

УДК 612.886

МЕЛЬНИКОВ Андрей Александрович, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физического воспитания Ярославского государственного педагогического университета имени К.Д. Ушинского. Автор более 100 научных публикаций, в т. ч. одной монографии, 5 учебных пособий

ФИЛЁВА Виктория Владимировна, студентка Ярославского государственного медицинского университета. Автор одной научной публикации

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОЗЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВНЕШНЕГО ТОЛКАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Цель исследования – разработать и апробировать методику анализа реакции вертикальной позы на неожиданное толкающее воздействие. Толкающее воздействие производилось с помощью круглого диска, помещенного на подвижном отвесе, с силометрическим датчиком. Реакцию вертикальной позы на толчок изучали на твердой поверхности стабиллоплатформы и на подвижной по сагиттали пресс-папье при открытых и закрытых глазах. С помощью стабилографического аппаратно-программного комплекса «Стабилан 01-2» (ОКБ «Ритм») оценивались следующие показатели: максимальная амплитуда отклонения общего центра давления после толчка (A_{max} , мм), время ее достижения (T_{max} , с) и время реакции (T_{react} , с), а также амплитуду колебаний по сагиттали (Q_u , мм) за 6-секундный период до толчка и после него. В исследовании приняли участие здоровые молодые (19 ± 1 год, $n = 12$) и физически активные лица ($n = 7$). Установлено, что показатели реакции вертикальной позы не отличались в условиях открытых и закрытых глаз. На неустойчивой поверхности пресс-папье показатель T_{max} увеличивался ($p < 0,05$), а сама A_{max} уменьшалась ($p < 0,05$) по сравнению с твердой платформой. После толчка величина Q_u становилась больше ($p < 0,05$), чем была до толчка. У физически активных лиц размах колебаний был меньше до толкающего воздействия, указывая на повышенную устойчивость вертикальной позы в обычных условиях стояния, но не отличался от контроля после толкающего воздействия. Таким образом, предложенная методика оценки реакции вертикальной позы на неожиданное толкающее воздействие на основе стабилографии может быть использована для изучения постуральной регуляции в диагностических и научно-исследовательских целях.

Ключевые слова: стабилометрия, толкающее воздействие, тестирование, пресс-папье, спортсмены.

Равновесие является одним из видов двигательных способностей человека [1]. Сохранение нормального вертикального положения является одним из важных условий жизнедеятельности человека, которое позволяет

ему активно взаимодействовать с внешней средой [2–4]. Во многих видах спорта, таких как спортивная и художественная гимнастика, фигурное катание, биатлон и стрельба, фристайл, акробатика, прыжки в воду, прыжки на батуте

и единоборства, устойчивость человека в вертикальной позе имеет большое значение для достижения высоких результатов [1, 5, 6].

В ряде случаев необходимо восстанавливать вертикальную позу после внешнего воздействия, стремящегося его нарушить, например в единоборствах и спортивных играх, где присутствуют контактные взаимодействия. Однако методы оценки восстановления равновесия после его нарушения практически отсутствуют. Среди описанных и используемых можно выделить стабилметрический метод «Тест со ступенчатым воздействием» [7], в котором основная задача исследуемого человека – выполнить максимально быстрое и точное отклонение вертикальной позы в ответ на зрительное воздействие в виде смещения мишени из центра монитора. Главной задачей в этом тесте является быстрая и точная постановка в центр смещенной мишени маркера, отражающего общий центр давления тела человека. В данном тесте человек сам выводит себя из состояния равновесия в ответ на зрительное воздействие, а исследований, где тело человек отклоняется под действием механического толчка, проведено мало.

Среди имеющихся исследований можно выделить работу B.S. Davidson et al. [8], в которой на испытуемых оказывались механические воздействия после локального мышечного утомления в разных возрастных группах: молодых людей (19 лет) и лиц пожилого возраста (60 лет). Добровольцы в вертикальной позе испытывали максимальное толкающее воздействие, после которого они могли выстоять, не шагнув. Было установлено, что локальное мышечное утомление способствует ослаблению показателей функции равновесия в любом возрасте, однако у молодых людей она нарушалась в меньшей степени.

