

Оценка функциональных результатов хирургического лечения детей с болезнью Легга-Кальве-Пертеса при помощи портативной системы анализа ходьбы

А.Г. Баиндурашвили, И.Е. Никитюк, Е.А. Костомарова, Е.Л. Кононова, Д.Б. Барсуков, В.Е. Басков

Федеральное государственное бюджетное учреждение
"Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера"
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Россия

Evaluation of functional results of surgical treatment in children with Legg-Calve-Perthes disease using a portable gait analysis system

A.G. Baidurashvili, I.E. Nikityuk, E.A. Kostomarov, E.L. Kononova, D.B. Barsukov, V.E. Baskov

H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russian Federation

Актуальность. Типичными последствиями болезни Легга-Кальве-Пертеса при тяжелом течении заболевания являются патологические изменения в анатомии тазобедренного сустава, которые приводят к функциональным нарушениям опорно-двигательной системы, клинически проявляющимся хромотой. **Цель.** Изучить биомеханические характеристики ходьбы у детей с односторонней болезнью Легга-Кальве-Пертеса для определения функционального состояния опорно-двигательной системы после различных методов хирургического лечения. **Материалы и методы.** Изучены временные и динамические параметры походки у 31 пациента с односторонней болезнью Легга-Кальве-Пертеса в возрасте от 8 до 13 лет. Обследование осуществляли после хирургического лечения в сроки от 2 до 5 лет. В контрольной группе пациентов (15 детей) была выполнена корригирующая (варизирующая) остеотомия бедра (КВОБ), в основной группе (16 детей) выполнена операция – тройная остеотомия таза (ТОТ). Все дети оперированы в стадиях, соответствующих классификации С.А. Рейнберга (1964) II-IV и группам III, IV по классификации Catterall (1971). Для объективизации корреляционного исследования провели обследование 18 здоровых детей того же возраста без признаков ортопедической патологии. Биомеханику походки изучали с помощью программно-аппаратного комплекса «СТЭДИС» (ООО «Нейрософт», г. Иваново), включающего комплект безлатформенных инерционных сенсоров «Нейросенс», регистрирующих данные об ускорениях в 3-х взаимно перпендикулярных плоскостях. Регистрировали временные характеристики цикла шага и ударные нагрузки при ходьбе. **Результаты.** После хирургического лечения показатели биометрии фаз опоры и ударных нагрузок в обеих группах детей с БЛКП не достигали такого же уровня как у здоровых лиц, что указывает на сохраняющиеся отклонения в параметрах ходьбы. Наименее значимые показатели асимметрии между пораженной и непораженной конечностями выявлены у пациентов после ТОТ, по сравнению с пациентами после КВОБ, у которых сохранялись асимметрия временных параметров в фазу переката через передний отдел стопы и асимметрия ударных нагрузок в фазы переката через пятку и голеностопный сустав. **Заключение.** После тройной остеотомии таза походка пациентов с БЛКП по совокупности параметров была более приближенной к физиологической по сравнению с пациентами после корригирующей (варизирующей) остеотомии бедра, у которых сохранялся неоптимальный двигательный стереотип. Причинами таких отличий в двигательной активности между группами пациентов является дисфункция ягодичных мышц, обусловленная формированием высокого положения большого вертела после корригирующей (варизирующей) остеотомии бедра, а также дополнительного ятрогенного укорочения пораженной конечности. Тройная остеотомия таза лишена перечисленных негативных эффектов.

Ключевые слова: тазобедренный сустав, болезнь Легга-Кальве-Пертеса, тройная остеотомия таза, корригирующая остеотомия бедра, анализ ходьбы

Introduction Typical consequences of Legg-Calve-Perthes disease (LCPD) in its severe stage are pathological changes in the anatomy of the hip joint which lead to functional disorders of the musculoskeletal system, clinically manifested by limp. **Objective** To study biomechanical characteristics of walking in children with unilateral Legg-Calve-Perthes disease to determine the functional state of the musculoskeletal system after surgical treatment with the use of various methods. **Material and methods** Temporal and dynamic parameters of gait were studied in 31 patients with unilateral Legg-Calve-Perthes disease aged from 8 to 13 years old. They were examined two to five years after surgical treatment. In the control group of patients (15 children), varus osteotomy (VO) was performed. In the main group (16 children), triple pelvic osteotomy (TPO) was used. All children were operated in the disease stages II-IV corresponding to the classifications of S.A. Reinberg (1964) and to groups III-IV according to the classification of Catterall (1971). To objectify the study, 18 healthy children of the same age without signs of orthopaedic pathology were examined. Gait biomechanics were studied using the STEDIS complex (Neurosoft LLC, Ivanovo) that includes a set of platformless inert sensors "Neurosens" that record the data on accelerations in three mutually perpendicular planes. The temporal characteristics of the gait cycle and shock loads during walking were recorded. **Results** After surgical treatment, the biometrics of the support and shock load phases in both groups of children with LCPD did not reach the level of healthy individuals. It indicates preservation of deviations in walking parameters. The least significant asymmetry between the affected and unaffected limb were detected in patients after TPO, compared with patients after VO in whom the asymmetry of temporal parameters in the phase of the forefoot rocker and asymmetry of shock loads in the phases of rocking over the heel and ankle joint were preserved. **Conclusion** After TPO operations in patients with LCPD, the gait was closer to the physiological one in comparison with patients after VO who retained a non-optimal motor stereotype. The reasons for such differences in motor activity between the groups of patients lies in the gluteal muscle dysfunction due to high position of the greater trochanter after corrective (varus) femur osteotomy and iatrogenic shortening of the affected limb. Triple pelvic osteotomy lacks these negative effects.

Keywords: hip joint, Legg-Calve-Perthes disease, triple pelvic osteotomy, corrective varus osteotomy of the femur, gait analysis

ВВЕДЕНИЕ

Болезнь Легга-Кальве-Пертеса (БЛКП) является актуальной проблемой современной детской ортопедии в связи с высокой частотой встречаемости в структуре заболеваний опорно-двигательной системы и значительным отрицательным влиянием на качество жизни

пациентов [1]. Типичными последствиями БЛКП при тяжелом течении заболевания являются многоплоскостная деформация проксимального отдела бедра с высоким стоянием большого вертела и формирование относительного укорочения нижней конечности на стороне

Оценка функциональных результатов хирургического лечения детей с болезнью Легга-Кальве-Пертеса при помощи портативной системы анализа ходьбы / А.Г. Баиндурашвили, И.Е. Никитюк, Е.А. Костомарова, Е.Л. Кононова, Д.Б. Барсуков, В.Е. Басков // Гений ортопедии. 2020. Т. 26, № 4. С. 508-515. DOI 10.18019/1028-4427-2020-26-4-508-515

Baidurashvili A.G., Nikityuk I.E., Kostomarov E.A., Kononova E.L., Barsukov D.B., Baskov V.E. Evaluation of functional results of surgical treatment in children with Legg-Calve-Perthes disease using a portable gait analysis system. *Genij Ortopedii*, 2020, vol. 26, no 4, pp. 508-515. DOI 10.18019/1028-4427-2020-26-4-508-515

