

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАНТОГРАФИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОПОРНОЙ ФУНКЦИИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПОСЛЕ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА У ПОДРОСТКОВ С ПОСЛЕДСТВИЯМИ ОСТРОГО ГЕМАТОГЕННОГО ОСТЕОМИЕЛИТА**

**Имомов Х.Д., Никитюк И.Е., Басков В.Е., Бортулев П.И., Поздникин И.Ю., Барсуков Д.Б., Баскаева Т.В.**

*ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, e-mail: kh.imomov90@mail.ru*

Целью настоящего исследования являлось изучение у подростков с односторонним коксартрозом, развившимся вследствие перенесенного острого гематогенного остеомиелита тазобедренного сустава, плантографических характеристик стоп до и после тотального эндопротезирования. Исследование основано на анализе результатов обследования и хирургического лечения 14 пациентов в возрасте от 13 до 17 лет с односторонним поражением тазобедренного сустава, развившимся вследствие перенесенного острого гематогенного остеомиелита. Было проведено плантографическое исследование до операции и после в сроки от 1 года до 3 лет. Контрольную группу составили 14 здоровых детей того же возраста. При анализе плантографических характеристик у пациентов в предоперационном периоде выявлены нарушения опорной функции стопы как на стороне поражения, так и на контралатеральной – интактной. Это проявлялось с обеих сторон супинационной установкой переднего отдела стопы со снижением опороспособности головки первой плюсневой кости, ухудшением рессорной функции поперечного и внутреннего продольного сводов. На стороне поражения нарушения опорной функции стопы были более выраженные, чем на интактной. После эндопротезирования у пациентов наблюдалось значимое изменение функциональной активности стоп в сторону нормализации, что свидетельствует об улучшении биомеханики нижней конечности не только на пораженной стороне, но и на интактной.

Ключевые слова: последствия острого гематогенного остеомиелита, тазобедренный сустав, эндопротезирование, биомеханика, стопа, плантография.

## **APPLYING A PLANTOGRAPHY TO AVALUATE THE RECOVERY OF SUPPORTING FUNCTION OF THE LOWER EXTREMITIES AFTER TOTAL HIP ARTHROPLASTY IN ADOLESCENTS WITH THE CONSEQUENCES OF ACUTE HEMATOGENOUS OSTEOMYELITIS**

**Imomov K.D., Nikityuk I.E., Baskov V.E., Bortulev P.I., Pozdnikin I.Y., Barsukov D.B., Baskaeva T.V.**

*H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, e-mail: kh.imomov90@mail.ru*

