

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.3.10>

УДК 612.766

Тип статьи: Оригинальное исследование / Original article



Стратегии пострурального баланса у опытных ритмических гимнасток в стойках на двух ногах

Л.А. Коновалова*, Р. Васильев, Л.Г. Лысенко

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма»,
Казань, Россия

РЕЗЮМЕ

Целью исследования было выяснить, как распределяется подошвенное давление у опытных ритмических гимнасток при выполнении поз с симметричной нагрузкой на обе ноги с открытыми и закрытыми глазами.

Материалы и методы: 31 гимнастка высокой квалификации (кандидаты и мастера спорта России, возраст $18,5 \pm 0,5$ года, стаж занятий художественной гимнастикой $13,5 \pm 1,5$ года) выполняли три вертикальные позы на подометрической платформе footscan® фирмы RSscan: основная стойка, модифицированная проба Ромберга с открытыми и закрытыми глазами. Регистрировали величину подошвенного давления (P%) по отношению к четырем зонам правой и левой стопы и траектории движения центра давления (ЦД) относительно временных интервалов.

Результаты показали, что у опытных гимнасток присутствует правостороннее перераспределение подошвенного давления. Позные колебания происходят преимущественно в направлении вперед-назад, но имеют комбинированные варианты регуляции балансом, сочетая две стратегии: голеностопную и переноса веса с ноги на ногу. В основной стойке это сагиттально-перекрестная схема. В пробе Ромберга с открытыми глазами и закрытыми глазами это сагиттально-параллельный и сагиттально-асимметричный баланс соответственно. Выявлено, что отсутствие визуальной информации при сохранении осанки существенно увеличивает колебания тела только первые 12 секунд.

Заключение: выявленное разнообразие комбинаций двух видов стратегий при сохранении осанки в простых позах указывает на способность опытных гимнасток тонко регулировать позой устойчивость, в том числе и при отсутствии зрительной информации.

Ключевые слова: стопа, подошвенное давление, баланс, вертикальная поза, художественная гимнастика

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Коновалова Л.А., Васильев Р., Лысенко Л.Г. Стратегии пострурального баланса у опытных ритмических гимнасток в стойках на двух ногах. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2022;12(3):60–71. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.3.10>

Поступила в редакцию: 18.06.2022

Принята к публикации: 28.11.2022

Online first: 13.12.2022

Опубликована: 30.12.2022

*Автор, ответственный за переписку

Postural balance strategies for experienced rhythmic gymnasts in two-legged stands

Liliya A. Konovalova*, Radivoj Vasiljev, Liliya G. Lysenko

Volga Region State University of Physical Culture, Sport and Tourism, Kazan, Russia

ABSTRACT

Objective: The purpose of this study was to find out the indicators of the distribution of plantar pressure in the two-legged stands with open and closed eyes in experienced rhythmic gymnasts.

Materials and methods: 31 highly qualified gymnasts (candidates and masters of sports of Russia), age 18.5 ± 0.5 years, experience in rhythmic gymnastics 13.5 ± 1.5 , performed three upright postures on the footscan® podometric platform of RSscan: the main stand, a modified Romberg test with open and closed eyes. Postural control was assessed by quantifying the plantar pressure (P%) in relation to 4 zones of the right and left foot and the trajectory of the movement of the center of pressure (CP) over time intervals.

Results: The results of the study showed the presence of a right-sided distribution of plantar pressure in two-legged stands in experienced gymnasts. The regulation of posture occurs mainly in the anterior-posterior direction, but has different strategies for managing balance. The sagittal-cross pattern determines the interaction of plantar pressure between the right and left feet in the basic pose. The Romberg test with open eyes (EO) and closed eyes (EC) characterizes sagittal-parallel and sagittal-asymmetric balance, respectively. We revealed an increase in the vibrations of the gymnast's body in the absence of visual information for only the first 12 seconds.

Conclusions: We have identified a variety of combinations of two types of strategies while maintaining posture in simple poses. This indicates the ability of experienced gymnasts to fine-tune the postural stability, including in the absence of visual information.

Keywords: foot, plantar pressure, balance, vertical pose, rhythmic gymnastics

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Konovalova L.A., Vasiljev R., Lysenko L.G. Postural balance strategies for experienced rhythmic gymnasts in two-legged stands. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2022;12(3):60–71. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.3.10>

Received: 18 June 2022

Accepted: 28 November 2022

Online first: 13 December 2022

Published: 30 December 2022

*Corresponding author

1. Введение

Поддержание вертикальной устойчивости при выполнении спортивных задач — важнейшее условие совершенствования техники спортсмена и достижения высокого результата [1–5]. Качество спортивной осанки, по мнению исследователей, зависит от двигательного опыта, уровня спортивного мастерства, специфики спортивной деятельности [6–11].

Художественная гимнастика является олимпийским видом спорта. К спортсменкам предъявляют значительные требования к качеству осанки в соответствии со спецификой гимнастического стиля и строгим регламентом выполнения технических элементов. Гимнастка в упражнении должна продемонстрировать сложные позы в условиях ограниченной опоры и сниженного зрительного контроля [12, 13].

В художественной гимнастике есть ряд работ, посвященных изучению постральной регуляции спортивной осанки с использованием компьютерной стабилографии. В них авторы рассматривают влияние спортивного опыта, характера и условий выполнения на качество сохранения баланса [1, 14, 15]. Известно, что опытных гимнасток отличает более высокий уровень пострального контроля в сравнении с представителями других видов спорта [1, 7]. Однако уточняют, что данное превосходство наиболее очевидно только при выполнении специфических для гимнастики балансовых упражнений [16–18]. Не исключают также эффект переноса опыта занятий гимнастикой и на способность сохранения баланса не только в стойках на одной ноге, но и при двуногой осанке [7].

При этом остается не изученным вопрос о балансирующей активности отдельных сегментов правой и левой стопы при опорных реакциях и механизмов их взаимодействия. Важность таких исследований обусловлена запросами практики в поиске наиболее эффективных и безопасных средств равновесной подготовки спортсменок в условиях жесткой соревновательной конкуренции в мировой и отечественной художественной гимнастике.

Подшва стопы является первой точкой контакта между телом и внешней средой в положении стоя. Подробная пространственная и временная информация о контактных давлениях под стопой и силах сдвига, возникающих в результате движения тела, представляет

собой ценную обратную связь с постральной системой управления. На сегодня значительное количество исследований, посвященных изучению постральной устойчивости спортсменок, фокусируется на анализе переменных интегрального показателя стабилометрии — общего центра давления [5, 19]. Несомненно, эти количественные измерения представляют ценную информацию, но не позволяют оценить вклад отдельных сегментов правой и левой стопы в изучение механизмов регуляции спортивной осанкой.

В связи с этим представляет интерес исследование постральной устойчивости опытных гимнасток на основе анализа опорных реакций в сегментах правой и левой стопы.

Цель исследования: изучить распределение подошвенного давления у опытных ритмических гимнасток при выполнении поз с симметричной нагрузкой на обе ноги с открытыми и закрытыми глазами.

