

УДК 616.728.2-001.6: 615.825.6

DOI: 10.17816/pmj39261-72

## НАРУШЕНИЕ ОПОРНОЙ ФУНКЦИИ СТОП У ДЕТЕЙ С ПОДВЫВИХОМ БЕДРА ДИСПЛАСТИЧЕСКОГО ГЕНЕЗА

*И.Е. Никитюк\*, П.И. Бортулёв, С.В. Виссарионов, М.В. Савина*

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

## VIOLATION OF SUPPORTING FUNCTION OF FEET IN CHILDREN WITH HIP SUBLUXATION OF DYSPLASTIC GENESIS

*I.E. Nikityuk\*, P.I. Bortulev, S.V. Vissarionov, M.V. Savina*

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

**Цель.** Изучение плантографических характеристик стоп у детей с односторонним диспластическим подвывихом бедра (ДПБ) и анализ закономерностей распределения подошвенного давления на поражённой и интактной сторонах.

**Материалы и методы.** Проведено биомеханическое исследование 23 детей в возрасте от 13 до 17 лет с односторонним диспластическим подвывихом бедра Stowe I группы. Осуществлена оценка плантографических характеристик стоп и проанализирована их связь с вертикальным балансом тела пациентов. Контрольную группу составили 18 здоровых детей аналогичного возраста.

**Результаты.** По сравнению со здоровыми детьми у пациентов с односторонним ДПБ отмечается значимое снижение показателей всех индексов опоры: переднего –  $t$ , медиального –  $m$  и срединного –  $s$  – не только на стопе поражённой конечности, но и на интактной стороне. Это указывает на ухудшение рессорной функции поперечного и продольных сводов стоп вследствие их ригидности. Стопа на поражённой нижней конечности имеет патологически увеличенный угол Кларка  $\alpha$ , что свидетельствует о повышении высоты продольных сводов стопы, которое приводит к снижению общей площади её опоры. У пациентов наблюдается патологическое усиление по сравнению с нормой функциональных взаимосвязей между сводами стопы на поражённой и интактной нижних конечностях, что является признаком сформировавшейся патологической опорной стратегии стоп.

© Никитюк И.Е., Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Савина М.В., 2022

тел. +7 812 465 28 57

e-mail: femtotech@mail.ru

[Никитюк И.Е. (\*контактное лицо) – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологических и биомеханических исследований; Бортулёв П.И. – кандидат медицинских наук, руководитель отделения патологии тазобедренного сустава; Виссарионов С.В. – доктор медицинских наук, профессор, член-корр. РАН, директор; Савина М.В. – кандидат медицинских наук, руководитель лаборатории физиологических и биомеханических исследований].

© Nikityuk I.E., Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Savina M.V., 2022

tel. +7 812 465 28 57

e-mail: femtotech@mail.ru

[Nikityuk I.E. (\*contact person) – Candidate of Medical Sciences, leading researcher, Laboratory of Physiological and Biomechanical Researches; Bortulev P.I. – Candidate of Medical Sciences, Head of Department of Hip Joint Pathology; Vissarionov S.V. – MD, PhD, Professor, Corresponding Member of RAS, Director; Savina M.V. – Candidate of Medical Sciences, Head of Laboratory of Physiological and Biomechanical Researches].

**Выводы.** Патологическая опорная стратегии стоп на поражённой и интактной нижних конечностях у больных с односторонним ДПБ может быть следствием нарушения глобального сагиттального баланса тела, приводящего к адаптивной реакции опорно-двигательной системы в ответ на компенсаторные изменения в звеньях кинематической цепи «позвоночник – таз».

**Ключевые слова.** Диспластический подвывих бедра, сагиттальные позвоночно-тазовые соотношения, биомеханика, стопа, плантография.

**Objective.** To study the plantographic characteristics of the feet in children with unilateral dysplastic hip subluxation (DHS) and to analyze the patterns of plantar pressure distribution on the affected and intact sides.

**Material and methods.** A biomechanical study was conducted in 23 children, aged 13 to 17 years, with unilateral DHS of Crowe group I. The plantographic characteristics of the feet were evaluated and their relationship with the vertical balance of the patient's body was analyzed. The control group consisted of 18 healthy children of the same age.

**Results.** In patients with unilateral DHS, there is a significant decrease in all indices of support: anterior –  $t$ , medial –  $m$  and median –  $s$  compared with healthy children, not only on the foot of the affected limb, but also on the intact side. It indicates a deterioration in the spring function of the transverse and longitudinal arches of the feet due to their rigidity. The foot on the affected lower limb has a pathologically increased Clarke's angle  $\alpha$ , which indicates an increase in the height of the longitudinal arches of the foot, which leads to a decrease in the total area of its support. In patients, there is a pathological increase in comparison with the norm of functional relationships between the arches of the foot on the affected and intact lower extremities, that is a sign of a formed pathological foot support strategy.