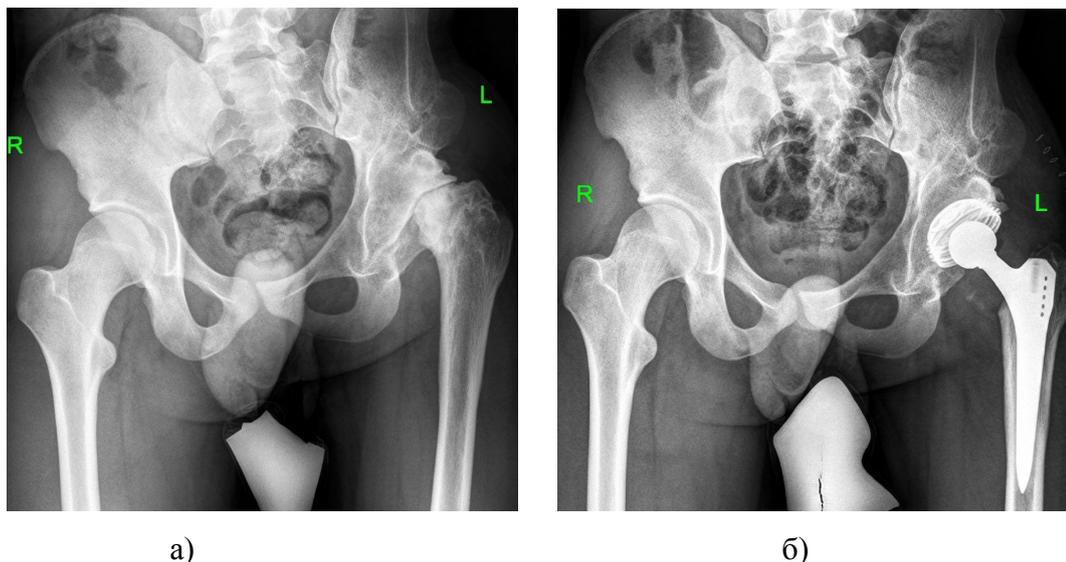
The aim of this study was to study the plantographic characteristics of the feet before and after total hip arthroplasty in adolescents with unilateral coxarthrosis, which developed as a result of acute hematogenous osteomyelitis of the hip joint. The study is based on the analysis of the results of survey and surgical treatment of 14 patients aged 13 to 17 years with unilateral lesions of the hip joint, which developed as a result of acute hematogenous osteomyelitis. A plantographic study was carried out before and after the operation in terms of 1 to 3 years. The control group consisted of 14 healthy children of the same age. When analyzing the plantographic characteristics in patients in the preoperative period, violations of the support function of the foot were revealed both on the affected side and on the contralateral - intact side. This was manifested on both sides by supination of the forefoot with a decrease in the support ability of the head of the first metatarsal bone, deterioration of the spring function of the transverse and internal longitudinal arches. On the affected side, violation of the support function of the foot were more pronounced than on the intact one. After arthroplasty, patients showed a significant change in the functional activity of the feet towards normalization, which indicates an improvement in the biomechanics of the lower limb, not only on the affected side, but also on the intact side.

Keywords: consequences of acute hematogenous osteomyelitis, hip joint, arthroplasty, biomechanics, foot, plantography.

Актуальнейшей проблемой современной ортопедии является деформирующий коксартроз у подростков. Частой причиной патологии служат последствия острого гематогенного остеомиелита (ПОГО) области тазобедренного сустава. Большое разнообразие деформаций анатомических структур, образующих тазобедренный сустав, неблагоприятно отражается на его функции и является причиной нарушения биомеханики всей опорно-двигательной системы [1]. При тяжелом течении коксартроза тазобедренный сустав претерпевает грубые анатомические изменения, приводящие к резкому нарушению его функции, что требует проведения хирургического лечения – тотального эндопротезирования [2]. Такая операция является хотя и вынужденным, однако эффективным и часто единственным способом оперативного лечения для восстановления утраченной функции нижней конечности. Несмотря на то что эндопротезирование тазобедренного сустава существенно снижает прогрессирование нарушений биомеханики опорно-двигательной системы, вопрос полного восстановления опорности пораженной нижней конечности пока что остается нерешенным [3]. Для оценки восстановления функции нижних конечностей после такого хирургического вмешательства необходимо получать точную количественную информацию о состоянии их биомеханики. Важное место в ряду биомеханических методов оценки восстановления опорности нижних конечностей у больных с коксартрозом занимает диагностика опорной функции стоп [4]. Высокую информативность показывает методика плантографии, которая позволяет выявить нарушения нагрузочных подошвенных характеристик стоп у пациентов с ПОГО нижних конечностей [5].

Цель исследования – изучить плантографические характеристики стоп до и после тотального эндопротезирования у подростков с односторонним коксартрозом, развившимся вследствие острого гематогенного остеомиелита тазобедренного сустава.

**Материал и методы исследования.** Проведено обследование опорной функции стоп у 14 подростков в возрасте от 13 до 17 лет с односторонним коксартрозом, развившимся вследствие острого гематогенного остеомиелита области тазобедренного сустава. Биомеханическое исследование проводили до (рис. 1а) и после (рис. 1б) одностороннего тотального эндопротезирования тазобедренного сустава – в сроки от 1 года до 3 лет.



