Дата публикации: 01.12.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_04_17
УДК 615.849.1

Publication date: 01.12.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_04_17
UDC 615.849.1

СПЕЦИФИКА ПОСТУРАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ СПОРТОМ, С УЧЕТОМ ВОЗРАСТНЫХ И ВЕГЕТАТИВНЫХ АСПЕКТОВ

А.С. Назаренко, Ф.А. Мавлиев
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», г. Казань, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Постуральный контроль является одним из ключевых компонентов моторного развития ребенка, обеспечивая устойчивость и координацию движений в процессе активного роста. Цель работы – оценить возрастную динамику вегетативной регуляции и постурального контроля у спортсменов, а также наличие взаимосвязи между автономной регуляцией и устойчивостью позы. ***Методы.*** Были обследованы спортсмены и не спортсмены в возрасте от 7 до 19 лет в количестве 110 человек, у которых производилась оценка показателей вариабельности ритма сердца и стабилометрических параметров постурального контроля. ***Результаты.*** Корреляционные зависимости между автономной регуляцией и постуральным контролем различаются в исследуемых группах. Результаты дискриминантного анализа подтвердили наличие объективных различий между спортсменами и не спортсменами по совокупности исследуемых параметров. ***Заключение***. Возрастная динамика вегетативного обеспечения имеет различную направленность у спортсменов и не спортсменов. У не спортсменов с возрастом наблюдается рост доли низкочастотного компонента в спектре вариабельности сердечного ритма, что указывает на постепенное усиление симпатического влияния. Постуральный контроль демонстрирует отчетливое возрастное улучшение у спортсменов, тогда как у не спортсменов подобная динамика отсутствует.
Ключевые слова: вариабельность ритма сердца, адаптация, постуральный контроль, сенсорные системы, возраст, спортсмены.

POSTURAL CONTROL IN CHILDREN AND ADOLESCENTS INVOLVED IN SPORTS, TAKING INTO ACCOUNT AGE AND AUTONOMIC ASPECTS

A.S. Nazarenko, F.A. Mavliev
Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Postural control is a key component of a child's motor development, ensuring stability and coordination of movements during active growth. The aim of the study was to evaluate the age-related dynamics of autonomic regulation and postural control in athletes, as well as the relationship between autonomic regulation and postural stability. ***Methods.*** A total of 110 athletes and non-athletes aged 7 to 19 years were examined, and heart rate variability and stabilometric parameters of postural control were assessed. ***Results.*** The correlation between autonomic regulation and postural control differed between the study groups. The results of discriminant analysis confirmed the presence of objective differences between athletes and non-athletes in the set of studied parameters. ***Conclusion.*** The age-related dynamics of autonomic support has different directions in athletes and non-athletes. In non-athletes, the low-frequency component in the heart rate variability spectrum increases with age, indicating a gradual strengthening of the sympathetic influence. Postural control shows a clear age-related improvement in athletes, while no such dynamics are observed in non-athletes.
Keywords: heart rate variability, adaptation, postural control, sensory systems, age, athletes.

Введение. Постуральный контроль является одним из ключевых компонентов моторного развития ребенка, обеспечивая устойчивость и координацию движений в процессе активного роста. Развитие этой функции связано с постепенным созреванием центральной нервной системы и согласованным взаимодействием проприоцептивной, зрительной и вестибулярной систем [1]. Исследования показывают, что возрастные изменения, протекающие в растущем организме, существенно влияют на показатели постурального контроля, и их влияние носит нелинейный характер.

Например, показано, что по мере взросления ребенка отмечается качественный переход в стратегии постурального контроля: дети уходят от преимущественно баллистических, открытых коррекций (open-loop), характерных для 4-7 лет, к более медленным и точным сенсорно-управляемым (closed-loop) корректировкам. Типы коррекции open-loop и closed-loop относят к разным стратегиям поддержания позы, где первая – неточная и опирается на команды с минимумом обратной вязи (свойственна детям до 8 лет), а вторая учитывает обратную связь и постоянно вносит корректировки в ходе поддержания позы и является более точной [2]. В дальнейшем наблюдается интеграция обоих режимов, приближающаяся ко взрослому типу постурального контроля. При этом исследования показывают, что в детском возрасте наблюдаются периоды интенсивного улучшения способности к поддержанию равновесия, которые наиболее выражены между 6-7 и 8-9 годами, отмечается большая зависимость от зрительной информации для удержания позы, что указывает, по всей видимости, на незавершенность интеграции сенсорных систем [3]. По мере созревания организма происходят постепенное снижение роли зрительного контроля и формирование более сбалансированного сенсорного вклада сенсорных систем, характерного для взрослого человека [4].

