

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО БАЛАНСА ТЕЛА У ДЕТЕЙ С ОДНОСТОРОННИМ УКОРОЧЕНИЕМ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ

Никитюк И.Е.¹, Гаркавенко Ю.Е.^{1,2}, Захарьян Е.А.¹, Чигвария Н.Г.^{1,2}

¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, e-mail: femtotech@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Северо-западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург

Цель исследования – оценить нарушения постурального баланса контралатеральных нижних конечностей у детей с односторонним укорочением нижней конечности в зависимости от величины ее укорочения. Проведено стабилметрическое исследование 27 детей в возрасте от 10 до 14 лет с односторонним укорочением нижней конечности, из них 12 пациентов с укорочением величиной 2–4 см и 15 – с укорочением 5–8 см. Контрольную группу составили 16 здоровых детей того же возраста. Обследование осуществляли с использованием двух платформ, что позволяло отдельно регистрировать изменения положения центра давления под каждой нижней конечностью. У пациентов обеих групп выявлено значительное снижение стабильности вертикального баланса как на пораженной нижней конечности, так и на интактной. Это проявлялось нарушением фронтального и сагиттального баланса тела вследствие выраженного смещения центра давления тела вдоль осей X и Y, а также значимыми отклонениями от нормальных величин параметров статокинезиограмм: площади S, длины L и амплитуды колебаний A центра давления. При этом отклонения в стабилметрических показателях на пораженной нижней конечности были одинаковыми независимо от величины ее укорочения и более выраженными, чем на интактной конечности. При любом укорочении нижней конечности у пациентов была резко снижена координация движений центров давления контралатеральных конечностей, что свидетельствует о низкой синхронизации постурального баланса между ними. У пациентов с большим укорочением нижней конечности выявлены признаки повышения качества постурального контроля на стороне поражения, что может объясняться компенсаторными реакциями опорно-двигательной системы с формированием более адекватного двигательного стереотипа.

Ключевые слова: неравенство длины нижних конечностей, постуральный контроль, распределение нагрузки на нижние конечности, сагиттальный баланс.

STUDY OF VERTICAL BODY BALANCE IN CHILDREN WITH UNILATERAL LOWER LIMB SHORTENING

Nikityuk I.E.¹, Garkavenko Yu.E.^{1,2}, Zakharyan E.A.¹, Chigvariya N.G.^{1,2}

¹H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, e-mail: femtotech@mail.ru;

²North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg

The aim of the study was to assess violations of the postural balance of the contralateral lower extremities in children with unilateral shortening of the lower limb, depending on the magnitude of its shortening. A stabilometric study of 27 children aged 10 to 14 years with unilateral shortening of the lower limb was carried out, of which 12 patients with a shortening of 2–4 cm and 15 with a shortening of 5–8 cm. The control group consisted of 16 healthy children of the same age. The examination was carried out using two platforms, which made it possible to separately register changes in the position of the pressure center under each lower limb. In patients of both groups, a significant decrease in the stability of the vertical balance was revealed, both on the affected lower limb and on the intact one. This was manifested by a violation of the frontal and sagittal balance of the body due to a pronounced displacement of the center of pressure of the body along the X and Y axes, as well as significant deviations from the normal values of the parameters of statokinesiograms: from the area S, length L and amplitude of oscillations A of the pressure center. At the same time, deviations in the stabilometric indicators on the affected lower limb were the same, regardless of the magnitude of its shortening, and more pronounced than on the intact limb. With any shortening of the lower limb, the coordination of movements of the pressure centers of the contralateral limbs was sharply reduced in patients, which indicates a low synchronization of the postural balance between them. In patients with a large shortening of the lower limb, signs of an increase in the quality of postural control on the side of the lesion were revealed, which may be explained by compensatory reactions of the musculoskeletal system with the formation of a more adequate motor stereotype.