Целью нашего исследования являлась разработка методики оценки реакции вертикальной позы на внешнее механическое воздействие, а также сравнение показателей восстановления вертикальной позы после толкающего воздействия у спортсменов и неспортсменов.

Материалы и методы. Суть разработанной методики заключается в регистрации амплитудно-временных показателей колебаний общего центра давления (ОЦД) вертикального тела после неожиданного толкающего воздействия на спину испытуемого. После толчка испытуемый должен восстановить исходное вертикальное положение, не перемещая стоп на стабиллоплатформе «Стабилан-01» (ОКБ «РИТМ»).

Для нанесения толкающего воздействия на испытуемого мы сделали металлическую рамку, которая состоит из двух стоек, переключины и вертикального подвижного отвеса (рис. 1). Стойки устанавливаются вертикально по обе стороны от платформы, к ним сверху крепится переключина, а к середине переключины подвижно прикреплен отвес. К отвесу, в свою очередь, присоединяется толкатель со съёмными грузами. Для уменьшения болезненности воздействия к толкателю прикреплена поролоновая прокладка. Толкатель представляет

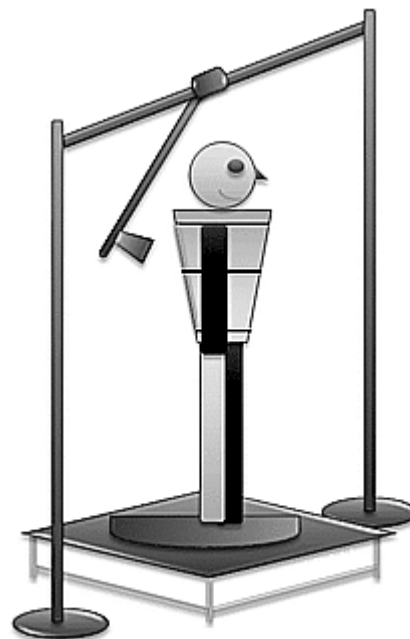


Рис. 1. Схематическое изображение толкателя и положения испытуемого на пресс-папье (ПП), расположенном на стабиллоплатформе

круглый диск (диаметр 10 см), прикрепленный к датчику-силомеру, регистрирующему время и величину воздействия. В отвесе высверлены отверстия на расстоянии 10 см друг от друга, так что высоту расположения толкателя можно менять в зависимости от роста испытуемого. В месте прикрепления отвеса к перекладине расположен угломер, позволяющий оценить угол, на который отводится отвес.

Серия тестов проводилась сначала на твердой поверхности платформы, затем на неустойчивой поверхности пресс-папье (движение по сагиттали, радиус 60 см, высота 10 см). Человек стоял на платформе (пресс-папье) в основной стойке (руки прижаты к ногам, пятки на расстоянии 2 см, носки врозь), взгляд был направлен прямо перед собой. Его просили прижать руки по швам и минимизировать все посторонние движения. Через определенное время в 8-10 с без предупреждения производилось одно толкающее воздействие, после чего испытуемый старался восстановить свою позу и находился в исходном положении еще 8-10 с. Такие интервалы были взяты для оценки подготовки и восстановления поструральной системы при реакции на толчок. Величина толкающего воздействия была одинаковая у всех, составляла по данным толкателя 14 ± 1 кг. Тест выполнялся с закрытыми (ЗГ) и открытыми глазами (ОГ). Момент воздействия регистрировался датчиком. Для обработки показателей отклонения и восстановления позы были использованы программа «StabMed2.11».

Определялись следующие амплитудные и временные показатели: максимальная амплитуда (Ampl, мм), время достижения максимальной амплитуды (Tmax, с), общее время реакции (Treact, с) (рис. 2). Оценка устойчивости позы за первые 6 с до и последующие 6 с после воздействия определялась по среднеквадратическому отклонению (разбросу) колебаний ОЦД в сагиттальной плоскости (Qu, мм).

