

ПОСТУРАЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПОВОРОТАХ ГОЛОВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СТАБИЛО- И ПЛАНТОГРАФИИ

В.К. Егорова, veronikatsyupa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1290-6603>

Л.М. Бикчентаева, leysanbm@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0647-4728>

Г.Г. Яфарова, gusadila@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3068-3407>

А.А. Шульман, atromiss@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8913-6486>

Казанский федеральный университет, Казань, Россия

Аннотация. **Цель:** изучить механизмы поддержания постральной устойчивости в зависимости от опорной асимметрии при реализации статического шейно-тонического рефлекса на повороты головы у здоровых исследуемых. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 33 человека без двигательных и неврологических расстройств в возрасте от 18 до 25 лет. В тесте на повороты головы определялась опорная латерализация методом плантографии. После статистической обработки полученных данных испытуемые разделены на 3 группы: левосторонняя, правосторонняя и неопределенная латерализация (амбидекстры). В данных группах оценена постральная устойчивость методом стабилотрии при поворотах головы. **Результаты.** С применением метода плантографии была проведена оценка соотношения подошвенного давления правой и левой стопы. При поворотах головы оценивалась постральная устойчивость испытуемых с применением метода стабилотрии. Показано, что опорная латерализация исследуемых влияет на постральную устойчивость при поворотах головы: постральная устойчивость лучше сохранялась у лиц с выраженной латерализацией подошвенного давления. **Заключение.** Метод стабилотрии не позволяет выявить изменения в поддержании вертикальной позы человеком, что зависело от исходной опорной латерализации нижних конечностей.

Ключевые слова: плантография, стабилотрия, подошвенное давление, постральная устойчивость, повороты головы

Для цитирования: Постральная устойчивость человека при поворотах головы с использованием методов стабило- и плантографии / В.К. Егорова, Л.М. Бикчентаева, Г.Г. Яфарова, А.А. Шульман // Человек. Спорт. Медицина. 2023. Т. 23, № S1. С. 33–38. DOI: 10.14529/hsm23s105

Original article
DOI: 10.14529/hsm23s105

POSTURAL MEASUREMENTS DURING HEAD TURNS OBTAINED WITH A FORCE PLATFORM AND PLANTAR FOOTPRINTS

V.K. Egorova, veronikatsyupa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1290-6603>

L.M. Bikchentaeva, leysanbm@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0647-4728>

G.G. Yafarova, gusadila@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3068-3407>

A.A. Shulman, atromiss@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8913-6486>

Kazan Federal University, Kazan, Russia

Abstract. Aim. The paper was aimed at identifying the mechanisms of maintaining postural stability depending on support asymmetry during the static cervical-tonic reflex to head turns in healthy subjects. **Materials and methods.** The study included 33 people between the ages of 18 and 25 who were free of motor and neurological disorders. In the head movement test, support lateralization was defined by plantar footprints. Following statistical analysis, the subjects were divided into three categories: left-sided, right-sided, and indefinite lateralization (ambidextrous). In these groups, postural measurements were obtained

with a force platform during head turns. **Results.** Plantar footprints enabled the calculation of the plantar pressure ratio between the right and left feet. During head movements, the postural stability of subjects was evaluated with a force platform. It is shown that support lateralization affects postural stability during head movements: postural stability was better in persons with pronounced lateralization of plantar pressure. **Conclusion.** Force platform measurements did not show pre-clinical changes in postural stability during the static cervical-tonic reflex to head turns. Under the same conditions, plantar footprints made it possible to identify changes in postural stability, which depended on the initial support lateralization of the lower extremities.

