

УДК 616.718.41-002.4-021.3-053.2-089.168-076

DOI: 10.17816/pmj37254-64

ПРИМЕНЕНИЕ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ДЕТЕЙ С БОЛЕЗНЬЮ ЛЕТГА – КАЛЬВЕ – ПЕРТЕСА

**А.Г. Баиндурашвили, Е.А. Костомарова*, И.Е. Никитюк, Е.Л. Кононова,
Д.Б. Барсуков, В.Е. Басков, И.Ю. Поздникин, П.И. Бортулев**

*Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии
и ортопедии им. Г.И. Турнера, г. Санкт-Петербург, Россия*

APPLICATION OF BIOMECHANICAL RESEARCH METHODS IN EVALUATING RESULTS OF SURGICAL TREATMENT OF CHILDREN WITH LEGG – CALVE – PERTHES DISEASE

**A.G. Baindurashvili, E.A. Kostomarova*, I.E. Nikityuk, E.L. Kononova,
D.B. Barsukov, V.E. Baskov, I.Yu. Pozdnikin, P.I. Bortulev**

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

Цель. Изучение функционального состояния опорно-двигательной системы у пациентов с болезнью Летга – Кальве – Пертеса после хирургического лечения.

Материалы и методы. Проведено обследование 31 пациента в возрасте от 8 до 13 лет с односторонней болезнью Летга – Кальве – Пертеса (БЛКП), выполненного в сроки от 2 до 5 лет после хирур-

© Баиндурашвили А.Г., Костомарова Е.А., Никитюк И.Е., Кононова Е.Л.,
Барсуков Д.Б., Басков В.Е., Поздникин И.Ю., Бортулев П.И., 2020
тел. +7 931 240 52 68
e-mail: ekaterina.kostomarova@mail.ru

[Баиндурашвили А.Г. – доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, заслуженный врач РФ, директор; Костомарова Е.А. (*контактное лицо) – аспирант, врач травматолог-ортопед отделения патологии тазобедренного сустава; Никитюк И.Е. – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологических и биомеханических исследований; Кононова Е.Л. – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологических и биомеханических исследований; Барсуков Д.Б. – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отделения патологии тазобедренного сустава; Басков В.Е. – кандидат медицинских наук, руководитель отделения патологии тазобедренного сустава; Поздникин И.Ю. – кандидат медицинских наук, научный сотрудник отделения патологии тазобедренного сустава; Бортулев П.И. – научный сотрудник отделения патологии тазобедренного сустава].

© Baindurashvili A.G., Kostomarova E.A., Nikityuk I.E., Kononova E.L.,
Barsukov D.B., Baskov V.E., Pozdnikin I.Yu., Bortulev P.I., 2020
tel. +7 931 240 52 68
e-mail: ekaterina.kostomarova@mail.ru

[Baindurashvili A.G. – MD, PhD, Professor, Academician of RAS, Honoured Doctor of RF, Director; Kostomarova E.A. (*contact person) – postgraduate student, traumatologist-orthopedist of Department of Hip Joint Pathology; Nikityuk I.E. – Candidate of Medical Sciences, leading researcher of Physiological and Biomechanical Research Laboratory; Kononova E.L. – Candidate of Medical Sciences, senior researcher of Physiological and Biomechanical Research Laboratory; Barsukov D.B. – Candidate of Medical Sciences, senior researcher of Department of Hip Joint Pathology; Baskov V.E. – Candidate of Medical Sciences, Head of Department of Hip Joint Pathology; Pozdnikin I.Yu. – Candidate of Medical Sciences, researcher of Department of Hip Joint Pathology; Bortulev P.I. – researcher of Department of Hip Joint Pathology].

гического лечения. В контрольной группе (15 детей) осуществлена корригирующая (варизирующая) остеотомия бедра (КВОБ), в основной группе (16 детей) – тройная остеотомия таза (ТОТ), а также была обследована группа здоровых детей (18 человек). Биомеханику ходьбы изучали с помощью комплекса «СТЭДИС» (ООО «Нейрософт», г. Иваново, Россия). Вертикальный баланс тела оценивали на стабилометрической платформе МБН «Биомеханика» (ООО НМФ МБН, г. Москва).

