

МЕТОД ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КОНТРОЛЯ РАВНОВЕСИЯ У ЮНЫХ СПОРТСМЕНОВ

Никитюк И.Е., Савина М.В.

*ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии
имени Г.И. Турнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации,
Санкт-Петербург, e-mail: femtotech@mail.ru*

Цель исследования – оценить постуральный баланс у юных спортсменов с использованием методологии частотного анализа статокинезиограмм. Проведено исследование вертикального баланса тела у 24 детей в возрасте от 7 до 10 лет, занимающихся легкой атлетикой (основная группа). В течение 20 секунд регистрировали стандартные параметры движения центра давления тела: площадь S (мм²) статокинезиограммы, линейную скорость V (мм/с), качество функции равновесия (%). Регистрацию спектра частот статокинезиограмм осуществляли в течение 1 секунды. Рассчитывали величины первых трех максимальных амплитуд колебаний спектра $A1$, $A2$, $A3$ (мм) и соответствующих им частот $F1$, $F2$, $F3$ (Гц) во фронтальной и сагиттальной плоскостях. В контрольную группу вошли 18 детей с обычным уровнем физических нагрузок. У детей-спортсменов стандартные показатели вертикального баланса S , V и качество функции равновесия были лучше по сравнению со сверстниками, не занимающимися спортом. Спектральный анализ продемонстрировал у спортсменов снижение величин пиковых амплитуд колебаний центра давления тела по сравнению с неспортсменами в диапазоне частотного спектра от 0,7 до 6,0 Гц, что может указывать на повышенную степень координации работы опорно-двигательной системы у спортсменов. Метод частотного анализа выявил более высокий уровень равновесия тела у детей младшего школьного возраста, занимающихся спортом, по сравнению со сверстниками-неспортсменами, что может свидетельствовать о благоприятной нейромышечной адаптации их организма к повышенным физическим нагрузкам.

Ключевые слова: дети, адаптационные изменения организма спортсмена, спектральный анализ.

A FREQUENCY ANALYSIS METHOD FOR STUDYING EQUILIBRIUM CONTROL FOR YOUNG ATHLETES

Nikityuk I.E., Savina M.V.

*H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery,
Saint Petersburg, e-mail: femtotech@mail.ru*

The aim of the study was to evaluate the postural balance in young athletes using the methodology of frequency analysis of statokinesiograms. A study of vertical body balance was conducted in 24 children aged 7 to 10 years who were involved in athletics (the main group). The standard parameters of the movement of the body's pressure center were recorded for 20 seconds: the area S (mm²) of the statokinesiogram, the linear velocity V (mm/s), the quality of the equilibrium function (%). The registration of the frequency spectrum of statokinesiograms was carried out within 1 second. The values of the first three maximum oscillation amplitudes of the spectrum $A1$, $A2$, $A3$ (mm) and their corresponding frequencies $F1$, $F2$, $F3$ (Hz) in the frontal and sagittal planes were calculated. The control group included 18 children with a normal level of physical activity. In child athletes, the standard indicators of vertical balance S , V and the quality of the equilibrium function were better compared to peers who did not play sports. Spectral analysis demonstrated a decrease in the values of peak amplitudes of fluctuations in the body's center of pressure in athletes compared with non-athletes in the frequency spectrum range from 0.7 to 6.0 Hz, which may indicate an increased degree of coordination of the musculoskeletal system in athletes. The frequency analysis method revealed a higher level of balance of the musculoskeletal system in primary school-age children who play sports compared to their non-athletic peers, which indicates a favorable neuromuscular adaptation of their bodies to increased physical exertion. The frequency analysis method revealed a higher level of body balance in primary school-age children who play sports compared to their non-athletic peers, which may indicate a favorable neuromuscular adaptation of their bodies to increased physical exertion.

Keywords: children, adaptive changes in the athlete's body, spectral analysis.