Актуальность исследований, посвященных изучению развития постурального контроля важно не только для понимания физиологии детского организма, но и для практического применения, в частности в области спорта. Так, современные данные показывают, что индивидуальная вариативность и постепенная интеграция сенсорных сигналов формируют основу для будущей адаптивности движений [5]. В связи с этим данные знания активно применяются в спортивной практике, где тренеры используют упражнения на равновесие для ускорения формирования моторных навыков у детей и подростков. В клинической же сфере постуральный контроль рассматривается как важный показатель в процессе реабилитации, отражающий восстановление двигательных функций [6].

Несмотря на множество исследований, малочисленно работ, посвященных одновременному исследованию особенностей постурального контроля и вегетативной регуляции у здоровых людей с учетом наличия или отсутствия опыта спортивной деятельности. Анализ литературы показал лишь наличие работ у лиц с различными патологиями, например, рассматривающих постуральный контроль и особенности вегетативного обеспечения у лиц с болезнью Паркинсона [7] или у детей-больных [8].

Применение комплексного анализа вегетативного статуса и особенностей постурального контроля позволит более детально раскрыть механизмы становления функции равновесия тела на фоне различных особенностей функционирования вегетативной нервной системы.

Цель работы – оценить возрастную динамику вегетативной регуляции и постурального контроля у спортсменов, а также наличие взаимосвязи между автономной регуляцией и устойчивостью позы.

Методы и организация исследования. Исследование проходило на базе Научно-исследовательского института физической культуры и спорта Поволжского государственного университета физической культуры, спорта и туризма. Были обследованы спортсмены и не спортсмены в возрасте от 7 до 19 лет в количестве 110 человек (табл. 1).

Таблица 1

Обследованные спортсмены и не спортсмены в возрасте от 7 до 19 лет, n=110

Вид исследуемых	Возраст, лет													Всего
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Спортсмены	1	1	1	5	6	5	2	6	6	2	3	3	4	45
Не спортсмены	0	4	5	8	6	6	6	10	6	3	0	3	8	65
Всего	1	5	6	13	12	11	8	16	12	5	3	6	12	110

Производилась запись показателей вариабельности ритма сердца с помощью системы «Нейрософт» со спектральным анализом вариабельности ритма сердца с выделением спектров VLF (Very Low Frequency – крайне низкая частота) 0,0033-0,04 Гц; LF (Low Frequency – низкая частота) 0,04-0,15 Гц; HF (High Frequency – высокая частота) 0,15-0,4 Гц.

Оценка постуральной устойчивости проведена на стабилоплатформе с биологической обратной связью «Стабилан-01» ЗАО ОКБ «Ритм» (г. Таганрог) с помощью пробы Ромберга (тест «открытые и закрытые глаза»): Q_X, мм – разброс по фронтальной плоскости; Q_Y, мм – разброс по сагиттальной плоскости; R (средний разброс), мм – средний радиус отклонения центра давления; V_{CP}, мм/с – средняя линейная скорость колебания центра давления; V_S, мм^2/с – показатель характеризует среднеамплитудную скорость изменения площади статокинезиограммы; S_{ELLS}, мм^2 – площадь доверительного эллипса статокинезиограммы характеризует рабочую площадь опоры человека; IV (индекс скорости), усл.ед. – средняя скорость изменения положения центра давления обследуемого за время исследования; OD (оценка движения), усл.ед. – характеризует показатели «длина кривой» и «средний разброс», которые при уменьшении показывают улучшения качества функции равновесия: КФР, % – качество функции равновесия, оценивает, насколько минимальна скорость колебания центра давления при поддержании вертикальной позы. Выполнялась классическая проба Ромберга: вертикальная стойка на платформе сначала с открытыми глазами, а затем с закрытыми. Статистическая обработка данных проводилась с помощью программы SPSS 20. Корреляционный анализ проводился по методу Бравэ-Пирсона или Спирмена (в зависимости от характера распределения значений в выборке). Различия считали статистически значимыми при $p<0,05$. Для определения дискриминирующих признаков для групп спортсменов и не спортсменов был выполнен дискриминантный анализ. Показатели особенностей вегетативной регуляции сердца перед корреляционным анализом были оцифрованы: HF – 1, LF – 2 и VLF – 3.