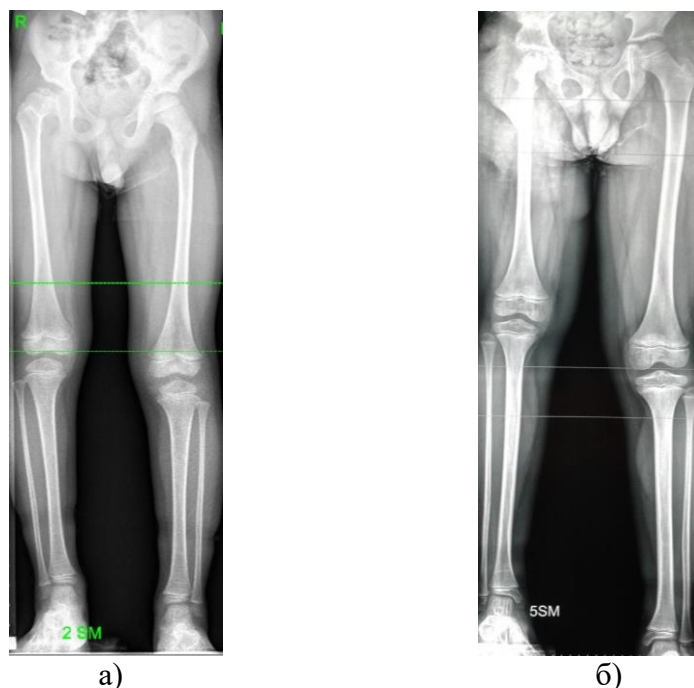
Keywords: leg length discrepancy, postural control, leg load distribution, sagittal balance.

Неравенство длины нижних конечностей у детей является достаточно частым нарушением и представляет серьезную проблему для современной ортопедии. На сегодняшний день клинически значимым является одностороннее укорочение нижней конечности величиной 2 и более сантиметров [1]. В процессе роста ребенка прогрессируют функциональные нарушения всей опорно-двигательной системы, сопровождающиеся вторичными деформациями таза и позвоночника [2, 3]. Однако выраженность клинических проявлений при разной длине нижних конечностей не обязательно напрямую коррелирует с величиной укорочения, так как опорно-двигательная система пациентов постепенно вырабатывает различные компенсаторные механизмы [4]. Адаптивные возможности опорно-двигательной системы при рассматриваемой патологии изучены недостаточно [5]. Практически не исследованы диапазон адаптивных резервов и степень сохранности двигательных стереотипов как укороченной, так и интактной нижней конечности. Определение биомеханического статуса каждой из нижних конечностей у пациентов может способствовать пониманию механизмов, лежащих в основе управления их локомоциями, что необходимо учитывать при проведении ортопедического восстановительного лечения.

Цель исследования – оценить нарушения постурального баланса у детей с односторонним укорочением нижней конечности в зависимости от величины ее укорочения.

Материал и методы исследования. Проведено биомеханическое исследование 27 детей в возрасте от 10 до 14 лет с односторонним укорочением нижней конечности (УНК) после перенесенного гематогенного остеомиелита проксимального метаэпифиза бедренной кости. Укорочение конечности сформировалось вследствие поражения проксимальной метаэпифизарной зоны роста бедренной кости и прогрессировало в процессе роста ребенка. Пациенты были распределены на две группы: первая группа включала 12 детей (средний возраст $11,8 \pm 0,96$ года) с односторонним УНК величиной 2–4 см (рис. а), вторая группа – 15 детей (средний возраст $12,1 \pm 0,74$ года) с односторонним УНК величиной 5–8 см (рис. б). Контрольная группа состояла из 16 здоровых детей того же возраста.

Определение вертикального баланса тела у детей осуществляли методом стабилومتрии с использованием комплекса «Стабилан 01-2» (ОКБ РИТМ, Россия) с двумя платформами, что позволяло отдельно регистрировать изменения положения центра давления (ЦД) под каждой нижней конечностью.



Панорамные рентгенограммы нижних конечностей пациентов первой и второй групп:

а) пациента Д., 10 лет с укорочением правой нижней конечности на 2 см;

б) пациента А., 12 лет, с укорочением правой нижней конечности на 5 см

При обследовании дети вставали на две рядом стоящие платформы, располагая стопы параллельно на одинаковом расстоянии от их внутренних краев. При этом суммарное расстояние между стопами было эквивалентным расстоянию между передними верхними осями таза. Стабилометрию проводили с открытыми (ОГ) и закрытыми глазами (ЗГ) ребенка, регистрируя параметры перемещения ЦД во фронтальной и сагиттальной плоскостях: координаты X (мм) и Y (мм) – отклонение ЦД тела по осям X и Y , площадь статокинезиограммы S (мм²), длину траектории, пройденную ЦД (L , мм), отношение длины статокинезиограммы к ее площади LFS (мм⁻¹), амплитуду колебаний центра давления A (мм).