2. Материалы и методы

В исследуемую группу ($n = 31$) входили гимнастки высокой спортивной квалификации (38,7% кандидаты и 61,3% мастера спорта России), средний возраст которых составил $18,5 \pm 0,5$ года; рост $166,9 \pm 4,6$ см; вес $53,4 \pm 3,4$ кг, опыт занятий $13,5 \pm 1,5$ года. Спортсменки участвовали в исследовании на добровольной основе.

Эксперимент проводился на базе научно-исследовательского института физической культуры и спорта в лаборатории биомеханики спорта Поволжского государственного университета физической культуры, спорта и туризма, г. Казань.

Гимнастки выполняли три теста на подометрической платформе footscan® фирмы RSscan (активная рабочая площадь $0,48 \times 0,325$ м; резистентные датчики; частота регистрации данных до 500 Гц).

Тест 1 — основная стойка. Гимнастка выполняла выход на платформу, принимала свободную стойку в стандартном положении (стопы разведены на 30° , расстояние между пятками 3 см), руки вдоль тела, взгляд вперед (рис. 1 А). Испытуемая сохраняла позу в течение 30 сек., во время которых производилась мгновенная съемка и регистрация показателей на компьютер.

Тесты 2 и 3 — это модифицированная проба Ромберга с открытыми и закрытыми глазами. Гимнастка выполняла

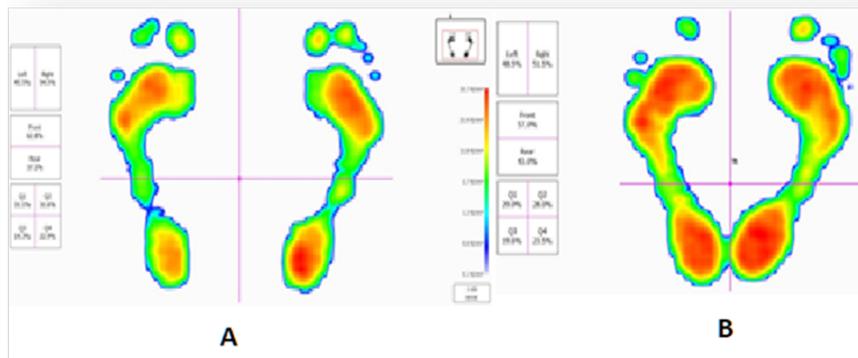


Рис. 1. Плантаграмма стопы в тесте № 1 (А) и тесте 2 или 3 (В)
Fig. 1. Plantogram of the foot in test No. 1 (A) and test 2 or 3 (B)

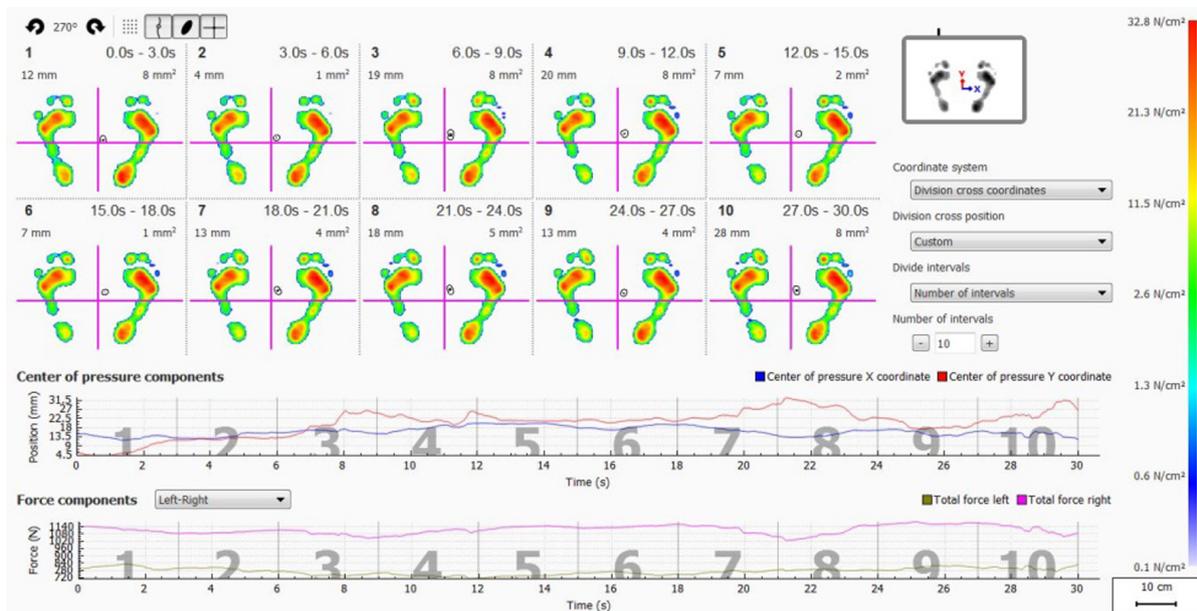


Рис. 2. Протокол интервальной плантограммы
Fig. 2. Interval plantogram protocol

стойку пятки вместе носки врозь, руки вперед на ширине плеч, пальцы разведены (рис. 1 В). От спортсменки требовалось максимально сосредоточиться на отпечатанной точке, которая находилась напротив на стенде на уровне глаз, на расстоянии 2 метра. Гимнастка должна была сохранить максимально устойчивую позу в течение 30 секунд, не отвлекаясь и не двигаясь. В тесте 3 гимнастке требовалось по сигналу оператора закрыть глаза и удержать баланс в течение 30 секунд.

Анализировали следующие параметры: подошвенное давление (P в % к массе тела гимнастки) отдельно для правой и левой стопы, для плюсны и пятки стоп и давление, оказываемое в четырех зонах: Q1 — левая плюсна; Q2 — правая плюсна; Q3 — левая пятка; Q4 — правая пятка. Изучали переменные движения ЦД: траектории центра давления (мм), среднее (SD) изменение площади эллипса (Ellips area), мм² — показателя разброса ЦД. Регистрировали изменения положения ЦД в 10 интервалах, продолжительностью каждый

3 секунды в пробах Ромберга с открытыми и закрытыми глазами (рис. 2).

Полученные данные подвергали статистической обработке. Для всех переменных была рассчитана базовая описательная статистика (Mean ± SE, V). Осуществлялась проверка показателей на нормальность распределения величин по критерию Колмогорова — Смирнова. Достоверность различий определяли методом параметрической статистики для связанных выборок с помощью двухфакторного дисперсионного анализа ANOVA. Выявляли корреляционные связи между показателями величины давления в различных сегментах стопы внутри тестов и между тестами. Уровень значимости был установлен равным 0,05 для всех процедур.

