

УДК 796.012.2:796.01:612

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОТОРНОЙ АСИММЕТРИИ У ШКОЛЬНИКОВ 7–10 ЛЕТ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ И НЕ ЗАНИМАЮЩИХСЯ СПОРТОМ

Никитюк И.Е.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера», Пушкин, e-mail: femtotech@mail.ru

Цель исследования – функциональная диагностика адапционных изменений опорно-двигательной системы детей младшего школьного возраста, занимающихся спортом. Было проведено исследование асимметрии движений контралатеральных нижних конечностей в двух группах детей младшего школьного возраста от 7 до 10 лет, занимающихся и не занимающихся спортом, по 15 чел. в каждой. Использовали двухплатформенный метод стабилотрии для одновременной регистрации параметров движения центров давления левой и правой нижних конечностей с последующей оценкой асимметрии Δ геометрических характеристик статокинезиограмм и асимметрии скоростных характеристик движений центров давления контралатеральных нижних конечностей. У детей, занимающихся спортом, асимметрия интегрального показателя асимметрии движений не была увеличена по сравнению со сверстниками, не занимающимися спортом. При этом у детей-спортсменов, по сравнению с детьми-неспортсменами, выявлена тенденция к снижению асимметрии геометрических характеристик статокинезиограмм, в частности, показатели асимметрии площадей статокинезиограмм ΔS у спортсменов были ниже. В то же время у детей-спортсменов была повышена асимметрия скоростных характеристик движений центров давления левой и правой нижних конечностей по сравнению с детьми, не занимающимися спортом: линейной скорости $\Delta V-Y$ и коэффициента резкого изменения направления движения. Фактор моторной асимметрии нижних конечностей необходимо учитывать в тренировочном процессе детей младшего школьного возраста для профилактики травматизма.

Ключевые слова: детский спорт, адапционные изменения организма спортсмена, функциональная асимметрия между нижними конечностями

Работа проведена в рамках выполнения Государственного задания Минздрава России.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MOTOR ASYMMETRY IN SCHOOLCHILDREN AGED 7–10 YEARS, ENGAGED AND NOT ENGAGED IN SPORTS

Nikityuk I.E.

National Medical Research Center for Pediatric Traumatology and Orthopedics
named after G.I. Turner, Pushkin, e-mail: femtotech@mail.ru

The purpose of the study is the functional diagnosis of adaptive changes in the musculoskeletal system of primary school age children involved in sports. A study was conducted on the asymmetry of movements of the contralateral lower extremities in two groups of primary school children from 7 to 10 years old, engaged and not engaged in sports, 15 people each. A two-platform stabilometry method was used to simultaneously register the parameters of the movement of the centers of pressure of the left and right lower extremities, followed by an assessment of the asymmetry Δ of the geometric characteristics of statokinesiograms and the asymmetry of the velocity characteristics of the movements of the centers of pressure of the contralateral lower extremities. In children engaged in sports, the asymmetry of the integral indicator of asymmetry of movements was not increased compared with peers who do not engage in sports. Meanwhile, in children-athletes, compared with non-athletes, a tendency to decrease the asymmetry of the geometric characteristics of statokinesiograms was revealed, in particular, the asymmetry of the areas of statokinesiograms ΔS in athletes was lower. At the same time, the asymmetry of the speed characteristics of the movements of the pressure centers of the left and right lower extremities was increased in children-athletes compared with children who do not play sports: the linear velocity vector $\Delta V-Y$ and the coefficient of a sharp change in direction of movement. The factor of motor asymmetry of the lower extremities must be taken into account in the training process of primary school children for the prevention of injuries.

