Дата публикации: 01.06.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_31
УДК 796; 612.6

Publication date: 01.06.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_31
UDC 796; 612.6

ДИНАМИКА СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРТИКАЛЬНОГО БАЛАНСА ТЕЛА У ДЕТЕЙ-СПОРТСМЕНОВ В ТЕСТАХ С ПОВЫШЕНИЕМ НАГРУЗКИ

И.Е. Никитюк
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Представлены результаты внедрения стабилометрического метода в сочетании с анализом спектра частот вертикального баланса тела для оценки параметров постуральной системы у 20 детей в возрасте от 7 до 10 лет, регулярно занимающихся легкой атлетикой. В группу контроля вошли 18 детей того же возраста, не имеющих отношения к спорту. Результаты спектрального анализа в диапазоне до 6,0 Гц продемонстрировали преимущество детей-спортсменов в показателях амплитудно-частотных характеристик вертикальной стойки в спокойном положении и с нагрузкой перед ровесниками, не занимающимися спортом. Чрезмерное нарастание амплитудных и частотных компонентов колебаний спектрограмм в тестах с увеличением нагрузки может являться признаком детренированности опорно-двигательного аппарата или утомления нейромышечной системы ребенка. Оптимальные параметры спектра частот у спортсменов младшего школьного возраста могут свидетельствовать о благоприятной адаптации их локомоторной системы к регулярным тренировкам.

Ключевые слова: детский спорт, стабилометрия, колебания тела, частотный спектральный анализ, адаптация.

DYNAMICS OF SPECTRAL CHARACTERISTICS OF VERTICAL BODY BALANCE IN CHILD ATHLETES IN TESTS WITH INCREASED LOAD

I.E. Nikityuk
H. Turner National Medical Research Center for Children’s Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia

Abstract. The results of the introduction of the stabilometric method in combination with the analysis of the frequency spectrum of vertical body balance to assess the parameters of the postural system in 20 children aged 7 to 10 years who regularly engage in track-and-field are presented. The control group included 18 children of the same age who were not involved in sports. The results of spectral analysis in the range up to 6.0 Hz demonstrated the advantage of child athletes in terms of the amplitude-frequency characteristics of a vertical stand in a calm position and with a load over peers who do not play sports. An excessive increase in the amplitude and frequency components of the spectrogram oscillations in tests with increasing load may be a sign of low fitness of the musculoskeletal system or fatigue of the neuromuscular system of the child. The optimal parameters of the frequency spectrum in primary school-age athletes may indicate a favorable adaptation of their locomotor system to regular training.

Keywords: children's sports, stabilometry, body oscillation, frequency spectral analysis, adaptation.

Введение. Занятия спортом могут принести огромную пользу физическому и психическому здоровью детей. Правильно реализованный план индивидуальных тренировок обеспечивает широкий диапазон полезных физиологических изменений в организме ребенка, однако несбалансированность программы физических упражнений является фактором риска, который может вызывать негативные последствия. Длительные периоды повышенных физических нагрузок, превышающих период восстановления, могут способствовать формированию синдрома перетренированности, который приводит к снижению работоспособности и увеличению риска травм у юных спортсменов [1]. В последнее время предлагается относить занимающихся

спортом детей к группе повышенного риска, которая требует особого внимания к своему графику тренировок, рациону питания и профилактике травматизма [2]. Спортивные занятия необходимо планировать с учетом незрелости и уязвимости опорно-двигательной системы у детей [3]. Существует вероятность формирования функциональных нарушений костно-мышечной системы у юных спортсменов. Поэтому в современном детском спорте тренерам и врачам спортивных команд необходимо систематическое поступление научно обоснованной информации о текущем функциональном состоянии и уровне работоспособности воспитанников, владение которой будет способствовать достижению высоких спортивных результатов при минимальном риске неблагоприятных последствий занятий профессиональным спортом. Указанный факт обусловливает целесообразность поиска и внедрения новых методик оценки локомоторных функций детей-спортсменов, из которых наиболее перспективной является стабилометрия. Одним из ценных качеств стабилометрической диагностики является высокая чувствительность амплитудно-частотных характеристик стабилограмм. Однако вопросы анализа спектра частот стабилометрических сигналов у юных спортсменов практически не исследованы и нуждаются в дальнейшем изучении.

Цель исследования – с помощью методики спектрального анализа оценить адаптивные реакции постуральной системы юных спортсменов на повышение физической нагрузки.