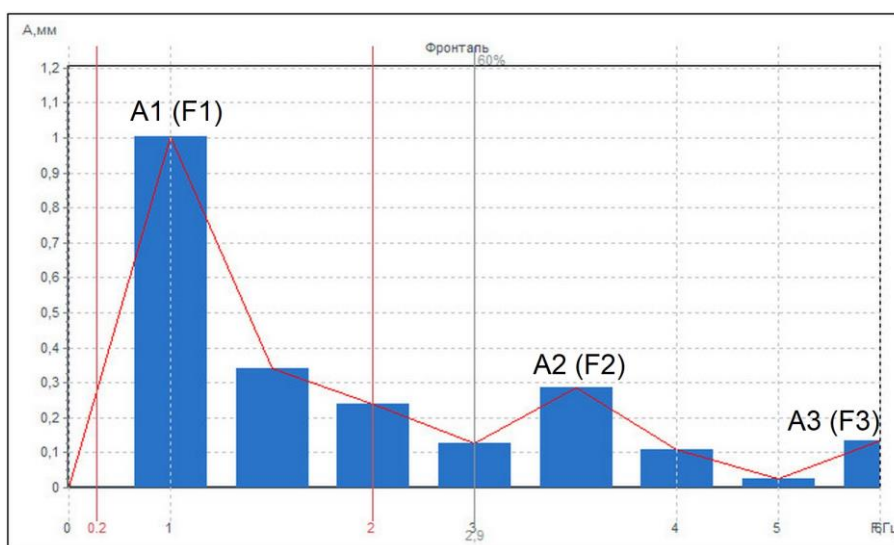
Введение

В настоящее время большое внимание уделяется вовлечению детей в занятия спортом, поскольку соответствующая возрасту физическая активность оказывает положительное влияние на детский организм [1]. Принято считать, что систематические тренировки не только улучшают способность спортсменов удерживать осанку, но также способствуют функциональной трансформации нервно-мышечного аппарата. Однако повышенные физические нагрузки не только способствуют спортивному росту, но также могут нести риск негативных последствий, включая травмы [2]. Исходя из этого, предъявляются высокие требования к оценке функционального состояния юных спортсменов. Увеличивается значимость медицинского контроля, направленного на своевременный мониторинг параметров детского организма, позволяющего выявить возможное снижение работоспособности вследствие перетренированности [3]. Одной из важнейших задач современной спортивной медицины является исследование особенностей и закономерностей процессов адаптации организма спортсмена и его опорно-двигательной системы к физическим нагрузкам [4]. Поэтому используются новейшие методы диагностики, реализуемые не только на клеточном и тканевом уровнях, но и в масштабах функциональных систем организма ребенка. Особая роль отводится функциональной диагностике опорно-двигательного аппарата спортсменов. Для систематического контроля локомоторной функции детей, занимающихся спортом, необходимо использование оборудования, которое позволяет быстро получать информацию и не отвлекает ребенка от тренировочного процесса. Указанным критериям соответствует широко распространенный метод стабилотрии, характеризующий параметры движения центра давления (ЦД) тела [5]. Существует точка зрения, что регулярные занятия спортом запускают механизмы, обеспечивающие улучшение координации движений, которая способствует повышению постуральной стабильности атлетов [6]. Таким образом, стабилотрический метод позволяет косвенно оценивать функцию локомоторной системы, одним из приемов указанного метода функциональной диагностики является анализ частотных характеристик колебаний ЦД спортсменов [7]. Однако на современном этапе анализ спектра частот статокинезиограмм остается одним из наименее исследованных аспектов стабилотрии. Совершенствование тактики спектрального анализа стабилограмм у детей-спортсменов может способствовать оценке их физического потенциала для оптимизации тренировочного процесса, направленного на снижение риска травматизма. У юных спортсменов частотный спектр движений центра давления тела практически не изучен [8].

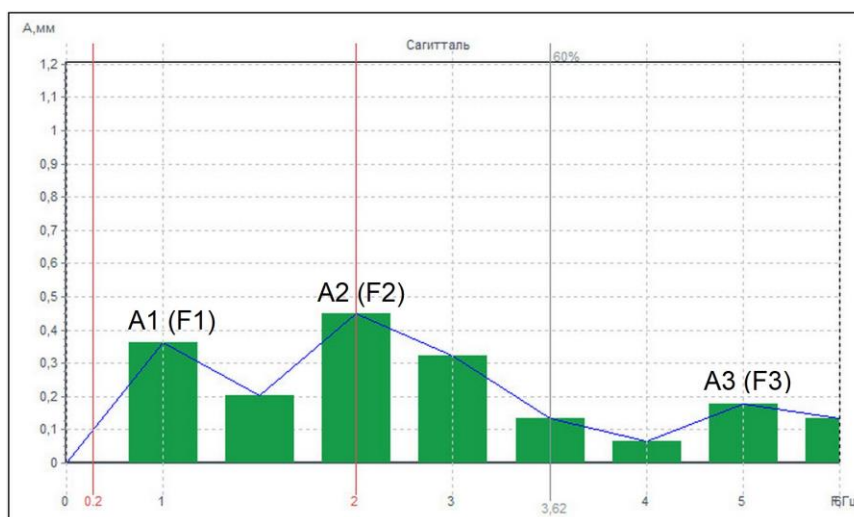
Цель исследования – оценить постуральный баланс у юных спортсменов с использованием методологии частотного анализа статокинезиограмм.