Keywords: plantar footprints, force platform, plantar pressure, postural stability, head turns

For citation: Egorova V.K., Bikhentaeva L.M., Yafarova G.G., Shulman A.A. Postural measurements during head turns obtained with a force platform and plantar footprints. *Human. Sport. Medicine.* 2023;23(S1):33–38. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm23s105

Введение. По данным исследователей, снижение постуральной устойчивости – наиболее частый симптом у пациентов с двигательными нарушениями различной этиологии [2, 4]. Актуальным является изучение механизмов управления мышечной активностью при удержании позы, понимание этих механизмов будет способствовать созданию новых технических систем управления движениями [9]. Дефицит в любом из источников афферентной информации или в ее интеграции может привести к ухудшению способности поддерживать постуральную устойчивость; информация от них интегрируется в ЦНС и модулируется активностью ретикулярной формации, экстрапирамидной системы мозга, мозжечка и лобно-височными долями больших полушарий головного мозга [8].

Статический позно-тонический рефлекс (рефлекс положения) при повороте головы обеспечивает перераспределение мышечного тонуса в зависимости от положения тела в пространстве и обеспечивает сохранение равновесия тела. В экспериментах, начиная с работ Р. Магнуса (1924), данный рефлекс хорошо описан у животных [7]. У взрослого человека рефлексы положения трудно визуально оценить из-за тормозного контроля центров этого рефлекса со стороны надстволовых структур.

Одним из перспективных методов для оценки постурального контроля является плантография. По сравнению со стабиллографическим методом плантография предполагает использование большого количества тензодатчиков, что позволяет оценить весь спектр смещений давления под стопами, включая как основные показатели постуральной диагностики (площадь и скорость центра давления), так и динамические изменения степени дав-

ления во время стояния, ходьбы, бега и специальных динамических тестов [5, 6]. В данном случае этот метод поможет определить статистическую нагрузку на стопы и выявить зоны высокого и низкого давления.

Таким образом, целью исследования стал механизм поддержания постуральной устойчивости в зависимости от опорной асимметрии при реализации статического шейно-тонического рефлекса на повороты головы у здоровых испытуемых.

Материалы и методы. В эксперименте приняли участие 33 здоровых исследуемых в возрасте от 18 до 25 лет без двигательных и неврологических расстройств. Установка участников на платформы (стабилоплатформа и педобарографическая платформа) производилась без обуви, в стандартной европейской стойке. Проводили по три теста на каждой платформе: свободная стойка, стойка с поворотом головы направо и с поворотом головы налево [1].

Статическая нагрузка на стопы определялась с применением педобарографической платформы Tekscan (США). Результаты были проанализированы с использованием программы MatScan Clinical 6.62. (настройка FootMat). Анализировались параметры среднего давления в кПа (кПа*секунда).

Был вычислен коэффициент опорной латерализации нижних конечностей по соотношению подошвенного давления правой стопы к левой:

$$K_{л} = \frac{P_{прав}}{P_{лев}},$$

где $K_{л}$ – коэффициент опорной латерализации; $P_{прав}$ – подошвенное давление правой конечности; $P_{лев}$ – подошвенное давление левой конечности.

У части испытуемых определялась мо-

торная асимметрия нижних конечностей по методике Н.Н. Брагиной.

Для исследования постурального баланса была оценена площадь эллипса (EIS, мм²) с использованием компьютерного стабilo-анализатора с биологической обратной связью «Стабилан-01-2» (Таганрог, Россия) и программное обеспечения StabMed 2.

Статистический анализ результатов был проведен с использованием программы MedStat.

Результаты. Результаты оценки карт показали, что распределение давления стоп исследуемых было различным. По значению K_n участники были распределены на 3 группы: обследуемые с левосторонней опорной латерализацией (ЛОЛ) – 27 %; $K_n < 0,85$, $n = 9$; обследуемые с неопределенной опорной латерализацией (амбидекстры) – 61 %; $K_n = 0,85-1,15$, $n = 20$; обследуемые с правосторонней опорной латерализацией (ПОЛ) – 12 %; $K_n > 1,15$, $n = 4$.

У части исследуемых ($n = 16$) определялась моторная асимметрия нижних конечностей и было произведено сопоставление с опорной латерализацией. Зависимости между

опорной и моторной асимметрией нижних конечностей не выявлено.