3. Результаты исследования и их обсуждение

Методика проведения исследования заключалась в сравнении показателей подошвенного давления в тесте № 1 «основная стойка», в тесте № 2 «Ромберг

Таблица 1

Статистический анализ показателей давления на опору под правой и левой стопой в трех тестах

Table 1

Statistical analysis of pressure indicators on the support under the right and left foot in three tests

Тест / Test	Распределение давления (% от массы тела) / Pressure distribution (% of body weight)		
	Правая стопа / Right foot	Левая стопа / Left foot	<i>p</i>
№ 1 основная стойка / basic pose	51,1 ± 3,3 (V ± 7 %)	48,9 ± 3,3 (V ± 7 %)	< 0,05
№ 2 проба Ромберга (глаза открыты) / Romberg (EO)	51,2 ± 3,0 (V ± 6 %)	48,8 ± 3,0 (V ± 6 %)	< 0,003
№ 3 проба Ромберга (глаза закрыты) / Romberg (EC)	51,3 ± 3,0 (V ± 6 %)	48,9 ± 3,0 (V ± 6 %)	< 0,008
<i>F</i> (ANOVA)	<i>F</i> (16, 166) ± 0,62 <i>p</i> ± 0,86	<i>F</i> (16, 166) ± 0,62 <i>p</i> ± 0,86	

Примечание: *V — коэффициент вариации (%).

Note: *V — coefficient of variation (%).

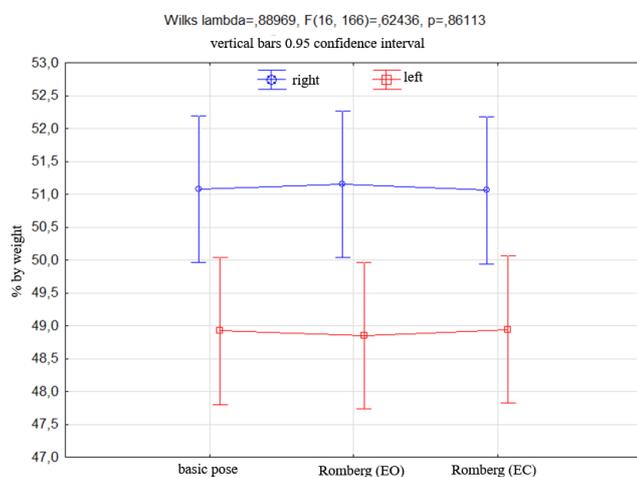


Рис. 3. Показатели распределения давления под правой и левой стопой в трех тестах

Fig. 3. Indicators of pressure distribution under the right and left foot in three tests

с открытыми глазами (ОГ)» и тесте № 3 «Ромберг с закрытыми глазами (ЗГ)». В качестве гипотезы этого исследования было предположение о наличии паттернов равновесия у гимнасток как результате длительного влияния специфической спортивной практики.

Нами выявлен асимметричный паттерн сохранения равновесия в простых позах с опорой на обе ноги у квалифицированных спортсменок, имеющих опыт занятий художественной гимнастикой более 10 лет. Он характеризуется правосторонним перераспределением подошвенного давления во всех трех тестах (51,1–51,3 % в зависимости от позы). Результаты сравнительного анализа подошвенного давления под правой и левой стопой представлены в таблице 1 и на рисунке 3.

Рядом авторов тоже были получены сведения об асимметрии нижних конечностей при постральных реакциях у спортсменов в стандартных позах. Аналогичные результаты правосторонней асимметрии позы характерны для баскетболистов (как для юношей, так и для девушек), стрелков из пневматической

винтовки [20, 21]. Выявлено, что для некоторых видов спорта характерно смещение подошвенного давления на левую ногу как для опытных (дзюдо, лыжный спорт), так и для юных спортсменов (футбол) [8, 22]. В отношении представителей сложнокоординационных видов спорта (гимнастика и акробатика), выявлена левосторонняя асимметрия позы [23], которую авторы объясняют предпочтением левой ноги в качестве опорной у большинства исследуемых спортсменов. На наш взгляд, полученные результаты не всегда можно объяснить только спецификой спортивной практики. Поэтому можно предположить, что асимметричный паттерн равновесия у опытных гимнасток в стандартных позах связан не только с опытом, но и с двигательным предпочтением ведущей ноги. И это предположение требует дальнейшего изучения.

Согласно результатам предыдущих исследований, элитные гимнастки демонстрируют превосходные стратегии контроля позы, о чем свидетельствует выполнение медиолатеральных смещений [7]. В нашем исследовании помимо распределения давления между правой и левой стопой в латеральном направлении явно прослеживается стратегия передне-заднего регулирования позы. Особенно очевидно это проявляется в тесте «основная стойка» и «проба Ромберга ЗГ» (табл. 2, рис. 4). В этих позах у гимнасток больше нагружаются пятки по отношению к плюснам ($p < 0,05$).

В аналогичном исследовании, проведенном на баскетболистах мужского и женского пола, авторы тоже указывают на 10 % увеличение давления в пяточной части по сравнению с плюсневой [21].

Особый интерес представляют результаты корреляционного анализа, модель которого состояла в определении зависимости между показателями подошвенного давления внутри каждого теста.

Корреляционный анализ показал сильные положительные и отрицательные связи между показателями величины давления под правой и левой стопой во всех трех тестах, а также между плюсной и пяткой обеих ног (см. табл. 3, 4, 5).

Таблица 2

Статистический анализ средних значений давления на опору в трех тестах для обеих стоп в направлении плюсны — пятки

Table 2

Statistical analysis of the average values of pressure on the support in three tests for both feet in the direction of the metatarsal — heel

Тест / Test	Распределение давления (% от массы тела) / Pressure distribution (% of body weight)		P
	Передняя (плюсневая) / Front (metatarsal)	Задняя часть (пятка) / Back (heel)	
№ 1 основная стойка / basic pose	47,0 ± 8,1 (V ± 17 %)	53,0 ± 8,1 (V ± 15 %)	<0,004
№ 2 проба Ромберга (глаза открыты) / Romberg (EO)	48,4 ± 8,1 (V ± 17 %)	51,6 ± 8,1 (V ± 16 %)	0,12
№ 3 проба Ромберга (глаза закрыты) / Romberg (EC)	47,9 ± 7,0 (V ± 15 %)	52,2 ± 7,0 (V ± 13 %)	<0,018
F (ANOVA)	F (16, 166) ± 0,62 p ± 0,86	F (16, 166) ± 0,62 p ± 0,86	

При этом наблюдаем, что распределение подошвенного давления у опытных гимнасток в исследуемых стойках имеет как сходные признаки взаимосвязи между правой и левой стопой и их сегментами, так и различия этих взаимодействий.

Сходные для трех тестов признаки взаимосвязи:

— во фронтальной плоскости (латеральное направление) наблюдаем прямую зависимость величины подошвенного давления в плюсневых сегментах правой и левой стопы (Q1–Q2);

— для сагиттальной плоскости (передне-заднее направление) характерна обратная связь между сегментами плюсны и сегментами пяток правой и левой ноги (Q1–Q3; Q1–Q4 и аналогично Q2–Q4; Q2–Q3) (рис. 5).

Различные для трех тестов признаки взаимосвязи.