Материал и методы исследования. Проведено исследование вертикального баланса тела у 24 детей в возрасте от 7 до 10 лет, занимающихся легкой атлетикой в спортивных учреждениях Санкт-Петербурга не менее трех раз в неделю непрерывно в течение одного года и более. Также были обследованы 18 детей контрольной группы того же возраста, которые не занимались спортом, их двигательная активность не превышала уровня повседневных физических нагрузок в быту и на уроках физкультуры в школе.

Всем детям основной и контрольной группы проведено стабилметрическое исследование с помощью компьютерного стабилоанализатора «Стабилан 01-2» (ОКБ РИТМ, Россия). Обследуемого ребенка устанавливали на стабилметрическую платформу с параллельным расположением стоп без обуви, босиком. Предписание снимать носки было обязательным, так как разная плотность ткани могла сказаться на способности ребенка удерживать баланс. При этом требование создания идентичных условий для всех обследуемых детей реализовывали путем установки их стоп на индивидуальном для каждого ребенка расстоянии, соответствующем клинической базе – разнесению передних верхних остей таза. На первом этапе у каждого ребенка регистрировали параметры движения центра давления тела поочередно с открытыми и закрытыми глазами в течение 20 секунд: площадь S (мм^2) статокинезиограммы, линейную скорость V (мм/с), качество функции равновесия **КФР** (%). На втором этапе проводили аналогичное исследование в течение 1 секунды для регистрации спектра частот статокинезиограмм. На основании полученных диаграмм амплитудно-частотных характеристик фронтальных и сагиттальных колебаний центров давления проводили анализ спектра частот. Для этого рассчитывали величины первых трех максимальных амплитуд колебаний спектра $A1$, $A2$, $A3$ (мм) и соответствующих им частот $F1$, $F2$, $F3$ (Гц) по фронтальной и сагиттальной составляющим (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Пример диаграммы спектра частот колебаний ЦД тела при открытых глазах ребенка Н., 8 лет: а) во фронтальной плоскости; б) в сагиттальной плоскости.

Обозначения: F1, F2 и F3 – частота первого, второго и третьего пиков спектра;
A1, A2 и A3 – амплитуда первого, второго и третьего пиков спектра

Статистический анализ проводили с применением программы Statgraphics Centurion 16.2. Использовали критерии Манна–Уитни с уровнем для принятия различий 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение. В результате обработки стабилметрических данных выявлено значимое снижение величин площади **S** статокинезиограммы и скорости центра давления **V** у детей, занимающихся спортом, по сравнению со сверстниками из группы контроля (табл. 1).

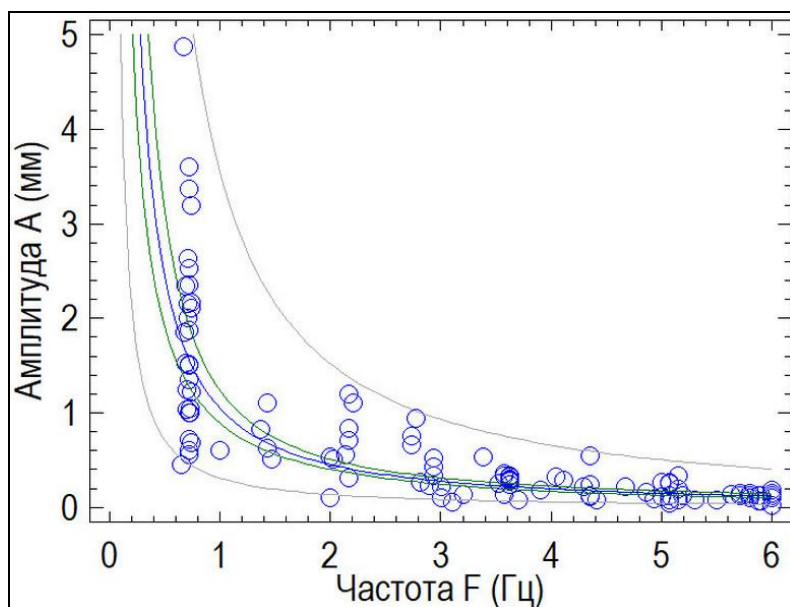
Таблица 1

Стабилметрические параметры теста Ромберга ($Me [Q_{25} - Q_{75}]$) у обследованных детей