поражения [2]. Патологические изменения в анатомии тазобедренного сустава приводят к функциональным нарушениям опорно-двигательной системы, клинически проявляющимся хромотой. Сохраняет свою актуальность вопрос выбора тактики хирургического лечения детей с БЛКП, несмотря на накопленный вековой опыт и разнообразие используемых оперативных вмешательств. Для улучшения центрации головки бедра при болезни Легга-Кальве-Пертеса применяется корригирующая (варизирующая) остеотомия бедра [3, 4], однако ее применение обуславливает дополнительное ятрогенное укорочение оперированной нижней конечности, а также повышает риски развития высокого положения большого вертела, приводящего не только к слабости ягодичных мышц, но и к формированию феморо-ацетабулярного импиджмента [5, 6]. Тройная остеотомия таза позволяет избежать выраженной деформации проксимального отдела бедра и не приводит к дополнительно укорочению пораженной конечности [7]. Разработка новых принципов хирургического лечения пациентов с БЛКП и совершенствование техники вмешательств диктует необходимость использования не только методов оценки анатомического состояния оперированного тазобедренного сустава. Для сравнения результатов различных операций требуется оценивать восстановление локомоторной функции опорно-двигательной системы у оперированных пациентов, что обуславливает необходимость использования объективных методов оценки па-

раметров двигательной активности [8]. На сегодняшний день внедрение современных технологий анализа ходьбы позволяет объективно определить функциональное состояние опорно-двигательной системы у пациентов после восстановительных операций на тазобедренном суставе [9, 10]. В настоящее время наиболее доступным из высокоточных методов регистрации параметров ходьбы являются бесконтактные системы с применением инерционных сенсоров [11, 12], которые устанавливаются непосредственно на человеческом теле [13]. Широко используется фиксация инерционных датчиков непосредственно на лодыжки обследуемого, что позволяет с высокой точностью регистрировать временные характеристики цикла шага [14]. Однако определение клинически значимых различий в показателях ходьбы после хирургических вмешательств на тазобедренном суставе все еще остается серьезной проблемой [15], не раскрыты полностью возможности и ограничения диагностических методик, что приводит к неоднозначности в интерпретации результатов [16]. В связи с этим изучение особенностей ходьбы у детей с БЛКП после различных способов хирургического лечения представляет не только практический, но и научный интерес.

Цель исследования. Изучить биомеханические характеристики ходьбы для определения функционального состояния опорно-двигательной системы у пациентов с односторонней БЛКП после различных методик хирургического лечения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации (World Medical Association Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013). Изучены временные и динамические параметры походки у 31 пациента с односторонней болезнью Легга-Кальве-Пертеса в возрасте от 8 до 13 лет. Обследование осуществляли только после хирургического лечения в сроки от 2 до 5 лет. В предоперационном периоде проводить исследование было невозможно, так как всем пациентам была запрещена осевая нагрузка на пораженную ногу. Клиническое обследо-

вание пациентов включало измерение разницы длины контралатеральных нижних конечностей. Рентгенологическое исследование тазобедренных суставов выполняли в переднезадней проекции до и после оперативного лечения. Определяли *center-trochanter distance* (CTD) и шеечно-диафизарный угол (ШДУ) на обеих сторонах. Рентгенометрические показатели пораженного тазобедренного сустава сравнивали со здоровым.

В контрольной группе пациентов (15 детей) была выполнена корригирующая (варизирующая) остеотомия бедра (КВОБ) (рис. 1), в основной группе (16 детей) выполнена операция – тройная остеотомия таза (ТОТ) (рис. 2).

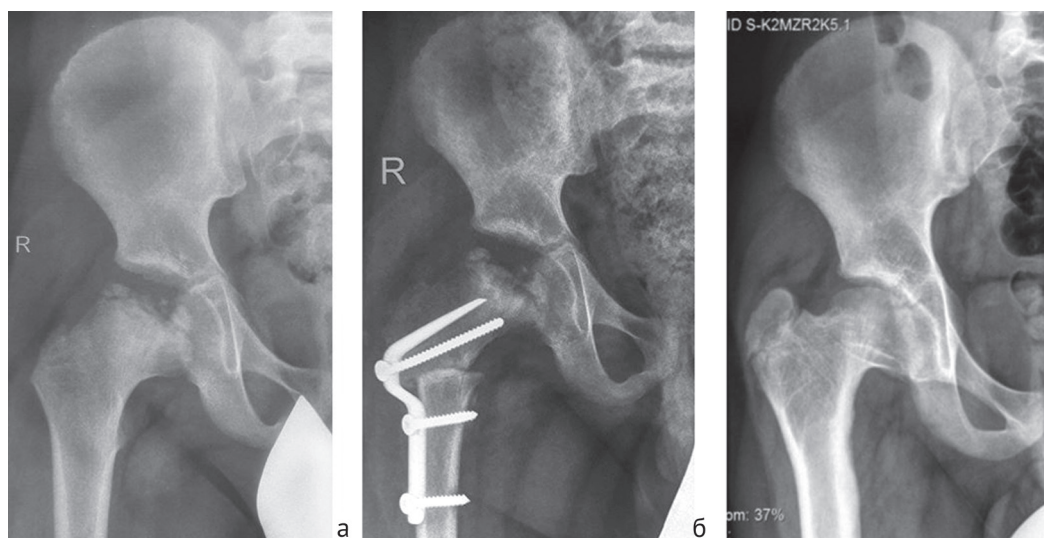


Рис. 1. Рентгенограммы тазобедренного сустава в прямой проекции пациента Р., 9 лет, с правосторонней БЛКП: а – до операции; б – через 1 месяц после корригирующей (варизирующей) остеотомии правого бедра; в – через 4 года после корригирующей (варизирующей) остеотомии правого бедра

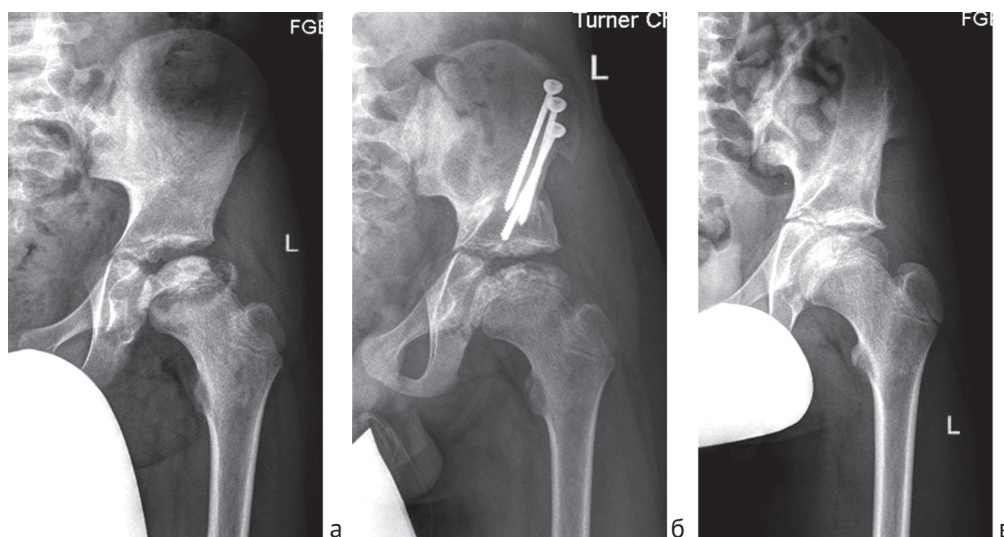


Рис. 2. Рентгенограммы тазобедренного сустава в прямой проекции пациента А., 8 лет, с левосторонней БЛКП: а – до операции; б – через 3 месяца после тройной остеотомии таза слева; в – через 3 года после тройной остеотомии таза слева