а) б)  
 Рис. 1. Рентгенограмма тазобедренных суставов пациента М, 16 лет, с левосторонним коксартрозом 3-й стадии, развившимся вследствие острого гематогенного остеомиелита (ПОГО): а) до операции; б) через 1 год после тотального эндопротезирования левого тазобедренного сустава

Группу контроля составили 14 здоровых подростков того же возраста. Компьютерную плантографию осуществляли на программно-аппаратном комплексе диагностики «Подоскан» (НМФ «МБН», Россия). Плантографические характеристики оценивали в тестах: 1) с равномерным распределением нагрузки между контралатеральными нижними конечностями (плантография двуопорная) и 2) с попеременным переносом веса всего тела на одну из нижних конечностей (плантография одноопорная). В целях анализа плантограмм использовали усовершенствованный метод [5]. Для этого на отпечатках стоп расставляли реперные точки и соединяли их линиями. Линия ВС соответствует поперечному своду стопы, линии ОG, ОР и ОН соответствуют продольным сводам – соответственно медиальному, срединному и латеральному (рис. 2). После измерения расстояний между точками вычисляли плантографические индексы опоры:  $t = KE/BC$ ,  $m = GS/GO$ ,  $s = PW/PO$  и  $l = MN/НО$ . Индекс  $t$  (передний индекс опоры) демонстрирует состояние поперечного свода стопы. Индексы  $m$ ,  $s$  и  $l$  (медиальный, срединный и латеральный) свидетельствуют о функциональности соответствующих продольных сводов.

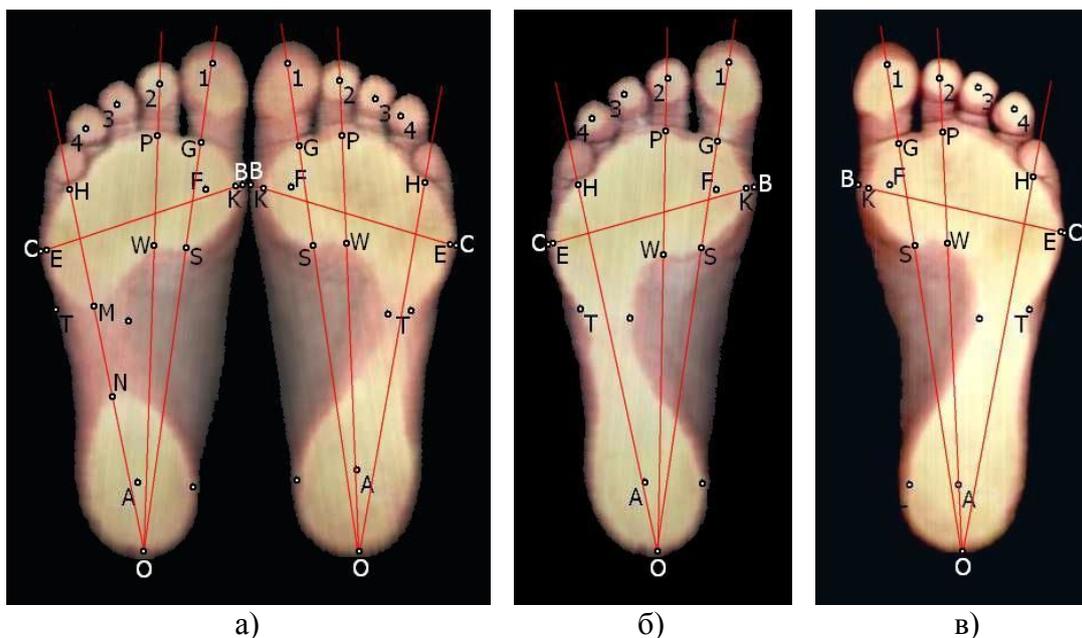
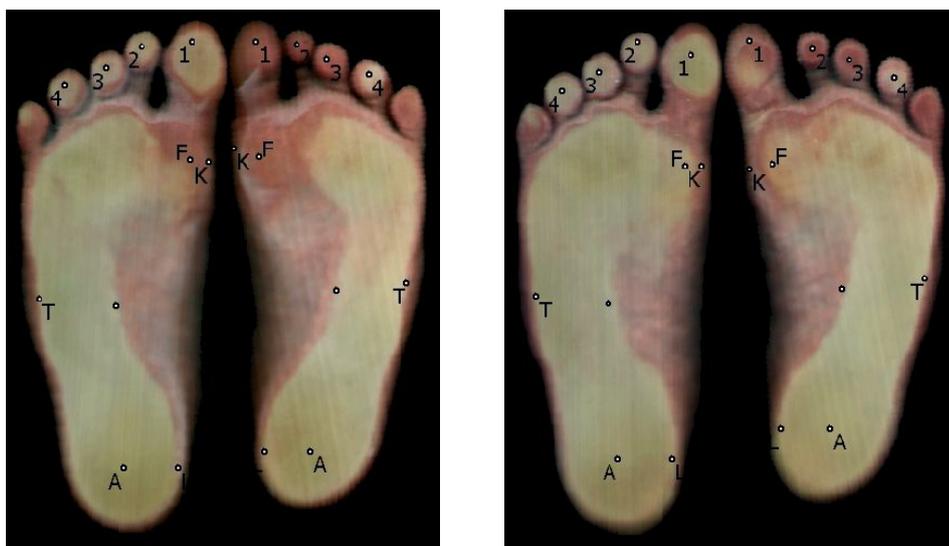