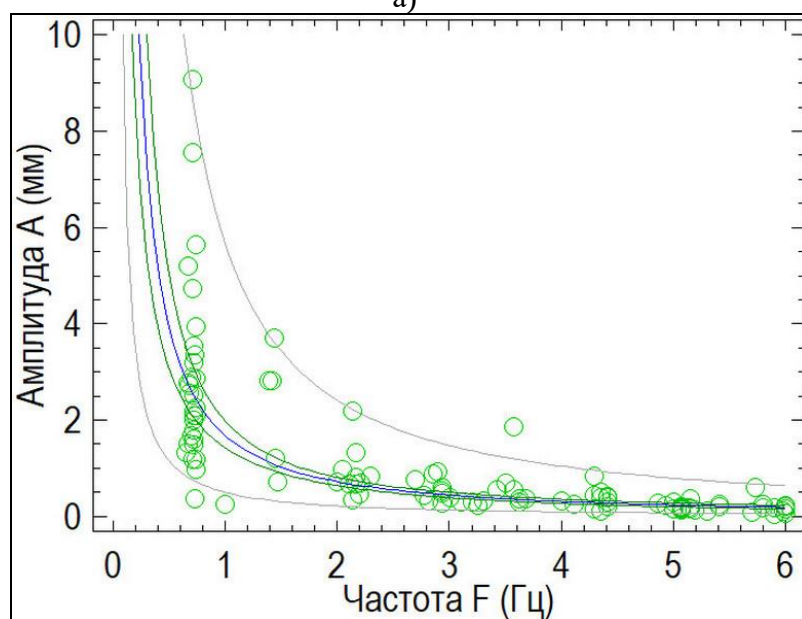
Параметры	Тест Ромберга ($t = 20$ секунд)				p	
	Открытые глаза		Закрытые глаза			
	НЗС (1)	СПОРТ (2)	НЗС (3)	СПОРТ (4)		
S (мм ²)	81 [39 – 90]	44 [26 – 67]	107 [71 – 214]	62 [41 – 80]	$p^{1-2} = 0,054$ $p^{3-4} = 0,009$	$p^{1-3} = 0,048$ $p^{2-4} = 0,106$
V (мм/с)	11 [8 – 14]	9 [8 – 11]	14 [11 – 18]	11 [9 – 14]	$p^{1-2} = 0,123$ $p^{3-4} = 0,047$	$p^{1-3} = 0,045$ $p^{2-4} = 0,031$
КФР (%)	76 [65 – 86]	83 [77 – 88]	66 [54 – 75]	77 [65 – 81]	$p^{1-2} = 0,097$ $p^{3-4} = 0,080$	$p^{1-3} = 0,036$ $p^{2-4} = 0,022$

Примечание: p^{1-2}, p^{3-4} – уровень значимости различий между спортсменами и неспортсменами; p^{1-3}, p^{2-4} – уровень значимости различий между параметрами при открытых и закрытых глазах. Обозначения: НЗС – дети, не занимающиеся спортом, СПОРТ – дети-спортсмены.

Полученный результат демонстрирует более высокую стабильность вертикального баланса тела у спортсменов. В пользу данного заключения свидетельствует четкая тенденция к увеличению параметров качества функции равновесия **КФР** у детей основной группы по сравнению с контрольной. Это, по-видимому, связано с активацией системы контроля осанки как неотъемлемой составляющей адаптационной реакции организма ребенка в ответ на повышенную физическую активность.



а)



б)

Рис. 2. Графическое отображение зависимости максимальных значений амплитуд колебаний центра давления тела A от их частоты F у детей-спортсменов при открытых и закрытых глазах: а) во фронтальной плоскости; б) в сагиттальной плоскости

Полученные в настоящем исследовании результаты находятся в соответствии с данными других авторов, продемонстрировавших повышение эффективности системы пострурального контроля у спортсменов и объясняющих указанный факт благотворными адаптивными изменениями сенсомоторных и нервно-мышечных функций атлетов [9].

При проведении спектрального анализа колебаний тела обследованных детей оценивали параметры максимальных значений амплитуд колебаний A и соответствующих им частот F (рис. 2). Для удобства проведения спектрального анализа весь спектр частот колебаний ЦД тела обследованных детей условно распределили на три группы: низкочастотные (ниже 1,0 Гц) [10], среднечастотные (от 1,0 до 2,0 Гц) и высокочастотные (от 2,0 до 6,0 Гц) колебания [11].