Статистическую обработку данных производили с использованием программы SPSS 11.5 (разработчик IBM, США) и Statgraphics Centurion 16.2 (разработчик Statpoint Technologies, Inc., США). Использовали критерий Манна–Уитни, применяли корреляционный анализ с использованием коэффициента Спирмена r_s . Уровень для принятия различий составлял 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение. При оценке количественных показателей стабиллометрии у здоровых детей и пациентов с односторонним укорочением нижней конечности в обеих группах больных выявлены значительные нарушения пострурального баланса. В первую очередь это проявлялось значимым смещением центра давления во фронтальной плоскости по оси X ($p < 0,05$) по сравнению со здоровыми детьми

(норма – 1,0 [0,7–1,8] мм), которое у больных первой группы составляло 13,9 [5,2–32,9] мм, у больных второй группы – 22,1 [14,1–29,2] мм. При этом между группами пациентов отсутствовали значимые различия в медианных значениях координаты **X** центра давления ($p=0,189$). В первой группе смещение ЦД в сторону интактной НК наблюдалось у 50% пациентов, во второй группе – у 60%.

Анализ смещения ЦД в сагиттальной плоскости выявил значимое его отклонение вперед по оси **Y** ($p < 0,05$) у пациентов обеих групп как на интактной нижней конечности, так и укороченной, по сравнению со здоровыми детьми (табл. 1).

Таблица 1

Стабилометрические показатели нижних конечностей при открытых и закрытых глазах у здоровых детей и пациентов с односторонним укорочением нижней конечности

| Параметры | Группы детей | | | | | <i>p</i> |
|-------------------------------|---|--|---|--|---|---|
| | Здоровые (1) Me [Q ₁ – Q ₂] n = 16 | Пациенты с УНК 2–4 см | | Пациенты с УНК 5–8 см | | |
| | | Интактная НК (2) Me [Q ₁ – Q ₂] n = 12 | Укороченная НК (3) Me [Q ₁ – Q ₂] n = 12 | Интактная НК (4) Me [Q ₁ – Q ₂] n = 15 | Укороченная НК (5) Me [Q ₁ – Q ₂] n = 15 | |
| Смещение Y, мм | 3 [-1 – 6] | 13 [-2 – 26] | 16 [-3 – 68] | 18 [5 – 43] | 73 [45 – 84] | <i>p</i> ²⁻³ = 0,307 <i>p</i> ⁴⁻⁵ < 0,001 <i>p</i> ²⁻⁴ = 0,172 <i>p</i> ³⁻⁵ = 0,023 |
| Длина L, мм | 113 [99 – 141] | 340 [218 – 473] | 191 [133 – 290] | 538 [405 – 1070] | 204 [147 – 331] | <i>p</i> ²⁻³ = 0,004 <i>p</i> ⁴⁻⁵ < 0,001 <i>p</i> ²⁻⁴ = 0,002 <i>p</i> ³⁻⁵ = 0,875 |
| Площадь S, мм ² | 5 [4 – 7] | 39 [22 – 71] | 20 [13 – 32] | 108 [66 – 334] | 17 [9 – 34] | <i>p</i> ²⁻³ = 0,666 <i>p</i> ⁴⁻⁵ < 0,001 <i>p</i> ²⁻⁴ < 0,001 <i>p</i> ³⁻⁵ = 0,667 |
| Амплитуда A, мм | 1,9 [1,5 – 2,3] | 4,3 [3,2 – 5,9] | 2,5 [2,2 – 3,1] | 6,1 [5,1 – 8,3] | 1,7 [1,4 – 3,2] | <i>p</i> ²⁻³ = 0,001 <i>p</i> ⁴⁻⁵ < 0,001 <i>p</i> ²⁻⁴ = 0,005 <i>p</i> ³⁻⁵ = 0,115 |

Примечание: $p^{2-3;4-5}$ – уровень значимости различий в группе пациентов между здоровой и укороченной нижней конечностью (НК); $p^{2-4;3-5}$ – уровень значимости различий между группами больных

С одной стороны, указанную переднюю диспозицию центра давления можно объяснить асимметрией нагрузки между нижними конечностями [6], которая способствует формированию адаптивных механизмов обеспечения вертикального баланса [7]. С другой стороны, у пациентов с односторонним УНК сформирован перекос таза, что приводит к

запуску компенсаторных механизмов в кинематической цепи «таз – позвоночник», нарушающих сагиттальный баланс туловища [8].