В нашем эксперименте принимали участие 19 молодых (19 ± 1 год) здоровых человек, из них 13 юношей и 6 девушек основной медицинской группы, с массой тела $66,1 \pm 10,0$ кг и ростом

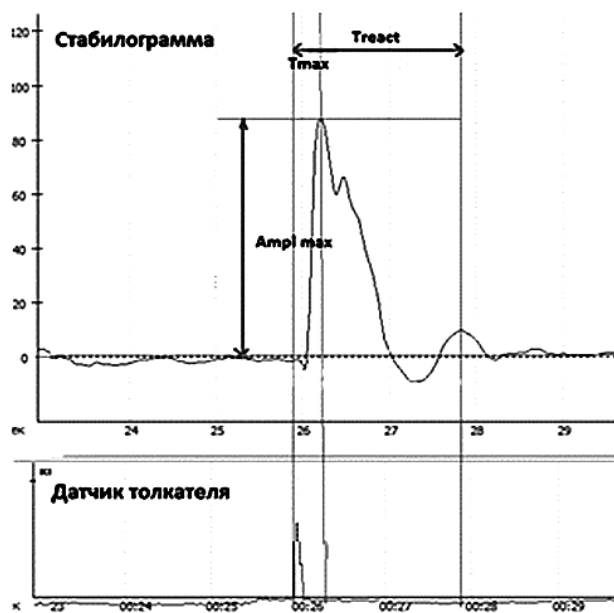


Рис. 2. Схема определения показателей в тесте с внешним толкающим воздействием: максимальная амплитуда (Ampl, мм), время достижения максимальной амплитуды (Tmax, с), общее время реакции (Treact, с)

$173,7 \pm 8,4$ см. Семь человек регулярно имели интенсивные физические нагрузки более 6 ч в неделю, они составили группу спортсменов.

Результаты и обсуждение. Сравнение ОГ и ЗГ. Выявлено, что различия Tmax и Ampl при открытых и закрытых глазах были статистически незначимы. Среднее Tmax как при ОГ, так и при ЗГ составляло $0,28 \pm 0,03$ с, аналогично амплитуда была равна примерно $108 \pm 12,8$ мм (рис. 3). Результат показал, что реакция на закрытие глаз в стрессовой ситуации (при ожидании толчка) у всех испытуемых на неподвижной опоре была примерно одинакова.

Сравнение платформы и пресс-папье. На неподвижной поверхности платформы Tmax составило $0,3 \pm 0,1$ с, в то время как на неустойчивой по сагиттали поверхности пресс-папье Tmax увеличилось до $0,6 \pm 0,2$ с ($p < 0,05$ по сравнению с устойчивой платформой). Величина Ampl на платформе была $96,7 \pm 23,4$ мм и уменьшилась до $81,8 \pm 24,5$ мм ($p < 0,05$) в условиях пресс-папье (рис. 3). Таким образом,