Таблица 2

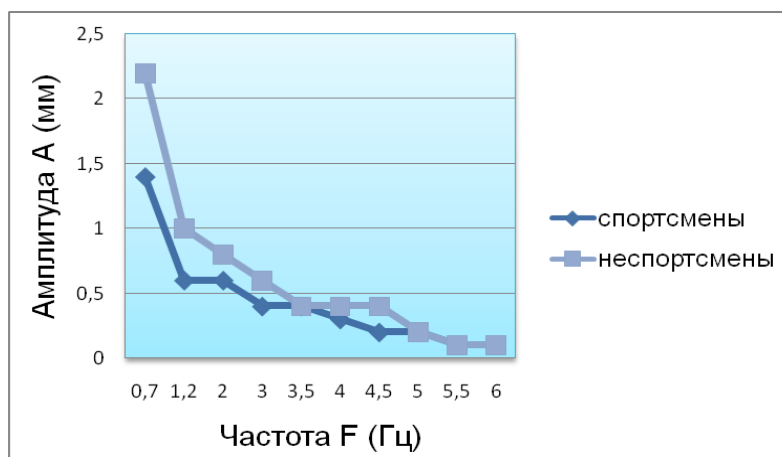
Показатели спектра частот теста Ромберга ($Me [Q_{25} - Q_{75}]$) у обследованных детей

Параметры		Тест Ромберга ($t = 1$ секунда)				p	
		Открытые глаза		Закрытые глаза			
		НЗС (1)	СПОРТ (2)	НЗС (3)	СПОРТ (4)		
Фронтальная плоскость X	F1 (Гц)	0,71 [0,69 – 0,75]	0,72 [0,72 – 0,73]	0,72 [0,69–0,76]	0,72 [0,71 – 0,74]	$p^{1-2} = 0,423$ $p^{3-4} = 0,622$	$p^{1-3} = 0,899$ $p^{2-4} = 0,846$
	F2 (Гц)	3,0 [2,8 – 3,5]	3,3 [2,2 – 3,6]	3,0 [2,2 – 3,6]	3,1 [2,2 – 3,6]	$p^{1-2} = 0,557$ $p^{3-4} = 0,547$	$p^{1-3} = 0,715$ $p^{2-4} = 0,824$
	F3 (Гц)	5,5 [5,0 – 5,7]	5,2 [5,0 – 5,9]	5,0 [4,9 – 5,5]	5,2 [5,0 – 5,8]	$p^{1-2} = 0,799$ $p^{3-4} = 0,131$	$p^{1-3} = 0,075$ $p^{2-4} = 0,703$
	A1 (мм)	2,2 [1,2 – 3,8]	1,2 [1,0 – 2,1]	2,6 [2,1 – 3,5]	1,7 [0,7 – 2,3]	$p^{1-2} = \mathbf{0,047}$ $p^{3-4} = \mathbf{0,017}$	$p^{1-3} = 0,392$ $p^{2-4} = 0,602$
	A2 (мм)	0,5 [0,3 – 0,7]	0,3 [0,2 – 0,3]	0,7 [0,4 – 1,0]	0,3 [0,1 – 0,7]	$p^{1-2} = \mathbf{0,053}$ $p^{3-4} = \mathbf{0,011}$	$p^{1-3} = 0,229$ $p^{2-4} = 0,987$
	A3 (мм)	0,19 [0,13 – 0,33]	0,13 [0,08 – 0,24]	0,25 [0,16 – 0,5]	0,15 [0,12 – 0,19]	$p^{1-2} = \mathbf{0,043}$ $p^{3-4} = \mathbf{0,010}$	$p^{1-3} = 0,217$ $p^{2-4} = 0,349$
Сагитальная плоскость Y	F1 (Гц)	0,72 [0,7 – 0,75]	0,72 [0,72 – 0,74]	0,71 [0,68–0,75]	0,72 [0,7 – 0,74]	$p^{1-2} = 0,509$ $p^{3-4} = 0,567$	$p^{1-3} = 0,545$ $p^{2-4} = 0,725$
	F2 (Гц)	2,9 [2,1 – 3,1]	2,5 [2,2 – 2,9]	3,5 [3,0 – 3,6]	3,1 [2,9 – 3,7]	$p^{1-2} = 0,787$ $p^{3-4} = 0,799$	$p^{1-3} = \mathbf{0,036}$ $p^{2-4} = \mathbf{0,017}$
	F3 (Гц)	5,0 [4,3 – 5,5]	5,1 [4,4 – 5,4]	5,4 [4,8 – 5,8]	5,2 [4,4 – 5,9]	$p^{1-2} = 0,309$ $p^{3-4} = 0,924$	$p^{1-3} = 0,161$ $p^{2-4} = 0,547$
	A1 (мм)	2,5 [2,0 – 3,5]	1,7 [1,2 – 2,3]	3,6 [2,2 – 6,1]	3,1 [2,6 – 4,7]	$p^{1-2} = \mathbf{0,012}$ $p^{3-4} = 0,569$	$p^{1-3} = 0,107$ $p^{2-4} = \mathbf{0,001}$
	A2 (мм)	0,7 [0,3 – 1,0]	0,6 [0,3 – 0,8]	0,7 [0,5 – 1,0]	0,5 [0,3 – 0,8]	$p^{1-2} = 0,558$ $p^{3-4} = 0,137$	$p^{1-3} = 0,516$ $p^{2-4} = 0,962$
	A3 (мм)	0,29 [0,20 – 0,46]	0,17 [0,14 – 0,23]	0,41 [0,23 – 0,8]	0,25 [0,18 – 0,40]	$p^{1-2} = \mathbf{0,018}$ $p^{3-4} = \mathbf{0,051}$	$p^{1-3} = 0,158$ $p^{2-4} = 0,069$