Результаты исследования и их обсуждение. В ходе исследования обнаружено, что у спортсменов стабилографические показатели постуральной устойчивости, как правило, значимо выше, чем у не занимающихся спортом. Это проявляется в лучших показателях качества функции равновесия (выше у спортсменов), средней линейной скорости центра давления (ниже у спортсменов) и площади статокинезиограммы (ниже у спортсменов, табл. 2). При этом мы наблюдаем линейный характер улучшения постурального контроля у спортсменов, который проявляется в классических стабилометрических показателях. В то же время не спортсмены 13-16 лет имели тенденцию к лучшим показателям средней линейной скорости центра давления и площади статокинезиограммы по сравнению с 17-21-летними.

Таблица 2

Стабилографические показатели постуральной устойчивости

Категории исследуемых	КФР, %	V_{CP}, мм/с	S_{ELSS}, мм^2
Спортсмены 8-12	75,87±10,11	10,78±2,72	134,44±71,81
Спортсмены 13-16	85,48±7,27	8,10±2,16	62,40±21,54
Спортсмены 17-21	90,16±2,16	4,39±1,28	65,06±10,51
Не спортсмены 8-12	70,18±10,37	13,11±4,87	229,04±119,38
Не спортсмены 13-16	68,60±16,64	8,61±2,62	153,38±101,55
Не спортсмены 17-21	77,87±8,48	10,31±2,49	167,40±100,67

Примечание: КФР, % – качество функции равновесия; V_{CP}, мм/с – средняя линейная скорость колебания центра давления; S_{ELLS}, мм^2 – площадь доверительного эллипса статокинезиограммы характеризует рабочую площадь опоры человека.

Таблица 3

Статистическая значимость стабилографических показателей постуральной устойчивости

Категории исследуемых	Группы сравнения	P<		
		КФР, %	V_{CP}, мм/с	S_{ELSS}, мм^2
Спортсмены 8-12	С 13-16	0,01	0,02	0,02
	С 17-21	0,00	0,00	0,05
	НС 8-12	0,08	0,02	0,00
	НС 13-16	0,04	0,03	0,50
	НС 17-21	0,64	0,71	0,34
Спортсмены 13-16	С 8-12	0,01	0,02	0,02
	С 17-21	0,30	0,01	0,94
	НС 8-12	0,00	0,00	0,00
	НС 13-16	0,00	0,64	0,00
	НС 17-21	0,08	0,09	0,00
Спортсмены 17-21	С 8-12	0,00	0,00	0,05
	С 13-16	0,30	0,01	0,94
	НС 8-12	0,00	0,00	0,00
	НС 13-16	0,00	0,00	0,01
	НС 17-21	0,01	0,00	0,01
Не спортсмены 8-12	С 8-12	0,08	0,02	0,00
	С 13-16	0,00	0,00	0,00
	С 17-21	0,00	0,00	0,00
	НС 13-16	0,60	0,00	0,00
	НС 17-21	0,05	0,02	0,06
Не спортсмены 13-16	С 8-12	0,04	0,03	0,50
	С 13-16	0,00	0,64	0,00
	С 17-21	0,00	0,00	0,01
	НС 8-12	0,60	0,00	0,00
	НС 17-21	0,02	0,16	0,67
Не спортсмены 17-21	С 8-12	0,64	0,71	0,34
	С 13-16	0,08	0,09	0,00
	С 17-21	0,01	0,00	0,01
	НС 8-12	0,05	0,02	0,06
	НС 13-16	0,02	0,16	0,67

Примечание: С – спортсмены; НС – не спортсмены; КФР, % – качество функции равновесия; V_{CP}, мм/с – средняя линейная скорость колебания центра давления; S_{ELLS}, мм^2 – площадь доверительного эллипса статокинезиограммы характеризует рабочую площадь опоры человека.