Keywords: children's sport, adaptive changes in the athlete's body, functional inter-legs asymmetry

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

Приобщение детей к спорту является одной из важных социальных задач государства, так как повышение физической активности оказывает положительное влияние на развитие ребенка. При планировании тренировок с юными спортсменами необходимо учитывать физиологические особенности детского организма. Хорошо

известно, что для здоровых детей младшего школьного возраста характерна легкая двигательная асимметрия контралатеральных нижних конечностей, которая обусловлена неравнозначностью их локомоторных функций вследствие физиологической межполушарной асимметрии. Однако при систематических повышенных физических на-

грузках асимметрия движений нижних конечностей становится более выраженной на фоне развития адаптивных процессов в опорно-двигательной системе, направленных на оптимизацию затрат метаболической энергии [1]. В процессе регулярных тренировок функциональная асимметрия между доминирующей и недоминирующей нижними конечностями спортсмена может усугубляться, так как они нередко выполняют разноплановые задачи и претерпевают неравноценные нагрузки. Повышенная моторная асимметрия нижних конечностей у спортсменов рассматривается как фактор, повышающий риск получения травмы [2, 3]. Функциональную асимметрию нижних конечностей обычно количественно оценивают с помощью изокинетических силовых тестов и анализа прыжков [4, 5]. Однако указанные методы функциональной диагностики применимы только для опытных атлетов. В то же время проблема асимметрии кинематической структуры локомоций детей младшей возрастной группы в настоящее время изучена недостаточно [6]. Разработка методологии функциональной оценки двигательной асимметрии является важным аспектом детского спорта, позволяющим не только охарактеризовать физические возможности и работоспособность юных спортсменов, но и способствовать пониманию факторов, снижающих риск получения травм.

Цель исследования – функциональная диагностика адаптационных изменений опорно-двигательной системы детей младшего школьного возраста, занимающихся спортом.

Материалы и методы исследования

Было проведено исследование асимметрии движений контралатеральных нижних конечностей у 15 детей младшего школьного возраста (от 7 до 10 лет), занимающихся спортом не менее одного года. Критерий включения в исследование спортивных дисциплин подразумевал так называемые «симметрирующие» виды спорта: футбол, баскетбол, гимнастика, легкая атлетика, занятия которыми обеспечивает достаточно равномерное распределение силовых нагрузок между нижними конечностями. Все дети проходили начальные этапы спортивных тренировок, которые носили преимущественно оздоровительный подготовительный характер и не предусматривали значительной спортивной специализации. Такая общая физическая подготовка определяла постепенное повышение со временем интенсивности физических нагрузок вплоть до подключения упражнений на вы-

работку мышечной силы без отягощений. Все это позволяло исключить избыточность и неравномерность нагрузок не только на контралатеральные нижние конечности, но и в целом на опорно-двигательную систему растущего ребенка. С учетом указанных критериев группу детей, занимающихся спортом, можно рассматривать как однородную. Для контроля сформировали группу из 15 детей того же возраста с обычной повседневной двигательной активностью. У всех детей отсутствовала патология опорно-двигательной и нервной систем, антропометрические характеристики соответствовали возрастной норме. Асимметрию движений контралатеральных нижних конечностей оценивали методом стабилومتрии в тестах с открытыми и закрытыми глазами с использованием двух платформ комплекса «Стабилан 01-2» (ОКБ РИТМ, Россия), по одной под каждую стопу. Стопы устанавливали на платформы идентично для всех обследуемых – параллельно друг другу по американскому варианту. Для оценки постурального баланса нижних конечностей фиксировали параметры движения центров давления (ЦД) отдельно левой и правой конечностей: величину длинной и короткой осей фигур эллипса статокинезиограмм, соответственно, y (мм) и x (мм), площади статокинезиограмм S (мм²), значения углов направления колебаний α (град) (рис. 1, а). Определяли степень растянутости статокинезиограмм вдоль их длинной оси – коэффициент сжатия КС, а также показатель качества функции равновесия КФР (%) каждой из контралатеральных нижних конечностей. Рассчитывали скоростные характеристики движений центров давления нижних конечностей: скорость изменения площади статокинезиограммы V_s (мм²/с), линейную скорость V (мм/с) ЦД и проекции ее векторов в декартовой системе координат на ось абсцисс и ось ординат, соответственно, $V-X$ (мм/с) и $V-Y$ (мм/с) (рис. 1, б), угловую скорость Ω (град/с).