У больных первой группы не было выявлено значимых различий в смещении ЦД между здоровой и пораженной сторонами. Однако на пораженной нижней конечности отмечалась сильная зависимость смещения ЦД в сагиттальной плоскости от бокового отклонения ЦД, в то время как на интактной конечности такая зависимость отсутствовала (табл. 2). Это свидетельствует о достаточно выраженной функциональной асимметрии между нижними конечностями даже при небольших величинах укорочения одной из них, что может быть обусловлено различиями в их функциональной специализации [9].

Таблица 2

Зависимость смещения ЦД нижних конечностей по оси Y (координата Y) от смещения по оси X (координата X) у пациентов с односторонним УНК

| Группы пациентов | Коэффициент корреляции Спирмена r_s | |
|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| | Зависимость $ X \sim Y_{и}$ | Зависимость $ X \sim Y_{у}$ |
| С укорочением НК 2–4 см n=12 | 0,05 (p=0,801) | 0,53 (p=0,008) |
| С укорочением НК 5–8 см n=15 | 0,31 (p=0,094) | -0,31 (p=0,093) |

Примечание: $Y_{и}$ – интактная нижняя конечность (НК), $Y_{у}$ – укороченная нижняя конечность (НК); символом || обозначен модуль параметра

У больных второй группы смещение ЦД под интактной нижней конечностью не отличалось от такового у пациентов первой группы, в то время как ЦД на пораженной стороне был резко смещен вперед (табл. 1). Это объясняется отрывом заднего отдела стопы от поверхности опоры для компенсации укорочения нижней конечности, вследствие чего происходит перенос веса тела на передней отдел стопы. При этом корреляционная связь между смещением ЦД в сагиттальной и фронтальной плоскостях была слабой как на интактной, так и на укороченной конечности.

При анализе остальных параметров стабилотрии были выявлены следующие общие закономерности. У пациентов первой и второй группы параметры **L**, **S** и **A** были увеличены ($p<0,05$) на обеих конечностях по сравнению со здоровыми детьми, за исключением амплитуды колебаний **A** во второй группе больных на стороне поражения, которая не отличалась от нормы (табл. 1). Это может свидетельствовать о формировании компенсаторных адаптивных стратегий на интактной и пораженной конечностях, которое характерно для пациентов с односторонним УНК [10]. При этом на интактной нижней

конечности показатели **L**, **S** и **A** были значимо увеличены во второй группе пациентов по сравнению с первой. При этом в показателях на укороченной нижней конечности не было выявлено межгрупповых различий. Кроме того, в обеих группах больных указанные параметры были значимо снижены на пораженной стороне по сравнению с интактной, за исключением показателя **S** в первой группе пациентов, который был одинаковым на обеих нижних конечностях. Такие выраженные различия между показателями баланса контралатеральных конечностей могут быть следствием асимметричной моторики нижних конечностей, связанной с различным их вкладом в обеспечение процесса ходьбы. Для оценки силы зависимости между параметрами **L** и **S** статокинезиограмм (**LFS**) от амплитуды колебаний **A** центра давления обследованных детей был проведен корреляционный анализ (табл. 3).

Таблица 3

Корреляционные связи между параметрами статокинезиограмм **LFS** и **A** нижних конечностей у здоровых детей и пациентов с односторонним УНК

| Тест | Группы детей (коэффициент корреляции r_s зависимости LFS ~ A) | | | | | |
|------|---|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|
| | Здоровые n=16 | | Пациенты с укорочением НК 2–4 см n=12 | | Пациенты с укорочением НК 5–8 см n=15 | |
| | Левая НК | Правая НК | Интактная НК | Укороченная НК | Интактная НК | Укороченная НК |
| ОГ | –0,70 (p=0,003) | –0,59 (p=0,032) | –0,18 (p=0,570) | –0,56 (p=0,060) | –0,61 (p=0,017) | –0,82 (p=0,001) |
| ЗГ | –0,17 (p=0,536) | –0,66 (p=0,006) | –0,11 (p=0,744) | +0,49 (p=0,102) | –0,53 (p=0,044) | –0,42 (p=0,121) |

Примечание: НК – нижняя конечность

У здоровых детей связь между параметрами **LFS** и **A** является отрицательной, достаточно сильной на обеих конечностях, но только при открытых глазах. При закрытии глаз связь между указанными параметрами на левой конечности резко ослабевает, в то время как на правой остается на прежнем уровне. Это свидетельствует о том, что в норме при закрытии глаз происходит изменение характеристик потока афферентной импульсации в кору головного мозга, что сказывается на управлении вертикальной позой, проявляющейся функциональной асимметрией нижних конечностей. У здоровых людей такая асимметрия считается физиологической, так как является следствием латерализации полушарий головного мозга [11]. Вследствие того что правая нижняя конечность является преимущественно ведущей, она в большей мере ответственна за сохранение равновесия тела как при открытых, так и закрытых глазах, что проявляется повышенной синхронизацией параметров баланса по сравнению с левой, неведущей нижней конечностью.