Рис. 2. Рэперные точки плантограмм 12-летнего ребенка без ортопедической патологии: а) при двуопорной плантографии; б) левой стопы – при одноопорной плантографии; в) правой стопы – при одноопорной плантографии

При статистической обработке полученных результатов применяли программу Microsoft Excel. Для проверки вида распределения изучаемых показателей использовали тест Колмогорова–Смирнова и критерий Шапиро–Уилка. Так как характер распределения показателей плантографии был определен как параметрический, для сравнения значений выборок использовали параметрический t-критерий Стьюдента с вычислением среднего значения ( $M$ ) и стандартного отклонения ( $m$ ). Пороговый уровень статистической значимости принимали при значении критерия  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** Перед оперативным лечением у подростков с ПОГО была выявлена асимметрия в длине контралатеральных стоп. При этом на стороне поражения длина стопы была уменьшена по сравнению со здоровой стороной на  $2,9 \pm 0,38\%$  вследствие гипоплазии. Причем отклонения в опорной функции стоп были выявлены с обеих сторон. Это проявлялось супинацией их переднего отдела. На этом фоне наблюдался дефицит опорности головки первой плюсневой кости обеих стоп, проявляющийся в большей степени на стороне поражения (рис. 3а).



а)

б)

*Рис. 3. Больная А., 16 лет, ПОГО правого тазобедренного сустава, правосторонний коксартроз 3-й стадии: а) результаты двуопорной плантографии до операции (снижение опорности головки первой плюсневой кости обеих стоп, больше справа); б) результаты двуопорной плантографии через 2 года после тотального эндопротезирования правого тазобедренного сустава (восстановление опорности головки первой плюсневой – слева, улучшение опорности – справа)*

Анализ плантографических характеристик показал (табл.), что у больных с ПОГО в тестах с двуопорной и одноопорной нагрузкой наблюдалось выраженное значимое снижение величины переднего индекса опоры  $t$  с обеих сторон по сравнению со здоровыми детьми.

При переходе от двуопорной нагрузки к одноопорной двукратное увеличение нагружаемости стоп у пациентов не приводило к значимому увеличению индекса  $t$ , которое характерно для здоровых детей. Указанный факт свидетельствует о ригидности поперечного свода стоп у пациентов как пораженной, так и не пораженной сторон.

Значимое снижение у пациентов показателей медиального индекса опоры  $m$  свидетельствует о выраженном снижении опорности головки первой плюсневой кости контралатеральных стоп как при двуопорной, так и при одноопорной нагрузке. При этом на стороне поражения не было выявлено снижения рессорной функции внутреннего продольного свода вследствие значимой изменчивости индекса  $m$  при изменении нагрузки, что характерно для стоп здоровых детей. В свою очередь, у пациентов с ПОГО анализ динамики плантографических характеристик в тестах с двуопорной и одноопорной нагрузкой не выявил значимого снижения показателя латерального индекса опоры  $l$  в сторону нормализации. Это указывает на то, что в группе пациентов на стопе пораженной конечности снижена рессорная функция наружного продольного свода. Показатель

срединного индекса опоры  $s$  у пациентов был значимо снижен только на стороне поражения и только при двуопорной нагрузке.