Методы и организация исследования. В настоящей работе были исследованы параметры постуральной системы 20 спортсменов-легкоатлетов Санкт-Петербурга в возрасте от 7 до 10 лет – основная группа (ОГ). Для сравнительного анализа обследовали контрольную группу (КГ) из 18 детей того же возраста, не занимающихся спортом.

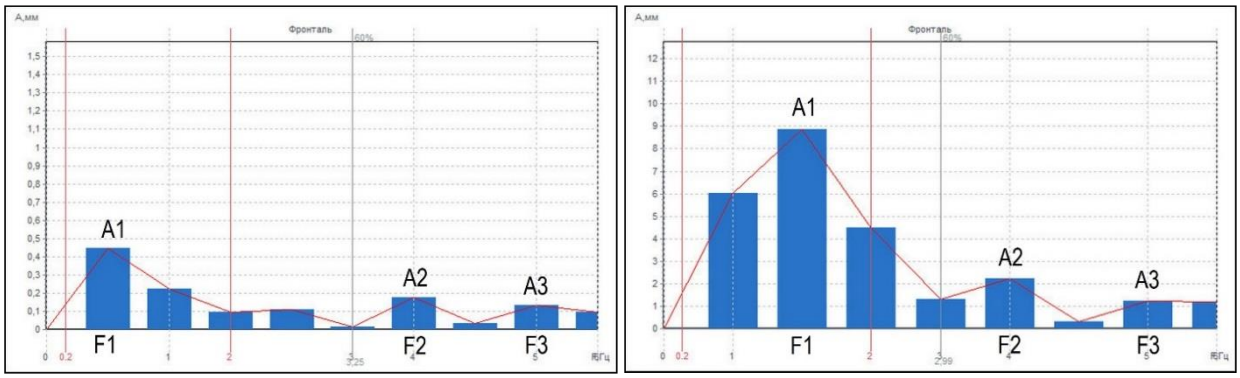
Функциональное состояние постуральной системы оценивали стабилометрическим методом, применяя стабилоанализатор «Стабилан 01-2» (ОКБ РИТМ, г. Таганрог, Россия). В процессе обследования каждый ребенок становился на стабилометрическую платформу и занимал исходное положение с параллельным расположением стоп, руки при этом были свободно опущены.

Регистрация параметров вертикального баланса осуществлялась при обычном уровне нагрузки и при повышенном. Под обычной нагрузкой подразумевалась стабилометрия в спокойной стойке ребенка, когда в акте опоры на платформе были равноценно задействованы все отделы стоп – передние и задние. В таком положении тело человека обладает высокой вертикальной устойчивостью с минимальными энергетическими затратами. Для повышения уровня нагрузки на опорно-двигательный аппарат каждому ребенку предлагалось принять положение «на цыпочках», которое он мог удерживать несколько секунд. При этом вес тела полностью смещался в передние отделы стоп, в то время как задние отделы не касались плоскости опоры. Такое положение является неустойчивым даже для взрослых [4], что же касается детей младшего школьного возраста, то для казалось бы, несложная процедура явилась достаточно серьезным испытанием, потребовавшим повышенных энергетических затрат. Чтобы предотвратить падение ребенка с платформы регистрацию параметров в положении на цыпочках осуществляли только с открытыми глазами. Для минимизации воздействия повышенной нагрузки на детский организм сеанс записи статокинезиограмм был кратковременным, равным 1 с. Для сопоставимости результатов стабилометрию в спокойной стойке также регистрировали только при открытых глазах в течение 1 секунды.

У каждого ребенка, как при обычном уровне нагрузки, так и при повышенном, были зафиксированы следующие параметры движения центра давления (ЦД) тела: линейная скорость V (мм/с) и угол отклонения ее вектора от срединной сагиттальной линии *a* (град), качество функции равновесия КФР (%). Для проведения анализа спектров частот осуществлена оценка столбчатых диаграмм амплитудно-частотных характеристик колебаний центра давления тела ребенка как во фронтальной, так и сагиттальной плоскостях. При этом показатели первых трех наибольших

амплитуд колебаний А1, А2, А3 (мм) и соответствующих им частот F1, F2, F3 (Гц) спектра регистрировались стабилоанализатором автоматически (рис. 1).