Результаты. После хирургического лечения показатели вертикального баланса и биометрии фаз шага в обеих группах детей с БЛКП в указанные сроки наблюдения не достигли такого же уровня, как у здоровых лиц. Наименее значимые показатели асимметрии фаз шага выявлены у пациентов после ТОТ, по сравнению с пациентами после КВОБ. У пациентов после КВОБ дестабилизация центра давления значительно превышала таковую у пациентов после ТОТ.

Выводы. Биомеханические исследования позволяют сравнить функциональные результаты различных способов хирургического лечения детей с односторонней БЛКП. После операции ТОТ у пациентов наблюдается более полное восстановление опорности пораженной нижней конечности по сравнению с операцией КВОБ.

Ключевые слова. Тазобедренный сустав, болезнь Легга – Кальве – Пертеса, клинический анализ ходьбы, стабилометрия.

Objective. To study the functional state of the musculoskeletal system in patients with Legg – Calve – Perthes disease after surgical treatment.

Material and methods. The study of 31 patients at the age of 8 to 13 years with unilateral Legg – Calve – Perthes disease (LCPD) was performed in the period from 2 to 5 years after surgical treatment. In the control group (15 children), correcting (varus) osteotomy (VO) was fulfilled, in the main group (16 children) – triple pelvic osteotomy (TPO), and the group of healthy children (18 persons) was examined as well. Walking biomechanics was studied using of the STEDIS complex (Neurosoft LLC, Ivanovo, Russia). The vertical balance of the body was evaluated on a stabilometric platform MBN "Biomechanics" (LLC NMF MBN, Moscow).

Results. After surgical treatment, the indicators of vertical balance and biometry of the step phases in both groups of children with LCPD did not reach the same level as in healthy individuals at the indicated follow-up dates. The least significant indicators of step phase asymmetry were found in patients after TPO compared with patients after VO. In patients after VO, the destabilization of the center of pressure significantly exceeded that in patients after TPO.

Conclusions. Biomechanical studies allow us to compare the functional results of various techniques of surgical treatment of children with unilateral LCPD. After TPO operation, patients have a more complete restoration of the supportability of the affected lower limb compared to VO operation.

Key words. Hip joint, Legg – Calve – Perthes disease, clinical gait analysis, stabilometry.

ВВЕДЕНИЕ

Врожденная и приобретенная патология тазобедренного сустава 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. При БЛКП развиваются

патологические изменения анатомического строения тазобедренного сустава в виде деформации головки бедра, высокого положения большого вертела, а также укорочения пораженной конечности. Данные факторы в совокупности обуславливают риск формирования фемороацетабулярного импинджмента [1] и функциональных нарушений опорно-двигательной системы, проявляющихся снижением опорной и двигательной

функций нижней конечности на стороне поражения. Несмотря на накопленный опыт лечения пациентов, сохраняют актуальность вопросы выбора тактики лечения и совершенствования техники хирургических вмешательств. Для сравнения различных способов оперативного лечения детей необходимо оценивать не только анатомическое строение оперированного тазобедренного сустава, но и восстановление локомоторной функции опорно-двигательной системы. Это диктует необходимость использования объективных методов оценки параметров двигательной активности [2]. В детской ортопедии достаточно широко используются биомеханические методы диагностики [3], которые перспективно применять для оценки восстановления функции опорно-двигательной системы пациентов с патологией тазобедренного сустава. В настоящее время внедрение современных технологий анализа ходьбы [4] и вертикального баланса [5] позволяет объективно определить функциональное состояние опорно-двигательной системы у пациентов после восстановительных операций на тазобедренном суставе. Однако до сих пор полностью не раскрыты возможности биомеханических методик, что приводит к неоднозначности в интерпретации результатов [6]. Независимо от вида патологии тазобедренного сустава, для больных в послеоперационном периоде характерно замедленное восстановление локомоций [7]. Поэтому определение клинически значимых отличий в биомеханических параметрах после разных хирургических вмешательств на тазобедренном суставе все еще остается серьезной проблемой [8].