— В тесте № 2 (проба Ромберга ОГ) отмечаем положительную связь в латеральном направлении не только в сегменте плюсны, но и в отношении пяток правой и левой стопы (Q3 и Q4, $r \pm 0,609$), что нехарактерно

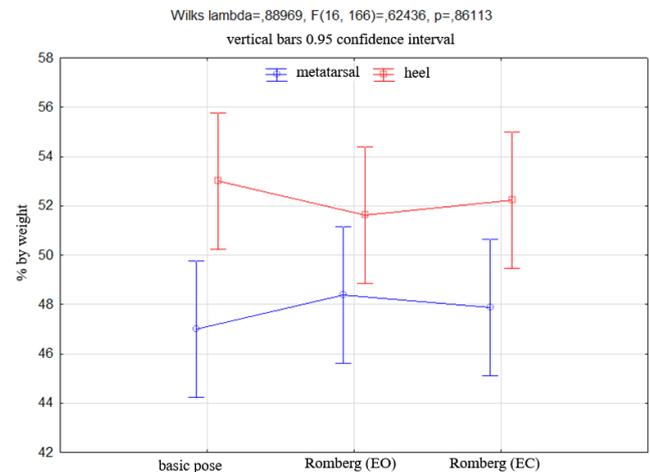


Рис. 4. Показатели распределения центра давления в направлении плюсны — пятки в трех тестах

Fig. 4. Indicators of the distribution of the center of pressure in the direction of the metatarsal — heel in three tests

Таблица 3

Результаты корреляционного анализа между показателями в тесте № 1 «основная стойка»

Table 3

Results of correlation between indicators in test № 1 “basic pose”

	Правая / Right	Левая / Left	Плюсна / Metatarsal	Пятка / Heel	Q1	Q2	Q3	Q4
Правая / Right	1,000	-1,000*	-0,181	0,181	-0,396*	0,065	-0,249	0,491*
Левая / Left		1,000	0,181	-0,181	0,396*	-0,065	0,249	-0,491*
Плюсна / Metatarsal			1,000	-1,000*	0,841*	0,923*	-0,712*	-0,842*
Пятка / Heel				1,000	-0,841*	-0,923*	0,712*	0,842*
Q1					1,000	0,611*	-0,706*	-0,690*
Q2						1,000	-0,656*	-0,776*
Q3							1,000	0,334
Q4								1,000

Примечание: *Наличие корреляционной зависимости на уровне значимости $\alpha \pm 0,05$.

Note: *The presence of correlation dependence at the significance level $\alpha \pm 0.05$.

Таблица 4

Результаты корреляционного анализа между показателями в тесте № 2 «Ромберг с открытыми глазами (ГО)»

Table 4

The results of the correlation analysis between the indicators in test № 2 “Romberg (EO)”

	Правая / Right	Левая / Left	Плюсна / Metatarsal	Пятка / Heel	Q1	Q2	Q3	Q4
Правая / Right	1,000	-1,000*	0,113	-0,113	-0,172	0,350	-0,335	0,058
Левая / Left		1,000	-0,113	0,113	0,171	-0,349	0,335	-0,059
Плюсна / Metatarsal			1,000	-1,000*	0,824*	0,870*	-0,840*	-0,917*
Пятка / Heel				1,000	-0,824*	-0,870*	0,840*	0,917*
Q1					1,000	0,494*	-0,807*	-0,695*
Q2						1,000	-0,645*	-0,865*
Q3							1,000	0,609*
Q4								1,000

Примечание: *Наличие корреляционной зависимости на уровне значимости $\alpha \pm 0,05$.

Note: *The presence of correlation dependence at the significance level $\alpha \pm 0.05$.

Таблица 5

Результаты корреляционного анализа между показателями в тесте № 3 «Ромберг с закрытыми глазами (ГЗ)»

Table 5

The results of the correlation analysis between the indicators in test № 3 “Romberg (EC)”

	Правая / Right	Левая / Left	Плюсна / Metatarsal	Пятка / Heel	Q1	Q2	Q3	Q4
Правая/ Right	1,000	-1,000*	-0,005	0,004	-0,260	0,247	-0,343	0,436*
Левая/ Left		1,000	0,005	-0,004	0,260	-0,247	0,343	-0,436*
Плюсна/ Metatarsal			1,000	-0,995*	0,883*	0,876*	-0,817*	-0,784*
Пятка/ Heel				1,000	-0,889*	-0,866*	0,824*	0,774*
Q1					1,000	0,583*	-0,774*	-0,688*
Q2						1,000	-0,687*	-0,735*
Q3							1,000	0,344
Q4								1,000

Примечание: *Наличие корреляционной зависимости на уровне значимости $\alpha \pm 0,05$.

Note: *The presence of correlation dependence at the significance level $\alpha \pm 0.05$.

для тестов № 1 и 3 (рис. 6). Помимо положительной связи отмечаем наличие отрицательной связи в передне-заднем направлении между сегментами плюсны и пятки. Такой вид взаимосвязи в тесте № 2 мы назвали «сагиттально-параллельный баланс» (sagittal-parallel balance), он представлен на рисунке 8.

— В тесте № 1 (основная стойка) наблюдаем перекрестное взаимодействие в передне-заднем направлении между правой пяткой и левой плюсной. Для такого взаимодействия характерно, что в то время, когда

правая стопа нагружает правую пятку ($Q4, r \pm 0,491$), левая смещает давление на левую плюсну ($Q1, r \pm 0,396$). Такому виду баланса мы дали название «сагиттально-перекрестный баланс» (sagittal-cross balance), схема которого представлена на рисунке 7.

— В тесте № 3 (проба Ромберга ЗГ) взаимосвязь в передне-заднем направлении отличается от тестов № 1 и 2. Для Ромберга ЗГ очевидна прямая зависимость между подошвенным давлением правой стопы и одноименной пятки ($r \pm 0,436$), а с давлением левой стопы — обратная

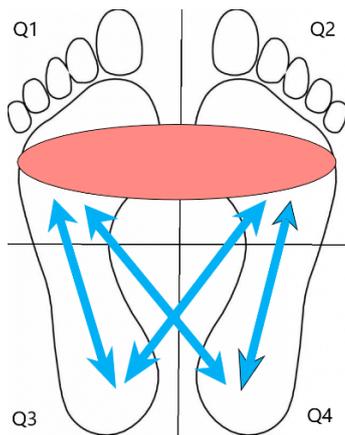


Рис. 5. Схема взаимосвязи между показателями величины давления под правой и левой стопой в трех тестах (эллипс — положительная связь, стрелки — отрицательная связь)
Fig. 5. Figure of the relationship between the pressure values under the right and left foot in three tests (ellipse — positive relationship, arrows — negative relationship)

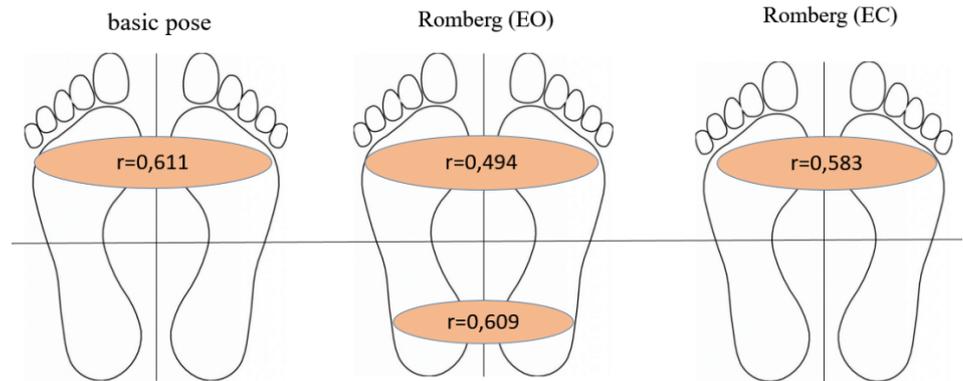


Рис. 6. Схема положительной связи в латеральном направлении в трех тестах
Fig. 6. The scheme of positive communication in the lateral direction in 3 tests