Для объективизации исследования провели обследование 18 здоровых детей того же возраста без признаков ортопедической патологии. Биомеханику походки изучали с помощью программно-аппаратного комплекса «СТЭДИС» (ООО «Нейрософт», г. Иваново), включающего комплект безлатформенных инерционных сенсоров «Нейросенс», регистрирующих данные об ускорениях в 3-х взаимно перпендикулярных плоскостях. Акселерометрические датчики фиксировали с помощью эластичной ленты на обеих нижних конечностях в нижней трети голени с наружной стороны. Регистрацию временных характеристик цикла шага и ударных нагрузок проводили при привычном темпе ходьбы ребенка без обуви. Данные с сенсоров передавались по беспроводной Wi-Fi-сети в компьютерное программное обеспечение «СТЭДИС». В результате получали акселерограммы движений сенсоров, представленные кривыми вертикальных ускорений (рис. 3) Для анализа показателей акселерометров измеряли пиковые значения амплитуд ускорений в относительных единицах (g), а также временных характеристик цикла шага в секундах (с) с последующим пересчетом в проценты от цикла шага с использованием отработанных методик [17, 18, 19].

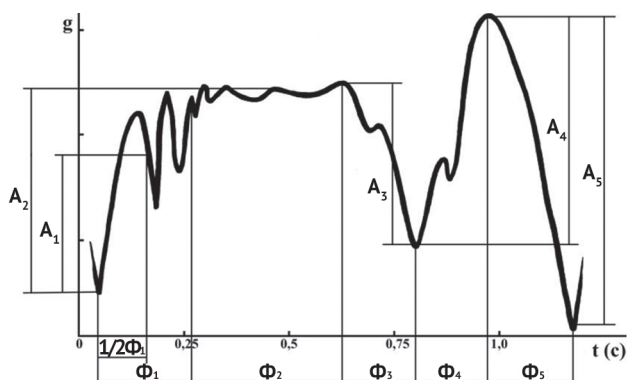


Рис. 3. Схема измерения амплитуд ускорений (A) и фаз шага (Φ) на акселерограммах нижних конечностей. Горизонтальная ось — фаза цикла шага в секундах (с), вертикальная — амплитуда ускорения нижнеберцовой точки в относительных единицах (g)

В периоде опоры выделяли фазы:

Φ_1 – фаза переката через пятку (нагружения) – от момента касания стопой опоры до момента принятия стопой веса всего тела;

Φ_2 – фаза переката через голеностопный сустав – при неподвижной стопе голень осуществляет движение вперед до момента отрыва пятки от опоры;

Φ_3 – фаза переката через передний отдел стопы – от момента отрыва пятки от опоры до момента ухода стопы с опоры.

В периоде переноса выделяли фазы:

Φ_4 – фаза ускорения – от момента ухода стопы с опоры конечность активно набирает скорость для продвижения вперед;

Φ_5 – фаза торможения – конечность активно снижает скорость до момента постановки на опору.

На акселерограммах каждой фазе цикла шага с Φ_1 по Φ_5 соответствовали пиковые значения амплитуд ускорений A_1 – A_5 .

Для всех показателей рассчитывали асимметрию (%): между правой и левой нижними конечностями – у здоровых детей, между пораженной и непораженной конечностями – у детей с БЛКП.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли, используя компьютерные программы SPSS 11.5 и Statgraphics Centurion 16.2. Проверяли гипотезы о виде распределений вариационных рядов (критерии Шапиро-Уилка и Колмогорова-Смирнова). Так как в сравниваемых группах (хотя бы в одной) количественные признаки не соответствовали закону нормального распределения, для сравнения значений несвязанных выборок использовали U-критерий Манна-Уитни, а для внутригрупповых сравнений применяли критерий Уилкоксона. Данные представляли в виде медианы (Me) с межквартильным интервалом 25–75 % [Q_1 – Q_2]. Пороговый уровень статистической значимости принимался при значении критерия $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Перед хирургическим лечением относительное укорочение нижней конечности на стороне поражения в контрольной группе составляло $0,7 \pm 0,09$ см, в

основной – $0,7 \pm 0,08$ см. После операций КВОБ разница в длине контралатеральных нижних конечностей значительно увеличилась до $2,5 \pm 0,11$ см ($p < 0,05$), после

операций ТОТ разница в длине осталась на прежнем уровне: $0,9 \pm 0,09$ см ($p > 0,05$).

Анализ данных рентгенограмм выявил в контрольной группе пациентов после КВОБ изменение соотношений между верушкой большого вертела и головкой бедра на стороне поражения (табл. 1). Это проявлялось значимым увеличением показателя СТД пораженного тазобедренного сустава по сравнению со здоровой стороной ($p = 0,022$). Кроме того, в указанной группе пациентов отмечалось значимое уменьшение величины

ШДУ после операции ($p = 0,012$). В основной группе больных после операций ТОТ подобных анатомических особенностей выявлено не было.

Биомеханические исследования у пациентов с БЛКП после хирургического лечения выявили асимметрию в характеристиках шага между пораженной и непораженной нижними конечностями, которая имела разную выраженность в зависимости от выполняемой операции и выявлялась как в периоде опоры (табл. 2, 3), так и в периоде переноса (табл. 4, 5).