Вычисляли соотношение угловой и линейной скоростей $\Delta\Omega/V$ (град/с²), определяли коэффициент резкого изменения направления движения КРИНД (%) центров давления нижних конечностей. Определяли асимметрию стабилметрических параметров, вычисляя модуль разницы значений показателей между левой и правой нижними конечностями: Δx (мм), Δy (мм), ΔS (мм²), $\Delta \alpha$ (град), $\Delta КС$, $\Delta КФР$ (%), ΔV_s (мм²/с), ΔV (мм/с), $\Delta V-X$ (мм/с), $\Delta V-Y$ (мм/с), $\Delta \Omega$ (град/с), $\Delta \Omega/V$ (град/с²), $\Delta КРИНД$ (%). Рассчитывали показатель асимметрии движений ПАД (мм×град/с²) нижних конечностей по известной формуле [7].

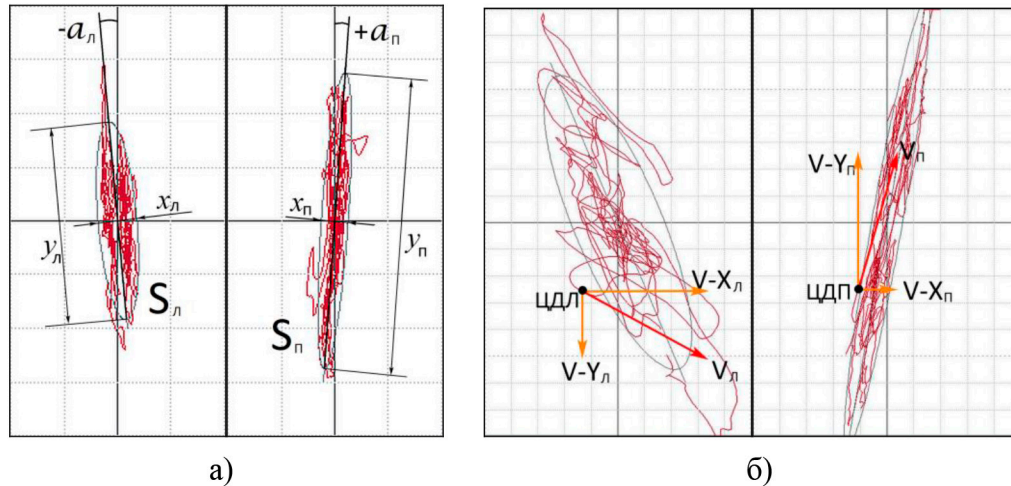


Рис. 1. Графическое отображение параметров стабилотрии контралатеральных нижних конечностей обследованных детей: а) геометрические характеристики статокинезиограмм; б) скоростные характеристики движения центров давления. Л – слева, П – справа, ЦДЛ и ЦДП – центры давления, соответственно левой и правой нижних конечностей

Таблица 1

Показатели асимметрии Δ между геометрическими характеристиками статокинезиограмм контралатеральных нижних конечностей (Me [Q₂₅ – Q₇₅]) у обследованных детей

Группы детей	Параметры					
	Δx (мм)	Δy (мм)	ΔS (мм ²)	Δa (град)	ΔКС	ΔКФР (%)
Дети НЗС (n = 15)	1,1 [0,7–1,6]	1,3 [0,4–2,9]	42 [12–87]	11 [4–18]	9 [6–13]	11 [4–19]
Дети-спортсмены (n = 15)	1,0 [0,5–1,2]	1,0 [0,5–1,6]	30 [16–55]	8 [4–20]	9 [5–14]	8 [3–15]
p	0,182	0,618	0,231	0,592	0,769	0,178
P-value	0,027	0,083	0,008	0,146	0,992	0,889

Примечание: p – уровень значимости различий между группами детей (критерий Манна – Уитни), P-value – уровень значимости различий между стандартными отклонениями (F-критерий Фишера). НЗС – не занимающиеся спортом.