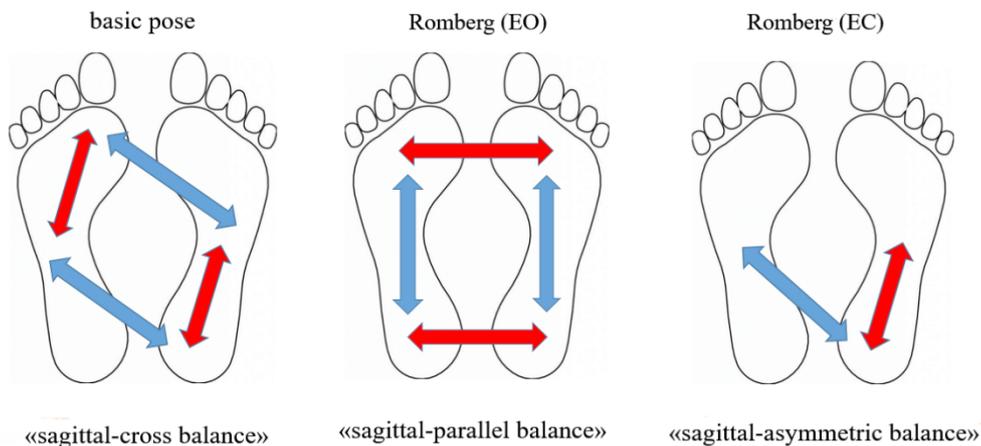


Рис. 7. Схема корреляционной связи между правой и левой стопой и сегментами Q1–Q4 в передне-заднем направлении (красные стрелки — положительная связь, синие — отрицательная связь)
Fig. 7. The scheme of correlation between the right and left foot and segments Q1–Q4 in the anterior-posterior direction (red arrows — positive connection, blue — negative connection)

корреляционная связь ($r \pm -0,343$). Такой вид связи получил название «сагиттально-асимметричный баланс» (sagittal-asymmetric balance) и представлен схемой на рис. 7.

Таким образом, регулирование позой у гимнасток не ограничивается только стандартной схемой взаимодействия: латеральной (между правой — левой стопой) и сагиттальной (между передней — задней частью стопы). Даже в простых для гимнасток балансовых упражнениях мы наблюдаем разнообразные схемы перераспределения подошвенного давления. Такое разнообразие видов регуляции подошвенным давлением в двуногих

позах, на наш взгляд, определяет способность опытных гимнасток осуществлять больший контроль над позой. Это подтверждает общепринятое мнение о том, что гимнастки демонстрируют лучшие навыки по поддержанию пострурального баланса по сравнению с представителями других видов спорта [6, 24–26].

Кроме этого, мы предполагаем наличие характерных мышечных синергий для каждой позы. И это нуждается в проведении дополнительного исследования.

Количественная оценка пострурального колебания проводилась с использованием переменных центра давления (ЦД). Сравнение траектории движения центра

Таблица 6

Показатели траектории центра давления (мм) под правой-левой стопой в пробе Ромберга с открытыми и закрытыми глазами

Table 6

Indicators of the trajectory of the center of pressure (mm) under the right-left foot in the Romberg sample with open and closed eyes

Показатели под левой — правой стопой с открытыми глазами / Indicators under the left — right foot with open gases	Траектория центра давления (Traveled distance), мм		Уровень значимости
	Левая стопа	Правая стопа	<i>p</i>
Проба Ромберга (ОГ) / Romberg (EO)	32,14 ± 15,34	28,22 ± 10,98	> 0,05
Проба Ромберга (ЗГ) / Romberg (EC)	44 ± 18,11	44,09 ± 14,2	> 0,05
Уровень значимости (<i>p</i>)	< 0,001	< 0,001	

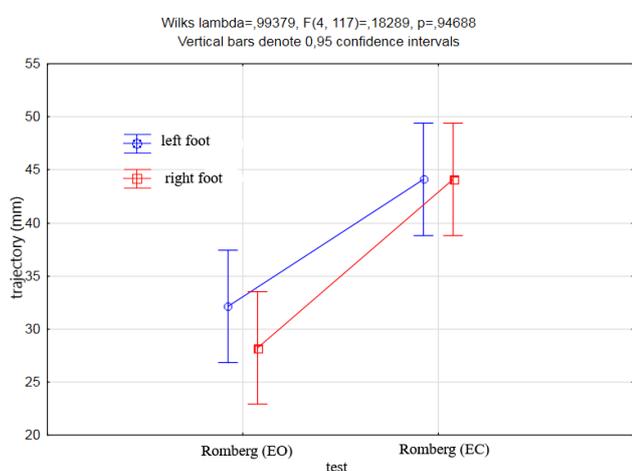


Рис. 8. Показатель траектории движения центра давления под правой и левой стопой в пробе Ромберга с ОГ и ЗГ
Fig. 8. The indicator of the trajectory of the center of pressure under the right and left foot in the Romberg sample with EO and EC

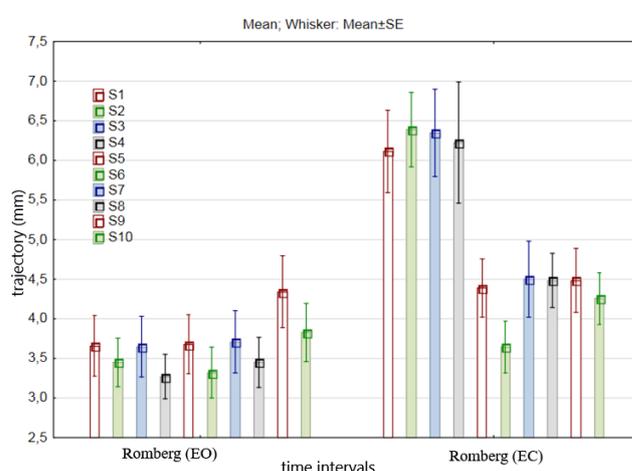


Рис. 9. Траектория движения центра давления в позе Ромберга с ОГ и ЗГ по интервалам
Fig. 9. The trajectory of the pressure center in the Romberg pose with EO and EC at intervals

Таблица 7

Траектория движения центра давления S (мм) в позах с открытыми и закрытыми глазами с интервалами времени от 3 секунды

Table 7

Trajectory of the pressure center S (mm) in poses with open and closed eyes at time intervals of 3 seconds

