

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАВНОВЕСИЯ ПОЗЫ В ТЕСТАХ РАЗНОЙ СЛОЖНОСТИ СТОЯНИЯ

А.А. Мельников¹, meln1974@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5281-5306>

П.А. Смирнова², Polina954t@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3218-8584>

Р.Ю. Николаев³, nikolaev.r.u@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5480-3229>

А.М. Федоров⁴, amfedorov@chsu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3959-0947>

¹Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма (ГЦОЛИФК), Москва, Россия

²Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского, Ярославль, Россия

³Ярославский государственный медицинский университет, Ярославль, Россия

⁴Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия

Аннотация. Цель исследования: определить взаимосвязи между показателями пострурального равновесия, определёнными в тестах разной сложности стояния, у здоровых испытуемых. **Материалы и методы.** Показатели моноопорного равновесия позы у молодых здоровых девушек (18–21 год, $n = 80$) определялись в трёх тестах возрастающей сложности: 1) стойка на неподвижной стабиллоплатформе (Neurolog Trast-M, Москва) с открытыми (ОГ, 40 с) и закрытыми (ЗГ, 40 с) глазами; 2) стойка на подвижной низкой (Н10 см) платформе «пресс-папье» с ОГ (40 с) и ЗГ (40 с); 3) стойка на высокой (Н30 см) платформе «пресс-папье» с ЗГ до потери равновесия. Скоростно-силовые способности поструральных мышц определяли в функциональных тестах прыжок в длину с места, бег 12 м. **Результаты.** Стабилографические показатели равновесия на неподвижной платформе (легкие условия) и низком пресс-папье (средняя сложность) были взаимосвязаны с умеренной силой ($r = 0,42–0,76$; $p < 0,01$), а скоростно-силовые способности не коррелировали с динамической устойчивостью позы на низком пресс-папье. Корреляции времени равновесия на высоком пресс-папье (сложные условия стояния) с показателями антропометрии, скоростно-силовых способностей и равновесия на неподвижной стабиллоплатформе отсутствовали и были слабыми с поструральной устойчивостью на низком пресс-папье ($r = 0,29–0,41$; $p < 0,05$). **Заключение.** Устойчивость позы в простых условиях стояния не может достоверно предсказать максимальную способность к равновесию позы в сложных условиях стояния. Для практических целей диагностики пострурального равновесия у молодых, физически активных испытуемых необходимо использовать более сложные условия тестирования баланса позы.

Ключевые слова: поструральное равновесие, стабилография, динамическое равновесие, пресс-папье

Для цитирования: Взаимосвязь показателей равновесия позы в тестах разной сложности стояния / А.А. Мельников, П.А. Смирнова, Р.Ю. Николаев, А.М. Федоров // Человек. Спорт. Медицина. 2022. Т. 22, № S1. С. 28–33. DOI: 10.14529/hsm22s105

Original article

DOI: 10.14529/hsm22s105

THE RELATIONSHIP BETWEEN POSTURAL BALANCE MEASUREMENTS DURING DIFFERENT STANDING BALANCE TESTS

A.A. Melnikov¹, meln1974@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5281-5306>

P.A. Smirnova², Polina954t@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3218-8584>

R.Yu. Nikolaev³, nikolaev.r.u@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5480-3229>

A.M. Fedorov⁴, amfedorov@chsu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3959-0947>

¹Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism, Moscow, Russia

²Yaroslavl State Pedagogical University named after K. D. Ushinsky, Yaroslavl, Russia

³Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russia

⁴Cherepovets State University, Cherepovets, Russia

Abstract. Aim. The paper aims to identify the relationship between postural balance measurements during different standing balance tests in healthy subjects. **Materials and methods.** Young healthy female subjects (18–21 years old, n = 80) participated in three single-leg balance tests of different complexity: 1) standing balance test on a motionless force platform (Neurocor Trast-M, Moscow) with eyes open (OE, 40 s) and closed (CE, 40 s); 2) standing balance test on a moving platform (H10 cm) with OE (40 s) and CE (40 s); 3) standing balance test on a high (H30 cm) platform with CE until balance loss. Speed-strength abilities of postural muscles were measured in the following functional tests: standing long jump, 12 m run. **Results.** Force platform measurements on the motionless (easy test) and moving (medium difficulty) platforms were associated with moderate strength ($r = 0,42-0,76$; $p < 0.01$). Speed-strength abilities did not correlate with dynamic postural balance on the moving platform. There were no correlations of balance time on the high platform (difficult test) with anthropometric factors, speed-strength abilities, and dynamic balance on the motionless platform. Correlations of balance time on the high platform were weak with postural balance measurements on the moving platform ($r = 0.29-0.41$; $p < 0.05$). **Conclusion.** Postural balance measurements obtained in the simple standing balance test cannot reliably predict the maximum balance abilities under difficult conditions. Therefore, it is necessary to use more complex conditions for postural balance measurements.

Keywords: postural balance, stabilography, dynamic balance, see-saw platform

For citation: Melnikov A.A., Smirnova P.A., Nikolaev R.Yu., Fedorov A.M. The relationship between postural balance measurements during different standing balance tests. *Human. Sport. Medicine.* 2022;22(S1):28–33. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm22s105

Введение. Статическое (то есть стояние на неподвижной опоре) и динамическое (то есть стояние на подвижной опоре или во время перемещений) постуральное равновесие – это способность контролировать центр массы тела относительно основания опоры [7, 8]. Высокая способность к статическому и динамическому равновесию позы является важной предпосылкой для нормальной повседневной деятельности, например, предупреждения бытовых падений, а также для выполнения спортивных навыков, например, предупреждения травм и достижения высоких спортивных результатов [5].

Однако функциональная значимость стабилметрических тестов на постуральное равновесие остаётся не совсем ясной. В ряде случаев показана связь высокой устойчивости

вертикальной позы в обычной двуопорной стойке с некоторыми функциональными показателями [2, 3, 6]. Так, скорость колебаний позы коррелирует со стабильностью оружия во время прицеливания у стрелков и влияет на результативность стрельбы [6]. У пожилых лиц сниженная статическая устойчивость является прогностическим критерием бытовых падений [2]. Установлены умеренные и слабые корреляции между статическим и динамическим равновесием [3]. Однако многие авторы придерживаются мнения, что показатели статического равновесия слабо или вовсе не могут предсказать устойчивость позы в динамических заданиях [7]. Таким образом, функциональное значение стабилографических показателей устойчивости позы в обычных положениях остаётся малопонятной.

Цель работы – выяснить взаимосвязи показателей равновесия в моноопорной стойке в трёх условиях разной сложности: на неподвижной стабиллоплатформе (привычные, легкие условия), на подвижной низкой платформе «пресс-папье» (умеренная сложность) и на высокой платформе «пресс-папье» такого же радиуса (очень сложные условия).

Организация и методы исследования.

В исследовании на добровольной основе приняли участие практически здоровые девушки ($n = 80$, 18–21 год). У всех определены масса и длина тела, время бега на 12 метров с автоматической фиксацией времени и результат в прыжке в длину с места.

Показатели постурального равновесия определяли с помощью стабиллоплатформы (Neurolog Trast-M, Москва) в моноопорной стойке (на неведущей ноге) в трех условиях разной степени сложности стояния: 1) легкие условия стояния на неподвижной стабиллоплатформе с открытыми глазами (40 с) и закрытыми глазами (40 с); 2) условия стояния средней сложности: на подвижном низком пресс-папье (высота 10 см, $r = 60$ см), размещённой на стабиллоплатформе, с открытыми глазами (ОГ) (40 с) и с закрытыми глазами (ЗГ, 40 с). Тест на низком пресс-папье с ЗГ смогли пройти только 64 девушки; 3) сложные условия стояния: стойка на сильно неустойчивом пресс-папье с закрытыми глазами (качение в сагиттальной плоскости, $r = 60$ см, высота = 30 см) в трех попытках. В этом тесте определяли время (сек) сохранения равновесия до падения, то есть момента вставания на вторую ногу. Для оценки брали время равновесия в первой и третьей попытке.