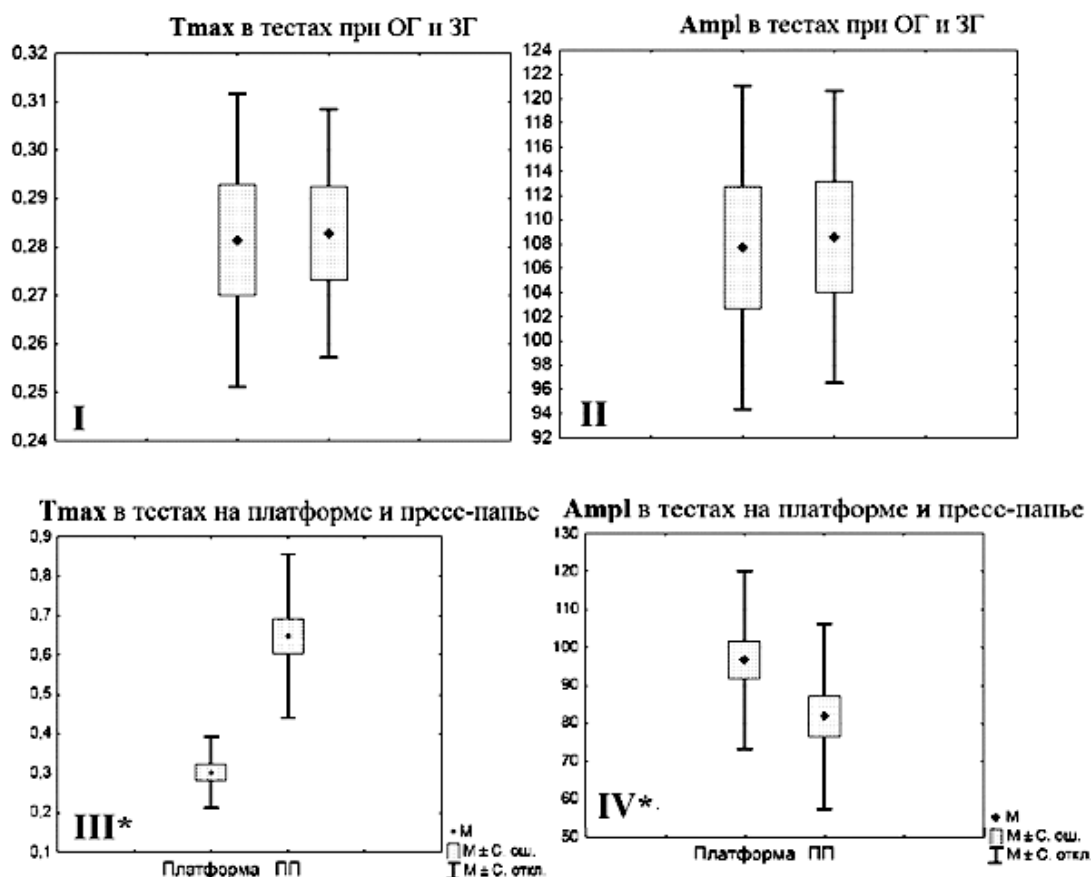


Рис. 3. Время достижения максимального отклонения (Tmax) и величина максимальной амплитуды отклонения ОЦД (Ampl) при открытых и закрытых глазах (I-II); на платформе и ПП (III-IV): * – $p < 0,05$

при переходе на подвижную опору наблюдается увеличение времени достижения максимального отклонения по сагиттали и уменьшение амплитуды. Другими словами, отклонение тела человека от исходного положения становится медленным и меньшим («осторожным») по сравнению с таковым на неподвижной поверхности. По-видимому, испытуемый испытывает страх падения, который усиливается в ожидании толкающего воздействия, следовательно, уменьшается значимость сенсорной информации о положении тела, и в процесс сенсомоторной интеграции для поддержания равновесия в значительной мере вовлекаются высокоуровневые супраспинальные структуры [9].

Сравнение спортсменов и неспортсменов.
 При сравнении поструральной устойчивости до и после воздействия получено, что Qu в условиях ОГ до воздействия у спортсменов был меньше, чем в контрольной группе: $1,6 \pm 0,6$ и $2,5 \pm 0,8$ мм ($p < 0,05$) соответственно. Такие же различия выявлены при сравнении групп в условиях ЗГ: $2,1 \pm 0,4$ мм у спортсменов, $3,2 \pm 0,3$ мм ($p < 0,05$) в контроле. На пресс-папье статистически значимых отличий не выявлено, однако значение Qu было больше, чем на стабилплатформе в обеих группах и составило $4,2 \pm 1,2$ мм (рис. 4). После толкающего воздействия Qu при открытых глазах составил $4,6 \pm 0,4$ мм у спортсменов против $5,2 \pm 1,6$ мм в группе контроля, при