Для удобства расчетов указанная формула была преобразована в более сокращенный вариант:

$$ПАД = (|\Delta x| + |\Delta y|) \cdot |\Delta\Omega/V|,$$

где

$$\Delta x = x_{л} - x_{п},$$

$$\Delta y = y_{л} - y_{п},$$

$$\Delta\Omega/V = \Omega_{л}/V_{л} - \Omega_{п}/V_{п},$$

символами «л» и «п» обозначены, соответственно, левая и правая нижние конечности.

Статистический анализ проводили с использованием программы Statgraphics Centurion 16.2. Использовали критерии Манна – Уитни и Фишера с уровнем для признания различий 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение

Показатели пострурального баланса отдельно левой и правой нижних конечностей у детей в возрасте 7–10 лет, занимающихся спортом, оказались значительно лучше таковых у сверстников, не занимающихся спортом, что согласуется с ранее полученными данными [8]. В обеих группах детей, независимо от уровня их физической активности, стабилотрические характеристики левой нижней конечности оказались хуже по сравнению с таковыми правой нижней конечности, вследствие доминирования последней. Сравнение показателей асимметрии геометрических характеристик статокинезиограмм контралатеральных нижних конечностей по критерию Манна – Уитни

не выявило их превышения у детей-спортсменов по сравнению с детьми, не занимающихся спортом (табл. 1).

В то же время анализ медианных и квартильных показателей с учетом уровня значимости различий между стандартными отклонениями по F-критерию Фишера продемонстрировал следующую закономерность. По сравнению с детьми-неспорсменами, у детей, занимающихся спортом, определяется тенденция к снижению показателей асимметрии параметров Δx , Δy , ΔS и $\Delta KФP$, что свидетельствует о большей идентичности локомоторных функций их контралатеральных нижних конечностей (рис. 2).

Сравнительный анализ показателей асимметрии скоростных характеристик движения центров давления контралатеральных нижних конечностей по критерию Манна – Уитни выявил значимые межгрупповые различия только по одному параметру

тру $\Delta V-Y$. Асимметрия величин указанных параметров – проекций векторов линейных скоростей левого и правого ЦД на ось Y была выше у детей-спортсменов по сравнению с детьми, не занимающихся спортом (табл. 2).

Кроме того, у детей-спортсменов, с учетом анализа медианных и квартильных показателей и уровней значимости различий между стандартными отклонениями, выявлена тенденция к снижению асимметрии скоростей изменения площадей статокинезиограмм ΔV_s , но в то же время – к повышению асимметрии скоростных параметров $\Delta \Omega$, $\Delta \Omega/V$ и $\Delta KРИНД$ по сравнению с детьми-неспорсменами. При этом средние значения интегральных показателей асимметрии движений ПАД не имели межгрупповых различий ($p = 0,738$) и равнялись соответственно $2,6[1,2-3,7]$ мм \times град/с² и $1,9[0,5-3,8]$ мм \times град/с² м.

