

ДВУХПЛАТФОРМЕННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ СТАБИЛЬНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО БАЛАНСА ТЕЛА У ДЕТЕЙ РАННЕГО ВОЗРАСТА, ЗАНИМАЮЩИХСЯ СПОРТОМ

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 инструментальными методами осанку и координацию движений у детей младшего школьного возраста, занимающихся спортом. С помощью двух стабилометрических платформ был исследован вертикальный баланс двух групп здоровых детей в возрасте от 7 до 10 лет по 14 человек в каждой. Основная группа – дети, занимающиеся спортом; контрольная группа – дети с обычным уровнем физической активности. В обеих группах детей младшего школьного возраста показатели вертикального баланса были хуже по сравнению с детьми старшей возрастной группы. Это проявлялось нестабильностью общего центра давления, смещение которого у детей-спортсменов достигало $-7[-11 - 6]$ мм во фронтальной и $-8[-11 - -3]$ мм – в сагиттальной плоскостях. При этом в основной группе детей показатели вертикального баланса были значительно лучше, чем в контрольной, что демонстрировалось менее выраженной асимметрией стабилометрических показателей на контралатеральных нижних конечностях у спортсменов: площадей статокинезиограмм S (соответственно, $23[16 - 54]$ мм² и $50[19 - 90]$ мм²) и разброса x (соответственно, $0,9[0,4 - 1,2]$ мм и $1,3[0,8 - 1,8]$ мм). Качественная оценка показала более скоординированные движения контралатеральных конечностей у детей-спортсменов, что проявлялось более стабильными показателями амплитуд линейных скоростей и более высокой степенью синфазности направлений результирующих векторов скоростей центров давления левой и правой нижних конечностей. Необходимы дальнейшие исследования по разработке математического аппарата для анализа скоростных характеристик движения центров давления контралатеральных нижних конечностей в целях оценки координации их движений.

Ключевые слова: дети, спорт, опорно-двигательная система физическое развитие, поструральный контроль; координация движений между нижними конечностями.

Работа проведена в рамках выполнения Государственного задания Минздрава России.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

A TWO-PLATFORM METHOD FOR ASSESSING THE STABILITY OF THE VERTICAL BALANCE OF THE BODY IN YOUNG CHILDREN ENGAGED IN SPORTS

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 posture and coordination of movements in primary school-age children involved in sports using instrumental methods. Using two stabilometric platforms, the vertical balance of two groups of healthy children aged 7 to 10 years, 14 people each, was studied. The main group consists of children engaged in sports, the control group consists of children with a normal level of physical activity. In both groups of children of primary school age, vertical balance indicators were worse compared to children of the older age group. This was manifested by instability of the general center of pressure, the displacement of which in child athletes reached $-7[-11 - 6]$ mm in the frontal and $-8[-11 - -3]$ mm in the sagittal planes. At the same time, in the main group of children, the indicators of vertical balance were significantly better than in the control group, which was demonstrated by a less pronounced asymmetry of stabilometric indicators on the contralateral lower extremities in athletes: the areas of statokinesiograms S (respectively, $23[16 - 54]$ mm² and $50[19 - 90]$ mm²) and the spread x (respectively, $0,9[0.4 - 1.2]$ mm and $1.3[0.8 - 1.8]$ mm). A qualitative assessment showed more coordinated movements of the contralateral limbs in child athletes, which was manifested by more stable indicators of linear velocity amplitudes and a higher degree of in-phase directions of the resulting velocity vectors of the pressure centers of the left and right lower extremities. Further research is needed to develop a mathematical apparatus for analyzing the velocity characteristics of the movement of pressure centers of the contralateral lower extremities to assess the coordination of their movements.

Ключевые слова: children, sport, musculoskeletal system, physical development postural control, inter-legs coordination.

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Russian Ministry of Health.