Цель исследования – оценка с помощью биомеханических методов функционально-

го состояния опорно-двигательной системы у пациентов с односторонней болезнью Легга – Кальве – Пертеса после различных методик хирургического лечения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучены временные и динамические параметры походки у 31 пациента в возрасте от 8 до 13 лет с односторонней болезнью Легга – Кальве – Пертеса. Обследование осуществляли только после хирургического лечения в сроки от 2 до 5 лет. В дооперационном периоде проводить исследование было нецелесообразно, так как всем пациентам была запрещена осевая нагрузка на пораженную нижнюю конечность. В контрольной группе пациентов (15 детей) была выполнена корригирующая остеотомия бедра (КВОБ), в основной группе (16 детей) осуществлена тройная остеотомия таза (ТОТ).

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 бесплатформенных инерционных сенсоров «Нейросенс», регистрирующих данные об ускорениях в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. 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 [9].

В периоде опоры выделяли фазы: Φ_1 – фаза переката через пятку, Φ_2 – фаза переката через голеностопный сустав, Φ_3 – фаза

переката через передний отдел стопы. В периоде переноса выделяли фазы: Φ_4 – фаза ускорения, Φ_5 – фаза торможения. 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 в процентах (%) между правой и левой нижними конечностями у здоровых детей между пораженной и непораженной конечностями у детей с БЛКП.

Для оценки состояния вертикальной устойчивости тела проводили стабилметрическое исследование с помощью программно-аппаратного комплекса МБН «Биомеханика» (ООО НМФ МБН). Регистрацию параметров осуществляли по стандартной функциональной пробе с открытыми (ОГ) и закрытыми глазами (ЗГ) с регистрацией параметров смещения центра давления (ЦД) тела. Вычисляли следующие параметры: координаты X (мм) и Y (мм) ЦД, среднюю длину траектории, пройденную ЦД (L , мм) и площадь статокинезиограммы S (мм²).

Статистическую обработку полученных данных осуществляли, используя компьютер-

ные программы SPSS 11.5 и Statgraphics Centurion 16.2. Для сравнения значений несвязанных выборок использовали U -критерий Манна – Уитни. Данные представляли в виде медианы (Me) с межквартильным интервалом 25–75 % [Q_1 – Q_2]. Для исследования линейной взаимосвязи двух признаков применяли корреляционный анализ с использованием непараметрического коэффициента Спирмена r_s . Пороговый уровень статистической значимости принимался при значении критерия $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе фаз шага во всех группах детей учитывали, что у здорового человека показатели физиологической асимметрии параметров цикла шага для контралатеральных нижних конечностей могут достигать 5 % [10]. У пациентов с односторонней БЛКП после хирургического лечения выявлена асимметрия в параметрах цикла шага между пораженной и непораженной нижними конечностями, которая превышала физиологические параметры и имела разную выраженность в зависимости от методики операции (табл. 1).

Таблица 1

Показатели асимметрии фаз шага у здоровых детей и пациентов с односторонней болезнью Легга – Кальве – Пертеса после хирургического лечения

Группа детей	Асимметрия параметров, %				
	Период опоры			Период переноса	
	Фаза Φ_1	Фаза Φ_2	Фаза Φ_3	Фаза Φ_4	Фаза Φ_5
Здоровые, $n = 18$	$2,5 \pm 2,61$ ($p = 0,714$)	$0,4 \pm 1,08$ ($p = 0,961$)	$4,9 \pm 2,81$ ($p = 0,380$)	$4,3 \pm 2,72$ ($p = 0,380$)	$3,1 \pm 2,16$ ($p = 0,049$)
После КВОБ, $n = 15$	$17,3 \pm 12,0$ ($p = 0,623$)	$-17,8 \pm 5,96$ ($p = 0,001$)	$51,7 \pm 9,32$ ($p = 0,004$)	$-1,5 \pm 7,95$ ($p = 0,912$)	$0,5 \pm 8,1$ ($p = 0,668$)
После ТОТ, $n = 16$	$8,1 \pm 5,42$ ($p = 0,022$)	$-9,1 \pm 5,61$ ($p = 0,003$)	$12,8 \pm 11,7$ ($p = 0,122$)	$-7,3 \pm 16,64$ ($p = 0,240$)	$0,1 \pm 3,12$ ($p = 0,661$)

Примечание: p – уровень значимости различий в группе между контралатеральными конечностями. Знак « \rightarrow » обозначает превышение показателей на большой стороне по сравнению со здоровой. КВОБ – корригирующая остеотомия бедра; ТОТ – тройная остеотомия таза.

