

## ОСОБЕННОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО БАЛАНСА ТЕЛА У ДЕТЕЙ С ПОДВЫВИХОМ БЕДРА ДИСПЛАСТИЧЕСКОГО ГЕНЕЗА

Никитюк И.Е., Виссарионов С.В., Бортулёв П.И.

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

Целью настоящего исследования являлось изучение постуральной стабильности у детей с диспластическим подвывихом бедра и проведение оценки нарушений баланса тела в зависимости от количества вовлечённых в патологический процесс тазобедренных суставов. Проведено биомеханическое исследование 28 детей, в возрасте от 13 до 17 лет, с диспластическим подвывихом бедра I степени по Crowe, из них 14 пациентов – с односторонним поражением и 14 – с двусторонним. Контрольную группу составили 18 детей того же возраста, без признаков ортопедической патологии. У всех пациентов с подвывихом бедра выявлено значительное снижение стабильности вертикального баланса, о чём свидетельствуют выраженные отклонения от нормальных величин статокINETических параметров: длины  $L$ , площади  $S$  и угла направления колебаний  $Al$ . Был нарушен фронтальный и сагиттальный баланс тела, что проявлялось существенным отклонением центра давления тела вдоль осей  $X$  и  $Y$ . Наиболее выраженные нарушения баланса тела наблюдались у пациентов с односторонним подвывихом бедра, у которых постуральные реакции могут рассматриваться как патологические, поэтому свидетельствуют о снижении адаптивных возможностей опорно-двигательной системы. В то же время при двустороннем подвывихе бедра включаются компенсирующие адаптивные постуральные механизмы, приводящие к формированию более адекватного двигательного стереотипа.

Ключевые слова: дети; диспластический подвывих бедра; сагиттальные позвоночно-тазовые соотношения; стабилметрия, постуральный баланс.

## FEATURES OF VERTICAL BODY BALANCE IN CHILDREN WITH HIP SUBLUXATION OF DYSPLASTIC ORIGIN

Nikityuk I.E., Vissarionov S.V., Bortulev P.I.

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

The aim of the present study was to research postural stability in children with dysplastic hip subluxation and to evaluate body balance disorders depending on the number of hip joints involved in the pathological process. A biomechanical study of 28 children, aged 13 to 17 years, with dysplastic hip subluxation of the first degree according to Crowe, including 14 patients - with unilateral lesion and 14 – with bilateral. The control group consisted of 18 children of the same age without signs of orthopedic pathology. In all patients with hip subluxation, a significant decrease in the stability of the vertical balance was revealed, as evidenced by pronounced deviations from the normal values of the statokinetic parameters: length  $L$ , area  $S$ , and the angle of the direction of vibrations  $Al$ . The frontal and sagittal balance of the body was disturbed, which was manifested by a significant deviation of the body's center of pressure along the  $X$  and  $Y$  axes. The most significant body balance disorders were observed in patients with unilateral hip subluxation, in which postural reactions can be considered as pathological, therefore, they indicate a decrease in the adaptive capabilities of the musculoskeletal system. At the same time, with bilateral hip subluxation, compensating adaptive postural mechanisms are activated, leading to the formation of a more adequate motor stereotype.