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

В настоящее время перед обществом и государством поставлена важная социальная задача – сохранение и укрепление здоровья детского населения страны. Поддержание правильной осанки является неотъемлемым аспектом функционирования детского организма. Влияние спортивных упражнений на осанку у детей достаточно подробно освещено в научной литературе. В настоящее время принято считать, что занятия любым видом спорта способствуют улучшению осанки [1]. Хороший постуральный баланс снижает риск спортивных травм и их негативных последствий для физического состояния спортсмена [2]. Высокая стабильность осанки считается необходимым условием для улучшения контроля произвольных движений в спорте и, следовательно, для повышения спортивных результатов [3]. Были проведены исследования по выявлению взаимосвязи между физическими характеристиками людей, занимающихся спортом, и их способностью сохранять высокую стабильность вертикального баланса тела. Однако в большинстве публикаций сообщается о наилучших показателях осанки только у спортсменов высокой квалификации [4]. Не всем исследователям удалось выявить тесную связь между уровнем квалификации спортсмена и его устойчивостью в вертикальном положении [5]. Вопросы физиологических особенностей опорно-двигательной системы у детей раннего возраста, занимающихся спортом, раскрыты недостаточно, хотя хорошо известно о позитивном влиянии раннего начала занятий спортом на детский организм [6]. Предполагается, что у лиц, занимающихся спортом, повышенный уровень постурального контроля определяется выработанной в процессе тренировок способностью к высокой координации движений [7]. На сегодняшний день для изучения координации движений контралатеральных конечностей перспективна методика с использованием двух синхронизированных стабилметрических платформ [8], которая является высокоинформативной при комплексном обследовании спортсменов [9]. У юных спортсменов вопросы координации движений практически не изучены.

Цель исследования – оценить инструментальными методами осанку и координацию движений у детей младшего возраста, занимающихся спортом.

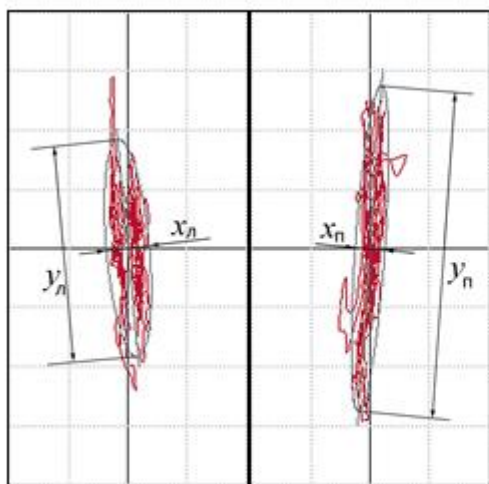
Материал и методы исследования. При проведении исследования были сформированы основная и контрольная группы по 14 детей в каждой в возрасте от 7 до 10 лет, у которых показатели веса и роста соответствовали возрастным нормативам, при этом отсутствовала патология опорно-двигательной и нервной систем. При выборе критериев включения обследуемых в каждую группу использовали рекомендации других авторов [10]:

– основная группа – дети, занимающиеся спортом (дети-спортсмены): повышенный уровень физической активности в течение одного года – спортивные тренировки 3 раза в неделю от 1 часа в день;

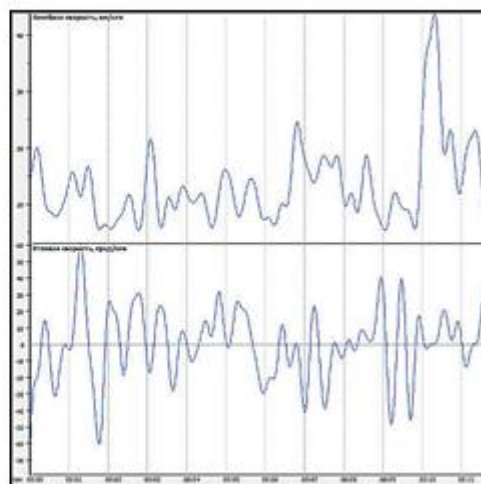
– контрольная группа – дети, не занимающиеся спортом: обычный уровень физической активности – физические нагрузки в рамках школьных уроков физкультуры.