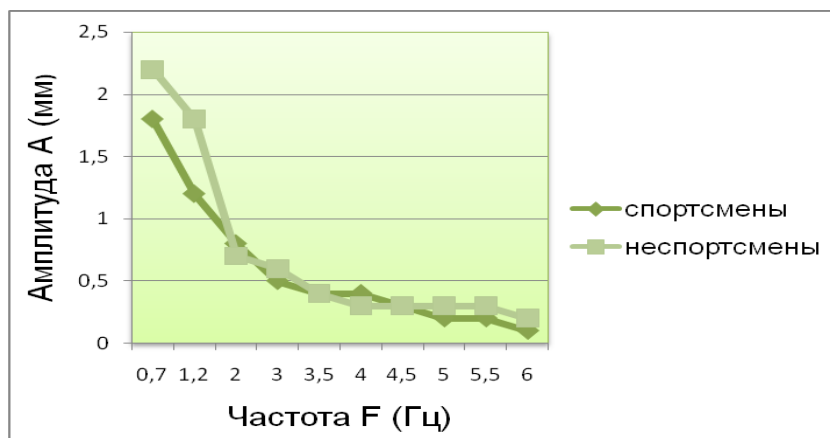
Примечание: $p^{1-2}, 3-4$ – уровень значимости различий между спортсменами и неспортсменами; $p^{1-3}, 2-4$ – уровень значимости различий между параметрами при открытых и закрытых глазах. Обозначения: НЗС – дети, не занимающиеся спортом; СПОРТ – дети-спортсмены, F1, F2 и F3 – частоты первого, второго и третьего пиков спектра; A1, A2 и A3 – амплитуды первого, второго и третьего пиков спектра.

Результаты настоящей работы продемонстрировали, что минимальная пиковая частота колебаний F1 центра давления тела у обследованных детей обеих групп находилась в низкочастотном диапазоне, при этом ее величина в обеих выборках была одинаковой и составляла 0,71–0,72 Гц, независимо от вовлеченности зрительного анализатора (рис. 2, табл. 2).

Полученное строго фиксированное значение частоты F1 указывает на отсутствие ее связи с дыхательными движениями детей. Во-первых, к «дыхательным» относят низкочастотные колебания с частотой 0,2 Гц, так как они связаны с ритмом дыхательных движений грудной клетки обследуемого. Во-вторых, ключевой момент настоящего исследования заключается в том, что длительность регистрации амплитудно-частотных характеристик составляла 1 секунду. За это время грудная клетка ребенка могла совершить не более 1/3–1/4 дыхательного цикла. В-третьих, отмечается высокая стабильность показателей F1 низкочастотного диапазона, величина квартильного разброса параметров в обеих группах детей незначительная и варьирует от 0,01 до 0,07 Гц. В то же время в высокочастотном спектре квартильный разброс пиковых показателей F2 и F3 достигает 1,5 Гц, что соответствует, в среднем, 50-кратному превышению величин показателей низкочастотного спектра. Поэтому неизменность величины первой пиковой частоты F1 можно интерпретировать в соответствии с ее связью с сердечными сокращениями. Такое объяснение является наиболее вероятным, так как частота сердечного ритма составляет порядка 1,0 Гц. Пиковые амплитуды A1 низкочастотных колебаний у детей-спортсменов в тестах с открытыми глазами оказались значимо ниже по сравнению с не занимающимися спортом сверстниками (рис. 3). Это свидетельствует о более высоком амплитудно-частотном показателе вертикального баланса у спортсменов, который может быть обусловлен большей степенью координации работы сегментов опорно-двигательного аппарата, обеспечивающих вертикальное положение тела [12].