Согласно данным табл. 1, у пациентов обеих групп на здоровой стороне показатели фазы Φ_1 (переката через пятку) значительно превышали таковые на стороне поражения, при этом асимметрия параметров была резко увеличена у пациентов после КВОБ, по сравнению с таковой у пациентов после ТОТ. В отличие от фазы Φ_1 , в фазу Φ_2 (переката через голеностопный сустав) асимметрия показателей контралатеральных сторон меняет знак на противоположный: длительность фазы на стороне поражения превышает таковую на здоровой стороне в обеих группах детей с БЛКП. Максимальных значений показатель асимметрии парамет-

ров цикла шага достигает в фазу Φ_3 (переката через передний отдел стопы), резко увеличенный у пациентов после КВОБ.

Корреляционный анализ выявил у пациентов с БЛКП после ТОТ очень слабую связь между фазой ускорения Φ_4 и фазой торможения Φ_5 , как на пораженной, так и не пораженной конечности, что соответствует показателям здоровых детей (табл. 2). В группе пациентов после КВОБ на пораженной стороне сохранялась слабая связь между фазами Φ_4 и Φ_5 , в то время как на здоровой стороне выявляется сильная обратная корреляционная связь между указанными фазами.

Таблица 2

**Корреляционная связь между параметрами цикла шага
у здоровых детей и пациентов с односторонней болезнью
Легга – Кальве – Пертеса после хирургического лечения**

Группа обследованных	Сторона	Коэффициент корреляции Спирмена r_s	
		Зависимость $A_1 \sim A_2$	Зависимость $\Phi_4 \sim \Phi_5$
Здоровые, $n = 18$	Левая	0,50 ($p = 0,170$)	0,33 ($p = 0,383$)
	Правая	0,57 ($p = 0,066$)	- 0,09 ($p = 0,816$)
После КВОБ, $n = 15$	Здоровая	0,80 ($p = 0,009$)	- 0,82 ($p = 0,010$)
	Пораженная	0,97 ($p < 0,001$)	0,06 ($p = 0,885$)
После ТОТ, $n = 16$	Здоровая	0,48 ($p = 0,084$)	0,25 ($p = 0,596$)
	Пораженная	0,60 ($p = 0,153$)	- 0,13 ($p = 0,786$)

Примечание: A_1 – амплитуда пиковой нагрузки в фазу переката через пятку; A_2 – амплитуда пиковой нагрузки в фазу переката через голеностопный сустав; Φ_4 – фаза ускорения; Φ_5 – фаза торможения; p – достигнутый уровень значимости полученной оценки коэффициента корреляции (p -value). КВОБ – корригирующая остеотомия бедра; ТОТ – тройная остеотомия таза.

У пациентов после КВОБ выявлена очень сильная корреляционная связь между пиковыми значениями силовых нагрузок в фазу переката через пятку A_1 и в фазу переката через

голеностопный сустав A_2 , значительно превышающая нормальные значения (рис. 1). Причем на пораженной стороне коэффициент корреляции был значительно выше, чем на

здоровой. В группе пациентов после ТОТ величина коэффициента r , значимо не отличалась от нормальных показателей, то есть связь

между пиковыми значениями силовых нагрузок A_1 и A_2 у этих пациентов соответствовала показателям здоровых детей.