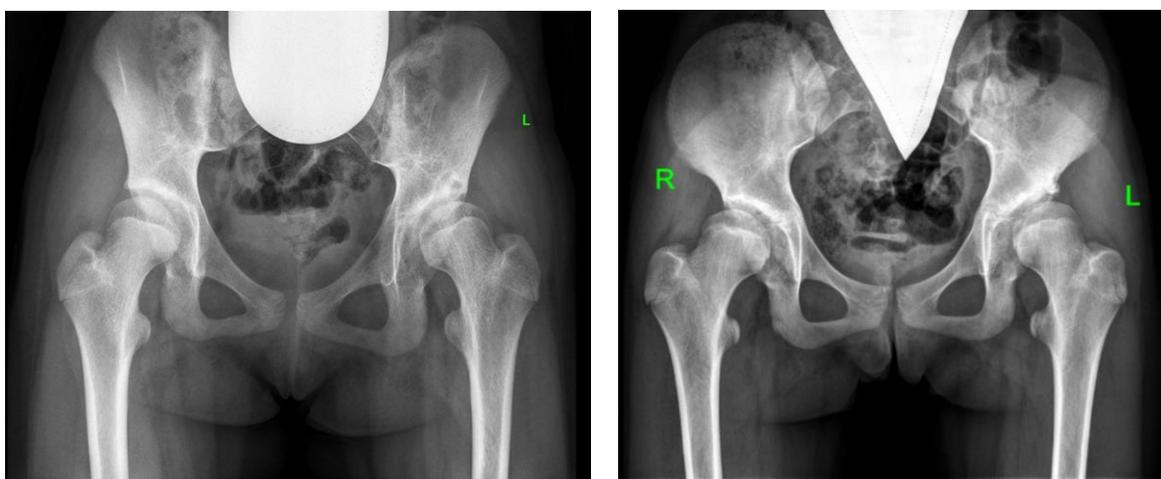
Keywords: children; dysplastic femur subluxation, sagittal spine-pelvis ratio, stabilometry, postural balance.

По современным данным, частота дисплазии тазобедренных суставов в разных странах варьирует от 2 до 50 и даже более случаев на 1000 новорожденных детей [1-3]. Нарушение принципов диагностики и лечения данной категории пациентов уже в раннем возрасте приводит к формированию подвывиха бедра, что в свою очередь запускает процесс дегенерации суставной губы вертлужной впадины и гиалинового хряща, максимально

выраженный в участке локальной гиперпрессии суставных поверхностей головки бедренной кости и вертлужной впадины [4; 5]. В результате развиваются значительные нарушения в клинико-биомеханическом статусе пациента: формируется стереотип патологической походки в связи с изменением основных кинематических и динамических параметров, происходит нарушение баланса центра массы тела пациентов [6], а также изменяется сагиттальный профиль позвоночника [7]. В клинической практике достаточно широко используются биомеханические методы диагностики нарушения функций опорно-двигательной системы [8], которые перспективно применять для оценки биомеханики пациентов с подвывихом бедра. Представляет интерес исследование адаптивных возможностей опорно-двигательной системы при одностороннем и двустороннем подвывихе бедра, которые при указанной патологии изучены недостаточно.

Цель исследования – изучить поструральную стабильность у детей с диспластическим подвывихом бедра и провести оценку нарушений баланса тела в зависимости от количества вовлечённых в патологический процесс тазобедренных суставов.

**Материал и методы исследования.** Проведено биомеханическое исследование 28 детей, в возрасте от 13 до 17 лет, с диспластическим подвывихом бедра (ДПБ) Crowe I группы, которые были распределены на две группы. Основная группа была разделена на две подгруппы, каждая состояла из 14 пациентов, одна из них – с односторонним подвывихом бедра (рис. 1а), другая – с двусторонним (рис. 1б).



а)

б)

*Рис. 1. Рентгенограммы тазобедренных суставов пациентов с дисплазией Crowe I группы:*

*а) левосторонний подвывих бедра, б) двусторонний подвывих бедра*

Группу контроля составили 18 здоровых детей того же возраста. Обследование вертикального баланса тела у детей осуществляли методом стабилотрии с использованием комплекса МБН «Биомеханика» (Россия) по стандартной методике с открытыми и

закрытыми глазами. На полученных статокинезиограммах определяли параметры: координаты **X** (мм) и **Y** (мм) смещения центра давления (ЦД) тела, площадь статокинезиограммы **S** (мм<sup>2</sup>), длину траектории, пройденную ЦД (**L**, мм). Рассчитывали величину угла направления колебаний относительно сагиттальной плоскости **AI** (град.).