Интервалы в секундах / Intervals in seconds	Ромберг с открытыми глазами / Romberg (EO)	Ромберг с закрытыми глазами / Romberg (EC)	Уровень значимости <i>p</i>
1 (0–3)	3,66 ± 2,14	6,11 ± 2,89	< 0,0003
2 (3–6)	3,45 ± 1,72	6,39 ± 2,61	< 0,000002
3 (6–9)	3,65 ± 2,14	6,35 ± 3,07	< 0,0001
4 (9–12)	3,27 ± 1,58	6,23 ± 4,26	< 0,0006
5 (12–15)	3,68 ± 2,09	4,39 ± 2,03	> 0,18
6 (15–18)	3,32 ± 1,81	3,65 ± 1,83	> 0,48
7 (18–21)	3,71 ± 2,19	4,50 ± 2,66	> 0,204
8 (21–24)	3,45 ± 1,74	4,48 ± 1,90	< 0,029
9 (24–27)	4,34 ± 2,52	4,48 ± 2,23	> 0,815
10 (27–30)	3,83 ± 2,06	4,26 ± 1,81	> 0,387

давления между правой и левой стопой внутри тестов не выявило значимых отличий, характеризую их сбалансированное участие в сохранении позы (см. табл. 6). Кроме этого, сравнивая оба теста между собой, мы наблюдаем значительное увеличение движения центра давления гимнасток в условиях депривации зрения. Стоит также отметить значительную вариативность полученных результатов (см. рис. 8). Что, вероятно, явилось одной из причин отсутствия различий внутри и между тестами по другим количественным показателям разброса ЦД: SD площади эллипса и его осей (Ellips principal axis, Ellips secondary axis — главной и вторичной).

Для уточнения особенностей пострального колебания гимнасток в зависимости от длительности сохранения позы была выполнена интервальная фиксация количественных показателей движения ЦД. Запись показателей регистрировала изменения положения ЦД в 10 интервалах, продолжительностью каждый 3 секунды.

Отмечаем значительные различия в изменении траектории движения ЦД в тестах с 1 по 4 интервал (см. табл. 7). Через 12 секунд наблюдаем стабилизацию позы с закрытыми глазами, значимо не отличающуюся от позы с открытыми глазами, хотя и имеющую более вариативный характер колебаний ЦД (рис. 9).

Влияние зрения на сохранение позы в спорте неоднократно изучалось исследователями. Определено, что постральные характеристики ухудшались при удалении визуальной информации у представителей разных видов спорта [2, 18, 27]. В нашем исследовании не выявлены значимые отличия между двуногой позой с открытыми и закрытыми глазами у опытных гимнасток. Что согласуется с выводами Asseman et al. (2005), а также Vuillerme et al. (2001 и 2004) о том, что гимнасты значительно меньше зависят от зрения по сравнению

с другими спортсменами [16, 28–30]. Авторы считают, что гимнасты способны смещать сенсомоторное доминирование со зрения на проприоцептивный анализатор. Результаты сравнительного анализа траектории движения ЦД по интервалам в позе с открытыми и закрытыми глазами, полученные в нашем исследовании, это подтверждают. Выявлено, что колебание тела гимнастки значимо увеличивается в позе с закрытыми глазами первые 12 секунд. Последующие интервалы в этих позах не отличаются траекторией движения ЦД. Очевидно, это латентное время связано с «поиском» баланса в условиях депривации зрения и передачи пострального контроля проприоцептивному анализатору. Этот факт можно объяснить тем, что для спортивной тренировки характерно ограничение визуального контроля при выполнении специфических упражнений художественной гимнастики и опытные гимнастки способны эффективно с этим справляться.

4. Выводы

1. Выявлен асимметричный паттерн сохранения равновесия в стойках с опорой на две ноги у опытных гимнасток.

2. Регуляция позы в них происходит преимущественно в передне-заднем направлении — голеностопная стратегия, но имеет ряд особенностей:

— для основной стойки характерен сагиттально-перекрестный баланс;

— для пробы Ромберга ОГ — сагиттально-параллельный баланс;

— для пробы Ромберга ЗГ — сагиттально-асимметричный баланс.

3. Депривация зрения в пробе Ромберга значимо увеличивает траекторию движения центра давления в целом и особенно значимо первые 12 сек.

Authors' contributions:

Liliya A. Konovalova — concept and design of the study, collection and processing of material, writing the article text, editing, approval of the final version of the article.

Radivoj Vasiljev — concept and design of the study, collection and processing of material, statistical data processing, editing.

Liliya G. Lysenko — collection and processing of material, writing the article text, statistical data processing.

All authors have read and agreed with the published version of the manuscript.

Вклад авторов:

Коновалова Лилия Александровна — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста статьи, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи.

Васильев Радивой — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, редактирование.

Лысенко Лилия Геннадьевна — сбор и обработка материала, написание текста статьи, статистическая обработка данных.

Все авторы прочли и согласились с опубликованной версией рукописи.

Список литературы

1. Литвиненко Ю.В., Садовски Е., Нижниковски Т., Болобан В.Н. Статодинамическая устойчивость тела гимнасток высокой квалификации. Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту. 2015;19(1):46–51. <https://doi.org/10.15561/18189172.2015.0109>

2. Boloban V.N. Regulation of body positioning of an athlete. Kyiv: Olympic literature; 2013.

References

1. Litvinenko Y.V., Sadowski J., Niznikowski T., Boloban V.N. Static-dynamic stability of the body gymnasts qualifications. Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports. 2015;19(1):46–51 (In Russ.). <https://doi.org/10.15561/18189172.2015.0109>