**Conclusions.** The pathological supporting strategy of the feet on the affected and intact lower extremities in patients with unilateral DHS may be a consequence of a violation of the global sagittal balance of the body, leading to an adaptive reaction of the musculoskeletal system in response to compensatory changes in the links of the kinematic chain "spine-pelvis".

**Keywords.** Dysplastic hip subluxation, sagittal spine-pelvis ratio, biomechanics, foot, plantography.

## ВВЕДЕНИЕ

Понятие «дисплазия тазобедренных суставов» включает в себя ряд анатомических изменений, возникших в результате нарушения формирования и развития структур, образующих сустав, во внутриутробном периоде. Поздняя диагностика данного состояния в совокупности с отсутствием адекватного консервативного лечения приводит к нарушению соотношений в тазобедренном суставе в виде подвывиха бедра уже в раннем возрасте, что способствует возникновению локальной гиперпрессии гиалинового хряща проксимального эпифиза бедренной кости и вертлужной впадины с последующим развитием коксартроза [1, 2]. В результате деформации анатомических структур, образующих тазобедренный сустав, нарушается его функция, что может неблагоприятно отражаться

на биомеханике всей опорно-двигательной системы. Известно, что при одностороннем поражении суставов нижней конечности снижается её опорная функция, вследствие чего происходит смещение веса тела на интактную нижнюю конечность [3]. Кроме того, в результате постоянного повышения осевых нагрузок непоражённая конечность находится в неоптимальных биомеханических условиях, что неблагоприятно сказывается на функции всей опорно-двигательной системы [4]. У детей с диспластическим подвывихом бедра (ДПБ) асимметрия нагрузки между нижними конечностями усугубляется тем, что происходит избыточный наклон таза вперёд, приводящий к нарушениям позвоночно-тазовых соотношений, сопровождающихся формированием патологически изменённого сагиттального профиля позвоночного столба [5]. Учитывая тот факт, что

все звенья опорно-двигательной системы тесно взаимосвязаны между собой, у таких пациентов формируются патологические локомоторные стереотипы в связи с изменением основных кинематических и динамических параметров [6]. Одновременно с этим необходимо отметить, что развивающиеся при одностороннем поражении нижних конечностей адаптивные функциональные изменения в интактной конечности практически не изучены. Важным методом оценки опорной функции нижних конечностей является морфофункциональная диагностика состояния стоп, которая дает представление о нагрузочных подошвенных характеристиках у пациентов с патологией нижних конечностей [7]. Пространственное положение таза тесно связано с изменениями, происходящими в стопах, в неразрывную кинематическую цепь [8]. Учитывая этот факт, биомеханическое обследование состояние стоп у детей с односторонним диспластическим подвывихом бедра может способствовать пониманию механизмов, лежащих в основе управления локомоциями пациентов с поражением тазобедренного сустава, что важно учитывать при их ортопедической реабилитации.

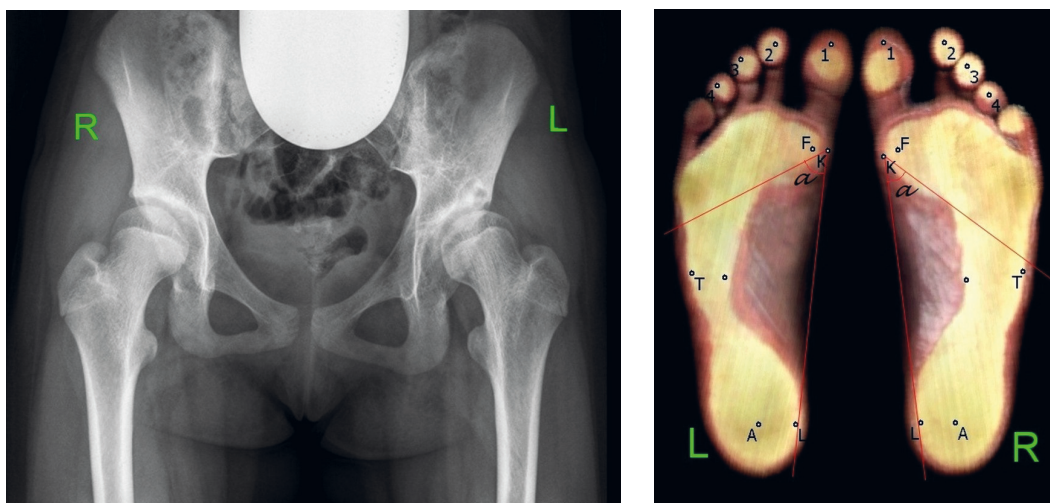
*Цель исследования* – изучение плантографических характеристик стоп у детей с односторонним диспластическим подвывихом бедра и анализ закономерностей распределения подошвенного давления на поражённую и интактную конечности.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведено биомеханическое обследование 23 детей в возрасте от 13 до 17 лет с односторонним ДПБ Crowe I группы (рис. 1, *a*). Из них у 10 пациентов был левосторонний ДПБ, у 13 – правосторонний. Контрольную группу составили 18 здоровых детей аналогичного возраста.