Статистическую обработку данных производили с использованием программы SPSS Statistics 22 и Statgraphics Centurion 16.2. Использовали критерий Манна-Уитни, применяли корреляционный анализ с использованием коэффициента Спирмена  $r_s$ . Пороговый уровень статистической значимости принимали при значении критерия  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** В таблице представлены основные показатели баланса вертикальной стойки у здоровых детей и пациентов с ДПБ перед операцией.

Стабилометрические показатели у здоровых детей и пациентов с ДПБ до оперативного лечения при открытых и закрытых глазах

| Параметры                  | Группы обследованных детей                                      |   |  | Критерий Манна-Уитни  |
|----------------------------|---|---|--|---|
|                            | Здоровые (1)<br>Me [Q <sub>1</sub> – Q <sub>2</sub> ]<br>n = 18 | Пациенты с ДПБ  |  |   |
|                            |   | С односторонним поражением (2)<br>Me [Q <sub>1</sub> – Q <sub>2</sub> ]<br>n = 14 | С двусторонним поражением (3)<br>Me [Q <sub>1</sub> – Q <sub>2</sub> ]<br>n = 14 |   |
| <b>X</b> , мм              | 0,3<br>[0,1 – 0,4]  | 14,3<br>[9,6 – 27,1]  | 5,2<br>[1,2 – 13,7]  | <b>p<sup>1-2</sup> &lt; 0,001</b><br><b>p<sup>1-3</sup> &lt; 0,001</b><br><b>p<sup>2-3</sup> &lt; 0,001</b> |
| <b>Y</b> , мм              | 4,1<br>[2,1 – 5,5]  | 1,9<br>[-15,0 – 31,2]   | 24,0<br>[18,4 – 32,8]  | <b>p<sup>1-2</sup> = 0,860</b><br><b>p<sup>1-3</sup> &lt; 0,001</b><br><b>p<sup>2-3</sup> = 0,008</b>       |
| <b>L</b> , мм              | 635<br>[525 – 699]  | 1035<br>[762 – 1163]  | 1006<br>[736 – 1450]   | <b>p<sup>1-2</sup> &lt; 0,001</b><br><b>p<sup>1-3</sup> &lt; 0,001</b><br><b>p<sup>2-3</sup> = 0,226</b>    |
| <b>S</b> , мм <sup>2</sup> | 372<br>[266 – 455]  | 1025<br>[600 – 1689]  | 766<br>[638 – 890]   | <b>p<sup>1-2</sup> &lt; 0,001</b><br><b>p<sup>1-3</sup> &lt; 0,001</b><br><b>p<sup>2-3</sup> = 0,058</b>    |
| <b> AI </b> , град         | 1,3<br>[0,6 – 2,5]  | 7,0<br>[3,5 – 15,3]   | 3,3<br>[2,1 – 4,6]   | <b>p<sup>1-2</sup> &lt; 0,001</b><br><b>p<sup>1-3</sup> &lt; 0,001</b><br><b>p<sup>2-3</sup> = 0,030</b>    |

Примечание:  $p^{1-2;1-3;2-3}$  – уровень значимости различий между группами, символом || обозначен модуль показателя.

У всех пациентов, независимо от подгруппы, были зафиксированы нарушения вертикального баланса. У них были значимо увеличены медианные значения длины **L** и площади **S** статокинезиограмм по сравнению со здоровыми детьми. При этом у больных с односторонним поражением показатели площади **S** с высоким уровнем значимости превышали таковые у больных с двусторонним поражением.

При анализе смещения центра давления пациентов во фронтальной плоскости (координата X) была выявлена различная степень нарушения опорности контралатеральных нижних конечностей, в зависимости от поражения одного или обоих тазобедренных суставов. У детей с односторонним подвывихом бедра выявлено резко выраженное смещение ЦД в сторону непоражённой стороны (рис. 2а), что свидетельствует о компенсаторной разгрузке нижней конечности на стороне поражения и частичном перераспределении веса тела на здоровую нижнюю конечность [9]. Подобная «разгрузочная» реакция опорно-двигательной системы на патологический процесс характерна для одностороннего поражения нижних конечностей, является компенсаторно-адаптивной, однако указывает на тяжесть поражения [10].