Показатели плантографических характеристик стоп здоровых детей и больных с односторонним ПОГО ТБС до и после эндопротезирования

| Группы детей (стопы)             | Плантографические индексы ( $\times 10^{-2}$ ) |                                 |                                 |                                 |                                      |                                 |                                  |                 |                                 |
|----------------------------------|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------------|
|                                  | Двуопорная плантография (M $\pm$ m)            |                                 |                                 |                                 | Одноопорная плантография (M $\pm$ m) |                                 |                                  |                 |                                 |
|                                  | $t$  | $m$                             | $s$                             | $l$                             | $t$                                  | $m$                             | $s$                              | $l$             |                                 |
| Здоровые (n=28)                  | 93,4 $\pm$ 0,49                                | 21,6 $\pm$ 0,35                 | 23,9 $\pm$ 0,41                 | 13,8 $\pm$ 2,34                 | 96,1 $\pm$ 0,33*                     | 25,1 $\pm$ 0,29*                | 26,3 $\pm$ 0,4*                  | 2,7 $\pm$ 1,2*  |                                 |
| с ПОГО, интактная сторона (n=14) | до   | <u>78,8<math>\pm</math>3,72</u> | <u>14,2<math>\pm</math>2,18</u> | 20,4 $\pm$ 1,59                 | 14,5 $\pm$ 5,14                      | <u>81,1<math>\pm</math>2,78</u> | <u>20,3<math>\pm</math>2,36</u>  | 24,2 $\pm$ 1,48 | 7,8 $\pm$ 3,56                  |
|                                  | после  | <b>90,4<math>\pm</math>3,14</b> | <b>18,9<math>\pm</math>1,96</b> | 22,3 $\pm$ 1,17                 | 13,8 $\pm$ 5,23                      | <b>93,2<math>\pm</math>1,83</b> | <b>23,6<math>\pm</math>1,42</b>  | 24,8 $\pm$ 1,53 | 6,2 $\pm$ 2,63                  |
| с ПОГО, сторона поражения (n=14) | до   | <u>72,3<math>\pm</math>4,86</u> | <u>10,3<math>\pm</math>2,31</u> | <u>18,3<math>\pm</math>1,76</u> | 13,3 $\pm$ 4,16                      | <u>72,9<math>\pm</math>3,54</u> | <u>19,2<math>\pm</math>1,68*</u> | 23,4 $\pm$ 1,73 | <u>12,7<math>\pm</math>3,42</u> |
|                                  | после  | <u>87,8<math>\pm</math>3,52</u> | <b>17,3<math>\pm</math>2,46</b> | <b>21,4<math>\pm</math>1,36</b> | 9,74 $\pm$ 4,19                      | <b>92,4<math>\pm</math>2,16</b> | <b>22,5<math>\pm</math>1,91</b>  | 25,1 $\pm$ 1,76 | 10,3 $\pm$ 4,98                 |

Изменения показателей при одноопорной нагрузке по сравнению с соответствующими показателями при двуопорной нагрузке с достоверностью не менее  $p < 0,05$  обозначены символом \*.

Сплошной линией подчеркнуты показатели пациентов, отличающиеся от соответствующих показателей здоровых детей с достоверностью не менее  $p < 0,05$ .

Показатели, значимо изменившиеся в сторону нормализации по сравнению с таковыми перед операцией, обозначены жирным шрифтом.