Для оценки биомеханики нижних конечностей у всех детей проведено исследование опорной функции стоп методом плантографии (рис. 1, *б*). Применяли программно-аппаратный комплекс диагностики «Подоскан» (НМФ «МБН», Россия), с помощью которого получали изображения подошвенной поверхности стоп – плантограммы. Плантограммы регистрировали с различной весовой нагрузкой на нижние конечности в положении стоя. В тестах с двуопорной нагрузкой вес тела обследуемого приходился на обе нижние конечности. При одноопорной нагрузке обследуемый попеременно полностью переносил вес тела на одну из контралатеральных нижних конечностей. На основании полученных плантограмм оценивали распределение давления по подошвенной поверхности стоп с использованием авторского метода [9]. Для этого на плантограммах расставляли реперные точки и соединяли их прямыми линиями. Линия (BC) соответствует поперечному своду стопы, линии (OG) и (OP) – продольным сводам (медиальному и срединному) (рис. 2, *a*). Измерение расстояний между реперными точками позволяло рассчитать плантографические индексы опоры:  $t = KE/BC$ ,  $m = GS/GO$  и  $s = PW/PO$ . Величина индекса  $t$  (передний индекс опоры) позволяла оценить поперечный свод стопы, показатели  $m$  и  $s$  (медиальный и срединный индексы опоры) дают представление о медиальном и срединном продольных сводах. Дополнительно рассчитывали угол Кларка  $\alpha$  (рис. 2, *б*), величина которого позволяла оценивать высоту свода стопы [10].

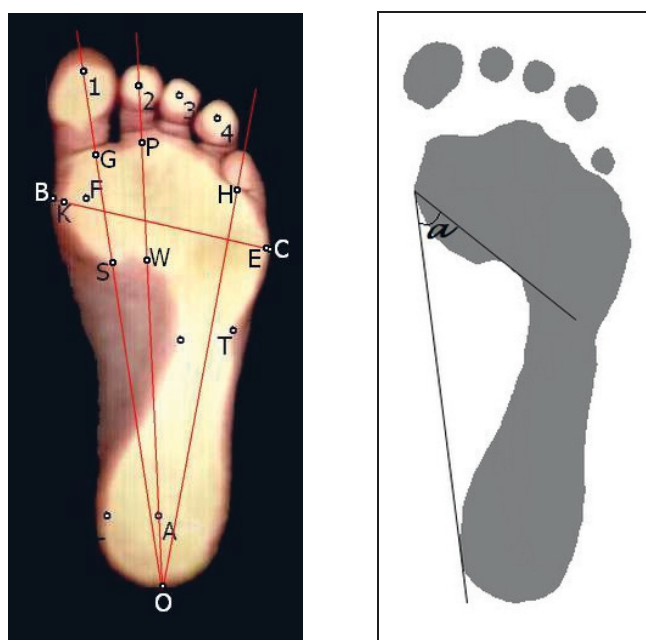
Для определения баланса тела всем пациентам осуществляли стабилметрическое обследование по стандартной методике с помощью комплекса МБН «Биомеханика» (Россия). На полученных статокинезиограммах определяли координаты  $X$  (мм) и  $Y$  (мм) смещения центра давления (ЦД) тела во фронтальной и сагиттальной плоскостях соответственно.



а

б

Рис. 1. Пациентка П., 16 лет, с дисплазией Crowe I группы: а – рентгенограмма тазобедренных суставов (выявляется подвывих бедра слева); б – плантограмма стоп интактной и поражённой сторон (выявляется увеличение угла Кларка  $\alpha$  слева, снижение опорности головки 1-й плюсневой кости обеих стоп, большие слева)



а

б

Рис. 2. Плантограммы стопы здорового ребенка: а – расчёт линейных параметров; б – расчёт углового параметра – угла Кларка  $\alpha$ . Проведены идентификационные линии и расставлены реперные точки

При статистической обработке данных использовали компьютерные программы SPSS 11.5 и Statgraphics Centurion 16.2. С учетом того, что в сравниваемых группах характер распределения показателей плантографии был определен как непараметрический, для оценки межгрупповых различий использовали критерий Манна – Уитни. Результаты представляли в виде медианы ( $Me$ ) с интерквартильным размахом  $[Q_1-Q_3]$  в стандартных пределах 25–75 %. Для сравнения дисперсий двух выборок использовали F-критерий Фишера (ANOVA). Для исследования взаимосвязи двух признаков применяли корреляционный анализ с использованием непараметрического коэффициента Спирмена  $r_s$ . Пороговый уровень статистической значимости принимали при значении критерия  $p < 0,05$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показатели плантографических характеристик здоровых детей и пациентов с односторонним ДПБ представлены в табл. 1. Наибольшее количество отклонений от нормы по сравнению со здоровыми детьми выявлено у больных при двуопорной нагрузке на стопы: отмечается значимое снижение показателей всех индексов опоры  $t$ ,  $m$  и  $s$  – не только на стопе поражённой конечности, но и на интактной стороне. При этом на стороне поражения индекс  $m$  был значительно снижен по сравнению с интактной стороной, что указывает на выраженное снижение опорности головки 1-й плюсневой кости стопы поражённой нижней конечности. Кроме того, на стопах поражённой стороны патологически увеличены углы Кларка  $\alpha$  (см. рис. 1, б), что свидетельствует о повышении высоты их продольных сводов [11], которое приводит к снижению общей площади опоры стоп. При одноопорной нагрузке на стопы все план-