В группе спортсменов тип вегетативного обеспечения не коррелировал с возрастом (r=0,2, при p>0,05), тогда как у не спортсменов отмечалась умеренная корреляция (r=0,43 при p<0,05), что выражалось в более частом доминировании LF-частоты у старших возрастных групп. Это, возможно, обусловлено наличием нивелирующего эффекта повышенной двигательной активности на возрастную специфику вегетативной регуляции сердечной деятельности. Характерную динамику повышения LF-компоненты спектра в ритме сердца для здоровых детей отмечали и другие исследователи, которые показали увеличение вклада симпатической активности по мере взросления у здоровых детей [9]. Другие исследователи показали, что повышенная физическая активность была больше ассоциирована со вкладом парасимпатической системы [10]. По всей видимости, это и привело к активации парасимпатической компоненты у спортсменов, особенно старших возрастных групп, и, как следствие, – отсутствие ожидаемого у здоровых детей повышения симпатической активности с возрастом (рис. 1).

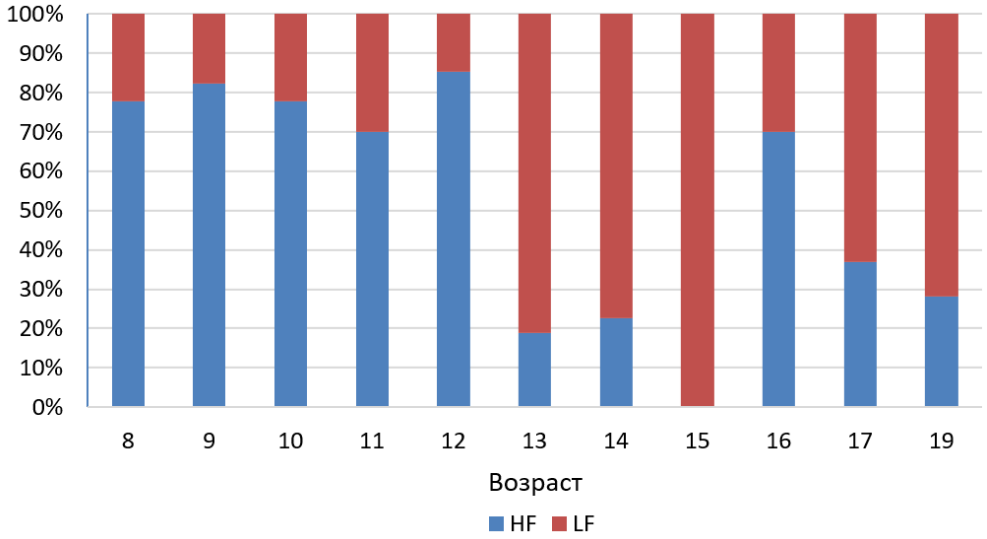


Рис. 1. Особенности возрастного распределения высокочастотного (HF) и низкочастотного (LF) компонентов спектра в вариабельности сердечного ритма у спортсменов

Анализ результатов постурального контроля выявил значимую разнонаправленную корреляцию большинства исследуемых показателей с возрастом. При этом только в группе спортсменов отмечалось статистически значимое возрастное улучшение интегрального показателя постурального контроля – КФР (рис. 2). Так, при открытых глазах коэффициент корреляции с возрастом составил r=0,68 (p<0,01), а при закрытых – r=0,74 (p<0,001). В группе не спортсменов статистически значимая корреляция отсутствовала. Для группы спортсменов характерным было отсутствие корреляции типа регуляции сердечного ритма и постурального баланса. Возможно связи между этими системами нивелируются при занятиях спортом. В группе не спортсменов тип регуляции имел умеренные отрицательные связи с показателем площади доверительного эллипса r=-0,38 (p=0,002), т.е. большая активность симпатического контура регуляции была ассоциирована с лучшей устойчивостью.