При проведении стабiloграфического исследования оценивалась площадь эллипса (EIS, мм²), описывающего траекторию проекции центра давления на стабилометрическую платформу, причем увеличение данного показателя свидетельствует об ухудшении функции равновесия [3].

Исследование постуральной устойчивости испытуемых проводилось в зависимости от опорной латерализации нижних конечностей в основной стойке (рис. 1). У амбидекстров по опорной латерализации площадь эллипса составила в среднем $220,50 \pm 60,86$ мм². У участников, имеющих левостороннюю опорную латерализацию, площадь эллипса составила в среднем $179,20 \pm 40,58$ мм², у них наблюдалась тенденция к ухудшению постуральной устойчивости: площадь эллипса возрастала по мере увеличения коэффициента латерализации. Наиболее устойчивы были люди с ПОЛ, площадь эллипса составила в среднем $57,90 \pm 17,60$ мм²; ухудшение постуральной устойчивости наблюдалось по мере снижения K_n . Достоверные изменения пара-

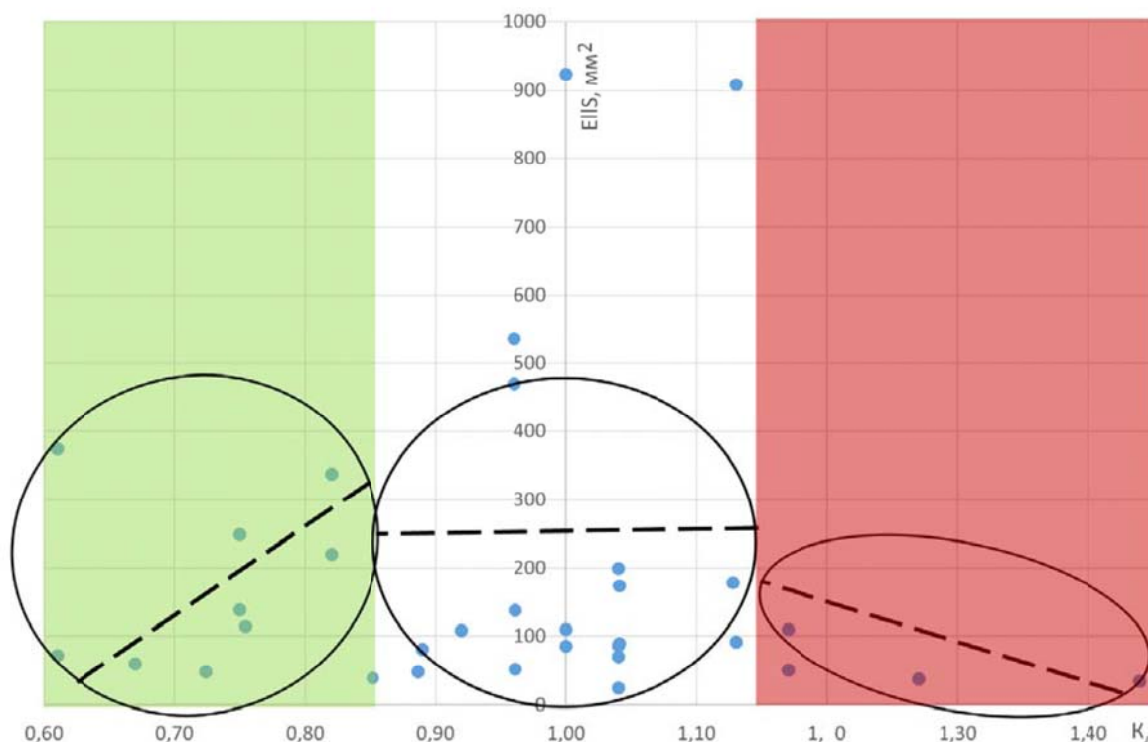


Рис. 1. Площадь эллипса (EIS, мм²) в основной стойке у различных групп испытуемых (обозначены точками): зеленым цветом обозначены участники с левосторонней опорной латерализацией, красным – с правосторонней, белым цветом – амбидекстры, пунктирной линией – линия тренда, соответствующая среднему значению параметра, сплошной линией – область распределения испытуемых в зависимости от K_n