При подборе детей-спортсменов отдавали предпочтение следующим спортивным дисциплинам: спортивной и художественной гимнастике, баскетболу, футболу, легкой атлетике. Указанные виды спорта относятся к так называемым бипедальным («bipedal sport»), при занятиях которыми требуются повышенные динамические осевые нагрузки, распределяемые достаточно равномерно на обе нижние конечности.

В обеих группах детей оценивали поструральный баланс тела, проводя стабилметрическое обследование с помощью комплекса «Стабилан 01-2» (ОКБ РИТМ, Россия) в двухплатформенной модификации. Детей в процессе обследования устанавливали в течение 20 секунд поочередно с открытыми и закрытыми глазами на две рядом стоящие платформы из расчета по одной стопе на каждую. При этом у всех обследуемых добивались идентичности расположения стоп, которая достигалась их установкой на одинаковом расстоянии от внутренних краев платформ параллельно друг другу. Расстояние между стопами для каждого ребенка было индивидуальным и соответствовало расстоянию между передними верхними осями таза. При этом регистрировали отклонение общего центра давления тела (ОЦД) во фронтальной X (мм) и в сагиттальной Y (мм) плоскостях. Определяли параметры движения центров давления контралатеральных конечностей: площади статокинезиограмм S (мм²), средние показатели линейных V (мм/с) и угловых Ω (град/с) скоростей центров давления.



а)



б)

Рис. 1. Графическое отображение движения центров давления нижних конечностей обследованных детей: а) статокинезиограммы контралатеральных нижних конечностей (л – левая нижняя конечность, п – правая нижняя конечность); скорости ЦД – линейная V (вверху) и угловая Ω (внизу)

Рассчитывали среднеквадратические отклонения (разброс) показателей центров давления контралатеральных конечностей во фронтальной x (мм) и в сагиттальной y (мм) плоскостях (рис. 1а). Проводили анализ скоростных характеристик центров давления (рис. 1б). Вычисляли модуль значений асимметрии стабилметрических показателей между левой и правой нижними конечностями ΔS (мм²), Δx (мм), Δy (мм), ΔV (мм/с) и $\Delta \Omega$ (град/с). Данные стабилметрических исследований сравнивали с результатами аналогичных ранее проведенных исследований у детей старшего возраста (15–17 лет) [11].

Статистический анализ проводили с использованием программы SPSS 11.5 (разработчик IBM, США) и Statgraphics Centurion 16.2 (разработчик Statpoint Technologies, Inc., США). Проводили корреляционный анализ. Использовали критерий Манна–Уитни с уровнем для принятия различий 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ смещения общего центра давления выявил тенденцию к его левостороннему отклонению во фронтальной плоскости (ось X) в обеих группах обследованных детей. При этом различия в смещении ОЦД по оси X между группами было незначимым ($p=0,984$): показатель координаты X составил $-5[-12 - 1]$ мм у детей контрольной группы и $-7[-11 - 6]$ мм – у детей основной группы. По оси Y наблюдалось умеренное смещение ОЦД назад на величину $-7[-12 - 4]$ мм у детей контрольной группы и $-8[-11 - -3]$ мм – у детей основной группы ($p=0,885$). Таким образом, независимо от уровня физической нагрузки у детей младшего школьного возраста наблюдаются более выраженные отклонения общего центра давления во фронтальной и сагиттальной плоскостях по сравнению с обычными детьми старшей возрастной группы. Полученные результаты согласуются с данными других авторов, указывающих на улучшение показателей вертикального баланса тела у здоровых детей с возрастом [12].