Таблица 1

Динамика рентгенометрических показателей тазобедренных суставов у детей с односторонней БЛКП

Параметры	Здоровая сторона (1) Me [Q ₁ – Q ₂] n = 31	Пораженная сторона				p
		контрольная группа (дети после КВОБ)		основная группа (дети после ТОТ)		
		до операции (2) Me [Q ₁ – Q ₂] n = 15	после операции (3) Me [Q ₁ – Q ₂] n = 15	до операции (4) Me [Q ₁ – Q ₂] n = 16	после операции (5) Me [Q ₁ – Q ₂] n = 16	
СТД, мм	-1,0 [- 9,8 – 6,9]	3,3 [0 – 8,0]	11,8 [5,3 – 15,9]	2,7 [0 – 6,6]	4,8 [2,8 – 10,2]	$p^{1-2} = 0,336$ $p^{1-4} = 0,363$ $p^{2-3} = \mathbf{0,022}$ $p^{4-5} = 0,218$
ШДУ, град.	137 [131 – 145]	136 [127 – 145]	122 [112 – 130]	138 [128 – 153]	137 [126 – 151]	$p^{1-2} = 0,863$ $p^{1-4} = 0,755$ $p^{2-3} = \mathbf{0,012}$ $p^{4-5} = 0,819$

Примечание: $p^{1-2;1-4}$ – уровень значимости различий между группами (критерий Манна-Уитни); $p^{2-3;4-5}$ – уровень значимости различий в группе до и после операции (критерий Уилкоксона), СТД – center-trochanter distance; ШДУ – шеечно-диафизарный угол.

Таблица 2

Показатели длительности фаз шага за период опоры у здоровых детей и пациентов с односторонней БЛКП после оперативного лечения

Группы детей	Период опоры					
	Фаза Φ_1 (%)		Фаза Φ_2 (%)		Фаза Φ_3 (%)	
Сторона	левая	правая	левая	правая	левая	правая
Здоровые (1) Me [Q ₁ - Q ₂] n = 18	18,4 [16,3 - 21,1]	18,2 [17,9 - 18,4]	31,6 [30,2 - 32,5]	31,6 [30,2 - 31,6]	14,3 [12,8 - 15,0]	12,8 [12,2 - 15,0]
Асимметрия, %	$2,5 \pm 2,61$ ($p = 0,714$)		$0,4 \pm 1,08$ ($p = 0,961$)		$4,9 \pm 2,81$ ($p = 0,380$)	
Сторона	здоровая	больная	здоровая	больная	здоровая	больная
После КВОБ (2) Me [Q ₁ - Q ₂] n = 15	28,6 [25,0 - 31,0]	27,9 [21,8 - 31,1]	31,1 [26,3 - 34,6]	37,5 [34,3 - 38,7]	9,1 [4,8 - 11,1]	4,4 [2,9 - 5,0]
Асимметрия (%)	$17,3 \pm 12,0$ ($p = 0,623$)		$-17,8 \pm 5,96$ ($p = 0,001$)		$51,7 \pm 9,32$ ($p = 0,004$)	
Сторона	здоровая	больная	здоровая	больная	здоровая	больная
После ТОТ (3) Me [Q ₁ - Q ₂] n = 16	27,9 [27,0 - 31,7]	27,0 [24,4 - 27,5]	25,0 [22,9 - 27,3]	29,7 [28,6 - 30,0]	13,5 [11,4 - 16,7]	11,4 [9,8 - 16,2]
Асимметрия (%)	$8,1 \pm 5,42$ ($p = 0,022$)		$-9,1 \pm 5,61$ ($p = 0,003$)		$12,8 \pm 11,7$ ($p = 0,122$)	
Критерий Манна-Уитни, p-value	$p^{1-2} < 0,001$ $p^{1-3} < 0,001$	$p^{1-2} = 0,004$ $p^{1-3} < 0,001$	$p^{1-2} = 0,147$ $p^{1-3} < 0,001$	$p^{1-2} = 0,006$ $p^{1-3} = 0,001$	$p^{1-2} < 0,001$ $p^{1-3} = 0,717$	$p^{1-2} < 0,001$ $p^{1-3} = 0,153$

Примечание: p – уровень значимости различий в группе между контралатеральными конечностями; $p^{1-2;1-3}$ – уровень значимости различий между группами. Знак “-” означает превышение показателей на больной стороне по сравнению со здоровой.

Таблица 3

Показатели ударных нагрузок на нижнюю конечность за период опоры у здоровых детей и пациентов с односторонней БЛКП после оперативного лечения

Группы детей	Ударная нагрузка за период опоры					
	A ₁ (g)		A ₂ (g)		A ₃ (g)	
Сторона	левая	правая	левая	правая	левая	правая
Здоровые (1) Me [Q ₁ - Q ₂] n = 18	12,0 [10,0 - 13,0]	11,0 [10,0 - 12,0]	19,0 [16,0 - 20,0]	18,0 [16,0 - 19,0]	13,0 [10,0 - 13,0]	11,0 [10,0 - 12,0]
Асимметрия (%)	$3,9 \pm 5,89$ ($p = 0,531$)		$3,9 \pm 3,61$ ($p = 0,378$)		$7,1 \pm 3,55$ ($p = 0,142$)	
Сторона	здоровая	больная	здоровая	больная	здоровая	больная
После КВОБ (2) Me [Q ₁ - Q ₂] n = 15	18,0 [15,0 - 21,0]	10,0 [9,0 - 10,0]	16,0 [15,0 - 21,0]	10,0 [8,0 - 12,0]	10,0 [7,0 - 11,0]	12,0 [7,0 - 16,0]
Асимметрия (%)	$59,1 \pm 15,08$ ($p < 0,001$)		$45,6 \pm 11,48$ ($p < 0,001$)		$-18,4 \pm 15,44$ ($p = 0,101$)	
Сторона	здоровая	больная	здоровая	больная	здоровая	больная
После ТОТ (3) Me [Q ₁ - Q ₂] n = 16	12,0 [10,0 - 14,0]	12,0 [10,0 - 14,0]	16,0 [14,0 - 24,0]	13,0 [12,0 - 15,0]	8,0 [6,0 - 11,0]	12,0 [10,0 - 14,0]
Асимметрия (%)	$14,3 \pm 3,48$ ($p = 0,119$)		$30,4 \pm 5,47$ ($p = 0,001$)		$-27,6 \pm 12,25$ ($p = 0,016$)	
Критерий Манна-Уитни, p-value	$p^{1-2} < 0,001$ $p^{1-3} = 0,501$	$p^{1-2} = 0,042$ $p^{1-3} = 0,223$	$p^{1-2} = 0,443$ $p^{1-3} = 0,904$	$p^{1-2} < 0,001$ $p^{1-3} < 0,001$	$p^{1-2} = 0,007$ $p^{1-3} = 0,005$	$p^{1-2} = 0,718$ $p^{1-3} = 0,635$

Примечание: p – уровень значимости различий в группе между контралатеральными конечностями; $p^{1-2;1-3}$ – уровень значимости различий между группами. Знак “-” означает превышение показателей на больной стороне по сравнению со здоровой.