тографические индексы у больных значимо снижены с обеих сторон по сравнению с нормой, что указывает на ухудшение ресурсной функции поперечного и продольных сводов стоп поражённой и интактной конечностей, что может быть обусловлено тенденцией к ригидности сводов.

Оценку величины асимметрии  $\Delta$  плантографических индексов и углов Кларка контралатеральных стоп у больных с односторонним ДПБ проводили путём сравнения с нормой показателей дисперсии (табл. 2). Оценка стандартных отклонений показателей асимметрии по F-критерию Фишера выявила высокий уровень значимости различий между здоровыми детьми и пациентами с поражением тазобедренного сустава как при двуопорной, так и при одноопорной нагрузке. Это указывает на резко повышенную, по сравнению с нормой, асимметрию функциональной активности сводчатого аппарата стоп поражённой и интактной нижних конечностей у больных с односторонним ДПБ.

Выраженная функциональная асимметрия между стопами может быть обусловлена смещением центра давления в сторону интактной нижней конечности, вызванного частичной разгрузкой нижней конечности на стороне поражения. В ходе исследования установлено, что у здоровых детей отклонение ЦД от абсолютного центра было незначительное:  $Me [Q_1-Q_3] = 0,3 [0,1-0,4]$  мм – во фронтальной плоскости и  $Me [Q_1-Q_3] = 4 [2-6]$  мм – в сагиттальной. Одновременно с этим необходимо подчеркнуть, что у больных с односторонним ДПБ смещение ЦД было резко выраженное: соответственно,  $Me [Q_1-Q_3] = 16 [10-25]$  мм ( $p < 0,05$ ) и  $Me [Q_1-Q_3] = 2 [-15-31]$  мм ( $p < 0,05$ ). Зависимость величин индексов опоры стоп при двуопорной нагрузке от смещения ЦД во фронтальной плоскости (по оси X) у больных с односторонним ДПБ представлена в табл. 3.

Таблица 1

**Сравнительная оценка плантографических характеристик стоп здоровых детей и пациентов с односторонним ДПБ**

Группа детей	Двуопорная нагрузка <i>Me [Q<sub>1</sub>-Q<sub>3</sub>]</i>				Одноопорная нагрузка <i>Me [Q<sub>1</sub>-Q<sub>3</sub>]</i>				
	Индекс ( $\times 10^2$ )			$\alpha$ , (град)	Индекс ( $\times 10^2$ )			$\alpha$ , (град)	
	<i>t</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		<i>t</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		
Здоровые дети (З), <i>n</i> = 18	94 [92-96]	23 [21-24]	24 [23-25]	53 [48-56]	96 [95-98]	25 [24-27]	26 [24-28]	51 [48-55]	
Пациенты, интактная НК (И), <i>n</i> = 23	<b>88</b> <b>[85-89]</b>	<b>19</b> <b>[11-22]</b>	<b>21</b> <b>[16-23]</b>	54 [52-60]	<b>90</b> <b>[87-93]</b>	<b>22</b> <b>[17-24]</b>	<b>22</b> <b>[20-24]</b>	54 [48-58]	
Пациенты, поражённая НК (П), <i>n</i> = 23	<b>83</b> <b>[83-91]</b>	<b>17</b> <b>[6-21]</b>	<b>17</b> <b>[14-23]</b>	<b>59</b> <b>[53-64]</b>	<b>89</b> <b>[87-93]</b>	<b>23</b> <b>[16-25]</b>	<b>21</b> <b>[17-25]</b>	53 [49-57]	
<i>p</i>	$p^{3-И}$	0,000	0,002	0,000	0,089	0,000	0,000	0,000	0,283
	$p^{3-П}$	0,000	0,001	0,000	0,007	0,000	0,003	0,001	0,091
	$p^{И-П}$	0,054	0,307	0,404	0,166	0,974	0,742	0,767	0,772

Примечание: *p* – уровень значимости различий (критерий Манна – Уитни);  $p^{3-И}$  – уровень значимости различий между стопами здоровых детей и стопами пациентов на интактной стороне;  $p^{3-П}$  – уровень значимости различий между стопами здоровых детей и стопами пациентов на стороне поражения тазобедренного сустава;  $p^{И-П}$  – уровень значимости различий между контралатеральными стопами у пациентов. И – интактная нижняя конечность; П – нижняя конечность на стороне поражения. Жирным шрифтом обозначены показатели пациентов, отличающиеся с достоверностью не менее  $p < 0,05$  от аналогичных показателей здоровых детей. НК – нижняя конечность.