У пациентов первой группы выявлены выраженные отклонения от нормальных величин силы и характера корреляционных связей между параметрами **LFS** и **A**: отсутствие связей на интактной нижней конечности независимо от зрительной афферентации, а также патологическая положительная корреляция при закрытых глазах на укороченной конечности. У пациентов второй группы наблюдалась более благоприятная картина: сильная отрицательная связь между рассматриваемыми параметрами с обеих сторон при открытых глазах и ее умеренное снижение на стороне поражения при закрытых глазах. Характер связей между параметрами баланса на интактной нижней конечности у пациентов второй группы был аналогичным таковому на правой конечности у здоровых детей. Это можно объяснить тем, что у пациентов с односторонним УНК 5–8 см интактная нижняя конечность является ведущей.

Так как сила и характер взаимосвязей между параметрами **LFS** и **A** являются показателем синхронизированности системы постурального контроля [12, 13], у больных второй группы, в отличие от первой, траектории ЦД на интактной и укороченной нижних конечностях были более упорядоченными, что свидетельствует о более высокой синхронизированности системы управления балансом тела. Повышение показателя качества постурального контроля у пациентов второй группы может объясняться более выраженным формированием компенсаторной стратегии локомоций с целью минимизации смещения центра массы тела и, следовательно, уменьшения количества затрат энергии на удержание вертикальной позы [14].

Оценить координацию движений между нижними конечностями позволил анализ показателей соотношения длины **L** траекторий, пройденных ЦД каждой нижней конечности (табл. 4).

Таблица 4

Корреляционная связь между длинами траекторий, пройденных центрами давления нижних конечностей, у здоровых детей и пациентов с односторонним УНК

| Тест | Группы обследованных детей (коэффициент корреляции r_s зависимости L ~ L) | | | | | |
|------|---|-------------------|---|--------------------|---|-------------------|
| | Здоровые n=16 | | Пациенты с укорочением НК 2–4 см n=12 | | Пациенты с укорочением НК 5–8 см n=15 | |
| | L_л ~ L_п | | L_и ~ L_у | | L_и ~ L_у | |
| | Ось X | Ось Y | Ось X | Ось Y | Ось X | Ось Y |
| ОГ | 0,69 (p=0,022) | 0,71 (p=0,016) | 0,35 (p=0,267) | –0,12 (p=0,697) | 0,21 (p=0,444) | 0,08 (p=0,783) |

| | | | | | | |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| ЗГ | 0,71 (p=0,017) | 0,50 (p=0,048) | 0,29 (p=0,351) | 0,03 (p=0,927) | 0,23 (p=0,417) | 0,16 (p=0,577) |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|

Примечание: L_л – левая нижняя конечность (НК) у здоровых детей, L_п – правая нижняя конечность (НК) у здоровых детей, L_и – интактная нижняя конечность (НК) у пациентов, L_у – укороченная нижняя конечность (НК) у пациентов

В результате исследования у здоровых детей независимо от наличия или отсутствия зрительной афферентации была выявлена сильная положительная связь в сагиттальной и фронтальной плоскостях между параметрами **L** нижних конечностей. Это указывает на высокую координацию движений ЦД контралатеральных конечностей и синхронизированность постурального баланса между ними [15]. Напротив, у пациентов с УНК были выявлены слабые корреляции между параметрами **L** интактной и укороченной конечностей во фронтальной плоскости и практически их отсутствие – в сагиттальной. Это может свидетельствовать о резком снижении координации движений ЦД контралатеральных конечностей и низкой синхронизированности постурального баланса между ними у пациентов обеих групп.

Заключение

У детей с односторонним укорочением нижней конечности нарушен вертикальный баланс как на пораженной стороне, так и на интактной. При этом отклонения в стабилметрических показателях на пораженной нижней конечности были единообразными в обеих группах независимо от величины ее укорочения и более выраженными, чем на интактной конечности. При любом укорочении нижней конечности у пациентов резко снижена координация движений центров давления контралатеральных конечностей, что свидетельствует о низкой синхронизации механизмов обеспечения постурального баланса между ними. У пациентов с бóльшим укорочением нижней конечности выявлены признаки повышения качества постурального контроля на стороне поражения, что может объясняться компенсаторными реакциями опорно-двигательной системы с формированием более адекватного двигательного стереотипа.