Таблица 4

Показатели длительности фаз шага за период переноса у здоровых детей и пациентов с односторонней БЛКП после оперативного лечения

Группы детей	Период переноса			
	Фаза ускорения Φ_4 (%)		Фаза торможения Φ_5 (%)	
Сторона	левая	правая	левая	правая
Здоровые (1) Me [Q1 – Q2] n = 18	16,3 [13,6 – 17,1]	15,9 [14,3 – 16,3]	17,9 [17,1 – 18,4]	18,4 [17,9 – 18,6]
Асимметрия (%)	4,3 ± 2,72 (p = 0,380)		3,1 ± 2,16 (p = 0,049)	
Сторона	здоровая	больная	здоровая	больная
После КВОБ (2) Me [Q1 – Q2] n = 15	14,3 [13,2 – 17,3]	13,9 [11,4 – 14,5]	19,2 [16,7 – 21,4]	17,8 [17,1 – 21,8]
Асимметрия (%)	-1,5 ± 7,95 (p = 0,912)		0,5 ± 8,1 (p = 0,668)	
Сторона	здоровая	больная	здоровая	больная
После ТОТ (3) Me [Q1 – Q2] n = 16	11,6 [8,6 – 16,2]	13,5 [12,5 – 14,3]	20,9 [18,2 – 21,6]	19,5 [18,9 – 21,6]
Асимметрия (%)	-7,3 ± 16,64 (p = 0,240)		0,1 ± 3,12 (p = 0,661)	
Критерий Манна-Уитни, p-value	$p^{1-2} = 0,257$ $p^{1-3} = 0,001$	$p^{1-2} = 0,079$ $p^{1-3} = 0,011$	$p^{1-2} = 0,257$ $p^{1-3} < 0,001$	$p^{1-2} = 0,513$ $p^{1-3} < 0,001$

Примечание: p – уровень значимости различий в группе между контралатеральными конечностями; $p^{1-2;1-3}$ – уровень значимости различий между группами. Знак “–” означает превышение показателей на больной стороне по сравнению со здоровой.

Таблица 5

Показатели ударных нагрузок на нижнюю конечность за период переноса у здоровых детей и пациентов с односторонней БЛКП после оперативного лечения

Группы детей	Ударная нагрузка за период переноса			
	в фазу ускорения A_4 (g)		в фазу торможения A_5 (g)	
Сторона	левая	правая	левая	правая
Здоровые (1) Me [Q1 – Q2] n = 18	21,0 [20,0 – 23,0]	21,0 [20,0 – 23,0]	26,0 [24,0 – 26,0]	26,0 [24,0 – 29,0]
Асимметрия (%)	4,4 ± 2,77 (p = 0,533)		2,5 ± 2,65 (p = 0,619)	
Сторона	здоровая	больная	здоровая	больная
После КВОБ (2) Me [Q1 – Q2] n = 15	19,0 [15,0 – 21,0]	19,0 [18,0 – 23,0]	25,0 [23,0 – 28,0]	18,0 [13,0 – 19,0]
Асимметрия (%)	3,1 ± 8,98 (p = 0,491)		42,4 ± 7,42 (p < 0,001)	
Сторона	здоровая	больная	здоровая	больная
После ТОТ (3) Me [Q1 – Q2] n = 16	19,0 [18,0 – 22,0]	21,0 [19,0 – 23,0]	25,0 [23,0 – 27,0]	19,0 [17,0 – 21,0]
Асимметрия (%)	1,4 ± 6,99 (p = 0,170)		30,5 ± 4,28 (p < 0,001)	
Критерий Манна-Уитни, p-value	$p^{1-2} = 0,005$ $p^{1-3} = 0,092$	$p^{1-2} = 0,033$ $p^{1-3} = 0,577$	$p^{1-2} = 0,007$ $p^{1-3} < 0,001$	$p^{1-2} < 0,001$ $p^{1-3} = 0,008$

Примечание: p – уровень значимости различий в группе между контралатеральными конечностями; $p^{1-2;1-3}$ – уровень значимости различий между группами. Знак “–” означает превышение показателей на больной стороне по сравнению со здоровой.

При интерпретации данных учитывали, что у здорового человека показатели физиологической асимметрии параметров цикла шага для правой и левой нижней конечности могут достигать 5 % [20]. Поэтому функциональную асимметрию параметров ходьбы свыше 5 % рассматривали как патологическую [21]. Важным параметром цикла шага является период одиночной опоры, который считается единственным временным интервалом, характеризующим изолированную функцию одной конечности. Оценка асимметрии именно этого временного промежутка наиболее показательна для сравнения функциональной активности контралатеральных конечностей [22].

В настоящем исследовании у здоровых детей выявлена незначительная асимметрия показателей периода одиночной опоры контралатеральных нижних конечностей: $1,9 \pm 0,31$ %. У пациентов после КВОБ выявлено значимое повышение асимметрии показателей периода одиночной опоры до $9,9 \pm 2,52$ %, в то время как у пациентов после ТОТ указанный показатель был повышен всего до $7,3 \pm 1,66$ %, что не отличало его значимо от нормального пятипроцентного значения. При этом продолжительность указанного периода была значимо сокращена на больной стороне в обеих группах пациентов, что является результатом разгрузки пораженной нижней конечности за счет функционального напряжения непораженной. Таким образом, у больных после ТОТ, несмотря

на асимметрию периода одиночной опоры, опорная функция нижних конечностей достаточно равнозначная. В то же время, у больных после КВОБ функциональные возможности пораженной конечности поддерживать массу тела остаются сниженными, при этом присутствует перераспределение функций между контралатеральными сторонами: здоровая нижняя конечность выполняет преимущественно функцию опоры, конечность на стороне КВОБ – преимущественно функцию переноса.

Согласно данным таблиц 1 и 2, у пациентов обеих групп после хирургического лечения значимо повышена длительность фазы переката через пятку (Φ_1) на контралатеральных нижних конечностях. При этом на здоровой стороне показатели Φ_1 превышают таковые на стороне поражения: незначимо, но существенно у детей после КВОБ и значимо, но не существенно у детей после ТОТ. То есть асимметрия временных параметров в фазу Φ_1 резко увеличена у пациентов после КВОБ по сравнению с пациентами после ТОТ. В эту фазу у больных после КВОБ также резко повышен по сравнению с нормой показатель A_1 – ударная нагрузка на здоровую нижнюю конечность, на фоне значительного снижения нагружаемости пораженной конечности. Наоборот, у больных после ТОТ не выявлено увеличения ударной нагрузки на пятку здоровой стороны, при этом асимметрия нагрузок на нижние конечности

незначимая и несущественная, что указывает на их равнозначную функциональность и более физиологический вариант организации шагательных движений.

В фазу Φ_2 – переката через голеностопный сустав, у больных после ТОТ значительно снижены по сравнению с нормой временные показатели равномерно на обеих конечностях, что носит компенсаторный характер в связи с удлиненной фазой Φ_1 . У больных после КВОБ отсутствует четкая направленность изменения длительности фазы Φ_2 , что предполагает у них несогласованность фаз шага в периоде опоры. При этом в отличие от фазы Φ_1 асимметрия показателей фазы Φ_2 контралатеральных сторон меняет знак на противоположный: длительность фазы на стороне поражения превышает таковую на здоровой стороне в обеих группах детей с БЛКП. Удлинение временного интервала переката через голеностопный сустав пораженной стороны в обеих группах пациентов может объясняться адаптивной реакцией опорно-двигательной системы, направленной на более плавные изменения осевых нагрузок на нижние конечности и, следовательно, на пораженный тазобедренный сустав при ходьбе. Хотя асимметрия временных показателей между контралатеральными конечностями сохраняет свою значимость в обеих группах пациентов, у детей после ТОТ этот показатель значительно ниже.