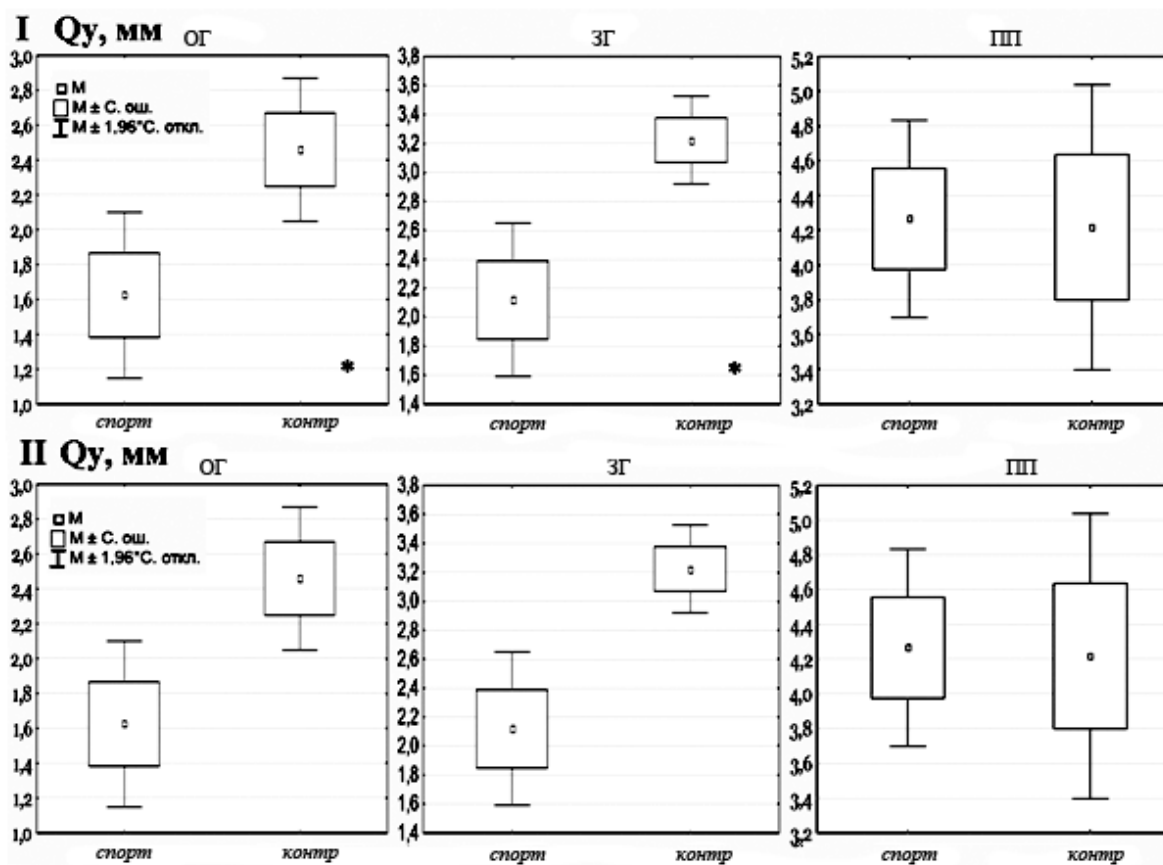


Рис. 4. Разброс по сагиттали (Q_u) при ОГ, ЗГ и на ПП в сравнении у групп спортсменов и неспортсменов: * – $p < 0,05$, I – до толчка, II – после толчка

закрытых глазах Q_u был равен $3,8 \pm 1,1$ и $4,8 \pm 0,8$ мм соответственно, на ПП значения составили $13,4 \pm 10,6$ мм в контроле и $11,7 \pm 8,1$ у спортсменов.

В целом значения Q_u в 6-секундный период после толчка были выше в 1,5 раза, чем до толчка в обеих группах. Это можно объяснить остаточными эффектами толкающего воздействия на постральную регуляцию, т. е. последствием толчка. До воздействия устойчивость у спортсменов была выше, что говорит о более развитой постральной системе у лиц, имеющих регулярную физическую нагрузку [5, 6]. Необходимо отметить, что достоверных отличий после толчка в выделенных группах не выявлено, однако это может

быть связано с относительно небольшим количеством испытуемых и требует дальнейшего исследования.