2. Boloban V.N. Regulation of body positioning of an athlete. Kyiv: Olympic literature; 2013.

3. **Paillard T.** Sport-Specific Balance Develops Specific Postural Skills. *Sports Med.* 2014;44(7):1019–1020. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0174-x>
4. **Paillard T.** Relationship Between Sport Expertise and Postural Skills. *Front. Psychol.* 2019;10:1428. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01428>
5. **Zemková E.** Sport-specific balance. *Sports Medicine.* 2014;44(5):579–590. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0130-1>
6. **Andreeva A., Melnikov A., Skvortsov D., Akhmerova K., Vavaev A., Golov A., et al.** Postural stability in athletes: The role of sport direction. *Gait Posture.* 2021;89:120–125. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.07.005>
7. **Calavalle A.R., Sisti D., Rocchi M.B.L., Panebianco R., Del Sal M., Stocchi V.** Postural trials: expertise in rhythmic gymnastics increases control in lateral directions. *European journal of applied physiology.* 2008;104(4):643–649. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0815-6>
8. **Gobbi G., Galli D., Carubbi C., Pelosi A., Lillia M., Gatti R., et al.** Assessment of body plantar pressure in elite athletes: an observational study. *Sport Sci. Health.* 2013;9(1):13–18. <https://doi.org/10.1007/s11332-013-0139-8>
9. **Huang P., Liang M., Ren F.** Assessment of Long-Term Badminton Experience on Foot Posture Index and Plantar Pressure Distribution. *Appl. Bionics Biomech.* 2019;2019:8082967. <https://doi.org/10.1155/2019/8082967>
10. **Marcolin G., Grainer A., Reggiani C., Bisiacchi P., Cona G., Petrone N., et al.** Static and Dynamic Postural Changes after a Mountain Ultra-Marathon of 80 km and 5500 D+. *PLoS ONE,* 2016;11(5):e0155085. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155085>
11. **Sobera M., Rutkowska-Kucharska A.** Postural control in female rhythmic gymnasts in selected balance exercises: a study of two cases. *Pol. J. Sport Tour.* 2019; 26(1):3–7. <https://doi.org/10.2478/pjst-2019-0001>
12. **Agopyan A., Örs B.S.** An analysis of variations in body movement difficulty of 2016 Olympic Games rhythmic gymnast candidates. *Int. J. Perform. Anal. Sport.* 2019;19(3):417–434. <https://doi.org/10.1080/24748668.2019.1617017>
13. **Коновалова Л.А., Карпеева Д.А.** Стратегии управления устойчивостью тела в сложных статических равновесиях художественной гимнастики. *Наука и спорт: современные тенденции.* 2019;22(1):139–144.
14. **Крайнова Т.В., Бердичевская Е.М.** Возрастная динамика стабилографических характеристик позной устойчивости юных спортсменок на этапе начальной подготовки в эстетической гимнастике. *Физическая культура, спорт-наука и практика.* 2016;(3):67–72.
15. **Shigaki L., Rabello L.M., Camargo M.Z., Santos V.B. da C., Gil A.W. de O., Oliveira M.R. de, et al.** Comparative analysis of one-foot balance in rhythmic gymnastics athletes. *Rev. Bras. Med. Esporte.* 2013;19:104–107. <https://doi.org/10.1590/S1517-86922013000200006>
16. **Asseman F.B., Caron O., Crémieux J.** Are there specific conditions for which expertise in gymnastics could have an effect on postural control and performance? *Gait Posture.* 2008;27(1):76–81. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.01.004>
17. **Blenkinsop G.M., Pain M.T., Hiley M.J.** Balance control strategies during perturbed and unperturbed balance in standing and handstand. *R. Soc. Open Sci.* 2017;4(7):161018. <https://doi.org/10.1098/rsos.161018>
18. **Isableu B., Hlavackova P., Diot B., Vuillerme N.** Regularity of center of pressure trajectories in expert gymnasts dur-
3. **Paillard T.** Sport-Specific Balance Develops Specific Postural Skills. *Sports Med.* 2014;44(7):1019–1020. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0174-x>
4. **Paillard T.** Relationship Between Sport Expertise and Postural Skills. *Front. Psychol.* 2019;10:1428. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01428>
5. **Zemková E.** Sport-specific balance. *Sports Medicine.* 2014;44(5):579–590. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0130-1>
6. **Andreeva A., Melnikov A., Skvortsov D., Akhmerova K., Vavaev A., Golov A., et al.** Postural stability in athletes: The role of sport direction. *Gait Posture.* 2021;89:120–125. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.07.005>
7. **Calavalle A.R., Sisti D., Rocchi M.B.L., Panebianco R., Del Sal M., Stocchi V.** Postural trials: expertise in rhythmic gymnastics increases control in lateral directions. *European journal of applied physiology.* 2008;104(4):643–649. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0815-6>
8. **Gobbi G., Galli D., Carubbi C., Pelosi A., Lillia M., Gatti R., et al.** Assessment of body plantar pressure in elite athletes: an observational study. *Sport Sci. Health.* 2013;9(1):13–18. <https://doi.org/10.1007/s11332-013-0139-8>
9. **Huang P., Liang M., Ren F.** Assessment of Long-Term Badminton Experience on Foot Posture Index and Plantar Pressure Distribution. *Appl. Bionics Biomech.* 2019;2019:8082967. <https://doi.org/10.1155/2019/8082967>
10. **Marcolin G., Grainer A., Reggiani C., Bisiacchi P., Cona G., Petrone N., et al.** Static and Dynamic Postural Changes after a Mountain Ultra-Marathon of 80 km and 5500 D+. *PLoS ONE,* 2016;11(5):e0155085. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155085>
11. **Sobera M., Rutkowska-Kucharska A.** Postural control in female rhythmic gymnasts in selected balance exercises: a study of two cases. *Pol. J. Sport Tour.* 2019; 26(1):3–7. <https://doi.org/10.2478/pjst-2019-0001>
12. **Agopyan A., Örs B.S.** An analysis of variations in body movement difficulty of 2016 Olympic Games rhythmic gymnast candidates. *Int. J. Perform. Anal. Sport.* 2019;19(3):417–434. <https://doi.org/10.1080/24748668.2019.1617017>
13. **Konvalova L.A., Karpeeva D.A.** Strategies of body stability control in complex static balances of rhythmic gymnastics. *Nauka i sport: sovremennye tendentsii = Science and sport: current trends.* 2019;22(1):139–144 (In Russ.).
14. **Kraynova T.T., Berdichevskaya E.M.** Stabilographic characteristics of the sports posture in view of the sportswomen functional asymmetry at the stage of basic training in aesthetic gymnastics. *Fizicheskaya kul'tura, sport — nauka i praktika = Physical Culture, Sport — Science and Practice.* 2016;(3):67–72 (In Russ.).
15. **Shigaki L., Rabello L.M., Camargo M.Z., Santos V.B. da C., Gil A.W. de O., Oliveira M.R. de, et al.** Comparative analysis of one-foot balance in rhythmic gymnastics athletes. *Rev. Bras. Med. Esporte.* 2013;19:104–107. <https://doi.org/10.1590/S1517-86922013000200006>
16. **Asseman F.B., Caron O., Crémieux J.** Are there specific conditions for which expertise in gymnastics could have an effect on postural control and performance? *Gait Posture.* 2008;27(1):76–81. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.01.004>
17. **Blenkinsop G.M., Pain M.T., Hiley M.J.** Balance control strategies during perturbed and unperturbed balance in standing and handstand. *R. Soc. Open Sci.* 2017;4(7):161018. <https://doi.org/10.1098/rsos.161018>
18. **Isableu B., Hlavackova P., Diot B., Vuillerme N.** Regularity of center of pressure trajectories in expert gymnasts dur-

ing bipedal closed-eyes quiet standing. *Front. Hum. Neurosci.* 2017;11:317. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00317>

19. **Назаренко А.С.** СтатокINETическая устойчивость спортсменов различных специализаций. Казань: Олитех; 2018.

20. **Vasiljev R., Vasiljeva I.** Mechanism of pose regulation and distribution characteristics under feet in air-gun shooters. *Footwear Sci.* 2009;1(sup1):67–69. <https://doi.org/10.1080/19424280902977343>

21. **Vasiljev R., Rubin P., Vasiljev I.A., Milosavljevic S.** Level of stability and load feet in female and male basketball players before and after trainings. In: *Proceedings of XXIVrd ISB Congress in Natal–Brazil* [internet]; 2013. Available at: <https://media.isbweb.org/images/conferences/isb-congresses/2013/poster/ps1-16f.pdf>

22. **Azevedo R.R., da Rocha E.S., Franco P.S., Carpes F.P.** Plantar pressure asymmetry and risk of stress injuries in the foot of young soccer players. *Phys. Ther. Sport.* 2017; 24:39–43. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2016.10.001>

23. **Замчий Т.П., Ложкина-Гамецкая Н.И., Спатаева М.Х.** Асимметрия в поддержании вертикальной позы у спортсменов разных специализаций. *Современные проблемы науки и образования.* 2014;(3):610.