При этом у больных обеих групп в фазу Φ_2 осевая нагрузка A_2 на пораженную нижнюю конечность снижена по сравнению со здоровой стороной, что указывает на формирование у всех оперированных больных с БЛКП щадящего механизма реализации опорности, направленного на разгрузку пораженной конечности (рис. 4).

Длительность фазы Φ_3 (переката через передний отдел стопы) у пациентов после КВОБ резко снижена по сравнению с нормой как на пораженной, так и на непораженной стороне ($p < 0,05$). При этом больные затрачивают гораздо меньше времени на перекал переднего отдела стопы пораженной стороны по сравнению с непораженной. У пациентов после ТОТ более сбалансированная ходьба в фазу Φ_3 – временные параметры фазы сохраня-

ют стабильность и значимо не отличаются от показателей здоровых детей ($p > 0,05$). В обеих группах пациентов наблюдается снижение силы “переднего толчка” A_3 непораженной нижней конечности по сравнению с нормой. Данный факт может быть объяснен необходимостью компенсаторного снижения энергетических затрат здоровой конечностью в завершающей фазе периода опоры, в течение которого конечность из-за повышенной нагрузки совершила избыточную работу. Это свидетельствует о признаках сохранности адаптивного потенциала опорно-двигательной системы в обеих группах пациентов с БЛКП, независимо от способа хирургического лечения.

В периоде переноса у пациентов обеих групп по сравнению со здоровыми детьми фаза ускорения Φ_4 значительно короче по сравнению с фазой торможения Φ_5 как для здоровой, так и для пораженной стороны. Однако при этом не наблюдается патологического подбрасывания таза (“hip hiking”), так как скорость подъема (A_4) больной и здоровой конечностей не превышает нормальные показатели. Кроме того, важным фактором является незначительная асимметрия указанных параметров между пораженной и непораженной сторонами. При этом суммарная длительность фаз ускорения и торможения за период переноса одинаковы у пациентов обеих групп и не отличаются от здоровых детей.

В то же время, у пациентов после КВОБ на пораженной стороне в фазу торможения Φ_5 резко снижены тормозящие усилия постановки конечности на опору (A_5) по сравнению с таковыми у здоровых детей. У пациентов после ТОТ сила торможения больной ноги перед встречей с опорой более выражена. То есть, у пациентов после ТОТ пораженная конечность более активно снижает свою скорость до момента постановки на опору, что обеспечивает более плавное ее взаимодействие с горизонтальной плоскостью. Таким образом, в обеих группах пациентов с БЛКП в различной степени обеспечивается адаптивный механизм, реализующий необходимость снижения ударной нагрузки на больную конечность при ее подготовке к очередному периоду опоры.

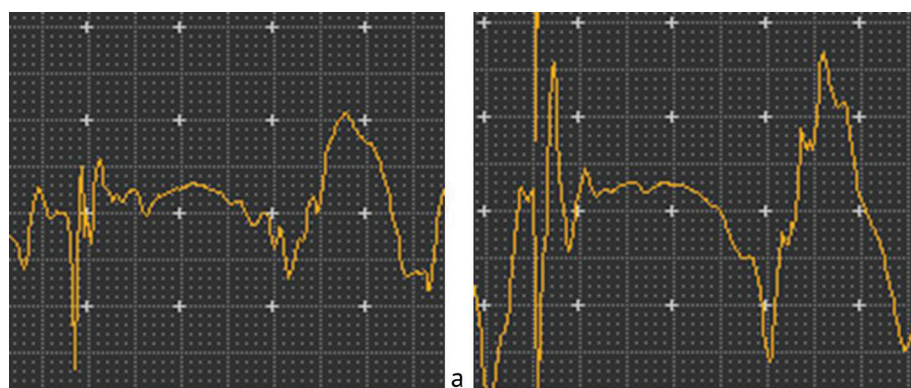


Рис. 4. Акселерограммы нижних конечностей пациентки Р, 9 лет, с БЛКП справа (через 4 года после операции корригирующей (вариизирующей) остеотомии правого бедра). Изменения ударной нагрузки в области нижней берцовой антропометрической точки: а – пораженной конечности, б – непораженной конечности. В фазе переката через голеностопный сустав резко снижена осевая нагрузка A_2 на пораженную конечность по сравнению со здоровой стороной

ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе параметров ходьбы у пациентов с БЛКП обеих групп были выявлены отклонения от нормы во временных характеристиках цикла шага и величине ударных нагрузок на нижние конечности разной степени выраженности. С учетом того, что после хирургического лечения прошел относительно небольшой период – от 2 до 5 лет, ходьба пациентов обеих групп все еще отличалась от здоровых детей. Следует отметить, что замедленное восстановление локомоций в послеоперационном периоде является характерным для пациентов с патологией тазобедренного

сустава [23, 24]. В обеих группах пациентов была выявлена асимметрия параметров ходьбы между пораженной и непораженной сторонами, что характерно для односторонней патологии тазобедренного сустава [25] и является важным диагностическим показателем снижения способности ребенка к нормальной локомоции [26]. При этом количественный анализ функциональной асимметрии нижних конечностей чрезвычайно важен для оценки степени выраженности отклонений в состоянии опорно-двигательной системы в процессе ортопедического лечения [27].

Хотя отклонение параметров ходьбы от нормальных значений имело место в обеих группах пациентов, показатели асимметрии фазы переката через передний отдел стопы ФЗ и ударных нагрузок А1 и А2 оказались резко повышены после КВОБ, что свидетельствует о выраженной недостаточности опорной функции пораженной конечности и, следовательно, более тяжелых нарушениях стереотипа ходьбы у таких пациентов. В данном случае существенной причиной снижения функциональных возможностей опорно-двигательной системы является дисфункция ягодичных мышц на стороне поражения, обусловленная увеличением высоты стояния большого вертела после корригирующей (варизирующей) остеотомии бедра. Об этом свидетельствует значимое увеличение показателя СТД тазобедренного сустава после КВОБ, обусловленное уменьшением величины ШДУ после хирургического вмешательства.

Дополнительным фактором, усугубляющим функциональную асимметрию контралатеральных нижних конечностей у больных после КВОБ, может являться ятрогенное укорочение пораженной конечности, которое значимо увеличивалось после операции. Такое нарастание укорочения конечности обусловлено техникой выполнения КВОБ [28]. Известно, что при одностороннем укорочении нижней конечности нарушаются временные параметры локомоций [29], изменяется активность и согласованность работы мышц [30], что не может не сказаться на стереотипе ходьбы. Необходимо отметить, что наблюдаемое при ходьбе пациентов после КВОБ выраженное снижение ударной нагрузки на нижнюю конечность пораженной стороны хотя и является показателем неблагополучия, однако может рассматриваться как адекватная адаптивная реакция опорно-двигательной системы, способствующая улучшению амортизирующего эффекта нижней конечности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Биомеханический анализ ходьбы с помощью акселерометров позволил объективно оценить двигательные возможности пациентов с болезнью Легга-Кальве-Пертеса, а также сравнить результаты различных способов хирургического лечения.