Статистическая обработка данных стабилометрии проводилась в два этапа с использованием программы Statgraphics Centurion 16.2. На первом этапе показатели ОГ и КГ оценивались на нормальность распределения по критерию Колмогорова-Смирнова. На втором этапе осуществлялся сравнительный анализ с использованием критерия Манна-Уитни, с уровнем для принятия различий 0,05.



а) б)

Рис. 1. Пример динамики спектра частот колебаний центра давления тела во фронтальной плоскости при различных нагрузках у ребенка, занимающегося спортом: а) стойка в спокойном положении; б) стойка в положении «на цыпочках». Цифрами 1, 2 и 3 обозначены амплитуда А и частота F первого, второго и третьего пиков спектра, соответственно. Отмечается выраженное увеличение амплитуд преимущественно первого и второго пиков при переходе из спокойного положения в положение «на цыпочках».

Результаты исследования и их обсуждение. При анализе частотных характеристик вертикального баланса обследованных детей был сделан акцент на особенности скоростных параметров движения центров давления тела, так как согласно классическому физическому закону частота колебаний материального тела и его скорость взаимосвязаны. Поэтому в первую очередь была осуществлена оценка скоростных показателей статокинезиограмм. У детей КГ в положении «спокойная стойка» выявлена более высокая скорость ЦД тела по сравнению со сверстниками-спортсменами (табл. 1). Указанное обстоятельство свидетельствует о менее стабильном вертикальном балансе у детей КГ, что подтверждается сниженным у них показателем качества функции равновесия КФР. При повышении нагрузки на опорно-двигательный аппарат в положении «стойка на цыпочках» в обеих группах детей наблюдалось резко выраженное увеличение скорости колебаний, в большей степени – в КГ.

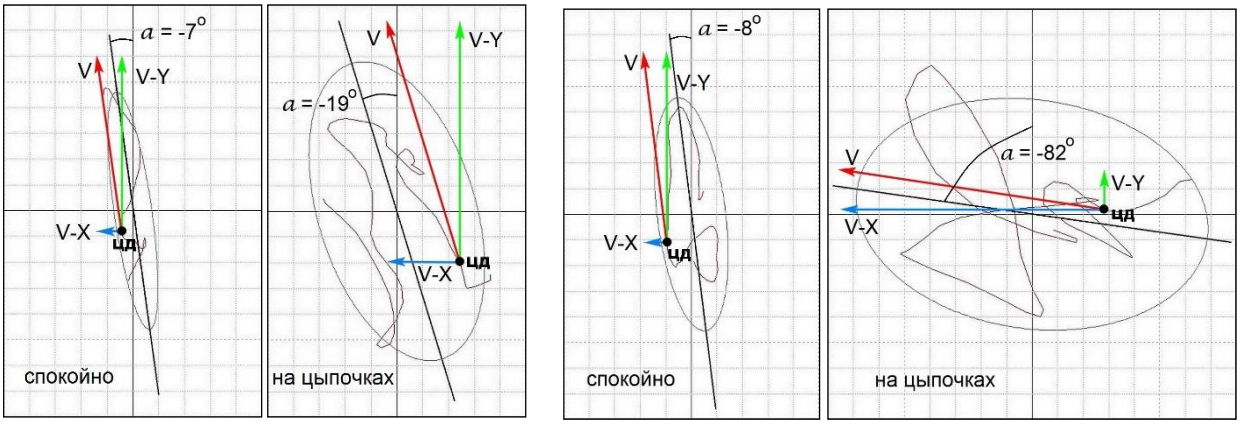
Таблица 1

Показатели движений центра давления тела обследованных детей при различных уровнях нагрузки в тестах с открытыми глазами при выполнении стабилометрии, Me [Q1; Q3]

Показатели	Спокойное положение		Положение на цыпочках		P	
	ОГ (1)	КГ (2)	ОГ (3)	КГ (4)		
Угол ***a***, °	-7 [-30; 17]	-3 [-36; 9]	-2 [-36; 47]	-35 [-82; 25]	p^{1-2}=0,981 p^{3-4}=0,279	p^{1-3}=0,748 p^{2-4}=0,448
Скорость V, мм/с	8 [7; 10]	12 [8; 15]	34 [23; 48]	41 [28; 62]	p^{1-2}=0,029 p^{3-4}=0,187	p^{1-3}<0,001 p^{2-4}<0,001
Качество функции равновесия, %	88 [78; 90]	73 [63; 86]	16 [8; 30]	12 [7; 29]	p^{1-2}=0,024 p^{3-4}=0,718	p^{1-3}<0,001 p^{2-4}<0,001

Данный факт можно объяснить значительным нарастанием нестабильности постуральной системы детей при повышенной нагрузке в стойке на цыпочках,

которая относится к категории сложных статических условий [5]. При этом функция равновесия нарушается в равной степени как у спортсменов, так и у неспортсменов, признаком чего являются одинаково низкие показатели КФР.



