

## Межзональное распределение нагрузки на плантарную поверхность стопы при ходьбе пациентов с ДЦП как объективный критерий тяжести функциональных нарушений

Л.М. Смирнова<sup>1,2</sup>, Э.И. Джомардлы<sup>1</sup>, А.А. Кольцов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г. А. Альбрехта» Минтруда России, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», Санкт-Петербург, Россия

### Реферат

**Актуальность.** Основным направлением реабилитации детей с церебральным параличом (ДЦП) является сохранение и развитие имеющегося уровня опорно-двигательной функции, а также компенсация его нарушений за счет различных методов реабилитации. Для адекватного назначения и достоверной оценки эффективности этих мероприятий необходимо использовать объективные показатели функциональных нарушений, характерных для детского церебрального паралича. **Цель исследования** — обосновать объективные биомеханические показатели функциональных нарушений у детей с ДЦП на основе анализа межзонального распределения нагрузки на стопу при ходьбе с учетом уровня нарушений глобальных моторных функций. **Материал и методы.** Обследованы 47 детей с ДЦП с уровнями нарушения глобальных моторных функций по системе GMFCS 1–3, а также 14 детей контрольной группы без анатомо-функциональных признаков нарушения опорно-двигательной системы. Биомеханические обследования выполнены на программно-аппаратном комплексе «ДиаСлед-М-Скан» с матричными измерителями плантарного давления в форме стелек. Статистический анализ данных проведен с применением непараметрических методов с использованием программы SPSS for Windows. **Результаты.** Анализом анатомо-функциональных нарушений 94 стоп детей с ДЦП с высокой степенью статистической значимости ( $p$  от  $<0,001$  до  $0,003$ ) выявлены характерные при этой патологии отличия межзонального распределения нагрузки под стопами по сравнению с контрольной группой по шести переменным. Наиболее характерными оказались: увеличение носочно-пяточного соотношения нагрузки (в среднем на 80%), увеличение нагрузки на свод (на 49%), уменьшение медио-латерального соотношения нагрузки на носок (на 37%). У пациентов с уровнем GMFCS 1 значимым показателем нарушения оказалось увеличение парциальной нагрузки на область свода, при GMFCS 2 и 3 — снижение нагрузки на пятку и увеличение ее под носком, что приводит к увеличению носочно-пяточного соотношения нагрузки. Также наблюдалось снижение медио-латерального соотношения нагрузки в области носка. **Заключение.** Выявленные показатели нарушения переката через стопу целесообразно применять при функциональной диагностике состояния и оценке эффективности реабилитации детей с ДЦП.

**Ключевые слова:** детский церебральный паралич, медицинская реабилитация, ходьба, биомеханика.

Смирнова Л.М., Джомардлы Э.И., Кольцов А.А. Межзональное распределение нагрузки на плантарную поверхность стопы при ходьбе пациентов с ДЦП как объективный критерий тяжести функциональных нарушений. *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(3):80-92. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-3-80-92.

**Cite as:** Smirnova L.M., Dzhomardly E.I., Koltsov A.A. [The Interzonal Distribution of the Load on the Plantar Surface of the Foot During Walking in the Patients with Cerebral Palsy as an Objective Criterion of Functional Impairment Severity]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2020;26(3):80-92. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-3-80-92.

Смирнова Людмила Михайловна / *Liudmila M. Smirnova*; e-mail: info@diaserv.ru

Рукопись поступила/Received: 05.02.2020. Принята в печать/Accepted for publication: 04.06.2020.