Таблица 1

Показатели движений центров давления левой и правой нижних конечностей ($Me [Q_{25} - Q_{75}]$) у обследованных детей

Параметры	Группы обследованных детей		p
	Не занимающиеся спортом (n=14)	Занимающиеся спортом (n=14)	

	Левая НК (1)	Правая НК (2)	Левая НК (3)	Правая НК (4)	
Площадь S (мм ²)	77 [35 – 111]	17 [14 – 24]	36 [21 – 73]	12 [7 – 27]	$p^{1-3} = 0,009$ $p^{2-4} = 0,145$
Разброс x (мм)	2,0 [1,5 – 2,6]	0,7 [0,5 – 0,9]	1,3 [0,8 – 1,9]	0,6 [0,4 – 0,7]	$p^{1-3} = 0,001$ $p^{2-4} = 0,218$
Разброс y (мм)	4,0 [2,8 – 4,9]	4,3 [3,2 – 5,3]	2,6 [2,3 – 3,3]	3,5 [2,5 – 4,1]	$p^{1-3} = 0,011$ $p^{2-4} = 0,044$
Скорость V (мм/с)	13 [11 – 17]	10 [8 – 12]	10 [8 – 12]	8 [7 – 10]	$p^{1-3} = 0,009$ $p^{2-4} = 0,071$
Скорость Ω (град/с)	26 [23 – 28]	28 [26 – 33]	29 [26 – 30]	32 [28 – 36]	$p^{1-3} = 0,014$ $p^{2-4} = 0,147$

Примечание: p^{1-3} – уровень значимости различий в показателях левой НК между группами детей; p^{2-4} – уровень значимости различий в показателях правой НК между группами детей. НК – нижняя конечность.

При сравнительном анализе баланса контралатеральных нижних конечностей у обследованных детей были выявлены значимые межгрупповые различия в стабилметрических параметрах только на левой нижней конечности (табл. 1). У детей, не занимающихся спортом, на левой нижней конечности были существенно увеличены по сравнению с детьми-спортсменами показатели площадей статокинезиограмм **S**, а также показатели среднеквадратических отклонений центров давления во фронтальной (разброс **x**) и в сагиттальной (разброс **y**) плоскостях (рис. 2).

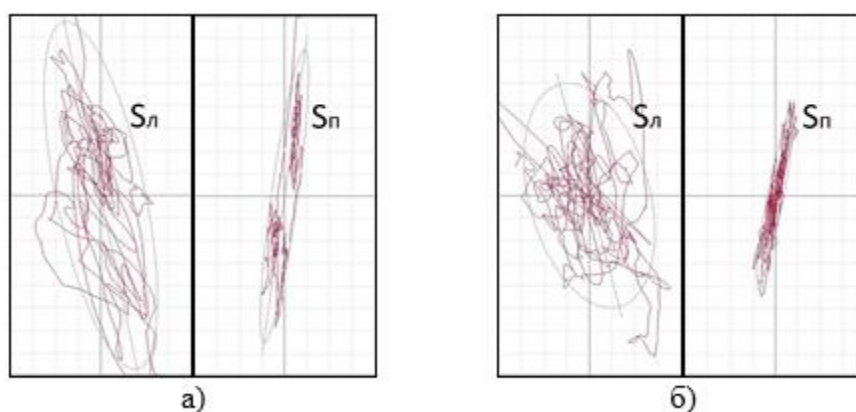


Рис. 2. Примеры статокинезиограмм контралатеральных нижних конечностей: а) детей, не занимающихся спортом; б) детей-спортсменов. У ребенка, не занимающегося спортом, площади статокинезиограмм **S**, а также длинные оси их эллипсов (разброс **y**) имеют более высокие значения, чем у детей-спортсменов

При этом на правой нижней конечности в обеих группах детей были снижены параметры **S** и **x**, которые не имели значимых межгрупповых различий. В то же время на этой конечности у детей контрольной группы величина параметра **y** значимо превышала аналогичный показатель у детей основной группы. Анализ скоростных параметров движения центров давления выявил значимое увеличение линейной скорости **V** и снижение угловой

скорости Ω на левой нижней конечности у детей контрольной группы. Полученные результаты могут свидетельствовать о снижении способности опорно-двигательной системы удерживать баланс тела у детей, не занимающихся спортом, вследствие недостатка быстрых своевременных стабилизирующих микродвижений левой нижней конечности. Указанные факты свидетельствуют о более стабильном вертикальном балансе у детей, занимающихся спортом, вследствие улучшенных статокинетических характеристик левой нижней конечности.