Fig. 1. The ellipse area (EIS, mm²) in the main stance in different groups (indicated by dots): green – left-sided, red – right-sided, white – ambidextrous, dotted line – an averaged value of the parameter, solid line – the distribution area depending on the K_n

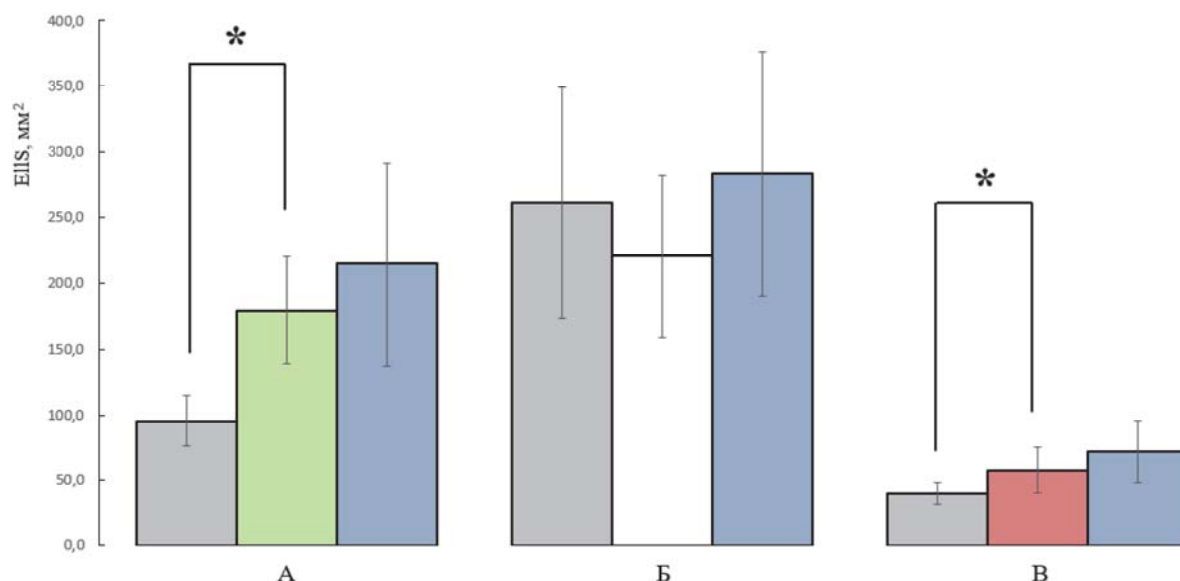


Рис. 2. Средние значения площади эллипса (EIS, мм²) при поворотах головы: А – испытуемые с левосторонней опорной латерализацией, Б – испытуемые амбидекстры, В – испытуемые с правосторонней латерализацией; серым цветом обозначен поворот головы налево, зеленым, белым, красным – основная стойка, синим – поворот направо; * – достоверные отличия между параметрами, $p < 0,05$

Fig. 2. Average values of the ellipse area (EIS, mm²) during head movements: A – subjects with left-sided lateralization, B – ambidextrous subjects, C – subjects with right-sided lateralization; gray – left turn; green, white, and red – the main stance; blue – right turn; * – significant differences between the parameters, $p < 0.05$

метра были получены между группой амбидекстров и исследуемых с правосторонней опорной латерализацией.

При поворотах головы у амбидекстров наблюдалась тенденция к ухудшению постральной устойчивости, площадь эллипса увеличивалась в среднем на 24 %. Поворот в сторону опорной конечности у испытуемых с ЛОЛ приводил к улучшению вертикального баланса тела в среднем на 47 %; у испытуемых с ПОЛ поворот в сторону опорной конечности не приводил к улучшению постральной устойчивости, но поворот в противоположную от опорной ноги сторону привел к улучшению постральной устойчивости в среднем на 31 % (рис. 2).