Нарушение опорной функции стопы интактной нижней конечности может быть обусловлено генерализацией механизмов дисбаланса мышц голени с пораженной конечности на здоровую, что характерно для одностороннего поражения тазобедренного сустава. По-видимому, у детей с односторонним поражением ТБС отклонения в афферентной импульсации от пораженного тазобедренного сустава [6] и от стопы пораженной стороны [7] оказывают воздействие на кортикоспинальный механизм реализации акта опоры стоп. Патологическая афферентация со стороны нижних конечностей «наслаивается» на проприоцептивную спиноцеребральную петлю и приводит к нарушению биокинематической цепи [8], что усугубляет мышечный дисбаланс опорно-двигательной системы. Для поддержания равновесия тела в новых условиях неизбежно активируются дополнительные адаптивные локомоторные реакции, которые, возможно, приводят к формированию нового двигательного стереотипа и изменению опорной стратегии стоп. Существенная асимметрия плантографических характеристик на контралатеральных стопах, особенно выраженная у индексов  $t$  и  $m$ , по всей видимости, обусловлена адаптивной

реакцией опорно-двигательной системы на одностороннее поражение, результатом которой является компенсаторное перераспределение веса тела с пораженной нижней конечности в сторону здоровой конечности [9]. После одностороннего эндопротезирования тазобедренного сустава у больных с ПОГО наблюдалась положительная динамика биомеханики стоп. На плантограммах это проявлялось значительным уменьшением супинационной установки стоп на фоне выраженного восстановления опороспособности головки первой плюсневой кости стопы с обеих сторон (рис. 3б).

В тестах с двупорным распределением веса тела на нижние конечности произошло выраженное повышение в сторону нормализации показателей медиального индекса опоры  $m$  стоп с обеих сторон. Значимо приблизился к норме показатель срединного индекса опоры  $s$  на стороне поражения. Однако величина переднего индекса опоры  $t$  нормализовалась только на интактной стороне, в то время как на стороне поражения не произошло значимого его увеличения. Анализ динамики параметров при увеличении нагрузки на нижнюю конечность выявил значимое увеличение величин переднего индекса опоры  $t$  и медиального индекса опоры  $m$  на обеих сторонах, средняя величина которых практически приблизилась к норме. Произошло изменение в сторону нормальных значений показателя латерального индекса опоры  $l$  на стороне поражения. Тенденция к нормализации плантографических индексов свидетельствует о том, что подошвенная нагрузка распределяется по отделам стопы более оптимально как оперированной конечности, так и интактной. Подобное восстановление биомеханики опорно-двигательной системы характерно для органозамещающих операций на тазобедренном суставе [10]. Улучшение опорной функции стоп у больных после эндопротезирования можно объяснить восстановлением биомеханики самого тазобедренного сустава вследствие восстановления центрации головки бедра и стабильности в суставе [11]. Кроме того, улучшение опорной функции интактной стопы может быть обусловлено снижением болевого синдрома после эндопротезирования [12] и уменьшением интенсивности патологической афферентации со стороны пораженного сустава. Имеющиеся нарушения проприоцепции опорно-двигательной системы [13] становятся менее выраженными, что приводит к улучшению ее локомоторных функций и нормализации опорной стратегии нижних конечностей

Однако полного восстановления функции сводчатого аппарата стоп пациентов после эндопротезирования не произошло. По сравнению со здоровыми детьми у них не было выявлено значимой динамики индексов опоры стоп в тестах с увеличением нагрузки на нижнюю конечность. Указанный факт свидетельствует о тенденции к сохранению ригидности всех сводов стоп и, соответственно, об их сниженной рессорной функции, что согласуется с данными о длительном формировании приспособительных стереотипов

опорных реакций стоп у больных после эндопротезирования тазобедренного сустава [14]. Так как стопа и таз связаны в единую кинематическую цепь [15], биомеханический статус стопы может оказаться информативным критерием при оценке состояния тазобедренного сустава. Поэтому выявленная в настоящем исследовании нормализация плантографических характеристик стоп после эндопротезирования тазобедренного сустава может указывать на улучшение функциональности последнего.

### **Выводы**

1. Метод плантографии позволяет объективно оценить динамику изменения функции опорно-двигательной системы у подростков с ПОГО после тотального эндопротезирования пораженного тазобедренного сустава.