При анализе выраженности асимметрии Δ параметров движения между левой и правой нижними конечностями в обеих группах детей были выявлены существенные различия в таких показателях, как площадь статокинезиограмм S , линейная V и угловая Ω скорости (табл. 2), которые превышали аналогичные показатели у детей старшего возраста. Продемонстрированная асимметрия стабилметрических параметров у обследованных детей обеих групп может быть обусловлена неравнозначностью локомоторных функций нижних конечностей, что характерно для младшего школьного возраста [13].

Таблица 2

Асимметрия стабилметрических показателей Δ между левой и правой нижними конечностями ($Me [Q_{25} - Q_{75}]$) у обследованных детей

Параметры	Группы обследованных детей		p
	Не занимающиеся спортом ($n=14$)	Занимающиеся спортом ($n=14$)	
ΔS (мм ²)	50 [19 – 90]	23 [16 – 54]	0,046
Δx (мм)	1,3 [0,8 – 1,8]	0,9 [0,4 – 1,2]	0,007
Δy (мм)	1,3 [0,4 – 2,0]	0,9 [0,5 – 1,3]	0,598
ΔV (мм/с)	4 [1 – 6]	3 [1 – 5]	0,251
$\Delta \Omega$ (град/с)	4 [2 – 8]	5 [3 – 8]	0,535

Примечание: p – уровень значимости различий между группами детей.

При этом у детей, не занимающихся спортом, показатели асимметрии площадей статокинезиограмм ΔS , а также показателей среднеквадратических отклонений центров давления во фронтальной плоскости (разброс Δx) значительно превышают таковые у детей-спортсменов. Это указывает на менее стабильный вертикальный баланс у детей младшего школьного возраста, не занимающихся спортом, по сравнению с детьми, занимающимися спортом.

Таблица 3

Значения корреляционных связей r_s между стабилметрическими показателями левой и правой нижних конечностей у обследованных детей

Корреляции	Коэффициент корреляции Спирмена r_s	
	Дети, не занимающиеся спортом ($n=14$)	Дети, занимающиеся спортом ($n=14$)
$S \sim S$	0,71 (0,002)	0,32 (0,308)
$x \sim x$	0,45 (0,034)	0,23 (0,268)
$y \sim y$	0,34 (0,122)	0,42 (0,031)
$V \sim V$	0,43 (0,048)	0,40 (0,045)
$\Omega \sim \Omega$	0,37 (0,093)	0,18 (0,371)

Примечание: числа в скобках означают уровень значимости p коэффициента r_s .

Корреляционный анализ стабилметрических параметров выявил взаимосвязи между разбросами x и площадями статокинезиограмм S контралатеральных нижних конечностей от умеренной до сильной у детей, не занимающихся спортом, слабую – у детей-спортсменов (табл. 3). Однако у детей контрольной группы имеет место более высокая асимметрия параметров S и x , поэтому сильные корреляции между этими параметрами не являются показателем высокой согласованности движений центров давления левой и правой нижних конечностей. У детей в обеих группах выявлена умеренная корреляционная взаимосвязь между средними значениями линейных скоростей V , уступающая по силе у детей старшей возрастной группы. С одной стороны, этот результат может свидетельствовать о хорошей согласованности движений центров давления контралатеральных нижних конечностей, с другой – об относительно невысокой координации движений у детей младшего школьного возраста. Качественный анализ скоростных характеристик выявил существенные различия между группами обследованных детей в синхронности изменения фаз колебаний линейных скоростей ЦД и согласованности варьирования величины их амплитуд. У детей основной группы отмечались более стабильные показатели амплитуд линейных скоростей и более высокая степень синфазности направлений результирующих векторов скоростей ЦД контралатеральных нижних конечностей по сравнению с детьми контрольной группы (рис. 3).