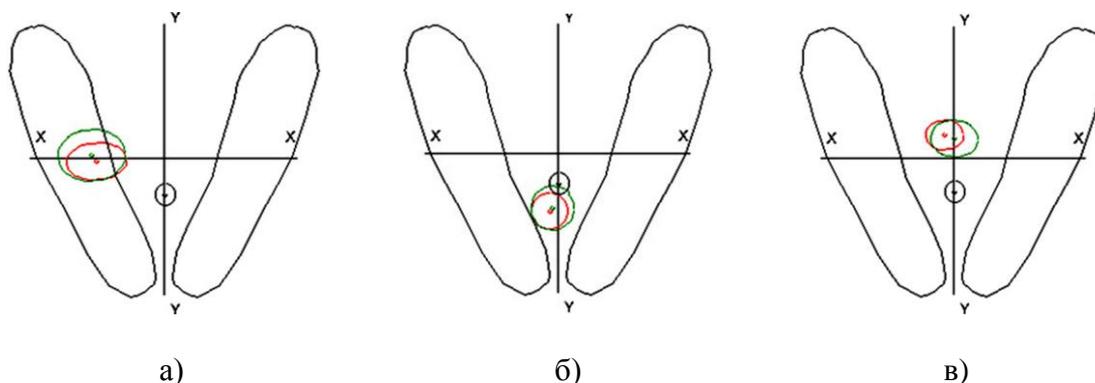


Рис. 2. Компьютерные статокинезиограммы пациентов с ДПБ: а) пациента М., 13 лет, с односторонним (правосторонним) поражением – значительное смещение реального ЦД ребенка по отношению к абсолютному влево и вперед; б) пациента Ф., 16 лет, с односторонним (правосторонним) поражением – значительное смещение реального ЦД ребенка по отношению к абсолютному назад; в) пациента Н., 15 лет, с двусторонним поражением – значительное смещение реального ЦД ребенка по отношению к абсолютному вперед. Красная линия – тест с открытыми глазами; зеленая линия – тест с закрытыми глазами

У пациентов с двусторонним ПДБ, по сравнению со здоровыми детьми, также выявлено значимое отклонение ЦД от средней линии во фронтальной плоскости. Однако по сравнению с больными с односторонним подвывихом такое смещение ЦД менее выраженное (рис. 2в). Это указывает на относительную симметричность нагрузки на контралатеральные нижние конечности, что свидетельствует о взаимной компенсации статических нарушений во фронтальной плоскости со стороны каждой конечности при их двустороннем поражении.

У пациентов с односторонним подвывихом бедра наиболее существенное отклонение центра давления от абсолютного центра, по сравнению с нормой, выявлено в сагиттальной плоскости (координата Y). При этом резкое смещение ЦД происходит практически

равновероятно как вперёд, так и назад (рис. 2б), что приводит к расширению межквартильного интервала параметра  $Y$  в 13,6 раза по сравнению со здоровыми детьми (рис. 3). У больных с двусторонним подвывихом бедра также происходило значимое смещение ЦД в сагиттальной плоскости, однако, в отличие от одностороннего поражения – только в переднем направлении. При этом межквартильный интервал превышал нормальные показатели в значительно меньшей степени – всего в 4,2 раза.