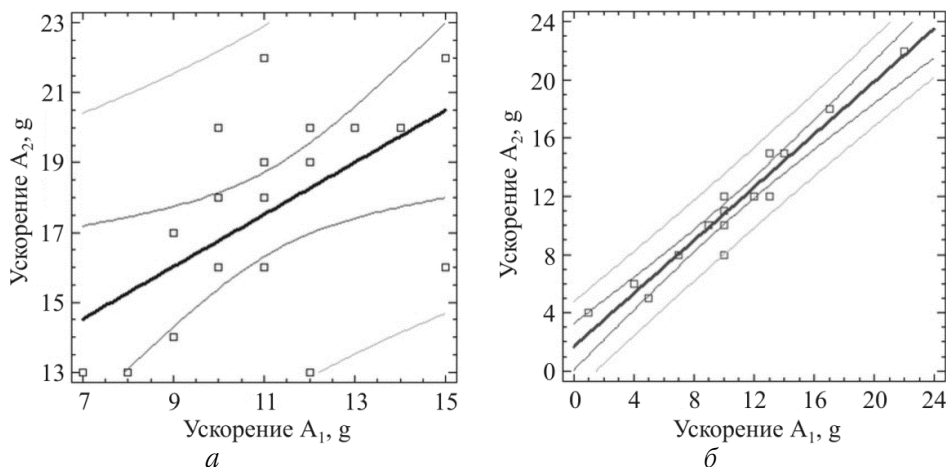


Рис. 1. Линия регрессии (жирная) и ее доверительный интервал (тонкие линии) для зависимости амплитуды пиковой нагрузки в фазу переката через голеностопный сустав A_2 от амплитуды в фазу переката через пятку A_1 : а – у здоровых детей; б – на неповрежденной стороне у пациентов с болезнью Легга – Кальве – Пертеса после корригирующей варизирующей остеотомии бедра

Таблица 3

Стабилометрические показатели у здоровых детей и пациентов с односторонней болезнью Легга – Кальве – Пертеса после хирургического лечения

Параметры	Группа обследованных			Критерий Манна – Уитни, p -value
	здоровые (1) $Me [Q_1 - Q_2]$, $n = 18$	после КВОБ (2), $Me [Q_1 - Q_2]$, $n = 21$	после ТОТ (3), $Me [Q_1 - Q_2]$, $n = 23$	
X , мм	0,8 [0,3 – 1,2]	19,7 [7,1 – 29,3]	6,3 [3,3 – 11,2]	$p_{1-2} < 0,001$ $p_{1-3} < 0,001$ $p_{2-3} < 0,001$
Y , мм	4,9 [2,3 – 7,9]	0,4 [-6,0 – 17,7]	19,3 [0,7 – 26,1]	$p_{1-2} = 0,184$ $p_{1-3} = 0,006$ $p_{2-3} = 0,015$
L , мм	652 [561 – 794]	862 [718 – 1147]	837 [706 – 1019]	$p^{1-2} < 0,001$ $p_{1-3} < 0,001$ $p_{2-3} = 0,867$
S , мм ²	404 [284 – 606]	714 [373 – 983]	787 [494 – 1064]	$p_{1-2} = 0,001$ $p_{1-3} < 0,001$ $p_{2-3} = 0,347$

Примечание: $p_{1-2, 1-3, 2-3}$ – уровень значимости различий между группами; КВОБ – корригирующая остеотомия бедра; ТОТ – тройная остеотомия таза.

В табл. 3 представлены основные показатели вертикального баланса здоровых детей и пациентов с односторонней БЛКП после хирургического лечения.

После хирургического лечения детей с односторонней БЛКП в обеих группах выявлено значимое превышение по сравнению с нормой таких показателей статокинезиограмм, как площади **S** и длины **L**. При этом значимых различий между группами пациентов обнаружено не было.

Анализ смещения ЦД в сагиттальной плоскости (ось **Y**) в обеих группах выявил значительный разброс показателей, который

существенно перекрывал таковой у здоровых детей. При этом медианные значения координат ЦД на оси **Y** были смещены кзади у пациентов после КВОБ и кпереди у пациентов после ТОТ.

Анализ смещения ЦД во фронтальной плоскости (ось **X**) выявил значимые различия между группами. У пациентов после КВОБ средняя величина отклонения ЦД значительно превышала таковую по сравнению с данными после ТОТ. При этом у пациентов после ТОТ межквартильный интервал параметра **X** был более сжатым – почти в 3 раза по сравнению с КВОБ (рис. 2).