а) б)

Рис. 2. Примеры скоростных параметров движения центров давления (ЦД) тела, зарегистрированных в течение 1 секунды при различных уровнях нагрузки: а) у ребенка-спортсмена; б) у ребенка, не занимающегося спортом. Вектор V – результирующая линейная скорость, векторы V-X и V-Y – проекции вектора V на ось X и ось Y соответственно, *a* – угол отклонения вектора V

Дополнительный анализ направленности векторов скоростей V центров давления тела выявил тенденцию к одинаковому отклонению угла α «против часовой стрелки» от срединной линии у детей обеих групп в спокойном положении. В указанном положении детей на платформе медианные значения α были невысокие, что позволяло расценивать направленность колебаний вектора V как ориентированную преимущественно в сагиттальной плоскости (рис. 2). При этом величина составляющей вектора V-Y в сагиттальной плоскости значительно превосходила таковую во фронтальной – V-X.

В стабилометрических тестах с повышенной нагрузкой в положении на цыпочках, согласно данным квартильных показателей, произошло увеличение отклонений а векторов результирующих скоростей V от срединной оси в обеих группах детей. При этом у спортсменов наблюдалось умеренное увеличение отклонений вектора V равновероятно как «против часовой стрелки», так и «по часовой стрелке». Поэтому медианная направленность результирующей скорости осталась прежней – преимущественно в сагиттальной плоскости (рис. 2, а). Таким образом, соотношение величин векторов V-Y и V-X не изменилось, преимущество сохранилось за сагиттальной составляющей V-Y. Совершенно иначе отреагировали на повышение нагрузки дети КГ. У них произошло резко выраженное увеличение угла *a* результирующего вектора V, который отклонялся главным образом «против часовой стрелки». Это привело к существенному увеличению длины фронтальной составляющей V-X на фоне укорочения сагиттальной V-Y (рис. 2, б). Подобное отклонение угла а вектора V можно расценивать как преимущественно фронтальное, что общепринято считать признаком ухудшения стабильности вертикального баланса. Таким образом, при повышенной нагрузке на локомоторную систему значительно снижается равновесие тела в равной мере в обеих группах детей. Однако у спортсменов постуральная система сохраняет самодостаточность, поскольку она не нуждается в подключении вспомогательных механизмов для обеспечения ее стабильности. Наоборот, у детей-неспортсменов для удержания равновесия при повышенной нагрузке требуется инициация дополнительного механизма стабилизации баланса посредством изменения направленности вектора скорости с сагиттального на фронтальный.

Для реализации методики спектрального анализа вертикального баланса тела

большинство авторов использовали широкий спектр частот колебаний от 1,0 до 20,0 Гц [6, 7]. В настоящем исследовании для оптимизации обработки и интерпретации результатов в частотном спектре колебаний тела детей были выделены три диапазона: низкочастотный – ниже 1,0 Гц, среднечастотный – от 1,0 до 2,0 Гц и высокочастотный – от 2,0 до 6,0 Гц, подобная градация частот является наиболее распространенной в научных трудах, изучающих вертикальный баланс человека [8].

Таблица 2

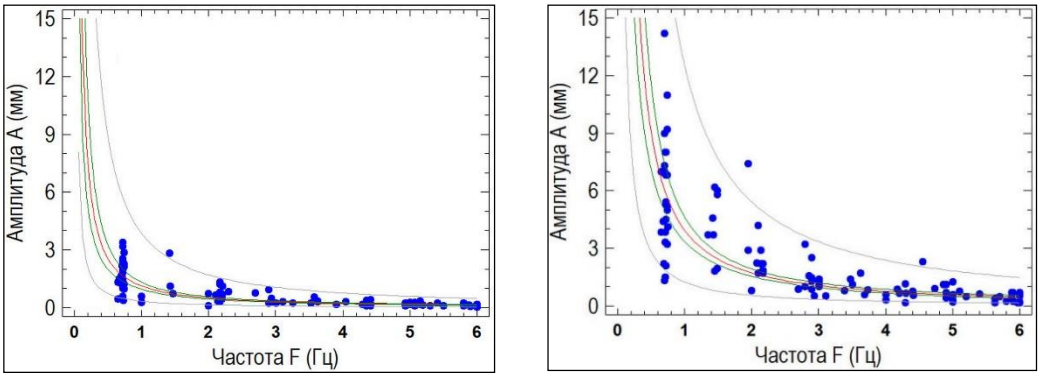
Спектральные характеристики баланса тела у обследованных детей при различных уровнях нагрузки в тестах с открытыми глазами при выполнении стабилометрии, Me [Q1; Q3]