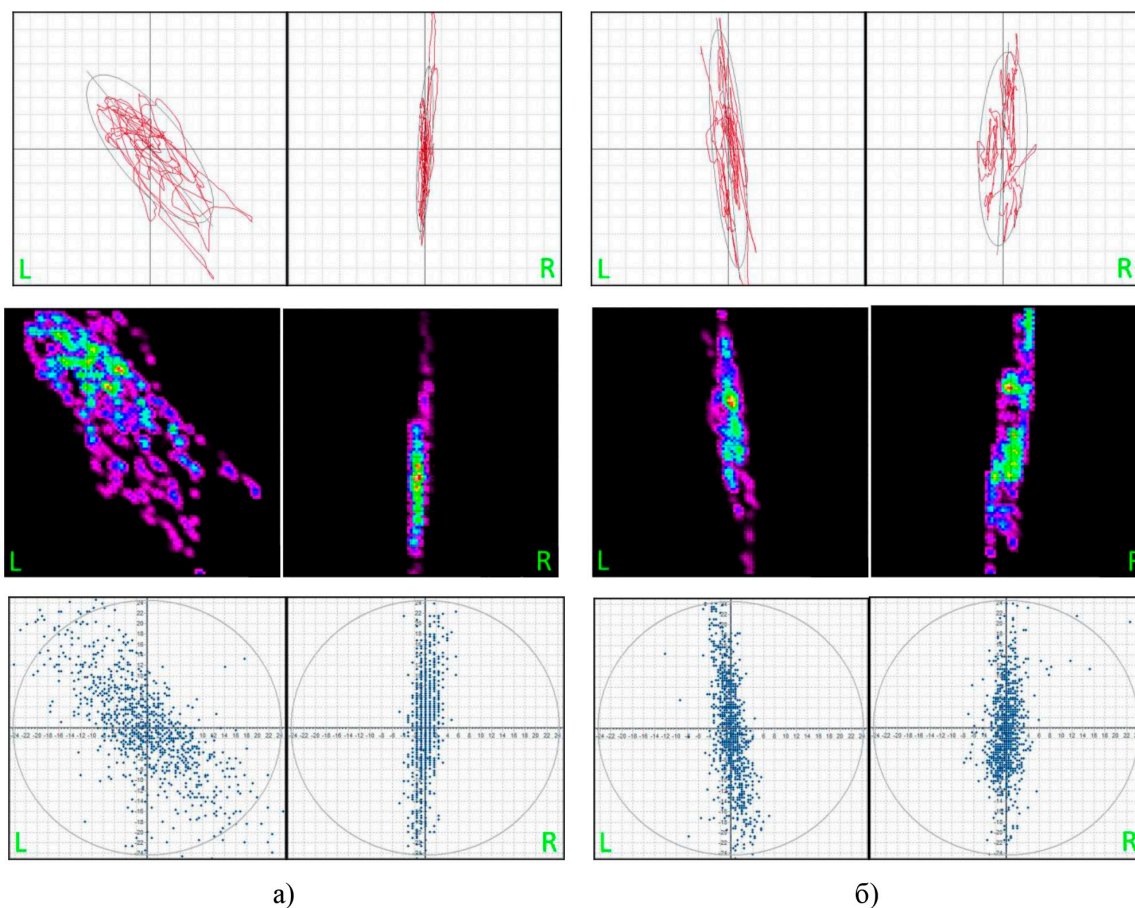


Рис. 2. Графическое отображение параметров движения центров давления левой и правой нижних конечностей (снизу вверх: облака вершин векторов скоростей; зоны предпочтения; статокинезиограммы): а) ребенок, не занимающийся спортом (ПАД = 3,7 мм \times град/с²), б) ребенок-спортсмен (ПАД = 2,1 мм \times град/с²). У ребенка, занимающегося спортом, менее выраженная асимметрия стабилометрических параметров между левой и правой нижними конечностями. L – слева, R – справа

Таблица 2

Показатели асимметрии Δ между скоростными характеристиками движения центров давления контралатеральных нижних конечностей ($Me [Q_{25} - Q_{75}]$) у обследованных детей

Группы детей	Параметры						
	ΔV (мм ² /с)	ΔV (мм/с)	$\Delta V-X$ (мм/с)	$\Delta V-Y$ (мм/с)	$\Delta \Omega$ (град/с)	$\Delta \Omega/V$ (град/с ²)	Δ КРИНД (%)
Дети НЗС ($n = 15$)	6 [3–11]	3,2 [2,5–6,2]	4,5 [3,1–5,9]	3,1 [2,1–4,4]	4,4 [1,8–7,6]	1,3 [0,4–1,9]	3,5 [1,0–5,6]
Дети-спортсмены ($n = 15$)	4 [3–7]	2,7 [1,0–4,8]	4,0 [2,5–5,2]	4,4 [1,8–7,6]	5,1 [2,8–8,1]	1,1 [0,5–2,4]	4,4 [2,3–6,7]
p	0,281	0,192	0,346	0,032	0,396	0,792	0,272
P-value	0,018	0,804	0,349	0,006	0,001	0,001	0,001

Примечание. p – уровень значимости различий между группами детей (критерий Манна – Уитни), P-value – уровень значимости различий между стандартными отклонениями (F-критерий Фишера). НЗС – не занимающиеся спортом.