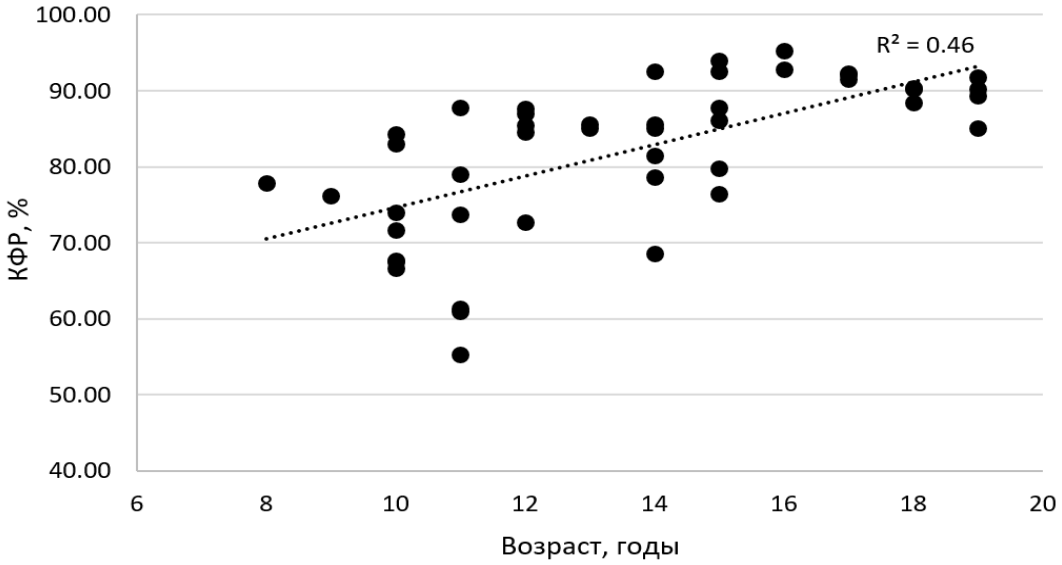


Рис. 2. Динамика взаимосвязи качества функции равновесия (КФР) с возрастом у спортсменов

В ходе дискриминантного анализа были выявлены дискриминирующие показатели, разделяющие спортсменов и не спортсменов. Полученная модель успешно разделяет исследованные группы. Группа не спортсменов, в отличие от спортсменов, характеризуется более низким качеством функции равновесия тела, большей площадью эллипса статокинезиограммы и большей скоростью изменения площади давления.

Ключевые переменные, которые отличали спортсменов от не спортсменов – это КФР, S_{ELLS}, V_S. В ходе использования дискриминантной модели спортсмены были выявлены в 95,7% случаев (45 из 47 случаев правильно классифицированы), а не спортсмены – в 94,0% случаев (63 из 67 случаев правильно классифицированы).

Полученные центроиды групп позволяют условно разделить исследуемых по показателям постуральной устойчивости на спортсменов и не спортсменов. Так, если рассчитанная D<-0,185, то испытуемый классифицируется в группу спортсменов (центроид группы спортсменов -1,24 со стандартным отклонением 0,94), а если рассчитанный D>-0,185, то испытуемый классифицируется в не спортсменов (центроид группы не спортсменов 0,871 со стандартным отклонением 1). Пороговое значение -0,185 рассчитано как среднее арифметическое от центроидов групп: (-1,241 + 0,871) / 2 = = -0,185. Это может в дальнейшем позволить дифференцировать занимающихся по степени развития функциональной готовности постуральной системы с помощью дискриминантной функции с использованием нестандартизированных коэффициентов: D = 1,837 – 0,233 Q_X (тест «открытые глаза») + 0,113 Q_X (тест «закрытые глаза») – 0,008 Q_Y (тест «открытые глаза») + 0,347 Q_Y (тест «закрытые глаза») – 0,080 R (тест «открытые глаза) – 0,148 R (тест «закрытые глаза») – 0,116 V_{CP} (тест «открытые глаза») + 0,000 V_{CP} (тест «закрытые глаза») + 0,083 V_S (тест «открытые глаза») – 0,030 V_S (тест «закрытые глаза») + 0,004 S_{ELLS} (тест «закрытые глаза») + 0,001 S_{ELLS} (тест «открытые глаза») + 0,243 IV (тест «открытые глаза») – 0,346 IV (тест «закрытые глаза») + 0,292 IV (разница между тестом «открытые и закрытые глаза») – 0,006 OD (тест «открытые глаза») + 0,018 OD (тест «закрытые глаза») + 0,043 КФР (тест «открытые глаза») – 0,084 КФР (тест «закрытые глаза»).

Данная функция является пилотной и требует проверки на больших объемах выборки и дальнейшей валидизации.