Полученные результаты показывают, что разработанная и апробированная методика анализа реакции вертикальной позы на неожиданное толкающее воздействие на основе стабиллографии может быть дополнительным методическим подходом при исследовании системы регуляции позы для различных диагностических и научно-исследовательских целей. Информация о способности к восстановлению вертикальной позы, полученная этим методом, существенно дополнит общепринятые подходы, направленные на оценку статического равновесия.

Выводы:

1. Разработана и опробована методика анализа отклонения и восстановления пострурального равновесия при механическом толкающем воздействии на испытуемого человека.

2. Максимальная амплитуда и время ее достижения на неподвижной поверхности у спортсменов и неспортсменов сопоставимы.

3. При переходе на пресс-папье различия также аналогичны у всех испытуемых и заключаются в увеличении времени реакции и уменьшении отклонения ОЦД.

4. Спортсмены показали большую устойчивость (меньший разброс по сагиттали) до толчка, однако в 6-секундный период после толкающего воздействия разброс по сагиттали не отличался от контрольных величин.

5. Методика оценки реакции вертикальной позы на неожиданное толкающее воздействие на основе стабилорафии может быть использована для изучения поструральной регуляции в различных диагностических и научно-исследовательских целях в дополнение к общепринятым методам.

Список литературы

1. Шестаков М.П. Использование стабилотрии в спорте. М., 2007. 112 с.
2. Дёмин А.В., Гудков А.Б., Грибанов А.В. Особенности поструральной стабильности у мужчин пожилого и старческого возраста // Экология человека. 2010. № 12. С. 50–54.
3. Гудков А.Б., Дёмин А.В. Особенности пострурального баланса у мужчин пожилого и старческого возраста с синдромом страха падения // Успехи геронтологии. 2012. Т. 25, № 1. С. 166–170.
4. Грибанов А.В., Шерстенникова А.К. Физиологические механизмы регуляции пострурального баланса человека (обзор) // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Мед.-биол. науки. 2013. № 4. С. 20–29.
5. Anderson K., Behm D.G. The Impact of Instability Resistance Training on Balance and Stability // Sports Med. 2005. Vol. 35, № 1. P. 43–53.
6. Арьков В.В., Абрамова Т.Ф., Никитина Т.М., Иванов В.В., Супрун Д.В., Шкурников М.Ю., Тоневцкий А.Г. Сравнительный анализ параметров стабилотрии у спортсменов разной специализации // Бюлл. эксперимент. биологии и медицины. 2009. Т. 147, № 2. С. 194–196.
7. Стабилоанализатор компьютерный с биологической обратной связью «Стабилан-01»: рук. пользователя. Таганрог, 2009. 47 с.
8. Davidson B.S., Madigan M.L., Nussbaum M.A., Wojcik L.A. Effects of Localized Muscle Fatigue on Recovery from a Postural Perturbation Without Stepping // Gait Posture. 2009. Vol. 29(4). P. 552–557.
9. Солопова И.А., Казенников О.В., Денискина Н.В., Иваненко Ю.П., Левик Ю.С. Сравнение ответов мышц ног на транскраниальную магнитную стимуляцию при стоянии на устойчивой и неустойчивой опоре // Физиология человека. 2002. Т. 28, № 6. С. 73–78.

References

1. Shestakov M.P. *Ispol'zovanie stabilometrii v sporte* [The Use of Stabilometry in Sports]. Moscow, 2007. 112 p.
2. Demin A.V., Gudkov A.B., Griбанov A.V. Osobennosti postural'noy stabil'nosti u muzhchin pozhilogo i starcheskogo vozrasta [Features of Postural Balance in Elderly and Old Men]. *Ekologiya cheloveka*, 2010, no 12, pp. 50–54.
3. Gudkov A.B., Demin A.V. Osobennosti postural'nogo balansa u muzhchin pozhilogo i starcheskogo vozrasta s sindromom strakha padeniya [Peculiarities of Postural Balance Among Elderly Men with Fear of Falling Syndrome]. *Uspekhi gerontologii*, 2012, vol. 25, no. 1, pp. 166–170.
4. Griбанov A.V., Sherstennikova A.K. Fiziologicheskie mekhanizmy regulyatsii postural'nogo balansa cheloveka: obzor [Physiological Mechanisms of Human Postural Balance Regulation (Review)]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Mediko-biologicheskie nauki*, 2013, no. 4, pp. 20–29.
5. Anderson K., Behm D.G. The Impact of Instability Resistance Training on Balance and Stability. *Sports Med.*, 2005, vol. 35, no. 1, pp. 43–53.