Показатели		Спокойное положение		Положение на цыпочках		P	
		ОГ (1)	КГ (2)	ОГ (3)	КГ (4)		
Сагиттальная ось	F1 (Гц)	0,72 [0,71; 0,74]	0,72 [0,7; 0,74]	0,73 [0,7; 1,45]	0,72 [0,71; 1,0]	p^{1-2}=0,509 p^{3-4}=0,924	p^{1-3}=0,631 p^{2-4}=0,346
	F2 (Гц)	2,5 [2,1; 2,9]	2,8 [2,1; 3,1]	3,0 [2,2; 3,5]	3,3 [3,0; 3,6]	p^{1-2}=0,767 p^{3-4}=0,267	p^{1-3}=0,153 **p^{2-4}=0,008**
	F3 (Гц)	5,0 [4,4; 5,4]	5,0 [4,3; 5,5]	5,0 [4,7; 5,7]	5,2 [5,0; 5,7]	p^{1-2}=0,309 p^{3-4}=0,494	p^{1-3}=0,824 p^{2-4}=0,148
	A1 (мм)	1,7 [1,1; 2,2]	2,5 [2,0; 3,4]	5,4 [3,7; 7,0]	5,3 [2,2; 7,0]	**p^{1-2}=0,012** p^{3-4}=0,591	**p^{1-3}<0,001** **p^{2-4}=0,026**
	A2 (мм)	0,6 [0,3; 0,7]	0,6 [0,3;1,0]	1,3 [0,8; 1,8]	0,9 [0,7; 1,6]	p^{1-2}=0,558 p^{3-4}=0,506	**p^{1-3}<0,001** **p^{2-4}=0,023**
	A3 (мм)	0,16 [0,13; 0,24]	0,28 [0,2; 0,45]	0,3 [0,18; 0,5]	0,5 [0,2; 0,7]	**p^{1-2}=0,018** p^{3-4}=0,899	**p^{1-3}<0,001** p^{2-4}=0,120
Фронтальная ось	F1 (Гц)	0,72 [0,72; 0,73]	0,71 [0,69; 0,75]	0,72 [0,7; 0,74]	0,74 [0,7; 1,0]	p^{1-2}=0,423 p^{3-4}=0,588	p^{1-3}=0,998 p^{2-4}=0,309
	F2 (Гц)	3,2 [2,2;3,6]	3,0 [2,8; 3,5]	2,9 [2,2; 3,7]	3,6 [3,0; 3,7]	p^{1-2}=0,557 **p^{3-4}=0,048**	p^{1-3}=0,326 p^{2-4}=0,112
	F3 (Гц)	5,2 [5,1; 5,8]	5,4 [5,0; 5,7]	5,2 [4,9; 5,9]	5,2 [4,9; 5,8]	p^{1-2}=0,799 p^{3-4}=0,874	p^{1-3}=0,836 p^{2-4}=0,703
	A1 (мм)	1,2 [1,0; 2,1]	2,2 [1,1; 3,8]	4,9 [2,2; 6,9]	7,0 [4,0; 10,0]	**p^{1-2}=0,046** p^{3-4}=0,109	**p^{1-3}<0,001** **p^{2-4}=0,001**
	A2 (мм)	0,3 [0,2; 0,3]	0,5 [0,3; 0,8]	1,2 [0,8; 1,0]	1,4 [1,0; 2,1]	**p^{1-2}=0,042** p^{3-4}=0,326	**p^{1-3}<0,001** **p^{1-3}<0,001**
	A3 (мм)	0,12 [0,07; 0,25]	0,18 [0,14; 0,32]	0,61 [0,48; 0,7]	0,69 [0,5; 0,94]	**p^{1-2}=0,044** p^{3-4}=0,375	**p^{1-3}<0,001** **p^{2-4}=0,001**

Примечание: F1, F2 и F3 – частоты первого, второго и третьего пиков спектра; A1, A2 и A3 – амплитуды первого, второго и третьего пиков спектра.