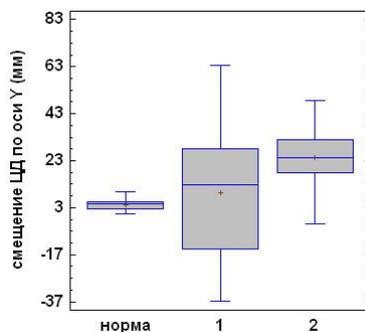


Рис. 3. Диаграммы смещения ЦД в сагиттальной плоскости на статокинезиограммах пациентов с ДПБ: 1 – с односторонним поражением; 2 – с двусторонним поражением

Необходимо учитывать, что у больных с ДПБ нарушен глобальный сагиттальный баланс, следствием которого является отклонение позвоночника кзади от SVA – сагиттальной вертикальной оси [11]. При этом дисбаланс туловища приводит к запуску компенсаторных механизмов, наиболее активно реализующихся в комплексе «таз–позвоночник» [12]. Поэтому было бы закономерно ожидать у пациентов, наряду с отклонением центра масс (ЦМ) тела в заднем направлении, также смещение ЦД назад. Однако даже у здоровых людей, несмотря на тесную взаимосвязь системы ЦМ–ЦД [13], выявляется разнонаправленность векторов смещения ЦМ и ЦД в сагиттальной плоскости [14]. Кроме того, у здорового человека уже при лёгкой асимметрии нагрузки между нижними конечностями наблюдается смещение ЦД вперёд [15]. В настоящей работе у детей с односторонним подвывихом бедра выявлено значительное нарушение распределения веса тела между конечностями, что неизбежно приводит к формированию адаптивных механизмов обеспечения пострального контроля [16], существенно отличающихся от таковых у пациентов с двусторонним подвывихом.

У детей с односторонним подвывихом бедра отсутствует корреляционная связь ( $r_s = 0,07$ ,  $p=0,719$ ) между смещением ЦД в сагиттальной (координата  $Y$ ) и фронтальной (координата  $X$ ) плоскостях (рис. 4а). То есть у таких пациентов значительное нарушение баланса между контралатеральными конечностями может усугубляться резко выраженным дисбалансом ЦД в сагиттальной плоскости, что является признаком грубых биомеханических нарушений. Наоборот, у пациентов с двусторонним подвывихом бедра

выявлена сильная отрицательная зависимость ( $r_s = -0,65$ ,  $p < 0,001$ ) смещения ЦД в сагиттальной плоскости от смещения во фронтальной (рис. 4б). Это указывает на то, что у пациентов с двусторонним ДПБ при увеличении асимметрии распределения нагрузки между нижними конечностями происходит улучшение стабильности ЦД вдоль сагиттальной оси. Объяснение данного феномена может быть следующее. Вертикальное положение человека обеспечивают мышцы таза и позвоночника, наряду с мышцами нижних конечностей [17]. При двустороннем поражении тазобедренных суставов происходит сложное взаимодействие всех этих мышц, приводящее к взаимной компенсации избыточных контралатеральных статических моментов сил. При этом формируется усреднённая сбалансированная адаптивная реакция системы постурального контроля, способствующая повышению стабильности баланса тела. Указанный факт может дополнительно свидетельствовать о большей адекватности компенсаторных изменений в кинематических цепях опорно-двигательной системы у больных с двусторонним подвывихом бедра по сравнению с односторонним.

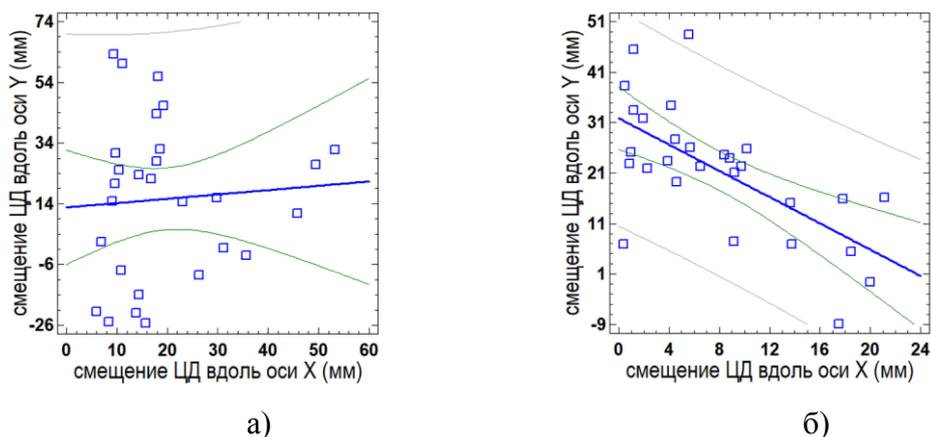


Рис. 4. Линия регрессии (жирная) и ее доверительный интервал (тонкие линии) для зависимости смещения ЦД в сагиттальной плоскости от фронтальной плоскости у пациентов с ДПБ: а) при одностороннем поражении и б) при двустороннем поражении