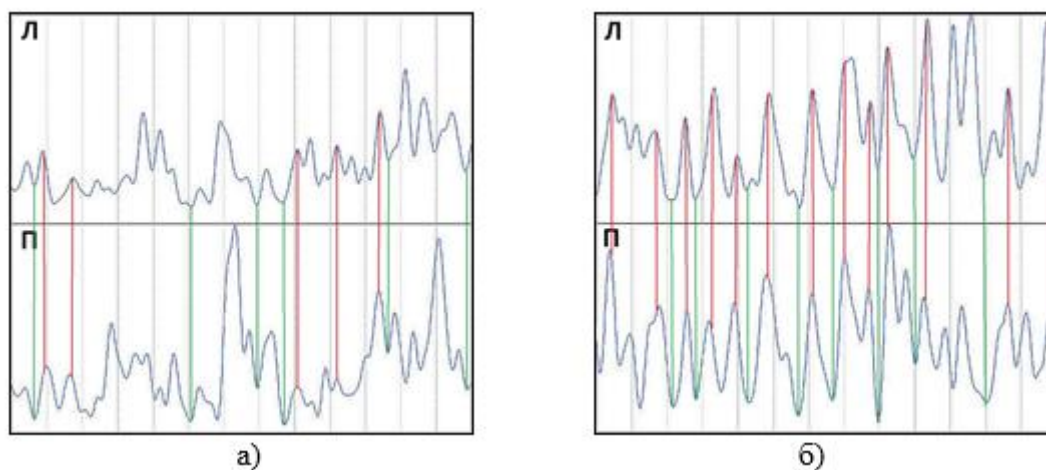


Рис. 3. Примеры диаграмм линейных скоростей V движения центров давления контралатеральных нижних конечностей: а) ребенка, не занимающегося спортом; б) ребенка, занимающегося спортом. Моменты абсолютной синфазности направлений результирующих векторов скоростей ЦД контралатеральных нижних конечностей обозначены зеленым цветом при минимальных значениях V , красным цветом – при максимальных значениях V . Л – левая нижняя конечность, П – правая нижняя конечность

Необходимо отметить, что качественные критерии недостаточны для полноценной оценки координации движений, поэтому требуются дальнейшие исследования по разработке математического аппарата для анализа скоростных характеристик движения центров давления контралатеральных нижних конечностей.

В целом, координация движений у спортсменов изучена недостаточно и описана преимущественно у лиц, не занимающихся спортом [14]. Внедрение в практику инструментальных методов мониторинга вертикального баланса является актуальным для оценки уровня подготовки молодых спортсменов [15]. При организации тренировочного процесса очень важно учитывать фактор незрелости опорно-двигательной системы у детей раннего возраста. Нацеленность на высокий результат может привести к увлечению юными атлетами силовыми и скоростными тренировками, форсированию физических нагрузок, что чревато риском нарушения механизмов адаптации у ребенка. Поэтому нельзя игнорировать другие, не менее важные особенности двигательной активности детского организма, а именно способности к координации движений.

Заключение

У детей младшего школьного возраста показатели вертикального баланса хуже по сравнению с детьми старшей возрастной группы. Это проявляется нестабильностью общего центра давления во фронтальной и сагиттальной плоскостях, выраженной асимметрией

стабилометрических показателей на контралатеральных нижних конечностях: площадей статокинезиограмм S и среднеквадратических отклонений центров давления x . При этом показатели вертикального баланса у детей, занимающихся спортом, значительно лучше по сравнению с детьми аналогичного возраста, не занимающимися спортом. Согласно качественной оценке, у детей-спортсменов движения контралатеральных конечностей более скоординированы, что проявляется более стабильными показателями амплитуд линейных скоростей и более высокой степенью синфазности направлений результирующих векторов скоростей центров давления левой и правой нижних конечностей. Для оценки координации движений необходима разработка математического аппарата для анализа скоростных характеристик движения центров давления контралатеральных нижних конечностей, что требует дальнейших исследований.