Для анализа постуральной устойчивости на стабиллоплатформе и на низком ($H = 10$ см) пресс-папье использовали среднюю линейную скорость ОЦД (V-ОЦД, мм/с) и 95 % площади колебаний ОЦД (S-ОЦД, мм²).

Все показатели, характеризующие статическое и динамическое равновесие, имели ненормальное распределение по критерию Shapiro – Wilk и были нормализованы с помощью метода Box-Cox. Для оценки силы взаимосвязей использована параметрическая корреляция Pearson (r). Величина $r < 0,69$ оценивалась как слабая, 0,70–0,89 – как средняя и $> 0,90$ – как сильная корреляция [7]. Статистические расчёты выполнены в программе Statistica V12.

Результаты и их обсуждение. Выявлена взаимосвязь стабиллографических показателей постурального равновесия в средних условиях сложности с показателями антропометрии, скоростно-силовых тестов и статического равновесия на неподвижной стабиллоплатформе. Показатели равновесия на низком пресс-папье: S-ОЦД-ОГ ($r = 0,45$; $p < 0,01$ (табл. 1) и S-ОЦД-ЗГ ($r = 0,32$; $p = 0,01$) слабо коррелировали с длиной тела, но не коррелировали со скоростно-силовыми показателями. Эти данные согласуются с другими результатами [1] о повышении колебаний ОЦД у более высоких людей. Данная корреляция скорее отражает не отрицательные эффекты длины тела на регуляцию позы [4], а увеличение площади опоры и связанное с этим повышение S-ОЦД.

V-ОЦД на низком пресс-папье с ОГ коррелировала с V-ОЦД-ОГ ($r = 0,76$; $p < 0,0001$) и с V-ОЦД-ЗГ ($r = 0,71$; $p < 0,0001$) на стабиллоплатформе (табл. 1). Кроме того, V-ОЦД на низком пресс-папье с ЗГ коррелировала с показателями постурального равновесия на стабиллоплатформе: V-ОЦД-ОГ ($r = 0,42$; $p < 0,001$) и с V-ОЦД-ЗГ ($r = 0,61$; $p < 0,0001$). Связи между показателями S-ОЦД на пресс-папье и платформе были значимые, но менее существенные ($r = 0,30–0,57$; $p < 0,01$). Эти результаты указывают на умеренную предсказательную силу показателей, определённых в легких стандартных условиях стояния, относительно способности к равновесию в условиях умеренной сложности.

Выявлена взаимосвязь максимальной способности к динамическому равновесию на сильно неустойчивом пресс-папье (Н30см) с показателями равновесия на неподвижной стабиллоплатформе и низком пресс-папье. Время сохранения равновесия на высоком пресс-папье в первой попытке не коррелировало ни с антропометрическими, ни со скоростно-силовыми показателями, ни с параметрами статического (на неподвижной платформе) и динамического (на низком пресс-папье) равновесия (табл. 2). Исключение составила слабая корреляция времени равновесия на высоком пресс-папье с V-ОЦД-ОГ на низком пресс-папье ($r = -0,29$; $p < 0,01$). Таким образом, способность сохранять динамическое равновесие в новом сложном задании на динамическое равновесие практически не связана с силовыми способностями и показателями равновесия, определёнными в менее

Таблица 1
Table 1

Корреляция (r) показателей пострального равновесия на низком пресс-папье с показателями антропометрии, скоростно-силовых тестов и статического равновесия на неподвижной стабиллоплатформе
Correlation (r) of postural balance measurements on the moving platform with anthropometric factors, speed-strength abilities and static balance on the motionless platform