Таблица 2

**Асимметрия показателей плантографических характеристик между контралатеральными стопами у здоровых детей и у больных с односторонним ДПБ**

Группа детей	Двуопорная нагрузка <i>Me [Q<sub>1</sub>-Q<sub>3</sub>]</i>				Одноопорная нагрузка <i>Me [Q<sub>1</sub>-Q<sub>3</sub>]</i>			
	Индекс ( $\times 10^2$ )			$\Delta \alpha$ , (град)	Индекс ( $\times 10^2$ )			$\Delta \alpha$ , (град)
	$\Delta t$	$\Delta m$	$\Delta s$		$\Delta t$	$\Delta m$	$\Delta s$	
Здоровые дети, <i>n</i> = 18	0 [-2 - 1,7]	0,4 [-0,9 - 1]	0,1 [-0,7 - 2,7]	3 [2 - 5]	0,1 [-0,1 - 2,3]	0,1 [-1 - 2,2]	0 [-1,1 - 1,9]	2 [-1 - 4]
Пациенты, <i>n</i> = 23	0,6 [-2 - 4,7]	3 [-1,5 - 7]	0,6 [-2,7 - 3,5]	1 [-3 - 7]	0,5 [-3,9 - 2,6]	1,2 [-3,6 - 5]	0 [-1,6 - 6,1]	1 [-3 - 5]
<i>p</i>	0,019	< 0,001	< 0,001	0,008	0,002	< 0,001	< 0,001	0,175

Примечание: *p* – уровень значимости различий между стандартными отклонениями в группах здоровых детей и пациентов (*F*-критерий Фишера).

Таблица 3

**Линейная корреляционная связь между смещением ЦД по оси X и индексами опоры стоп при двуопорной нагрузке у больных с односторонним ДПБ**

Коэффициент корреляции $r_s$					
Стопа интактной НК			Стопа поражённой НК		
$X \sim t$	$X \sim m$	$X \sim s$	$X \sim t$	$X \sim m$	$X \sim s$
-0,49 ( $p = 0,071$ )	-0,61 ( $p = 0,020$ )	-0,19 ( $p = 0,525$ )	-0,12 ( $p = 0,682$ )	-0,31 ( $p = 0,641$ )	-0,13 ( $p = 0,670$ )

Примечание: НК – нижняя конечность.

Таблица 4

**Линейная корреляционная связь между смещением ЦД по оси Y и индексами опоры стоп при двуопорной нагрузке у больных с односторонним ДПБ**

Коэффициент корреляции $r_s$					
Стопа интактной НК			Стопа поражённой НК		
$Y \sim t$	$Y \sim m$	$Y \sim s$	$Y \sim t$	$Y \sim m$	$Y \sim s$
0,28 ( $p = 0,329$ )	0,48 ( $p = 0,079$ )	0,21 ( $p = 0,467$ )	0,39 ( $p = 0,167$ )	0,45 ( $p = 0,018$ )	0,29 ( $p = 0,317$ )

Примечание: НК – нижняя конечность.

У пациентов на стопе интактной нижней конечности выявлена достаточно сильная отрицательная корреляционная связь величины медиального индекса опоры  $m$  с величиной смещения ЦД во фронтальной плоскости. Таким образом, чем больше компенсирующая осевая перегрузка интактной нижней конечности у больных с односторонним ДПБ, тем меньше значение индекса  $m$ , следовательно, тем выше ригидность медиального продольного свода стопы указанной конечности.

Зависимость величин индексов опоры стоп при двуопорной нагрузке от смещения ЦД в сагиттальной плоскости (по оси Y) у больных с односторонним ДПБ представлена в табл. 4.

Из табл. 4 следует, что у пациентов на стопе поражённой нижней конечности существует умеренная положительная корреляция между показателем медиального индекса опоры  $m$  и величиной смещения ЦД в

сагиттальной плоскости. Таким образом, чем больше отклонение тела вперёд у больных с односторонним ДПБ, тем выше значение индекса  $m$ , следовательно, тем выше нагрузка на передний отдел стопы, а именно на головку 1-й плюсневой кости на стороне поражения.

Для оценки функциональных взаимосвязей между передним  $t$ , медиальным  $m$  и срединным  $s$  индексами опоры у здоровых и больных детей проведён корреляционный анализ (табл. 5). Анализ показал, что в группе здоровых детей отмечаются слабые корреляции между всеми индексами опоры на обеих стопах. Это свидетельствует о независимой функциональной активности поперечного и продольных сводов стоп, что проявляется равномерным распределением нагрузки на своды в статичном положении при опоре на обе конечности.