Список литературы

1. Andreeva A., Melnikov A., Skvortsov D., Akhmerova K., Vavaev A., Golov A., Draugelite V., Nikolaev R., Chechelnicakaia S., Zhuk D., Bayerbakh A., Nikulin V., Zemková E. Postural stability in athletes: The role of sport direction // *Gait Posture*. 2021. Vol. 89. P. 120-125. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2021.07.005.
2. Keller J.L., Housh T.J., Smith C.M., Hill E.C., Schmidt R.J., Johnson G.O. Sex-Related Differences in the Accuracy of Estimating Target Force Using Percentages of Maximal Voluntary Isometric Contractions vs. Ratings of Perceived Exertion During Isometric Muscle Actions // *J. Strength Cond. Res*. 2018. Vol. 32. no. 11. P. 3294-3300. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002210.
3. Liang Y., Hiley M., Kanosue K. The effect of contact sport performance level on postural control // *PLoS ONE*. 2019. Vol. 14. no. 2. P. e0212334. DOI: 10.1371/journal.pone.0212334.
4. Paillard T. Relationship Between Sport Expertise and Postural Skills // *Front Psychol*. 2019. Vol. 10. P. 1428. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.01428.
5. Chapman D.W., Needham K.J., Allison G.T., Lay B., Edwards D.J. Effects of experience in a dynamic environment on postural control // *Br. J. Sports Med*. 2008. Vol. 42. no. 1. P. 16-21. DOI: 10.1136/bjism.2006.033688.
6. Абрамова Т.Ф., Никитина Т.М., Полфунтикова А.В., Иорданская Ф.А., Зюрин Э.А., Петрук Е.Н., Тарасова Л.В. Влияние систематических занятий спортом на физическое развитие и физическую подготовленность детей 6-10 лет // *Вестник Московского университета. Серия 23: Антропология*. 2019. № 3. С. 5-14. DOI: 10.32521/2074-8132.2019.3.005-014.

7. Мельников А.А. Сравнение постуральной устойчивости у спортсменов с разной направленностью тренировочного процесса // Физическое воспитание и спортивная тренировка 2019. Т. 2. № 28. С. 60-71.
8. Minamisawa T., Chiba N., Suzuki E. Association of bilateral lower limb coordination while standing with body sway control and aging // Somatosens Mot Res. 2021. Vol. 38. no. 4. P. 294-302. DOI: 10.1080/08990220.2021.1973402.
9. Седоченко С.В., Савинкова О.Н., Попова И.Е. Изучение билатеральных стабилметрических параметров квалифицированных прыгунов в воду // Человек. Спорт. Медицина. 2022. Т. 22. № S1. С. 23-27. DOI: 10.14529/hsm22s104.
10. Maitre J., Paillard T.P. Influence of the Plantar Cutaneous Information in Postural Regulation Depending on the Age and the Physical Activity Status // Front. Hum. Neurosci. 2016. no. 10. P. 409. DOI: 10.3389/fnhum.2016.00409.
11. Никитюк И.Е., Боцарова С.А., Семенов М.Г., Мурашко Т.В., Виссарионов С.В. Нарушение постурального баланса туловища у подростков с мезиальным соотношением зубных рядов до и после оперативного лечения при наличии и отсутствии врожденных аномалий развития шейного отдела позвоночника // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2023. Т. 11. № 4. С. 473-486. DOI: 10.17816/PTORS606640.
12. Condon C., Katie Cremin K. Static balance norms in children // Physiother Res Int. 2014. Vol. 19. no. 1. P. 1-7. DOI: 10.1002/pri.1549.
13. Витензон А.С., Петрушанская К.А., Спивак Б.Г., Матвеева И.А., Гриценко Г.П., Сутченков И.А. Особенности биомеханической структуры ходьбы у здоровых детей разного возраста // Российский журнал биомеханики. 2013. Т. 17. № 1 (59). С. 78-93.
14. Rakhra S.K., Singer J.C. The effect of ageing on between-limb centre of pressure coordination in standing balance: Is there evidence for reactive control challenges among older adults? Hum Mov Sci. 2022. no. 86. P. 103019. DOI: 10.1016/j.humov.2022.103019.
15. 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. no. 2. P. 117-123.