before the exposure to DI during the first 30 minutes after its completion and on the second day of the recovery period.

The results of the study revealed the increase in all the postural parameters studied with the stand with the eyes open immediately after the completion of the DI. The amplitude of body oscillations in the frontal and sagittal planes increased by 30–35 %, the average velocity of the center of pressure increased by 10 %, the values of ellipse area increased by 50 %. Two different types of changes in postural stability were observed after DI, when performing a vertical stance without visual feedback: in some of the subjects, the Romberg ratio increased by 43 %, while in others, it decreased by 37 %. On the second day of the recovery period the values returned to the background level.

Key words: «dry» immersion, vertical stability, stabilography, visual feedback.