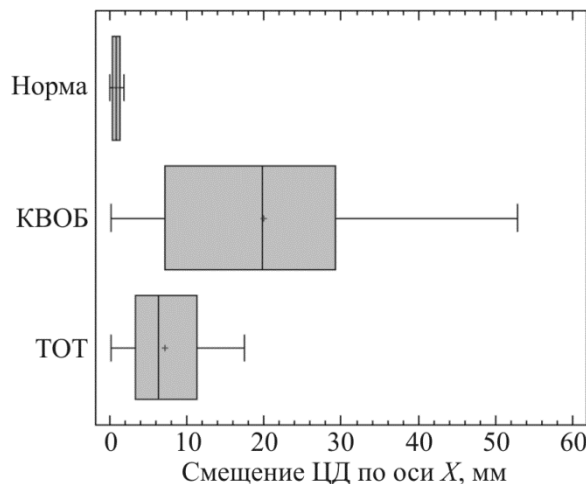


Рис. 2. Смещение центра давления во фронтальной плоскости на статокинезиограммах здоровых детей и пациентов с односторонней болезнью Легга – Кальве – Пертеса после оперативного лечения. КВОБ – корригирующая варизирующая остеотомия бедра; ТОТ – тройная остеотомия таза

Таким образом, в группах пациентов после хирургического лечения выявлена асимметрия параметров ходьбы между пораженной и непораженной сторонами, что характерно для односторонней патологии тазобедренного сустава и является важнейшим диагностическим маркером снижения способности ребенка к нормальной локомоции [10]. Хотя отклонения параметров ходь-

бы от нормальных значений имели место в обеих группах пациентов с БЛКП, в целом асимметрия временных показателей между контралатеральными конечностями у детей после КВОБ оказалась значительно выше по сравнению с данными пациентов после ТОТ. Это может свидетельствовать о сохраняющейся более выраженной недостаточности опорной функции пораженной конечности

и, следовательно, более тяжелых нарушениях стереотипа ходьбы у пациентов после КВОБ.

Результаты корреляционного анализа показали, что у пациентов после КВОБ по сравнению со здоровыми детьми и больными после ТОТ значительно повышена функциональная связь между параметрами цикла шага. Избыточно сильную связь между следующими одна за другой ударными нагрузками на здоровой конечности у пациентов после КВОБ можно объяснить стремлением организма обеспечить больной стороне оптимальный уровень функционирования путем компенсаторного включения дополнительных резервов. Это осуществляется за счет непораженной стороны, которая вследствие взятия на себя повышенной нагрузки попадает в условия, заведомо отличные от оптимальных. Таким образом, гиперсинхронизированность между следующими один за другим биомеханическими процессами, такими как фазы шага и ударные нагрузки, может расцениваться как патологическая. Данное утверждение согласуется с концепцией, в соответствии с которой более упорядоченные параметры биологических процессов отражают менее эффективный физиологический контроль над ними [11,12]. Патологическая гиперсинхронизированность параметров шага может свидетельствовать о снижении плавности шагательных движений, что приводит к ригидности походки. Указанный феномен, выявленный у пациентов после КВОБ, пока не нашел своего четкого объяснения, хотя можно предложить рассматривать избыточную упорядоченность локомоций при произвольной ходьбе как критерий снижения адаптационных возможностей опорно-двигательной системы при патологии тазобедренного сустава.

Выявленное у пациентов с односторонней БЛКП отклонение ЦД тела во фронтальной плоскости в сторону интактной стороны указывает на сохраняющееся несимметричное распределение нагрузки между нижними конечностями. Это может свидетельствовать о компенсаторном перераспределении веса тела в сторону здоровой нижней конечности, что является характерным при односторонней патологии [13]. Разнонаправленная дестабилизация вертикальной стойки в сагиттальной плоскости может свидетельствовать в пользу того, что опорно-двигательная система пациентов реализует различающиеся стратегии удержания вертикального баланса в зависимости от способа операции. Сохраняющееся нарушение равновесия вызывает запуск адаптивных постуральных двигательных реакций [14] и приводит к формированию у пациента патологического двигательного стереотипа [15]. В настоящем исследовании выявлено, что по совокупности параметров система обеспечения постурального баланса тела наиболее адекватно стабилизирована у пациентов в результате осуществления ТОТ, что указывает на более полное восстановление опорности пораженной нижней конечности по сравнению с операцией КВОБ. Это предполагает формирование у пациентов после ТОТ более адекватного адаптивного двигательного стереотипа, близкого к физиологическому.