2. После оперативного лечения показатели биометрии фаз опоры и ударных нагрузок в обеих группах детей с болезнью Легга-Кальве-Пертеса не достигали такого же уровня, как у здоровых лиц, что указывает на сохраняющиеся отклонения в параметрах ходьбы у пациентов после хирургического лечения, однако

У пациентов после ТОТ отсутствовали выраженные признаки нарушений биомеханики ходьбы, что может указывать на формирование у них близкого к физиологическому адаптивного двигательного стереотипа.

Помимо всего прочего необходимо учитывать такую особенность опорно-двигательной системы ребенка, как пластичность, благодаря которой в растущем организме с патологией нижних конечностей развиваются компенсаторные изменения в кинематических цепях [31]. Все звенья опорно-двигательной системы находятся в многообразных формах взаимодействия, что в благоприятных условиях в процессе роста ребенка приводит к неуклонным положительным изменениям биодинамики локомоций [32] и к формированию адекватного двигательного стереотипа [33]. Поэтому по сравнению с КВОБ операция ТОТ более оптимальна для пациентов с точки зрения биомеханики, так как не препятствует формированию у них адаптивных двигательных реакций, следовательно, более корректна не только анатомически, но и функционально. Это означает, что у пациентов после операции ТОТ по сравнению с КВОБ более адекватно происходит восстановление функции оперированного тазобедренного сустава.

Изложенные факты свидетельствуют о различных компенсаторных и адаптивных возможностях опорно-двигательной системы пациентов с односторонней БЛКП в обеспечении двигательной активности после хирургического лечения в зависимости от способа оперативного вмешательства. Биометрия фаз ходьбы и ударных нагрузок дает возможность объективно описать функциональное состояние опорно-двигательной системы и позволяет выявить лучшие показатели после проведения операций тройной остеотомии таза по сравнению с корригирующей (варизирующей) остеотомией бедра.

после тройной остеотомии таза походка пациентов с БЛКП по совокупности параметров более приближена к физиологической по сравнению с пациентами после корригирующей (варизирующей) остеотомии бедра.

3. Существенной причиной нарушения ходьбы у больных после корригирующей (варизирующей) остеотомии бедра является дисфункция ягодичных мышц на стороне поражения, усугубляющаяся дополнительной ятрогенной варизацией шейки бедра и укорочением нижней конечности в ходе операции. Тройная остеотомия таза лишена перечисленных негативных эффектов.

Источник финансирования. Работа проведена в рамках выполнения Государственного задания Министерства здравоохранения Российской Федерации № АААА-А18-118122690158-2.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации с поправками Минздрава России, одобрено этическим комитетом ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России (протокол № 19-2 от 04.12.2019). Авторы в письменной форме получили добровольное согласие пациентов (или их законных представителей) на участие в исследовании и публикацию медицинских данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корригирующая остеотомия бедра в комплексном лечении детей с болезнью Легга-Кальве-Пертеса / Д.Б. Барсуков, А.И. Краснов, В.Е. Басков, И.Ю. Поздныкин, С.Ю. Волошин, Т.В. Баскаева, П.И. Бортулев, И.П. Александренко // Гений ортопедии. 2017. Т. 23, № 1. С. 63-70. DOI: 10.18019/1028-4427-2017-23-1-63-70
2. A long-term follow-up study of the clinical and radiographic outcome of distal trochanteric transfer in Legg-Calvé-Perthes' disease following varus derotational osteotomy / N. Shohat, R. Gilat, R. Shitrit, Y. Smorgick, Y. Beer, G. Agar // Bone Joint J. 2017. Vol. 99-B, No 7. P. 987-992. DOI: 10.1302/0301-620X.99B7.BJJ-2016-1346.R2
3. Elzohairy M.M. Short follow-up evaluation of proximal femoral varus osteotomy for treatment of Legg-Calvé-Perthes disease // J. Orthop. Traumatol. 2016. Vol. 17, No 4. P. 345-351. DOI: 10.1007/s10195-016-0412-0
4. Clinical and radiographic outcomes after femoral varus derotation osteotomy for Legg-Calvé-Perthes disease at 25 years follow-up: what are the determinants of outcome in the long term? / B.K. Aydin, H. Sofu, M.N. Konya, T. Er, V. Sahin // Hip Int. 2016. Vol. 26, No 3. P. 301-306. DOI: 10.5301/hipint.5000329