а)



б)

Рис. 3. Графическое отображение соотношений пиковых амплитуд колебаний центров давления тела между спортсменами и неспортсменами при открытых глазах: а) во фронтальной плоскости; б) в сагиттальной плоскости

При данных условиях организм юных спортсменов как целостная колебательная система более стабилен на фоне постоянных возмущающих эндогенных флуктуаций, связанных с сердечным ритмом. В обеих группах детей колебания в среднечастотном спектре диапазона от 1,0 до 2,0 Гц практически отсутствовали, поэтому основной фокус настоящего исследования был сосредоточен в области высоких частот колебаний (от 2,0 до 6,0 Гц), которые не подвержены сознательному волевому контролю человека и иллюстрируют результат сокращения скелетных мышц [13].

Величины второй пиковой амплитуды А2 в сагиттальной плоскости в каждой из групп были практически одинаковые, медианные показатели указанных параметров варьировали незначительно – от 0,5 до 0,7 мм (табл. 2). Однако во фронтальной плоскости у детей основной группы показатели А2 были значимо ниже при открытых и закрытых глазах по сравнению с ровесниками из группы контроля (рис. 3а). Указанное обстоятельство может являться критерием, свидетельствующим об оптимальных амплитудно-частотных характеристиках вертикального баланса у детей-спортсменов по сравнению со сверстниками, не занимающимися спортом. Это может быть обусловлено повышенной координацией работы сегментов опорно-двигательной системы у спортсменов, обеспечивающих вертикальное положение тела. Указанный факт может свидетельствовать о благоприятной нейромышечной адаптации организма юных спортсменов к повышенным физическим нагрузкам, поскольку показатели величин амплитуд колебаний тела в высокочастотной области спектра являются критерием, иллюстрирующим оптимальную активность скелетных мышц [14]. При этом в тестах с открытыми глазами в обеих группах детей отмечается тенденция к увеличению амплитуды колебаний в сагиттальной плоскости по сравнению с

фронтальной, что является особенностью системы постурального контроля здорового человека. Частотные характеристики F2 в обследованных группах детей во фронтальной плоскости были неизменными независимо от наличия или отсутствия зрительного контроля, медианные показатели соответствовали высокочастотному спектру и составляли 3,0–3,3 Гц. Наоборот, в сагиттальной плоскости в обеих выборках наблюдалось значимое увеличение частоты F2 при выключении зрительного анализатора. Это является адекватной реакцией системы постурального контроля здорового человека на депривацию зрения, при которой в головной мозг поступает обедненный поток сенсорной информации. Сдвиги в частотных характеристиках при изменении условий представляют собой важные показатели нервно-мышечного контроля положения тела обследуемого [15].

Величины максимальной пиковой амплитуды A3 в обеих плоскостях при открытых и закрытых глазах были значимо ниже у детей, занимающихся спортом, по сравнению со сверстниками-неспорtsменами (табл. 2, рис. 3б). Указанное обстоятельство демонстрирует улучшение амплитудно-частотных характеристик вертикального баланса у спортсменов в высокочастотном диапазоне спектра. Это свидетельствует в пользу предположения о благоприятной нейромышечной адаптации организма юных спортсменов к повышенным физическим нагрузкам. Отмечается тенденция к увеличению показателей амплитуд колебаний A3 в сагиттальной плоскости по сравнению с фронтальной в обеих группах детей не только при открытых глазах (как в случае с пиковыми амплитудами A2), но и при закрытых. Частотные характеристики F3 в обеих группах детей в обеих плоскостях были достаточно стабильными независимо от наличия или отсутствия зрительного контроля, медианные показатели соответствовали высокочастотному спектру и находились в диапазоне 5,0–5,5 Гц.

Таким образом, стабилметрия является важным методом диагностики здоровья детей-спортсменов, так как позволяет интерпретировать функциональное состояние их локомоторной системы. Ценной составляющей стабилметрического исследования является частотный анализ благодаря его высокой чувствительности.

Заключение. Использование методологии частотного анализа статокинезиограмм позволило глубже оценить постуральный баланс у юных спортсменов, что дает возможность косвенно интерпретировать функциональное состояние их опорно-двигательного аппарата. Стабилметрический метод показал более высокий уровень устойчивости вертикального баланса у детей младшего школьного возраста, занимающихся спортом, по сравнению со сверстниками-неспорtsменами. Более оптимальные амплитудно-частотные характеристики вертикального баланса у юных спортсменов по данным спектрального анализа

свидетельствуют о благоприятной нейромышечной адаптации их организма к повышенным физическим нагрузкам.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования: работа проведена в рамках выполнения Государственного задания Минздрава России.