2. После эндопротезирования тазобедренного сустава у пациентов наблюдается улучшение состояния биомеханики стоп, что свидетельствует о восстановлении опорной функции нижней конечности не только на стороне поражения, но и на контралатеральной – интактной.

3. Функциональный статус стопы можно рассматривать в качестве маркера состояния тазобедренных суставов.

### **Список литературы**

1. Шостак Н.А. Коксартроз и периартикулярная патология области бедра - особенности клинических проявлений, диагностика, подходы к терапии // Современная ревматология. 2012. № 1. С. 15-21.
2. Неверов В.А., Камоско М.М., Басков В.Е. Эндопротезирование тазобедренного сустава у детей и подростков // Вестник хирургии им. И. И. Грекова. 2011. Т. 170. № 6. С. 107-112.
3. Фищенко В.А., Браницкий А.Ю., Московко Г.С., Карпинская Е.Д. Маркеры нарушения параметров ходьбы больных после эндопротезирования тазобедренного сустава как следствие длительного течения остеоартроза (по данным системы GAITRite) // Травма. 2020. Т. 21. № 1. С. 76-84. DOI: 10.22141/1608-1706.1.21.2020.197801.
4. Долганова Т.И., Тряпичников А.С., Щурова Е.Н. Диагностическая информативность подографии у больных коксартрозом с деформацией бедренной кости перед операцией реконструктивного эндопротезирования // Успехи современного естествознания. 2015. № 9. С. 204-209.
5. 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/PTORS6114-22.

6. Горянная Н.А., Ишекова Н.И., Ишеков А.Н. Динамика показателей стабилотрии на втором этапе реабилитации пациентов после эндопротезирования тазобедренного сустава // Журн. мед.-биол. исследований. 2020. Т. 8. № 3. С. 277-284. DOI: 10.37482/2687-1491-Z019.

7. Бачу А.Я. Усиление сенсорно-моторной интеграции в неокортексе путем рефлексогенной стимуляции физиологически активных зон // Вестник Приднестровского университета. Серия: Медико-биологические и химические науки. 2014. № 2 (47). С. 112-117.

8. Щеколова Н.Б., Бронников В.А., Ладейщиков В.М., Зиновьев А.М. Значение оценки биомеханических показателей при ортопедической коррекции двигательных нарушений у больных после перенесенного церебрального инсульта // Пермский медицинский журнал. 2018. XXXV. № 3. С. 9-14. DOI: 10.17816/pmj3539-14.

9. 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.

10. Ежов И.Ю., Рукина Н.Н., Трифонов А.М. Биомеханические методы оценки функционального состояния пациентов при эндопротезировании тазобедренных суставов // Медицинский альманах. 2010. № 2 (11). С. 183-186.

11. Анисимова Е.А., Юсупов К.С., Анисимов Д.И. Морфология костных структур тазобедренного сустава в норме и при диспластическом коксартрозе (обзор) // Саратовский научно-медицинский журнал. 2014. Т. 10. № 3. С. 373-377.

12. Колесников С.В., Колесникова Э.С., Камшилов Б.В., Скрипников А.А. Сравнение эффективности применения комплексов лечебных физических упражнений при коксартрозе и после эндопротезирования тазобедренного сустава // Гений Ортопедии. 2014. № 2. С. 23-29.

13. Wareńczak A., Lisiński P. Does total hip replacement impact on postural stability? BMC Musculoskeletal Disorders. 2019. no. 20. P. 229. DOI: 10.1186/s12891-019-2598-9.

14. Долганова Т.И., Волокитина Е.А., Сазонова Н.В., Чегуров О.К., Долганов Д.В., Буторина Н.И. Приспособительные стереотипы опорных реакций стоп у больных с коксартрозом после эндопротезирования тазобедренного сустава // Гений Ортопедии. 2009. № 3. С. 34-40.

15. Kim T.H., Lee C.W., Kim S.G., An B.W. The effect of a pelvis-concentrated exercise program on male college students' body alignment and foot base pressure. J. Phys. Ther. Sci. 2015. vol. 27. no. 4. P. 1165-1167.