В настоящем исследовании при проведении стабилометрических тестов в спокойном положении в обеих группах детей была выявлена одинаковая частота F1 первого пика спектра колебаний центра давления, которая имела незначительный разброс медианных показателей равный 0,71-0,72 Гц (табл. 2). Такая однозначность параметров первой пиковой частоты для всех детей в сагиттальной и фронтальной плоскостях может быть обусловлена зависимостью колебаний тела ребенка от его сердечных сокращений в низкочастотном диапазоне спектра. Максимальные амплитуды A1 первого пика низкочастотных колебаний при спокойной стойке детей КГ значимо превышали по обеим осям координат соответствующие показатели ОГ. Повышенные амплитуды колебаний у детей КГ могут свидетельствовать о том, что для их постуральной системы обеспечение равновесия в спокойном положении является более сложной задачей по сравнению со спортсменами [9]. В тестах с повышенной нагрузкой в положении на цыпочках в обеих группах детей наметилась тенденция к повышению первой пиковой частоты F1 в сагиттальной плоскости, причем у спортсменов – в большей степени, у которых верхняя квартиль частотных

показателей достигла области средне-частотного диапазона. Так как в указанном интервале спектра колебания человека все еще подвержены сознательному волевому контролю, в условиях повышенной нагрузки у обследованных детей мог включиться механизм произвольного управления осанкой. При этом в обеих группах произошло резко выраженное увеличение первой пиковой амплитуды колебаний A1 по обеим координатным составляющим (рис. 3), с тенденцией к превалированию указанного параметра у детей КГ во фронтальной плоскости.



а) б)

Рис. 3. Зависимость максимальных значений амплитуд колебаний A центра давления тела от их частоты F у детей-спортсменов во фронтальной и сагиттальной плоскостях: а) стойка в спокойном положении; б) стойка в положении «на цыпочках». Отмечается выраженное увеличение амплитуд колебаний во всех диапазонах спектра частот при переходе из спокойного положения в положение «на цыпочках»

Анализ показателей второй пиковой частоты F2 выявил значимое ее увеличение у детей КГ при переходе из спокойного положения в положение на цыпочках в сагиттальной плоскости. Указанное право-стороннее смещение в спектре частот у детей КГ может быть обусловлено реакцией постуральной системы на снижение инфор-мационного потока со стороны подош-венных рецепторов вследствие выключения из акта опоры пяточной области стоп. Кроме того, изменение амплитудно-частотных характеристик вертикального баланса у детей КГ при переходе из спокойного положения в положение на цыпочках можно объяснить существенной значимостью ука-занной процедуры для опорно-двигатель-ного аппарата, а также нейромышечным утомлением [10]. В то же время в стойке на цыпочках параметры F2 во фронтальной плоскости у спортсменов значимо уступали по величине таковым у детей КГ, что может быть обусловлено превалированием у последних фронтальной составляющей результирующей скорости V. Максималь-ные амплитуды A2 второго пика при стабилометрии в спокойной стойке были одинаковыми у детей обеих групп в сагиттальной плоскости, в то же время во фронтальной плоскости параметры детей КГ значимо превышали соответствующие показатели ОГ. При переходе в положение на цыпочках произошло значимое нарас-тание амплитуд A2 у всех детей, наиболее выраженное у неспортсменов во фрон-тальной плоскости.

Изучение показателей третьей пиковой частоты F3 в обеих группах детей выявило хорошую стабильность параметров незави-симо от уровня нагрузки на опорно-двигательный аппарат ребенка. При этом максимальные амплитуды A3 третьего пика колебаний при спокойной стойке у детей КГ значимо превышали по обеим осям координат соответствующие показатели ОГ. При переходе в положение с повышенной нагрузкой значимое увеличение третьей пиковой амплитуды колебаний A3 по обеим координатным составляющим произошло только у детей ОГ. Совершенно иначе выглядела динамика амплитудных пара-метров у детей КГ. У них в стойке на цы-почках наблюдалось значимое увеличение A3 только во фронтальной плоскости, что

обусловлено превалированием направленности результирующей скорости колебаний V вдоль фронтальной оси X.