В группе больных с односторонним ДПБ, в отличие от здоровых детей, корреля-

**Линейная корреляционная связь между индексами опоры стопы при двуопорной нагрузке у здоровых детей и у больных с односторонним ДПБ**

Группа детей	Коэффициент корреляции $r_s$		
	$m \sim t$	$s \sim t$	$m \sim s$
Здоровые дети, $n = 18$	0,14 ( $p = 0,212$ )	0,17 ( $p = 0,369$ )	0,23 ( $p = 0,289$ )
Пациенты, интактная НК, $n = 23$	0,38 ( $p = 0,07$ )	0,50 ( $p = 0,014$ )	0,87 ( $p = 0,000$ )
Пациенты, поражённая НК, $n = 23$	0,45 ( $p = 0,033$ )	0,54 ( $p = 0,007$ )	0,65 ( $p = 0,001$ )

ционные связи между индексами опоры достаточно сильные, в наибольшей степени выраженные между медиальным  $m$  и срединным  $s$  индексами на стопе интактной стороны. Это свидетельствует о патологическом усилении функциональных взаимосвязей между сводами стопы, приводящем к её ригидности как на поражённой, так и на интактной нижних конечностях. Данный факт указывает на формирование у пациентов с односторонним ДПБ неадекватной опорной стратегии обеих стоп, характеризующейся снижением их амортизационной функции.

Результаты настоящего исследования выявили у детей с односторонним диспластическим подвывихом бедра нарушение вертикального баланса, что проявлялось асимметричным распределением веса тела между нижними конечностями со смещением в интактную сторону. Такая рефлекторная разгрузка поражённой нижней конечности является адаптивной реакцией опорно-двигательной системы на односторонний патологический процесс. Считается, что более нагруженная нижняя конечность принимает существенное участие в поддержании вертикального положения тела, чем разгруженная [12], поэтому она находится в неблагоприятных биомеханических условиях. В проведённом исследовании у пациентов с односторонним ДПБ были выявлены нару-

шения опорной функции стопы не только на поражённой, но и на интактной стороне. Это проявлялось ухудшением рессорной функции поперечного и продольных сводов стоп вследствие их ригидности и сопровождалось снижением общей площади опоры стоп. У пациентов были патологически усилены по сравнению с нормой функциональные взаимосвязи между сводами стопы на поражённой и интактной нижних конечностях, что является признаком сформировавшейся патологической опорной стратегии [13]. У больных с односторонним поражением тазобедренного сустава нижняя конечность на интактной стороне является доминирующей в повседневной жизни, так как от неё требуются повышенные, по сравнению с поражённой нижней конечностью, энергетические затраты для удержания равновесия тела в положении стоя и при ходьбе. Различная двигательная специализация нижних конечностей приводит к асимметрии их функциональных характеристик даже у здоровых людей [14], поэтому выявленная в настоящем исследовании выраженная асимметрия показателей индексов опоры и угла Кларка между контралатеральными стопами у пациентов с ДПБ является закономерной и объяснимой. Однако характер функциональных связей между сводами стопы интактной нижней конечности не имел вы-



раженных отличий от таковых на стопе поражённой стороны. Это может быть обусловлено стремлением организма рефлекторно сохранять относительную симметричность функций интактной и поражённой нижних конечностей, которая более оптимальна для функционирования опорно-двигательной системы. В таком случае интактная конечность, обладая повышенным функциональным резервом по сравнению с поражённой, стремится уменьшить асимметрию путём приближения образца своих движений к кинематике конечности поражённой стороны [15]. Таким образом, у больных с односторонним ДПБ реализуется правило функционального копирования, которое заключается в том, что стопа интактной нижней конечности копирует функцию стопы поражённой конечности с целью уменьшения функциональной асимметрии. При этом локомоторная система активизирует, по-видимому, в равной степени балансирующую функцию стоп, что проявляется патологическим повышением по сравнению с нормой синхронизированности работы сводов стоп. Побочным эффектом такого биомеханического адаптивного механизма у пациентов с ДПБ является ухудшение функции стопы на интактной стороне, проявляющейся, как и на поражённой стороне, снижением её рессорных свойств и усилением ригидности.

Выявленное у больных с односторонним ДПБ резко выраженное, по сравнению с нормой, отклонение ЦД от абсолютного центра не только во фронтальной плоскости, но и в сагиттальной, свидетельствует о наличии у пациентов момента силы, вызывающего значительное отклонение тела от положения равновесия равновероятно в переднем и в заднем направлениях. При этом положительная корреляционная связь между величиной смещения ЦД в сагиттальной плоскости и показателем медиального про-

дольного свода стопы поражённой нижней конечности может быть следствием адаптивной реакции опорно-двигательной системы пациента в ответ на компенсаторные изменения в звеньях кинематической цепи «позвоночник – таз». Известно, что у пациентов с ДПБ нарушен глобальный сагиттальный баланс туловища, следствием которого является отклонение позвоночника от сагиттальной вертикальной оси в каудальном направлении [16]. Это приводит к отклику всей опорно-двигательной системы, проявлением которого является формирование адаптивных механизмов в системе «позвоночник – таз» [8], сопровождающихся разнонаправленностью векторов смещения центра давления в сагиттальной плоскости. Сформированные нарушения биокинематических цепей в организме больных с односторонним ДПБ вынуждают опорно-двигательную систему активировать дополнительные адаптивные локомоторные реакции для обеспечения вертикального баланса тела в новых условиях. Между состоянием стопы и пространственным положением таза существует биомеханическая связь [17], что объясняет формирование у пациентов с односторонним подвывихом бедра неоптимального двигательного стереотипа, проявляющегося патологически изменённой опорной стратегией стоп на поражённой и интактной нижних конечностях.