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

Список литературы

1. Vogt B., Gosheger G., Wirth T., Horn J., Rödl R. Leg Length Discrepancy-Treatment Indications and Strategies. Dtsch Arztebl Int. 2020. vol. 117. no. 24. P. 405-411. DOI: 10.3238/arztebl.2020.0405.

2. Khamis S., Carmeli E. Relationship and significance of gait deviations associated with limb length discrepancy: A systematic review. *Gait Posture*. 2017. no. 57. P. 115-123. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.05.028.
3. Beeck A., Quack V., Rath B., Wild M., Michalik R., Schenker H., Betsch M. Dynamic evaluation of simulated leg length inequalities and their effects on the musculoskeletal apparatus. *Gait Posture*. 2019. no. 67. P. 71-76. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2018.09.022.
4. Gordon J.E., Davis L.E. Leg Length Discrepancy: The Natural History (And What Do We Really Know). *J. Pediatr Orthop*. 2019. no. 39. Is. 6. Sup. 1. P. 10-13. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001396.
5. Michalik R., Rissel V., Migliorini F., Siebers H.L., Betsch M. Biomechanical evaluation and comparison of clinically relevant versus non-relevant leg length inequalities. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022. vol. 23. no. 1. P. 174. DOI: 10.1186/s12891-022-05113-2.
6. Казенников О.В., Киреева Т.Б., Шлыков В.Ю. Особенности поддержания вертикальной позы при неравномерной нагрузке на ноги // *Физиология человека*. 2013. Т. 39. № 4. С. 65-73. DOI: 10.7868/S0131164613030119.
7. Казенников О.В., Киреева Т.Б., Шлыков В.Ю. Влияние структуры опорной поверхности под стопой на поддержание вертикальной позы при разном распределении нагрузки между ногами // *Физиология человека*. 2016. Т. 42. № 4. С. 61-68. DOI: 10.7868/S0131164616040044.
8. Kim S.B., Lee G.S., Won Y.G., Jun J.B., Hwang C.M., Hong C.H. Radiologic findings of pelvic parameters related to sagittal balance. *J. Korean Soc. Spine Surg*. 2016. vol. 23. no. 3. P. 197-205. DOI: 10.4184/jkss.2016.23.3.197.
9. Schorderet C., Hilfiker R., Allet L. The role of the dominant leg while assessing balance performance. A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture*. 2021. no. 84. P. 66-78. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2020.11.008.
10. Khamis S., Carmeli E. Relationship and significance of gait deviations associated with limb length discrepancy: A systematic review. *Gait Posture*. 2017. no. 57. P. 115-123. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.05.028.
11. Paillard T., Noé F. Does monopedal postural balance differ between the dominant leg and the non-dominant leg? A review. *Hum. Mov. Sci*. 2020. no. 74. P. 102686. DOI: 10.1016/j.humov.2020.102686.
12. Никитюк И.Е., Кононова Е.Л., Виссарионов С.В. Постуральный дефицит у детей со стенозом позвоночного канала // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2018. Т. 6. № 4. С. 13-19. DOI: 10.17816/PTORS6413-19.

13. Никитюк И.Е., Кононова Е.Л., Икоева Г.А., Солохина И.Б. Влияние роботизированной механотерапии в различных комбинациях с неинвазивной электростимуляцией мышц и спинного мозга на постуральный баланс у детей с тяжелыми формами ДЦП // Вестник восстановительной медицины. 2020. Т. 98. № 4. С. 26-34. DOI: 10.38025/2078–1962–2020–98–4–26–34.
14. Assogba T.F., Boulet S., Detrembleur C., Mahaudens P. The effects of real and artificial Leg Length Discrepancy on mechanical work and energy cost during the gait. *Gait Posture*. 2018. no. 59. P. 147-151. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.10.004.
15. Wang Z., Molenaar P.C.M., Newell K.M. The effects of foot position and orientation on inter- and intra-foot coordination in standing postures: a frequency domain PCA analysis. *Exp Brain Res*. 2013. vol. 230. no. 1. P. 15-27. DOI: 10.1007/s00221-013-3627-9.