Заключение. Проведенное исследование показало, что возрастная динамика вегетативного обеспечения имеет различную направленность у спортсменов и не спортсменов. У не спортсменов с возрастом наблюдается рост доли низкочастотного компонента LF в спектре вариабельности сердечного ритма, что указывает на постепенное усиление симпатического влияния. Постуральный контроль демонстрирует отчетливое возрастное улучшение у спортсменов, тогда как у не спортсменов подобная динамика отсутствует. Корреляционные зависимости между автономной регуляцией и постуральным контролем различаются в исследуемых группах: у не спортсменов выявлена умеренная отрицательная связь между симпатическим типом регуляции и площадью доверительного эллипса, что может указывать на участие симпатического звена в обеспечении устойчивости позы. Результаты дискриминантного анализа подтвердили наличие объективных различий между спортсменами и не спортсменами по совокупности постуральных показателей. Созданная дискриминантная модель позволила с хорошей точностью (95-96%) классифицировать по категориям «спортсмен» и «не спортсмен», что указывает на диагностическую значимость комплексной стабилометрической оценки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Orendorz-Frączkowska, K. The development of postural control in 6-17 old years' healthy children. Part I Postural control evaluation in modified Clinical Test for The Sensory Interaction on Balance in 6-17 old year children (mCTSIB) / K.

Orendorz-Frączkowska, M. Kubacka // Polish Journal of Otolaryngology. – 2020. – Vol. 74. – No. 1. – P. 29-35.
2. Riach, C.L. Velocity of center of pressure excursions as an indicator of postural control systems in children / C.L. Riach, J.L. Starkes // Gait & Posture. – 1994. – Vol. 2. – No. 3. – P. 167-172.
3. Nouraeinejad, A. Children rely more profoundly on the visual system to control their posture than adults / A. Nouraeinejad // International Journal of Neuroscience. – 2025. – Vol. 135. – No. 5. – P. 521-523.
4. Body schema building during childhood and adolescence: a neurosensory approach / C. Assaiante, F. Barlaam, F. Cignetti, M. Vaugoyeau // Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology. – 2014. – Vol. 44. – No. 1. – P. 3-12.
5. Hadders-Algra, M. Early human motor development: From variation to the ability to vary and adapt / M. Hadders-Algra // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. – 2018. – Vol. 90. – P. 411-427.
6. You, S. Association of postural instability with autonomic dysfunction in early Parkinson's disease / S. You, H.A. Kim, H. Lee // Journal of Clinical Medicine. – 2020. – Vol. 9. – No. 11. – P. 3786.
7. Association between cardiac autonomic control and postural control in patients with Parkinson's disease / Y. Espinoza-Valdés, R. Córdova-Arellano, M. Espinoza-Espinoza [et al.] // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2021. – Vol. 18. – No. 1. – P. 249.
8. Effects of parent-delivered traditional thai massage on gait and heart rate variability in children with autism: a randomized controlled trial / H. Ruan, W. Eungpinichpong, H. Wu, C. Aonsri // Journal of Integrative and Complementary Medicine. – 2024. – Vol. 30. – No. 3. – P. 269-278.
9. Heart rate variability in normotensive healthy children with aging / N. Kazuma, K. Otsuka, K. Wakamatsu [et al.] // Clinical and experimental hypertension. – 2002. – Vol. 24. – No. 1-2. – P. 83-89.
10. Physical activity is associated with cardiac autonomic function in adolescent men / J. Tornberg, T.M. Ikäheimo, A. Kiviniemi [et al.] // PLoS One. – 2019. – Vol. 14. – No. 9. – P. 1-10.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Андрей Сергеевич Назаренко – кандидат биологических наук, доцент, проректор по научной работе и международной деятельности, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Казань, e-mail: hard@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-3067-8395.
Фанис Азгатович Мавлиев – кандидат биологических наук. старший научный сотрудник НИИ физической культуры и спорта, доцент кафедры медико-биологических дисциплин ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Казань, e-mail: fanis16rus@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8981-7583.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Andrej S. Nazarenko – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Research and International Activities, Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, e-mail: hard@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-3067-8395.
Fanis A. Mavliev – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Research Institute of Physical Culture and Sports, Associate Professor of the Department of Biomedical Disciplines, Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, e-mail: fanis16rus@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8981-7583.

Для цитирования: Назаренко, А.С. Специфика постурального контроля у детей и подростков, занимающихся спортом, с учетом возрастных и вегетативных аспектов / А.С. Назаренко, Ф.А. Мавлиев // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 4(34). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_04_17

For citation: Nazarenko A.S., Mavliev F.A. Postural control in children and adolescents involved in sports, taking into account age and autonomic aspects. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. 4(34). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_04_17