На основании вышеизложенного, при повышении нагрузки на опорно-двигательный аппарат у обследованных детей, вне зависимости от их вовлеченности в спорт, в целом наблюдалось увеличение амплитуд колебаний центра давления тела во всех диапазонах частотного спектра. Указанный феномен характерен для здоровых людей и обусловлен адаптивной реакцией постуральной системы в ответ на усложнение условий вертикального баланса с целью удержания неустойчивой позы [11]. Однако в настоящей работе у детей, не занимающихся спортом, в тестах с повышением нагрузки происходило значимое увеличение всех трех пиковых амплитуд колебаний A1, A2 и A3, в наибольшей степени выраженное во фронтальной плоскости по сравнению с сагиттальной.

Данный факт объясняется преимущественным фронтальным направлением колебаний их центра давления. Наоборот, у детей-спортсменов направленность колебаний была главным образом сагиттальной, поэтому у них наблюдалась более благоприятная динамика – увеличение только третьей пиковой амплитуды колебаний A3. Таким образом, благодаря высокой чувствительности спектрального анализа было получено более глубокое понимание особенностей вертикального баланса у спортсменов младшего школьного возраста.

Заключение. Внедрение в практику спортивной медицины стабилометрического метода в сочетании с анализом спектра частот вертикального баланса тела дает возможность оценивать динамику параметров системы постурального контроля у юных спортсменов. Результаты спектрального анализа продемонстрировали преимущество детей-спортсменов в показателях амплитудно-частотных характеристик вертикальной стойки в спокойном положении и с нагрузкой перед ровесниками, не имеющими отношения к спорту. Чрезмерное нарастание амплитудных и частотных компонентов колебаний спектрограмм в тестах с увеличением нагрузки может являться признаком детренированности опорно-двигательного аппарата или утомления нейромышечной системы ребенка. Оптимальные параметры спектра частот у спортсменов младшего школьного возраста могут свидетельствовать о благоприятной адаптации их локомоторной системы к регулярным тренировкам.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования. Исследование выполнено в рамках государственного задания Минздрава России (№ 1023030700030-9-3.2.10).

Conflict of interest. The author declares that there is no conflict of interest.

Financing. The study was performed within the framework of the state assignment of the Ministry of Health of the Russian Federation (№ 1023030700030-9-3.2.10).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brenner, J.S. Overuse Injuries, Overtraining, and Burnout in Young Athletes / J.S. Brenner, A. Watson // Pediatrics. – 2024. – Vol. 153. – No. 2. – P. e2023065129. DOI: 10.1542/peds.2023-065129.

2. The Pediatric Endurance Athletes / M.L. Solomon, S.M. Briskin, N. Sabatina, J.E. Steinhoff // Curr Sports Med Rep. – 2017. – Vol. 16. – No. 6. – P. 428-434. DOI: 10.1249/JSR.0000000000000428.

3. The Benefits of Strength Training on Musculoskeletal System Health: Practical Applications for Interdisciplinary Care / L. Maestroni, P. Read, C. Bishop [et al.] // Sports Medicine. – 2020. – Vol. 50. – No. 8. – P. 1431-1450. DOI: 10.1007/s40279-020-01309-5

4. Tanabe, H. Joint Coordination and Muscle Activities of Ballet Dancers During Tiptoe Standing / H. Tanabe, K. Fujii, M. Kouzaki // Motor Control. – 2017. – Vol. 21. – No. 1. – P. 72-89. DOI: 10.1123/mc.2015-0002.

5. Коновалова, Л.А. Стратегии управления устойчивостью тела в сложных статических равновесиях художественной гимнастики / Л.А. Коновалова, Д.А. Карпеева // Наука и спорт: современные тенденции. – 2019. – Т. 22. – № 1. – С. 139-144

6. Sozzi, S. Specific Posture-Stabilising Effects of Vision and Touch Are Revealed by Distinct Changes of Body Oscillation Frequencies / S. Sozzi, A. Nardone, M. Schieppati // Front Neural. – 2021. – No.12.–P.756984.DOI:10.3389/fleur.2021.756984.