Указанные разнонаправленные закономерности адаптивных реакций опорно-двигательной системы детей, занимающихся спортом, могут быть объяснены так называемым латерострессом в ответ на повышенные физические нагрузки, при которых максимально исключалась их латерализация. То есть методология тренировок была направлена на эффективное управление обеими конечностями юными спортсменами, что могло способствовать «переучиванию» головного мозга на равноценное развитие левой и правой сторон тела [9]. В обеих группах обследованных детей асимметрия стабилметрических показателей движений контралатеральных нижних конечностей была выше по сравнению с детьми старшей возрастной группы [10]. Это может быть обусловлено биологической незрелостью опорно-двигательной системы у детей младшего школьного возраста [11].

Таким образом, в настоящей работе был сделан акцент на анализ показателей асимметрии стабилметрических параметров контралатеральных нижних конечностей юных спортсменов, поскольку моторная асимметрия рассматривается как потенциальный фактор, способствующий более высокому риску получения травм [12]. Отличительной особенностью тренировочного процесса обследованных детей являлось отсутствие нацеленности на достижение высоких спортивных результатов. На начальном этапе тренеры решали задачу гармонического развития ребенка с постепенной его подготовкой к повышению физических нагрузок. Для этого использовались методологические подходы, обеспечивающие адекватную возрасту интенсивность упражнений, чтобы способствовать рациональной

адаптации незрелого детского организма к спортивным занятиям. Это предотвращало развитие мышечного переутомления, маркером которого является функциональная асимметрия между нижними конечностями [13]. Хотя природа моторной асимметрии у юных спортсменов изучена недостаточно, знание указанного феномена будет способствовать лучшему пониманию принципов профилактики спортивного травматизма [14]. Поэтому перспективно проводить регулярный стабилографический мониторинг функциональных асимметрий нижних конечностей у занимающихся спортом детей, чтобы выявлять возможный нейромышечный дисбаланс и оценивать риски получения травм.

Заключение

У всех обследованных детей в возрасте 7–10 лет асимметрия стабилметрических показателей движений контралатеральных нижних конечностей была выше по сравнению с детьми старшей возрастной группы. При этом у детей, занимающихся спортом, асимметрия интегрального показателя асимметрии движений ПАД не увеличилась по сравнению со сверстниками, не занимающимися спортом. Это может свидетельствовать о сбалансированности и адекватности режима тренировок на растущий организм ребенка. В то же время у детей-спортсменов, по сравнению с детьми-неспортсменами, выявлена тенденция к снижению асимметрии геометрических характеристик статокинезиограмм и повышению асимметрии скоростных характеристик движений центров давления левой и правой нижних конечностей. Указанные разнонаправленные адаптивные реакции