5. Leroux J., Abu Amara S., Lechevallier J. Legg-Calvé-Perthes disease // Orthop. Traumatol. Surg. Res. 2018. Vol. 104, No 1S. P. S107-S112. DOI:10.1016/j.otsr.2017.04.012
6. How much varus is optimal with proximal femoral osteotomy to preserve the femoral head in Legg-Calvé-Perthes disease? / H.K. Kim, A.M. da Cunha, R. Browne, H.T. Kim, J.A. Herring // J. Bone Joint Surg. Am. 2011. Vol. 93, No 4. P. 341-347. DOI: 10.2106/JBJS.J.00830
7. Деменцов А.Б. Болезнь Пертеса: этиология, клиника, патогенез, методы лечения // Медицинские новости. 2013. № 7. С. 18-24.
8. Диагностика и тестирование двигательной патологии инструментальными средствами / Д.В. Скворцов, Г.Е. Иванова, Б.А. Поляев, Л.В. Стаховская // Вестник восстановительной медицины. 2013. № 5. С. 74-78.
9. Биомеханический анализ показателей движений в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах у больных с коксартрозом как метод функциональной диагностики / Е.В. Бирюкова, В.В. Гурьев, В.И. Зоря, Р.А. Прокопенко, А.А. Фролов // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2010. № 6 (76). Ч. 1. С. 21-30.
10. Иванова Г.Е., Скворцов Д.В. Объективный клинический анализ походки. Обзор // Вестник восстановительной медицины. 2015. № 4. С. 59-66.
11. Muro-de-la-Herran A., Garcia-Zapirain B., Mendez-Zorrilla A. Gait analysis methods: an overview of wearable and non-wearable systems, highlighting clinical applications // Sensors (Basel). 2014. Vol. 14, No 2. P. 3362-3394. DOI: 10.3390/s140203362
12. Функция коленного сустава во время ходьбы у больных с разрывом передней крестообразной связки коленного сустава до и после оперативного лечения / А.А. Ахпашев, Н.В. Загородний, А.С. Канаев, С.Н. Кауркин, Д.В. Скворцов // Травматология и ортопедия России. 2016. Т. 22, № 2. С. 15-24.
13. Using Distributed Wearable Sensors to Measure and Evaluate Human Lower Limb Motions / S. Qiu, Z. Wang, H. Zhao, H. Hu // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2016. Vol. 65, No 4. P. 939-950. DOI: 10.1109/TIM.2015.2504078
14. Quantitative assessment of dual gait analysis based on inertial sensors with body sensor network / Z. Wang, S. Qiu, Z. Cao, M. Jiang // Sensor Review. 2013. Vol. 33, No 1. P. 48-56. DOI: 10.1108/02602281311294342
15. Gait analysis after total hip arthroplasty using direct anterior approach versus anterolateral approach: a systematic review and meta-analysis / J.I. Yoo, Y.H. Cha, K.J. Kim, H.Y. Kim, W.S. Choy, S.C. Hwang // BMC Musculoskelet. Disord. 2019. Vol. 20, No 1. P. 63. DOI: 10.1186/s12891-019-2450-2
16. Rasch A., Dalén N., Berg H.E. Muscle strength, gait, and balance in 20 patients with hip osteoarthritis followed for 2 years after THA // Acta Orthop. 2010. Vol. 81, No 2. P. 183-188. DOI: 10.3109/17453671003793204
17. Methods for gait event detection and analysis in ambulatory systems / J. Rueterbories, E.G. Spaich, B. Larsen, O.K. Andersen // Med. Eng. Phys. 2010. Vol. 32, No 6. P. 545-552. DOI: 10.1016/j.medengphy.2010.03.007
18. Количественная оценка нарушений двигательных функций у больных детским церебральным параличом методом видеоанализа движений с использованием двухмерной биомеханической модели / Н.Ю. Титаренко, К.Е. Титаренко, В.Д. Левченкова, К.А. Семенова, А.В. Воронов, В.И. Доценко, И.Е. Смирнов // Российский педиатрический журнал. 2014. № 5. С. 20-26.
19. Smart shoe-assisted evaluation of using a single trunk/pocket-worn accelerometer to detect gait phases / M. Avvenuti, N. Carbonaro, M.G.C.A. Cimino, G. Cola, A. Tognetti, G. Vaglini // Sensors. 2018. Vol. 18, No 11. P. 3811-3824. DOI: 10.3390/s18113811
20. Attinger D., Luethi S., Stuessi E. Objective evaluation of gait asymmetry (abstract). In: 5th Meet. of the Europ. Soc. of Biomech. Berlin, 1986. P. 563-568.
21. Скворцов Д.В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилометрия. М.: Т.М. Андреева, 2007. 640 с.
22. Renström A.F. Mechanism, diagnosis and treatment of running injuries // Instr. Course Lect. 1993. Vol. 42. P. 225-234.
23. Different reliability of instrumented gait analysis between patients with unilateral hip osteoarthritis, unilateral hip prosthesis and healthy controls / R. Züchner, R. Tranberg, V. Lisovskaja, J. Kärrholm // BMC Musculoskelet. Disord. 2018. Vol. 19, No 1. P. 224. DOI: 10.1186/s12891-018-2145-0
24. In vivo kinematic analysis of patients with robotic-assisted total hip arthroplasty during gait at 1-year follow-up / Y. Peng, P. Arauz, P. Desai, A. Byers, C. Klemm, Y.M. Kwon // Int. J. Med. Robot. 2019. Vol. 15, No 5. P. e2021. DOI: 10.1002/rcs.2021
25. Сравнительный анализ результатов артропластики тазобедренного сустава на основе биометрии фаз опоры и ходьбы / Б.Ш. Миначов, Р.Р. Якупов, А.Ф. Аскарлов, Т.Э. Хаиров, К.Х. Сироджов, К.К. Каримов, К.И. Шурмелев // Медицинский вестник Башкортостана. 2015. Т. 10 (58), № 4. С. 35-40.
26. Ефимов А.А. Информативность биомеханических параметров походки для оценки патологии нижних конечностей // Российский журнал биомеханики. 2012. Т. 16, № 1 (55). С. 80-88.
27. Evaluation of limb load asymmetry using two new mathematical models / S.N. Kumar, B. Omar, L.H. Joseph, O. Htwe, K. Jagannathan, N.M. Hamdan, D. Rajalakshmi // Glob. J. Health Sci. 2014. Vol. 7, No 2. P. 1-7. DOI: 10.5539/gjhs.v7n2p1
28. Wenger D.R., Pandya N.K. Advanced containment methods for the treatment of Perthes disease: Salter plus varus osteotomy and triple pelvic osteotomy // J. Pediatr. Orthop. 2011. Vol. 31, No 2 Suppl. P. S198-S205. DOI:10.1097/bpo.0b013e31822602b0
29. Щуров В.А., Новиков К.И., Мурадинов С.О. Влияние разницы скорости нижних конечностей на биомеханические параметры ходьбы // Российский журнал биомеханики. 2011. Т. 15, № 4 (54). С. 102-107.
30. 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
31. 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.
32. Бальсевич В.К. Очерки по возрастной кинезиологии человека. М.: Советский спорт, 2009. 220 с.
33. 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, Вып. 3. С. 45-54. DOI: 10.17816/PTORS7345-54

Рукопись поступила 10.03.2020

Сведения об авторах:

1. Баиндурашвили Алексей Георгиевич, д. м. н., профессор, академик РАН, заслуженный врач РФ, ФГБУ "НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера" Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8123-6944>, Email: turmer01@mail.ru
2. Никитюк Игорь Евгеньевич, к. м. н., ФГБУ "НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера" Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5546-2729>, Email: femtotech@mail.ru
3. Костомарова Екатерина Андреевна, ФГБУ "НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера" Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6898-3213>, Email: ekaterina.kostomarov@mail.ru
4. Кононова Елизавета Леонидовна, к. м. н., ФГБУ "НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера" Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7624-013X>, Email: Yelisaveta@yandex.ru
5. Барсуков Дмитрий Борисович, к. м. н., ФГБУ "НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера" Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9084-5634>, Email: dbbarsukov@gmail.com
6. Басков Владимир Евгеньевич, к. м. н., ФГБУ "НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера" Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0647-412X>, Email: dr.baskov@mail.ru

Information about the authors:

1. Alexey G. Baidurashvili, M.D., Ph.D., Professor, Member Of RAS, Honored Doctor of the Russian Federation, H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8123-6944>, Email: turmer01@mail.ru
2. Igor E. Nikityuk, M.D., Ph.D., H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5546-2729>, Email: femtotech@mail.ru
3. Ekaterina A. Kostomarova, H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6898-3213>, Email: ekaterina.kostomarov@mail.ru
4. Elizaveta L. Kononova, M.D., Ph.D., H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7624-013X>, Email: Yelisaveta@yandex.ru
5. Dmitry B. Barsukov, M.D., Ph.D., H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9084-5634>, Email: dbbarsukov@gmail.com
6. Vladimir E. Baskov, M.D., Ph.D., H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0647-412X>, Email: dr.baskov@mail.ru