Анализ медианных значений угла направления колебаний центра давления  $AI$  у детей с подвывихом бедра выявил значимое их увеличение по сравнению с нормой (табл.). Подобное увеличение угла  $AI$  считается патологическим и является признаком нарушения вертикального баланса [18]. Так как при одностороннем подвывихе бедра отклонение угла  $AI$  от сагиттальной плоскости было больше, чем при двустороннем, это может свидетельствовать о более выраженном нарушении позы устойчивости при одностороннем поражении тазобедренного сустава.

Таким образом, интерпретация данных настоящей работы опирается на концепцию биомеханического рассогласования координации сегментов в системе связей между позвоночником, тазом и нижними конечностями у детей с подвывихом бедра. Нарушение

кинематической цепи в системе «позвоночник – тазобедренные суставы» приводит к дестабилизации всей системы постурального баланса у пациентов, которая не обеспечивает полноценного удержания вертикального положения тела ребёнка в пространственных плоскостях. Такую программу двигательной активности со сниженной эффективностью позного контроля можно рассматривать как неоптимальную и даже патологическую при выраженных отклонениях. Это позволяет констатировать у больных с двусторонним подвывихом бедра неоптимальный двигательный стереотип. У них, несмотря на напряженность механизмов реализации постурального контроля, состояние опорно-двигательной системы можно считать достаточно скомпенсированным. У пациентов с односторонним подвывихом бедра, наоборот, сформирован патологический двигательный стереотип, развившийся на фоне значительной асимметрии нагрузки на нижние конечности [19]. При этом отмечается невысокий физиологический ресурс поддержания вертикального баланса с признаками декомпенсации статокINETической системы.

### **Заключение**

1. У детей с диспластическим подвывихом бедра нарушен баланс тела, о чём свидетельствуют выраженные отклонения от нормальных величин статокINETических параметров и перестройка статической локомоторной программы удержания вертикальной стойки.

2. Наиболее выраженные нарушения баланса тела наблюдаются у пациентов с односторонним подвывихом бедра, у которых постуральные реакции могут рассматриваться как патологические и указывать на снижение адаптивных возможностей опорно-двигательной системы. В то же время при двустороннем подвывихе бедра включаются компенсирующие адаптивные постуральные механизмы, приводящие к формированию более адекватного двигательного стереотипа.

3. Имеет большое значение понимание механизмов нарушения вертикального баланса у детей с ДПБ для выяснения закономерностей развития дисфункций со стороны всей опорно-двигательной системы, что необходимо учитывать при планировании тактики хирургического лечения.

*Работа проведена в рамках выполнения Государственного задания Минздрава России.*

### **Список литературы**

1. Čustović S., Šadić S., Vujadinović A., Hrustić A., Jašarević M., Čustović A., Krupić F. The predictive value of the clinical sign of limited hip abduction for developmental dysplasia of the hip

(DDH). Medicinski Glasnik. 2018. vol. 15. no. 2. P. 174-178 DOI: 10.17392/954-18.

2. Kotlarsky P., Haber R., Bialik V., Eidelman M. Developmental dysplasia of the hip: What has changed in the last 20 years? World J. Orthop. 2015. no. 6. P. 886-901. DOI: 10.5312/wjo.v6.i11.886.

3. Roof A.C., Jinguji T.M., White K.K. Musculoskeletal screening: developmental dysplasia of the hip. Pediatric Annals. 2013. no. 42. P. 238-44 DOI: 10.3928/00904481-20131022-10.