системы пострурального контроля детей, занимающихся спортом, могут быть следствием «латеростресса» в ответ на повышенные нагрузки. Необходимо учитывать, что даже дозированные физические упражнения, направленные на гармоничное развитие контралатеральных сторон тела у детей, могут приводить к латерализационному стрессу и способствовать парадоксальному увеличению моторной асимметрии. Адаптации моторных асимметрий в ситуациях воздействия физических нагрузок изучены недостаточно, поэтому приспособительные реакции опорно-двигательной системы детей младшего школьного возраста к занятиям спортом нуждаются в дальнейших исследованиях. Фактор моторной асимметрии нижних конечностей необходимо учитывать в тренировочном процессе детей для профилактики травматизма.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Stenum J., Choi J.T. Step time asymmetry but not step length asymmetry is adapted to optimize energy cost of split-belt treadmill walking // *J. Physiol.* 2020. Vol. 598, Is. 18. P. 4063–4078. DOI: 10.1113/JP279195.
2. Gu C.Y., Li X.R., Lai C.T., Gao J.J., Wang I.L., Wang L.I. Sex Disparity in Bilateral Asymmetry of Impact Forces during Height-Adjusted Drop Jumps // *Int J. Environ Res Public Health.* 2021. Vol. 18, Is. 11. P. 5953. DOI: 10.3390/ijerph18115953.
3. Parpa K., Michaelides M. Relationship of Pre-Season Strength Asymmetries, Flexibility and Aerobic Capacity with In-Season Lower Body Injuries in Soccer Players // *Sport Mont.* 2022. Is. 20. P. 3–8. DOI: 10.26773/smj.190619.
4. Kalata M., Maly T., Hank M., Michalek J., Bujnovsky D., Kunzmann E., Zahalka F. Unilateral and Bilateral Strength Asymmetry among Young Elite Athletes of Various Sports // *Medicina.* 2020. Is. 56. P. 683. DOI: 10.3390/medicina56120683.
5. Bishop C., Lake J., Loturco I., Papadopoulos K., Turner A., Read P. Interlimb Asymmetries: The Need for an Individual Approach to Data Analysis // *J. Strength Cond Res.* 2021. Vol. 35, Is. 3. P. 695–701. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002729.
6. Vehrs P.R., Uvacsek M., Johnson A.W. Assessment of Dysfunctional Movements and Asymmetries in Children and Adolescents Using the Functional Movement Screen-A Narrative Review // *Int J. Environ Res Public Health.* 2021. Vol. 18, Is. 23. P. 12501. DOI: 10.3390/ijerph182312501.
7. Боцарова С.А., Никитюк И.Е., Семенов М.Г., Виссарионов С.В. Способ диагностики асимметрии движений у детей с деформациями челюстей // Патент РФ № 2810889. Патентообладатель ФГБУ «НМИЦ ДТО им. Г.И. Турнера». 2023. Бюл. № 1.
8. 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: 10.04.2024). DOI: 10.17513/spno.33248.
9. Чермит К.Д., Заболотный А.Г., Ельников О.О. Симметрия кинематической структуры локомоций человека // *Вестник Адыгейского государственного университета.* 2016. Т. 4, № 191. С. 108–121.
10. Никитюк И.Е., Боцарова С.А., Семенов М.Г., Мурашко Т.В., Виссарионов С.В. Нарушение пострурального 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.
11. Dominguez-Navarro F., Gomez-Paya J., Ricart-Luna B., Chulvi-Medrano I. Exploring the Implications of Inter-Limb Asymmetries on Sprint, Agility, and Jump Performance in Young Highly-Trained Basketball Athletes: Is There a Relevant Threshold? // *Medicina.* 2024. Vol. 60, Is. 1. P. 131. DOI: 10.3390/medicina60010131.
12. Izovska J., Mikic M., Dragijsky M., Zahalka F., Bujnovsky D., Hank M. Preseason bilateral strength asymmetries of professional soccer players and relationship with non-contact injury of lower limb in the season // *Sport Mont.* 2019. Vol. 17, Is. 2. P. 107–110. DOI: 10.26773/smj.190619.
13. Fort-Vanmeirhaeghe A., Bishop C., Montalvo A.M., Buscà B., Arboix-Alió J. Effects of Exercise-Induced Neuromuscular Fatigue on Jump Performance and Lower-Limb Asymmetries in Youth Female Team Sport Athletes // *J Hum Kinet.* 2023. Is. 89. P. 19–31. DOI: 10.5114/jhk/174073.
14. Maloney S.J. The Relationship Between Asymmetry and Athletic Performance: A Critical Review // *J. Strength Cond Res.* 2019. Vol. 33, Is. 9. P. 2579–2593. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002608.