7. Golomer, E. Spectral analysis of adult dancers' sways: sex and interaction vision-proprioception / E. Golomer, P. Dupuis // Int J Neurosci. – 2000. – Vol. 105. – No. 1-4. – P. 15-26. DOI: 10.3109/00207450009003262.
8. Postural threat increases sample entropy of postural control / O.M. Fischer, K.J. Missen, C.D. Tokuno [et al.] // Frontiers in Neurology. – 2023. – No. 14. – P. 1179237. DOI: 10.3389/fneur. 2023.1179237.
9. Седоченко, С.В. Вестибулярная устойчивость и результативность игровиков 7-8 и 10 лет/ С.В. Седоченко //Физическая культура.Спорт. Туризм.Двигательная рекреация.–2021.–Т.6. – № 2. – С.82-89.DOI: 10.47475/2500-0365-2021-16213.
10. Effects of fatigue induced by neuromuscular electrical stimulation on postural control / R. Bizid, J.L. July, G. Gonzalez [et al.] // J Sci Med Sport. – 2009. – Vol. 12. – No. 1. – P. 60-66. DOI: 10.1016/j.jsams.2007.10.006.
11. Cortical activity associated with the maintenance of balance during unstable stances / S. Ue, K. Nakahama, J. Hayashi, T. Ohgomori // PeerJ. – 2024. – No. 12. – P. e17313. DOI: 10.7717/peerj.17313.

REFERENCES

1. Brenner J.S., Watson A. Overuse Injuries, Overtraining, and Burnout in Young Athletes. *Pediatrics*, 2024, vol. 153, no. 2, p. e2023065129. DOI: 10.1542/peds.2023-065129.
2. Solomon M.L., Briskin S.M., Sabatina N., Steinhoff J.E. The Pediatric Endurance Athletes. *Curr Sports Med Rep*, 2017, vol. 16, no. 6, pp. 428-434. DOI: 10.1249/JSR.0000000000000428.
3. Maestroni L., Read P., Bishop C. et al. The Benefits of Strength Training on Musculoskeletal System Health: Practical Applications for Interdisciplinary Care. *Sports Medicine*, 2020, vol. 50, no. 8, pp. 1431-1450. DOI: 10.1007/s40279-020-01309-5.
4. Tanabe H., Fujii K., Kouzaki M. Joint Coordination and Muscle Activities of Ballet Dancers During Tiptoe Standing. *Motor Control*, 2017, vol. 21, no. 1, pp. 72-89. DOI: 10.1123/mc.2015-0002.
5. Konovalova L.A., Karpeeva D.A. Strategies of body stability control in complex static balances of rhythmic gymnastics. *Science and sport: current trends*, 2019, vol. 22, no. 1, pp. 139-144. (in Russ.)
6. Sozzi S., Nardone A., Schieppati M. Specific Posture-Stabilising Effects of Vision and Touch Are Revealed by Distinct Changes of Body Oscillation Frequencies. *Front Neural*, 2021, no. 12, p. 756984. DOI: 10.3389/fleur.2021.756984.
7. Golomer E., Dupuis P. Spectral analysis of adult dancers' sways: sex and interaction vision-proprioception. *Int J Neurosci.* , 2000, vol. 105, no. 1-4, pp. 15-26. DOI: 10.3109/00207450009003262.
8. Fischer O.M., Missen K.J., Tokuno C.D. et al. Postural threat increases sample entropy of postural control. *Frontiers in Neurology*, 2023, no. 14, p. 1179237. DOI: 10.3389/fneur.2023.1179237.
9. Sedochenko S.V. Vestibular stability and performance of game players 7-8 and 10 years old. *Physical culture. sport. tourism. motor recreation*, 2021, vol. 6, no. 2, pp. 82-89. DOI: 10.47475/2500-0365-2021-16213. (in Russ.)
10. Bizid R., July J.L., Gonzalez G. et al. Effects of fatigue induced by neuromuscular electrical stimulation on postural control. *J Sci Med Sport*, 2009, vol. 12, no. 1, pp. 60-66. DOI: 10.1016/j.jsams. 2007.10.006.
11. Ue S., Nakahama K., Hayashi J., Ohgomori T. Cortical activity associated with the maintenance of balance during unstable stances. *PeerJ*, 2024, no. 12, p. e17313. DOI: 10.7717/peerj.17313.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Игорь Евгеньевич Никитюк – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологических и биомеханических исследований, Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург; e-mail: femtotech@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5546-2729.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR:

Igor E. Nikityuk – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Physiological and Biomechanical Research, H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg; e-mail: femtotech@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5546-2729.

Для цитирования: Никитюк, И.Е. Динамика спектральных характеристик вертикального баланса тела у детей-спортсменов в тестах с повышением нагрузки / И.Е. Никитюк // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 2(32). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_31

For citation: Nikityuk I.E. Dynamics of spectral characteristics of vertical body balance in child athletes in tests with increased load. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. 2(32). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_31