Показатель / Parameter	Пресс-папье (H10 см) Открытые глаза Moving platform (H10 cm) Open eyes (n = 80)		Пресс-папье (H10 см) Закрытые глаза Moving platform (H10 cm) Closed eyes (n = 64)	
	V-ОЦД V-COP	S-ОЦД S-COP	V-ОЦД V-COP	S-ОЦД S-COP
	Масса тела / Body mass	0,18	0,29*	0,22
Длина тела / Body length	-0,14	0,45***	0,08	0,32**
Прыжок в длину / Standing long jump	-0,11	0,09	-0,08	0,17
Бег 12 м / 12 m run	0,09	0,07	-0,10	-0,23
Платформа, открытые глаза Platform, open eyes	V-ОЦД / V-COP	0,76***	0,30*	0,42***
	S-ОЦД / S-COP	0,16	0,44***	-0,09
Платформа, закрытые глаза Platform, closed eyes	V-ОЦД / V-COP	0,71***	0,33**	0,61***
	S-ОЦД / S-COP	0,53***	0,57***	0,17

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

Таблица 2
Table 2

Корреляция (r) максимальной способности к постральному равновесию на высоком пресс-папье с показателями антропометрии, скоростно-силовых тестов, статического и динамического равновесия на низком пресс-папье
Correlation (r) of the maximum ability for dynamic balance on the high platform with anthropometric factors, speed-strength abilities, static and dynamic balance on the moving platform

Показатель / Parameter		Время равновесия в первой попытке Balance time, first attempt	Время равновесия в третьей попытке Balance time, third attempt
Масса тела / Body mass		0,15	0,02
Длина тела / Body length		0,03	-0,08
Прыжок в длину / Standing long jump		0,08	0,26*
Бег 12 м / 12 m run		-0,06	-0,20 [#]
Платформа, открытые глаза Platform, open eyes	V-ОЦД / V-COP	-0,15	-0,12
	S-ОЦД / S-COP	0,15	0,08
Платформа, закрытые глаза Platform, closed eyes	V-ОЦД / V-COP	-0,13	-0,22*
	S-ОЦД / S-COP	-0,06	-0,14
Пресс-папье, открытые глаза Moving platform, open eyes	V-ОЦД / V-COP	-0,29**	-0,32**
	S-ОЦД / S-COP	-0,19 [#]	-0,17
Пресс-папье, закрытые глаза Moving platform, closed eyes	V-ОЦД / V-COP	-0,18	-0,41***
	S-ОЦД / S-COP	-0,20	-0,23 [#]

Примечание / Note: [#] – p < 0,1; * – p < 0,05; ** – p < 0,01; *** – p < 0,001.

сложных тестах. Эти данные согласуются с теми работами, которые также не смогли обнаружить сильных корреляций между статическим и динамическим равновесием [3].

Однако в третьей попытке время сохранения равновесия на высоком пресс-папье коррелировало с прыжком в длину (r = 0,26; p < 0,05), временем бега на 12 м (r = -0,20; p < 0,1), V-ОЦД-ЗГ на платформе (r = -0,22;

p < 0,05), а также V-ОЦД-ОГ (r = -0,32; p < 0,01) и особенно с V-ОЦД-ЗГ на низком пресс-папье (r = -0,41; p < 0,001). Эти данные о появлении корреляций указывают, что вместе с обучением новому двигательному навыку (балансированию на высоком пресс-папье) система управления движениями начинает использовать сформированные ранее двигательные программы, включая силовые спо-

способности постуральных мышц, для выполнения нового задания на равновесие, схожего по двигательной задаче с ранее изученным действием. Однако это предположение требует более детального изучения.