4. Поздникин И.Ю., Басков В.Е., Волошин С.Ю., Барсуков Д.Б., Краснов А.И., Познович М.С., Бортулёв П.И., Баскаева Т.В., Бортулёва О.В. Ошибки диагностики и начала консервативного лечения детей с врожденным вывихом бедра // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2017. Т. 5. № 2. С. 42-51. DOI: 10.17816/PTORS5242-51.

5. Камоско М.М., Григорьев И.В. Остеотомии таза в лечении диспластической патологии тазобедренного сустава // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2010. № 1. С. 90-93.

6. Юсупов К.С., Анисимова Е.А., Павленко Н.Н., Летов А.С., Зайцев В.А., Емкужев О.Л., Зоткин В.В., Марков Д.А. Рентгеноанатомические и биомеханические особенности пациентов с диспластическим вывихом в тазобедренном суставе // Саратовский научно-медицинский журнал. 2014. Т. 10. № 1. С. 114-119.

7. Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Басков В.Е., Овечкина А.В., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю. Клинико-рентгенологические показатели позвоночно-тазовых соотношений у детей с диспластическим подвывихом бедра // Травматология и ортопедия России. 2018. Т. 24. № 3. С. 74-82. DOI: 10.21823/2311-2905-2018-24-3-74-82.

8. Ромакина Н.А., Федонников А.С., Киреев С.И., Бахтеева Н.Х., Норкин И.А. Использование методов биомеханики в оценке состояния и коррекции патологии опорно-двигательной системы (обзор) // Саратовский научно-медицинский журнал. 2015. Т. 11. № 3. С. 310-316.

9. Дашевский И.Н., Никитин С.Е. Биомеханика разгрузки нижних конечностей при ортезировании // Российский журнал биомеханики. 2016. Т. 20. № 2. С. 134-149.

10. Никитюк И.Е., Гаркавенко Ю.Е., Кононова Е.Л. Особенности опорной функции нижних конечностей у детей с последствиями поражения проксимального отдела бедра острым гематогенным остеомиелитом // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2018. Т. 6. № 1. С. 14-22. DOI: 10.17816/PTORS5349-57.

11. Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Басков В.Е., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., Познович М.С. Влияние тройной остеотомии таза на позвоночно-тазовые соотношения у детей с диспластическим подвывихом бедра // Ортопедия, травматология и

восстановительная хирургия детского возраста. 2019. Т. 7. № 2. С. 5-16. DOI: 10.17816/PTORS725-16.

12. 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.

13. Lu H.L., Lu T.W., Lin H.C., Hsieh H.J., Chan W.P. Effects of belt speed on the body's center of mass motion relative to the center of pressure during treadmill walking. Gait Posture. 2017. no. 51. P. 109-115. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2016.09.030.

14. Vieira M.F., de Brito A.A. Junior, Lehnen G.C., Rodrigues F.B. Center of pressure and center of mass behavior during gait initiation on inclined surfaces: A statistical parametric mapping analysis. J. Biomech. 2017. vol. 3. no. 56. P. 10-18. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2017.02.018.

15. 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.

16. 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.

17. Абдуразаков У.А., Абдуразаков А.У., Юлдашев А.Ж. Асимметрия тела человека: внешние проявления и взаимосвязь с заболеваниями опорно-двигательной системы // Вестник АГИУВ. 2016. № 4. С. 28-31.

18. Никитюк И.Е., Кононова Е.Л., Гаркавенко Ю.Е. Особенности нарушения баланса тела у детей с односторонним укорочением нижней конечности // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2019. Т. 7. № 3. С. 45-54. DOI: 10.17816/PTORS7345-54.

19. Айдаров В.И., Скворцов А.П. Формирование правильного двигательного стереотипа ходьбы у пациентов с дефицитом локомоторных функций нижних конечностей // Практическая медицина. 2013. Т. 2. № 1-2 (69). С. 12-13.