Список литературы

1. Абрамова Т.Ф., Никитина Т.М., Полфунтикова А.В., Иорданская Ф.А., Зюрин Э.А., Петрук Е.Н., Тарасова Л.В., Михалев С.В., Гилярова О.А. Влияние систематических занятий спортом на физическое развитие и физическую подготовленность детей 6–10 лет // Вестник Московского университета. Серия XXIII: Антропология. 2019. № 3. С. 5-14. DOI: 10.32521/2074-8132.2019.3.005-014.
2. Rodrigues F., Monteiro T., Ferraz R., Branquinho L., Forte P. The Association between Training Frequency, Symptoms of Overtraining and Injuries in Young Men Soccer Players // Int. J. Environ Res. Public Health. 2023. Vol. 20. Is. 8. P. 5466. DOI: 10.3390/ijerph20085466.
3. Walters B.K., Read C.R., Estes A.R. The effects of resistance training, overtraining, and early specialization on youth athlete injury and development // J. Sports Med. Phys Fitness. 2018. Vol. 58. Is. 9. P. 1339-1348. DOI: 10.23736/S0022-4707.17.07409-6.
4. Ørtenblad N., Nielsen J., Boushel R., Söderlund K., Saltin B., Holmberg H.C. The muscle fiber profiles, mitochondrial content, and enzyme activities of the exceptionally well-trained arm and leg muscles of elite cross-country skiers. Frontiers in physiology. 2018. Is. 9. P. 1031. DOI: 10.3389/fphys.2018.01031.
5. Opala-Berdzik A., Głowacka M., Wilusz K., Kołacz P., Szydło K., Juras G. Quiet standing postural sway of 10- to 13-year-old, national-level, female acrobatic gymnasts // Acta Bioeng. Biomech. 2018. Vol. 20. Is. 2. P. 117-123. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30220710/> (дата обращения: 09.01.2025).
6. Мельников А.А. Сравнение поструральной устойчивости у спортсменов с разной направленностью тренировочного процесса // Физическое воспитание и спортивная тренировка 2019. Т. 2. № 28. С. 60-71. URL: <https://sciup.org/140243709> (дата обращения: 09.01.2025).
7. Golomer E., Dupui P., Bessou P. Spectral frequency analysis of dynamic balance in healthy and injured athletes // Arch Int Physiol Biochim Biophys. 1994. Vol. 102. Is. 3. P. 225-229. DOI: 10.3109/13813459409007543.

8. Paillard T., Costes-Salon C., Lafont C., Dupui P. Are there differences in postural regulation according to the level of competition in judoists? // *Br. J. Sports Med.* 2002. Vol. 36. Is. 4. P. 304-305. DOI: 10.1136/bjism.36.4.304.
9. Zemková E., Kováčiková Z. Sport-specific training induced adaptations in postural control and their relationship with athletic performance // *Front Hum Neurosci.* 2023. Is. 16. P. 1007804. DOI: 10.3389/fnhum.2022.1007804.
10. Sosi 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. Is. 12. P. 756984. DOI: 10.3389/fneur.2021.756984.
11. Кожина Г.В., Левик Ю.С., Попов А.К., Сметанин Б.Н. Поддержание вертикальной позы при многократном повторении проб в условиях дестабилизации виртуального зрительного окружения // *Физиология человека.* 2019. Т. 45, № 5. 66-74. DOI: 10.1134/S0131164619050059.
12. Никитюк И.Е., Савина М.В. Двухплатформенный метод оценки стабильности вертикального баланса тела у детей раннего возраста, занимающихся спортом // *Современные проблемы науки и образования.* 2024. № 1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=33248> (дата обращения: 15.01.2025). DOI: 10.17513/spno.33248.
13. Gladwin T.E., Hashemi M.M., Ast V., Roelofs K. Ready and waiting: Freezing as active action preparation under threat // *Neurosci Lett.* 2016. Is. 619. P. 182-188. DOI: 10.1016/j.neulet.2016.03.027.
14. Rezvanian S., Lockhart T., Frames C., Soangra R., Lieberman A. Motor subtypes of Parkinson's disease can be identified by frequency component of postural stability // *Sensors (Switzerland).* 2018. Vol. 18. Is. 4. P. 1102. DOI: 10.3390/s18041102.
15. Sozzi S., Schieppati M. Balance Adaptation While Standing on a Compliant Base Depends on the Current Sensory Condition in Healthy Young Adults // *Front Hum Neurosci.* 2022. Is. 16. P. 839799. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.839799.