6. Ar'kov V.V., Abramova T.F., Nikitina T.M., Ivanov V.V., Suprun D.V., Shkurnikov M.Yu., Tonevitskiy A.G. Sravnitel'nyy analiz parametrov stabilometrii u sportsmenov raznoy spetsializatsii [Comparative Study of Stabilometric Parameters in Sportsmen of Various Disciplines]. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny*, 2009, vol. 147, no. 2, pp. 194–196.

7. *Stabiloanalizator komp'yuternyy s biologicheskoy obratnoy svyaz'yu "Stabilan-01": ruk-vo pol'zovatelya* [Biofeedback Stability Analyzer "Stabilan-01": User's Manual]. Taganrog, 2009. 47 p.

8. Davidson B.S., Madigan M.L., Nussbaum M.A., Wojcik L.A. Effects of Localized Muscle Fatigue on Recovery from a Postural Perturbation Without Stepping. *Gait Posture*, 2009, vol. 29 (4), pp. 552–557.

9. Solopova I.A., Kazennikov O.V., Deniskina N.V., Ivanenko Yu.P., Levik Yu.S. Sravnenie otvetov myshts nog na transkranial'nyuyu magnitnuyu stimulyatsiyu pri stoyanii na ustoychivoy i neustoychivoy opore [A Comparison of Leg Muscle Responses to Transcranial Magnetic Stimulation When Standing on Stable and Unstable Support]. *Fiziologiya cheloveka*, 2002, vol. 28, no. 6, pp. 73–78.

Melnikov Andrey Aleksandrovich

Yaroslavl State Pedagogical University named after K.D. Ushinsky (Yaroslavl, Russia)

Fileva Viktoriya Vladimirovna

Student, Yaroslavl State Medical University (Yaroslavl, Russia)

THE METHOD OF ASSESSING POSTURAL STABILITY UNDER THE EFFECT OF EXTERNAL PUSHING

The paper aimed to develop and test a method of analyzing vertical posture reaction to unexpected pushing. The push effect was produced by a circular disc, placed on a movable slope, with a dynamometer sensor. We studied the reaction of vertical posture to pushing on the solid surface of a platform and on a seesaw moving in the sagittal direction, with eyes open and closed. Using the stabilographic device "Stabilian 01-2" (Special Design Bureau "Ritm") we evaluated the maximum deviation amplitude after the push (Ampl, mm), the time required to achieve this maximum amplitude (Tmax, s) and the reaction time (Treact, s), as well as the amplitude of sagittal oscillations (Qy, mm) for the period of 6 seconds before and after the push. The study involved healthy young (19 ± 1 years, $n = 12$) and physically active subjects ($n = 7$). We found that the vertical posture responses with eyes open and closed did not have any differences. On the unstable surface of the seesaw, Tmax increased ($p < 0.05$) and Ampl decreased ($p < 0.05$), compared to the solid platform. After the push, Qy became greater ($p < 0.05$) than it had been before the push. In physically active subjects, Qy was lesser before the push, which indicates greater postural stability in standard conditions, but did not differ from the control values after the pushing. Thus, the proposed method of estimating vertical posture reaction to unexpected pushing using stabilography can be applied to study postural control for diagnostic and research purposes.

Keywords: stabilometry, push effect, testing, seesaw, athletes.

Контактная информация:

Мельников Андрей Александрович

адрес: 150000, г. Ярославль, ул. Республиканская, д. 108;

e-mail: meln1974@yandex.ru

Филёва Виктория Владимировна

адрес: 150000, г. Ярославль, просп. Октября, д. 63;

e-mail: Filya008@mail.ru