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 стабилметрия дают

возможность оценить степень снижения опорной функции нижней конечности на стороне поражения и позволяют выявить лучшие показатели после проведения операций ТОТ по сравнению с КВОБ. Это означает, что у пациентов после операции ТОТ по сравнению с КВОБ происходит более полное восстановление функции оперированного тазобедренного сустава.

ВЫВОДЫ

1. Биомеханические методы исследования позволяют объективно сравнить функциональные результаты различных способов хирургического лечения детей с патологией тазобедренного сустава.

2. После хирургического лечения показатели вертикального баланса и биометрии фаз шага в обеих группах детей с болезнью Легга – Кальве – Пертеса не достигли такого же уровня, что у здоровых лиц, это указывает на сохраняющиеся отклонения в локомоторной функции.

3. После операции тройной остеотомии таза у детей с односторонней болезнью Легга – Кальве – Пертеса наблюдается более полное восстановление опорности пораженной нижней конечности по сравнению с результатами операции корригирующей вализирующей остеотомии бедра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Leroux J, Abu Amara S, Lechevallier J.* Legg-Calvé-Perthes disease. *Orthop Traumatol Surg Res* 2018; 104 (1S): 107–112.

2. *Скворцов Д.В., Иванова Г.Е., Поляев Б.А., Стаховская Л.В.* Диагностика и тестирование двигательной патологии инструментальными средствами. *Вестник восстановительной медицины* 2013; 5: 74–78.

3. *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; 11 (3): 310–316.

4. *Бирюкова Е.В., Гурьев В.В., Зоря В.И., Прокопенко Р.А., Фролов А.А.* Биомеханический анализ показателей движений в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах у больных с коксартрозом как метод функциональной диагностики. *Бюл. ВСНЦ СО РАМН* 2010; 6 (76): 21–30.

5. *Юсупов К.С., Анисимова Е.А., Павленко Н.Н., Летов А.С., Зайцев В.А., Емжуев О.Л., Зоткин В.В., Марков Д.А.* Рентгеноанатомические и биомеханические особенности пациентов с диспластическим вывихом в тазобедренном суставе. *Саратовский научно-медицинский журнал* 2014; 10 (1): 114–119.

6. *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 Orthopaedica* 2010; 81 (2): 183–188.

7. *Zügner R, Tramberg R, Lisovskaja V, Kärrholm J.* Different reliability of instrumented gait analysis between patients with unilateral hip osteoarthritis, unilateral hip prosthesis and healthy controls. *BMC Musculoskelet Disord* 2018; 19 (1): 224.

8. *Yoo J.I., Cha Y.H., Kim K.J., Kim H.Y., Choy W.S., Hwang S.C.* Gait analysis after total hip arthroplasty using direct anterior approach versus anterolateral approach: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord* 2019; 20 (1): 63.

9. *Скворцов Д.В.* Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилметрия. М.: Т.М. Андреева 2007; 640.

10. Минасов Б.Ш., Якутов Р.Р., Аскарлов А.Ф., Хаиروف Т.Э., Сироджов К.Х., Каримов К.К., Шурмелев К.И. Сравнительный анализ результатов артропластики тазобедренного сустава на основе биометрии фаз опоры и ходьбы. Медицинский вестник Башкортостана 2015; 10(58): 35–40.

11. Никитюк И.Е., Икоева Г.А., Кивоенко О.И. Система управления вертикальным балансом у детей с церебральным параличом более синхронизирована по сравнению со здоровыми детьми. Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста 2017; 5 (3): 49–57.

12. Goldberger A.L. Fractal variability versus pathological periodicity: complexity loss and stereotypy in disease. *Perspect Biol Med* 1997; 40: 543–561.

13. 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; 7 (3): 45–54.