Заключение. Основной целью работы было установление взаимосвязи между максимальной способностью к постуральному равновесию со стабиллографическими параметрами в простых постуральных тестах. Результаты показали, что стабиллографические

показатели постуральной устойчивости в легких и стандартных тестах на неподвижной опоре, а также в условиях средней сложности стояния (низком пресс-папье) слабо коррелируют с максимальной способностью к равновесию в сложных условиях стояния. Таким образом, показатели устойчивости позы в простых условиях стояния не могут достоверно предсказать максимальную способность к равновесию в сложных условиях стояния.

Список литературы / References

1. Chiari L., Rocchi L., Cappello A. Stabilometric Parameters are Affected by Anthropometry and Foot Placement. *Clinical Biomechanics*, 2002, vol. 17, no. 9–10, pp. 666–677. DOI: 10.1016/S0268-0033(02)00107-9
2. Overstall P.W., Exton-Smith A.N., Imms F.J., Johnson A.L. Falls in the Elderly Related to Postural Imbalance. *British Medical Journal*, 1977, vol. 1 (6056), pp. 261–264. DOI: 10.1136/bmj.1.6056.261
3. Granacher U., Gollhofer A. Is there an Association Between Variables of Postural Control and Strength in Prepubertal Children? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2012, vol. 26, no. 1, pp. 210–216. DOI: 10.1519/JSC.0b013e31821b7c30
4. Berger W., Trippel M., Discher M., Dietz V. Influence of Subjects' Height on the Stabilization of Posture. *Acta Oto-Laryngologica*, 1992, vol. 112, no. 1, pp. 22–30. DOI: 10.3109/00016489209100778
5. Lesinski M., Prieske O., Granacher U. Effects and Dose-Response Relationships of Resistance Training on Physical Performance in Youth Athletes: a Systematic Review and Meta-Analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 2016, vol. 50, no. 13, pp. 781–795. DOI: 10.1136/bjsports-2015-095497
6. Mononen K., Konttinen N., Viitasalo J., Era P. Relationships Between Postural Balance, Rifle Stability and Shooting Accuracy Among Novice Rifle Shooters. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 2007, vol. 17, pp. 180–185. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2006.00549.x
7. Kümmel J., Kramer A., Giboin L.S., Gruber M. Specificity of Balance Training in Healthy Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 2016, vol. 46, no. 9, pp. 1261–1271. DOI: 10.1007/s40279-016-0515-z
8. Woollacott M.H., Shumway-Cook A., Nashner L.M. Aging and Posture Control: Changes in Sensory Organization and Muscular Coordination. *The International Journal of Aging and Human Development*, 1986, vol. 23, no. 2, pp. 97–114. DOI: 10.2190/VXN3-N3RT-54JB-X16X

Информация об авторах

Мельников Андрей Александрович, доктор биологических наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой физиологии, Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма (ГЦОЛИФК). Россия, 105122, Москва, Сиреневый бульвар, д. 4.

Смирнова Полина Александровна, аспирант кафедры медико-биологических основ спорта, Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского. Россия, 150000, Ярославль, ул. Республиканская, д. 108/1.

Николаев Роман Юрьевич, кандидат биологических наук, кафедра физической культуры, Ярославский государственный медицинский университет. Россия, 150000, Ярославль, ул. Революционная, д. 5.

Федоров Антон Михайлович, старший преподаватель кафедры теоретических основ физической культуры, спорта и здоровья, Череповецкий государственный университет. Россия, 162600, Череповец, пр. Луначарского, д. 5.

Information about the authors

Andrey A. Melnikov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Acting Head of the Department of Physiology, Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism, Moscow, Russia.

Polina A. Smirnova, Postgraduate student, Department of Medical and Biological Foundations of Sport, Yaroslavl State Pedagogical University named after K. D. Ushinsky, Yaroslavl, Russia.

Roman Yu. Nikolaev, Candidate of Biological Sciences, Department of Physical Education, Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russia.

Anton M. Fedorov, Senior lecturer, Department of the Theoretical Foundations of Physical Education, Sport and Health, Cherepovets State University, Cherepovets, Russia.

Статья поступила в редакцию 17.11.2021

The article was submitted 17.11.2021