При поворотах головы у участников оценивалось изменение подошвенного давления. В группе ПОЛ наблюдалось усиление давления контралатеральной конечности (K_d снижался). Аналогичная картина у участников с ЛОЛ. Наблюдалось увеличение давления правой конечности, K_d возрастал. В группе участников-амбидекстров данной тенденции не обнаружено.

По распределению подошвенного давления у 12 % испытуемых выявлялась правосторонняя, у 27 % – левосторонняя опорная латерализация, а 61 % испытуемых являлись амбидекст-

рами по этому показателю. У испытуемых с левосторонней опорной латерализацией поворот головы налево (в сторону опорной конечности) приводил к улучшению постральной устойчивости; у испытуемых с правосторонней опорной латерализацией, а также у амбидекстров повороты головы не вызывали достоверного изменения постральной устойчивости. Поворот головы в сторону опорной конечности приводил к увеличению подошвенного давления на контралатеральную конечность. При поворотах головы постральная устойчивость лучше сохранялась у лиц с выраженной латерализацией подошвенного давления

Заключение. Таким образом, плантография может дать лучшее понимание механизмов пострального контроля, так как позволяет оценить реализацию статического шейнотонического рефлекса на повороты головы у здоровых испытуемых. Данное применение плантографа является новым и в дополнение со стабилметрией позволит более точно определять особенности пострального баланса человека, что и было показано в нашей работе. С практической точки зрения, применение данного метода в клинической практике обеспечивает более полную картину реабилитации пациентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата.

Список литературы

1. Баруллин, А.Е. Вертебро-базиллярная недостаточность / А.Е. Баруллин, О.В. Курушина, А.Е. Пучков // Вестник Волгоград. гос. мед. ун-та. – 2014. – № 3 (51). – С. 3–8.
2. Биоуправление по стабiloграмме в клинике нервных болезней / Л.А. Черникова, К.И. Устинова, М.Е. Иоффе, Ю.А. Ермолаева, С.С. Слива, Э.О. Девликанов, Г.А. Переяслов // Бюл. СО РАМН. – 2004. – № 3. – С. 85–91.
3. Диагностическая программа нейрофизиологического и психофизиологического контроля для комплексного подхода к совершенствованию координационных способностей: практ. пособие / И.А. Чарыкова, Л.В. Филипович, А.Г. Рамза, Я.Л. Сороколит. – Минск: РНПЦ спорта, 2016. – 28 с.
4. Особенности постуральных нарушений у больных рассеянным склерозом / А.В. Захаров, Я.В. Власов, И.Е. Повереннова и др. // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2014. – Т. 114 (2–2). – С. 55–58.
5. Clinical use of pedobarographic examination – own experience and review of literature / J. Lorkowski, D. Zarzycki // Przegl Lek. – 2006. – Vol. 63, no. 5. – P. 28–32.
6. Efficiency of stabilometry and static baropodometry in the assessment of balance in patients with vestibular disorders / A.P.F.A. Rubira, M.S.E. Martins, C.B. S. Denti et al. // Neurobiologia. – 2010. – Vol. 3, no. 2. – P. 57–64.
7. Magnus, R. *Korperstellung: Experimentell-Physiologische Untersuchungen uber die Einzelnen bei der Korperstellung in Tatigkeit Tretenden Reflexe, uber ihr Zusammenwirken und ihre* / R. Magnus. – Berlin: Julius Springer, 1924. – 740 p.
8. Postural Control and Glycerol Test in Menieres Disease / S. Di Girolambo, P. Picciotti, B. Sergi et al. // Acta Oto-Laryngologica. – 2001. – Vol. 121. – P. 813–817. DOI: 10.1080/00016480152602258
9. Safavynia, S.A. Task-level Feedback Can Explain Temporal Recruitment of Spatially Fixed Muscle Synergies Throughout Postural Perturbations / S.A. Safavynia, L.H. Ting // Journal of Neurophysiology. – 2012. – Vol. 107. – P. 159–177.