## Выводы

1. У детей с односторонним диспластическим подвывихом бедра нарушена опорная функция обеих стоп, в большей степени выраженная на стороне поражения. Это проявляется ухудшением рессорной функции сводов стоп, снижением общей площади их опорной поверхности, патологическим усилением, по сравнению с нормой, функциональных взаимосвязей между сводами стоп.

2. Патологическая опорная стратегия стоп на поражённой и интактной нижних конечностях у больных с односторонним ДПБ может быть следствием нарушения у них глобального сагиттального баланса тела, приводящего к адаптивной реакции опорно-двигательной системы в ответ на компенсаторные изменения в звеньях кинематической цепи «позвоночник – таз».

3. Необходимо включать в план комплексной диагностики пациентов с односторонним ДПБ изучение опорной функции стоп с учетом отягощающего влияния их нарушенной опорной стратегии на состояние тазобедренных суставов.

4. В комплексной терапии детей с односторонним ДПБ необходимо проводить реабилитационные мероприятия, направленные на коррекцию распределения подошвенного давления.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kotlarsky P., Haber R., Bialik V., Eidelman M. Developmental dysplasia of the hip: What has changed in the last 20 years? *World J Orthop.* 2015; 6: 886–901.

2. Поздникин И.Ю., Басков В.Е., Волошин С.Ю., Барсуков Д.Б., Краснов А.И., Познович М.С., Бортулёв П.И., Баскаева Т.В., Бортулёва О.В. Ошибки диагностики и начала консервативного лечения детей с врожденным вывихом бедра. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста* 2017; 5 (3): 42–51.

3. Kumar S.N., Omar B., Joseph L.H., Htwe O., Jagannathan K., Hamdan N.M.Y., Rajalakshmi D. Evaluation of limb load asymmetry using two new mathematical models. *Glob J Health Sci.* 2014; 7 (2): 1–7.

4. Stodółka J., Sobera M. Symmetry of lower limb loading in healthy adults during normal and abnormal stance. *Acta Bioeng Biomech.* 2017; 19 (3): 93–100.

5. Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Басков В.Е., Овечкина А.В., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю. Клинико-рентгенологические показатели позвоночно-тазовых соотношений у детей с диспластическим подвывихом бедра. *Травматология и ортопедия России* 2018; 24 (3): 74–82.

6. 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.

7. Xu C., Wen X.X., Huang L.Y., Shang L., Cheng X.X., Yan Y.B., Lei W. Normal foot loading parameters and repeatability of the Footscan® platform system. *J Foot Ankle Res.* 2017; 17 (10): 30.

8. Kim S.B., Lee G.S., Won Y.G., Jun J.B., Hwang C.M., Hong C.H. Radiologic findings of pelvic parameters related to sagittal balance. *J. Korean Soc. Spine Surg.* 2016; 23 (3): 197–205.

9. Никитюк И.Е., Кононова Е.Л., Семенов М.Г. Особенности опорной функции стоп у детей с аномалиями развития и приобретенными деформациями челюстных костей. *Физиология человека* 2018; 44 (5): 39–46.

10. Mukbra R., Krishan K., Kanchan T. Bare footprint metric analysis methods for comparison and identification in forensic examinations: A review of literature. *J Forensic Leg Med.* 2018; 58: 101–112.

11. Gonzalez-Martin C., Pita-Fernandez S., Seoane-Pillado T., Lopez-Calviño B., Pertega-Diaz S., Gil-Guillen V. Variability between Clarke's angle and Chippaux-Smirak index for the diagnosis of flat feet. *Colomb Med (Cali).* 2017; 48 (1): 25–31.

12. Казенников О.В., Киреева Т.Б., Шлыков В.Ю. Влияние структуры опорной поверхности под стопой на поддержание вертикальной позы при разном распределении

нагрузки между ногами. Физиология человека 2016; 42 (4): 61–68.

13. 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; 6 (1): 14–22.

14. Schorderet C., Hilfiker R., Allet L. The role of the dominant leg while assessing balance performance. A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture* 2021; 84: 66–78.

15. Skvortsov D.V., Larina V.N. Gait and posture in patients with low back pain compare with clinical form. *Gait Posture* 1995; 2 (3): 85.

16. Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Басков В.Е., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., Познович М.С. Влияние тройной остеотомии таза на позвоночно-тазовые соотношения у детей с диспластическим подвывихом бедра. Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста 2019; 7 (2): 5–16.