24. **Busquets A., Ferrer-Uris B., Angulo-Barroso R., Federolf P.** Gymnastics Experience Enhances the Development of Bipedal-Stance Multi-Segmental Coordination and Control During Proprioceptive Reweighting. *Front. Psychol.* 2021;12:661312. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.661312>

25. **García C., Barela J., Viana A., Barela A.** Influence of gymnastics training on the development of postural control. *Neurosci. Lett.* 2011;492:29–32. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2011.01.047>

26. **Guimaraes-Ribeiro D., Hernández-Suárez M., Rodríguez-Ruiz D., García-Manso J.M.** Efecto del entrenamiento sistemático de gimnasia rítmica sobre el control postural de niñas adolescentes. *Rev. Andal. Med. Deporte.* 2015;8(2):54–60. <https://doi.org/10.1016/j.ramd.2014.11.001>

27. **Rodrigues S.T., Gotardi G.C., Aguiar S.A.** Effects of Vision on Postural Control in Neurologically Healthy Individuals. In: **Barbieri F.A., Vityrio R.** *Locomotion and Posture in Older Adults: The Role of Aging and Movement Disorders.* Cham: Springer International Publishing; 2017, c. 219–236. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48980-3_15

28. **Asseman F., Caron O., Crémieux J.** Effects of the Removal of Vision on Body Sway During Different Postures in Elite Gymnasts. *Int. J. Sports Med.* 2005;26(2):116–119. <https://doi.org/10.1055/s-2004-830529>

29. **Vuillerme N., Nougier V.** Attentional demand for regulating postural sway: the effect of expertise in gymnastics. *Brain Res. Bull.* 2004;63(2):161–165. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2004.02.006>

30. **Vuillerme N., Teasdale N., Nougier V.** The effect of expertise in gymnastics on proprioceptive sensory integration in human subjects. *Neurosci. Lett.* 2001; 311(2):73–76. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(01\)02147-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(01)02147-4)

ing bipedal closed-eyes quiet standing. *Front. Hum. Neurosci.* 2017;11:317. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00317>

19. **Nazarenko A.S.** Statokinetic stability of athletes of various specializations. Kазan: Olitech Publ.; 2018 (In Russ.).

20. **Vasiljev R., Vasiljeva I.** Mechanism of pose regulation and distribution characteristics under feet in air-gun shooters. *Footwear Sci.* 2009;1(sup1):67–69. <https://doi.org/10.1080/19424280902977343>

21. **Vasiljev R., Rubin P., Vasiljev I.A., Milosavljevic S.** Level of stability and load feet in female and male basketball players before and after trainings. In: *Proceedings of XXIVrd ISB Congress in Natal–Brazil* [internet]; 2013. Available at: <https://media.isbweb.org/images/conferences/isb-congresses/2013/poster/ps1-16f.pdf>

22. **Azevedo R.R., da Rocha E.S., Franco P.S., Carpes F.P.** Plantar pressure asymmetry and risk of stress injuries in the foot of young soccer players. *Phys. Ther. Sport.* 2017; 24:39–43. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2016.10.001>

23. **Zamchiy T.P., Lozhkina-Gametskaya N.I., Spataeva M.Kh.** Asymmetry in maintaining an upright posture in athletes of different specializations. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education.* 2014;(3):610 (In Russ.).

24. **Busquets A., Ferrer-Uris B., Angulo-Barroso R., Federolf P.** Gymnastics Experience Enhances the Development of Bipedal-Stance Multi-Segmental Coordination and Control During Proprioceptive Reweighting. *Front. Psychol.* 2021;12:661312. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.661312>

25. **García C., Barela J., Viana A., Barela A.** Influence of gymnastics training on the development of postural control. *Neurosci. Lett.* 2011;492:29–32. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2011.01.047>

26. **Guimaraes-Ribeiro D., Hernández-Suárez M., Rodríguez-Ruiz D., García-Manso J.M.** Efecto del entrenamiento sistemático de gimnasia rítmica sobre el control postural de niñas adolescentes. *Rev. Andal. Med. Deporte.* 2015;8(2):54–60. <https://doi.org/10.1016/j.ramd.2014.11.001>

27. **Rodrigues S.T., Gotardi G.C., Aguiar S.A.** Effects of Vision on Postural Control in Neurologically Healthy Individuals. In: **Barbieri F.A., Vityrio R.** *Locomotion and Posture in Older Adults: The Role of Aging and Movement Disorders.* Cham: Springer International Publishing; 2017, c. 219–236. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48980-3_15

28. **Asseman F., Caron O., Crémieux J.** Effects of the Removal of Vision on Body Sway During Different Postures in Elite Gymnasts. *Int. J. Sports Med.* 2005;26(2):116–119. <https://doi.org/10.1055/s-2004-830529>

29. **Vuillerme N., Nougier V.** Attentional demand for regulating postural sway: the effect of expertise in gymnastics. *Brain Res. Bull.* 2004;63(2):161–165. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2004.02.006>

30. **Vuillerme N., Teasdale N., Nougier V.** The effect of expertise in gymnastics on proprioceptive sensory integration in human subjects. *Neurosci. Lett.* 2001; 311(2):73–76. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(01\)02147-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(01)02147-4)

Информация об авторах:

Коновалова Лилия Александровна*, к.пед.н., доцент кафедры теории и методики гимнастики ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Россия, 420010, Казань, Деревня Универсиады, 35. ORCID: <https://0000-0001-8313-1257> (lilykonovalov@yandex.ru)

Васильев Радивой, к.пед.н., старший научный сотрудник лаборатории биомеханики спорта научно-исследовательского института физической культуры и спорта ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Россия, 420010, Казань, Деревня Универсиады, 35. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6563-0199> (radivojv@gmail.com)

Лысенко Лилия Геннадьевна, магистрант института физической культуры ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Россия, 420010, Казань, Деревня Универсиады, 35 (lilya_lysenko_99@mail.ru)

Information about the authors:

Liliya A. Konovalova*, Ph.D. (Pedagogy), Associate Professor of the department of theory and methods of gymnastics, Volga Region State University of Physical Culture, Sport and Tourism, 35, Universiade Village, Kazan, 420010, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8313-1257> (lilykonovalov@yandex.ru)

Radivoj Vasiljev, Ph.D. (Pedagogy), Senior Researcher of the Educational and Scientific Center for the Training of Sports Reserve, Volga Region State University of Physical Culture, Sport and Tourism, 35, Universiade Village, Kazan, 420010, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-00026563-0199> (radivojv@gmail.com)

Liliya G. Lysenko, master's student of the Institute of Physical Culture, Volga Region State University of Physical Culture, Sport and Tourism, 35, Universiade Village, Kazan, 420010, Russia (lilya_lysenko_99@mail.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author