References

1. Barullin A.E., Kurushina O.V., Puchkov A.E. [Vertebro-Basilar Insufficiency]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta* [Bulletin of the Volgograd State Medical University], 2014, no. 3 (51), pp. 3–8. (in Russ.)
2. Chernikova L.A., Ustinova K.I., Ioffe M.E. et al. [Biofeedback by Stabilogram in the Clinic of Nervous Diseases]. *Byulleten' SO RAMN* [Bulletin of the SB RAMS], 2004, no. 3, pp. 85–91. (in Russ.)
3. Charykova I.A., Filipovich L.V., Ramza A.G., Sorokolit Ya.L. *Diagnosticheskaya programma neyrofiziologicheskogo i psikhofiziologicheskogo kontrolya dlya kompleksnogo podkhoda k sovershenstvovaniyu koordinatsionnykh sposobnostey* [Diagnostic Program of Neurophysiological and Psychophysiological Control for an Integrated Approach to Improving Coordination Abilities]. Minsk, RNPC of Sports Publ., 2016. 28 p.
4. Zakharov A.V., Vlasov Ya.V., Poverennova I.E. et al. [Posture Disorders in Patients with Multiple Sclerosis]. *Zhurnal neurologii i psikiatrii imeni S.S. Korsakova* [S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry], 2014, no. 114 (2–2), pp. 55–58. (in Russ.)
5. Lorkowski J., Zarzycki D. Clinical Use of Pedobarographic Examination – Own Experience and Review of Literature. *Przegl Lek*, 2006, vol. 63, no. 5, pp. 28–32.
6. Rubira A.P.F.A., Martins M.S.E., Denti C.B.S. et al. Efficiency of Stabilometry and Static Baropodometry in the Assessment of Balance in Patients with Vestibular Disorders. *Neurobiologia*, 2010, vol. 3, no. 2, pp. 57–64.
7. Magnus R. *Korperstellung: Experimentell-Physiologische Untersuchungen uber die Einzelnen bei der Korperstellung in Tatigkeit Tretenden Reflexe, uber ihr Zusammenwirken und ihre*. Berlin Julius Springer, 1924. 740 p.
8. Di Girolambo S., Picciotti P., Sergi B. et al. Postural Control and Glycerol Test in Menieres Disease. *Acta Oto-Laryngologica*, 2001, vol. 121, pp. 813–817. DOI: 10.1080/00016480152602258
9. Safavynia S.A., Ting L.H. Task-Level Feedback Can Explain Temporal Recruitment of Spatially Fixed Muscle Synergies Throughout Postural Perturbations. *Journal of Neurophysiology*, 2012, vol. 107, pp. 159–177. DOI: 10.1152/jn.00653.2011

Информация об авторах

Егорова Вероника Константиновна, лаборант-исследователь НИЛ «Механобиология», Институт фундаментальной медицины и биологии, Казанский федеральный университет, Казань, Россия.

Бикчентаева Лейсан Маратовна, лаборант-исследователь НИЛ «Механобиология», Институт фундаментальной медицины и биологии, Казанский федеральный университет, Казань, Россия.

Яфарова Гузель Гульусовна, старший научный сотрудник НИЛ «Механобиология», кандидат биологических наук, Институт фундаментальной медицины и биологии, Казанский федеральный университет, Казань, Россия.

Шульман Анна Алексеевна, лаборант-исследователь НИЛ «Механобиология», Институт фундаментальной медицины и биологии, Казанский федеральный университет, Казань, Россия.

Information about the authors

Veronika K. Egorova, Research Assistant, Research Institute of Mechanobiology, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

Leysan M. Bikchentaeva, Research Assistant, Research Institute of Mechanobiology, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

Guzel G. Yafarova, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Research Institute of Mechanobiology, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

Anna A. Shulman, Research Assistant, Research Institute of Mechanobiology, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 22.11.2022

The article was submitted 22.11.2022