14. Wilson E.L., Madigan M.L., Davidson B.S., Nussbaum M.A. Postural strategy changes with fatigue of the lumbar extensor muscles. *Gait Posture* 2006; 23(3): 348–354.

15. Айдаров В.И., Скворцов А.П. Формирование правильного двигательного стереотипа ходьбы у пациентов с дефицитом локомоторных функций нижних конечностей. *Практическая медицина* 2013; 2 (1–2): 12–13.

REFERENCES

1. Leroux J, Abu Amara S, Lechevallier J. Legg-Calvé-Perthes disease. *Orthop Traumatol Surg Res* 2018; 104 (1S): 107–112.

2. Skvortsov D.V., Ivanova G.E., Polyayev B.A., Stakhovskaya L.V. Diagnosis and testing of

locomotor pathology using toolware. *Journal of restorative medicine* 2013; 5: 74–78 (in Russian).

3. Romakina N.A., Fedonnikov A.S., Kireev S.I., Bakhteeva N.Kh., Norkin I.A. Application of techniques of biomechanics in the status evaluation and pathology correction of locomotor system (review). *Saratov Journal of Medical Scientific Research* 2015; 11 (3): 310–316 (in Russian).

4. Biryukova E.V., Gur'ev V.V., Zorya V.I., Prokopenko R.A., Frolov A.A. Biomechanical analysis of movement parameters in hip, knee and ankle joint in patients with coxarthrosis as a method of functional diagnostics. *Byul. VSNTs SO RAMN* 2010; 6 (76): 21–30 (in Russian).

5. Yusupov K.S., Anisimova E.A., Paulenko N.N., Letov A.S., Zaytsev V.A., Emkuzhev O.L., Zotkin V.V., Markov D.A. X-ray, anatomical and biomechanical features in patients with developmental hip dislocation. *Saratov Journal of Medical Scientific Research* 2014; 10 (1): 114–119 (in Russian)

6. 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 Orthopaedica* 2010; 81 (2): 183–188.

7. Zügner R., Tranberg R., Lisovskaja V., Kärrholm J. Different reliability of instrumented gait analysis between patients with unilateral hip osteoarthritis, unilateral hip prosthesis and healthy controls. *BMC Musculoskelet Disord* 2018; 19 (1): 224.

8. Yoo J.I., Cha Y.H., Kim K.J., Kim H.Y., Choy W.S., Hwang S.C. Gait analysis after total hip arthroplasty using direct anterior approach versus anterolateral approach: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord* 2019; 20 (1): 63.

9. Skvortsov D.V. Diagnostika dvigatel'noy patologii instrumental'nymi metodami: analiz pokhodki, stabilometriya. M.: T.M. Andreeva 2007; 640 (in Russian).

10. *Minasov B.Sh., Yakupov R.R., Askarov A.F., Khabirov T.E., Sirodzhov K.Kh., Karimov K.K., Shurmelev K.I.* Comparative analysis of the results of hip arthroplasty based on biometrics of support and walk phases. *Meditsinskiy vestnik Bashkortostana* 2015; 10 (58): 35–40 (in Russian).

11. *Nikityuk I.E., Ikoeva G.A., Kivoenko O.I.* The vertical balance management system is more synchronized in children with cerebral paralysis than in healthy children. *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery* 2017; 5 (3): 49–57 (in Russian).

12. *Goldberger A.L.* Fractal variability versus pathological periodicity: complexity loss and stereotypy in disease. *Perspect Biol Med* 1997; 40: 543–561.

13. *Nikityuk I.E., Kononova E.L., Garkavenko Yu.E.* Characteristics of body balance disorder in children with unilateral lower limb shortening. *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery* 2019; 7 (3): 45–54 (in Russian).

14. *Wilson E.L., Madigan M.L., Davidson B.S., Nussbaum M.A.* Postural strategy changes with fatigue of the lumbar extensor muscles. *Gait Posture* 2006; 23 (3): 348–354.

15. *Aydarov V.I., Skvortsov A.P.* Formation of correct movement pattern of walking in patients with a deficiency of locomotor functions of the lower limbs. *Practical Medicine*. 2013; 2 (1–2): 12–13 (in Russian).

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Материал поступил в редакцию 17.01.2020