17. Obkawa T., Atomi T., Hasegawa K., Atomi Y. The free moment is associated with torsion between the pelvis and the foot during gait. *Gait Posture* 2017; 58: 415–420.

## REFERENCES

1. Kotlarsky P., Haber R., Bialik V., Eidelman M. Developmental dysplasia of the hip: What has changed in the last 20 years? *World J Orthop* 2015; 6: 886-901.

2. Pozdnikin I.Yu., Baskov V.E., Voloshin S.Yu., Barsukov D.B., Krasnov A.I., Poznovich M.S. Bortulev P.I., Baskaeva T.V., Bortuleva O.V. Errors of diagnosis and the initiation of conservative treatment in children with congenital hip dislocation. *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery* 2017; 5 (3): 42-51 (in Russian).

3. Kumar S.N., Omar B., Joseph L.H., Htwe O., Jagannathan K., Hamdan N.M.Y.,

Rajalaksbmi D. Evaluation of limb load asymmetry using two new mathematical models. *Glob J Health Sci* 2014; 7 (2): 1-7.

4. Stodółka J., Sobera M. Symmetry of lower limb loading in healthy adults during normal and abnormal stance. *Acta Bioeng Biomech* 2017; 19 (3): 93-100.

5. Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Baskov V.E., Ovechkina A.V., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Yu. Clinical and roentgenological criteria of spine-pelvis ratios in children with dysplastic femur subluxation. *Traumatology and Orthopaedics of Russia* 2018; 24 (3): 74-82 (in Russian).

6. Yusupov K.S., Anisimova E.A., Pavlenko N.N., Letov A.S., Zaychev V.A., Emkyzhev 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).

7. Xu C., Wen X.X., Huang L.Y., Shang L., Cheng X.X., Yan Y.B., Lei W. Normal foot loading parameters and repeatability of the Footscan® platform system. *J Foot Ankle Res* 2017; 17 (10): 30.

8. Kim S.B., Lee G.S., Won Y.G., Jun J.B., Hwang C.M., Hong C.H. Radiologic findings of pelvic parameters related to sagittal balance. *J Korean Soc. Spine Surg* 2016; 23 (3): 197-205.

9. Nikityuk I.E., Kononova E.L., Semyonov M.G. Features of the support function of feet in children with congenital abnormalities and acquired deformities of the mandibular bones. *Human Physiology* 2018; 44 (5): 39-46 (in Russian).

10. Mukbra R., Krishan K., Kanchan T. Bare footprint metric analysis methods for comparison and identification in forensic examinations: A review of literature. *J Forensic Leg Med* 2018; 58: 101-112.

11. Gonzalez-Martin C., Pita-Fernandez S., Seoane-Pillado T., Lopez-Calviño B., Pertega-Diaz S., Gil-Guillen V. Variability between Clarke's angle and Chippaux-Smirak index for

the diagnosis of flat feet. *Colomb Med (Cali)*. 2017; 48 (1): 25-31.

12. Kazennikov O.V., Kireeva T.B., Sblykov V.Y. Influence of structure of the support surface under the sole on vertical posture during standing with different body weight distribution between legs. *Human Physiology* 2016; 42 (4): 61-68.

13. Nikityuk I.E., Garkavenko Y.E., Kononova E.L. Special aspects of the support function of lower limbs in children with the consequences of unilateral lesion of the proximal femur with acute hematogenous osteomyelitis. *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery* 2018; 6 (1): 14-22 (in Russian).

14. Schorderet C., Hilfiker R., Allet L. The role of the dominant leg while assessing balance performance. A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture* 2021; 84: 66-78.

15. Skvortsov D.V., Larina V.N. Gait and posture in patients with low back pain compare with clinical form. *Gait Posture* 1995; 2 (3): 85.

16. Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Baskov V.E., Barsukov D.B., Pozdnykin I.Yu., Poznovich M.S. The influence of triple pelvic osteotomy on the spine-pelvis ratios in children with dysplastic subluxation of the hip. *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery* 2019; 7 (2): 5-16 (in Russian)

17. Obkawa T., Atomi T., Hasegawa K., Atomi Y. The free moment is associated with torsion between the pelvis and the foot during gait. *Gait Posture* 2017; 58: 415-420.

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

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

Поступила: 29.11.2021

Одобрена: 14.01.2022

Принята к публикации: 18.03.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Нарушение опорной функции стоп у детей с подвывихом бедра диспластического генеза / И.Е. Никитюк, П.И. Бортулёв, С.В. Виссарионов, М.В. Савина // Пермский медицинский журнал. – 2022. – Т. 39, № 2. – С. 61–72. DOI: 10.17816/pmj39261-72

Please cite this article in English as: Nikityuk I.E., Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Savina M.V. Violation of supporting function of feet in children with hip subluxation of dysplastic genesis. *Perm Medical Journal*, 2022, vol. 39, no. 2, pp. 61-72. DOI: 10.17816/pmj39261-72