# The Interzonal Distribution of the Load on the Plantar Surface of the Foot During Walking in the Patients with Cerebral Palsy as an Objective Criterion of Functional Impairment Severity

L.M. Smirnova<sup>1,2</sup>, E.I. Dzhomardly<sup>1</sup>, A.A. Koltsov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled named after G.A. Albrecht, St. Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg, Russian Federation

## Abstract

**Relevance.** The main direction of rehabilitation of children with cerebral palsy is the preservation and enhancement of the existing level of support and locomotion, as well as compensation of its impairment through various methods of rehabilitation. For an adequate prescription and reliable assessment of these measures effectiveness, it is necessary to use objective indicators of functional impairment characteristic of cerebral palsy. **The purpose of this study** was to substantiate objective biomechanical indicators of functional impairment in children with cerebral palsy based on the analysis of the interzonal distribution of the load on the foot during walking, taking into account the level of global motor functions impairment. **Materials and Methods.** 47 children with cerebral palsy at the GMFCS levels of impairment 1 to 3 were examined. The control group consisted of 14 children without anatomical and functional signs of support and locomotion system impairment. Biomechanical examination was performed on the complex «DiaSled-M-Scan» with matrix plantar pressure meters in the form of insoles. The statistical analysis of the data was carried out by nonparametric methods using the SPSS for Widows software. **Results.** The analysis of the anatomical and functional impairment of 94 feet of the children with cerebral palsy and 28 feet of the control group revealed differences in the interzonal distribution of the load under the feet in six variables ( $p$  from  $<0.001$  to  $0.003$ ). The most typical were: an increase in the toe-to-heel load ratio (on average by 80%), an increase in the load on the arch (by 49%), and a decrease in the medio-lateral load ratio on the toe (by 37%). For GMFCS 1 patients, a significant indicator of impairment was an increase in the partial load on the arch, for GMFCS 2 and 3 patients — a decrease in the load on the heel and an increase it under the toe. This leads to an increase in the toe-to-heel load ratio. **Conclusion.** It is advisable to use the revealed indicators of roll-over-the-foot impairment in the functional diagnosis of the condition and in assessing the effectiveness of rehabilitation of children with cerebral palsy.

**Keywords:** cerebral palsy, medical rehabilitation, walking, biomechanics.

## Введение

Детский церебральный паралич (ДЦП) является наиболее часто встречающимся в практике ортопедии нейроортопедическим заболеванием. Такая ситуация обусловлена как высокой распространенностью заболевания (2,6–3,5 случаев на 1000 живорожденных детей) [1, 2], так и высокой частотой осложнений со стороны опорно-двигательного аппарата [3, 4], в первую очередь — стоп [5, 6, 7].

У подавляющего большинства детей с ДЦП наблюдаются спастические формы паралича [4, 8, 9], для которых характерно раннее проявление вышеупомянутых ортопедических осложнений и патологическое изменение стереотипа ходьбы [10, 11, 12].

Основным направлением реабилитации при ДЦП являются, как минимум, сохранение, а жела-

тельно — повышение имеющегося уровня функциональных возможностей ребенка. Почти за двухсотлетнюю историю изучения ДЦП разработан значительный арсенал методов лечения: медикаментозных, включая ботулинотерапию, хирургических, технических, реабилитационных [1, 13, 14, 15].

Для адекватного назначения и достоверной оценки эффективности лечебных мероприятий необходимо использовать обоснованные показатели функциональных нарушений, характерных для ДЦП. Объективность этих показателей может быть повышена использованием инструментальных методов диагностики, в частности — биомеханических компьютерных методов исследования ходьбы, одним из критериев качества которой является рациональность распределения нагрузки под стопой [10, 11].

Мы считаем, этот диагностический аспект применительно к детям с ДЦП в литературе освещен недостаточно. В связи с этим поиск валидных критериев оценки распределения нагрузки на плантарную поверхность стопы при ходьбе у детей с разными уровнями нарушения глобальных моторных функций при ДЦП является актуальной задачей.

**Цель исследования** — обосновать объективные биомеханические показатели функциональных нарушений у детей с ДЦП на основе анализа межзонального распределения нагрузки на стопу при ходьбе с учетом уровня нарушений глобальных моторных функций.

### Материал и методы

Проведено одномоментное экспериментально-аналитическое контролируемое количественное исследование «случай-контроль».

По результатам клинического осмотра сформированы следующие группы детей в возрасте от 5 лет (т.е. с уже сформировавшимся стереотипом ходьбы) до 16 лет включительно для последующего биомеханического обследования.

Группа 1 (контрольная) включала 14 детей без анатомо-функциональных признаков нарушения опорно-двигательной системы, обследованных во время профилактических осмотров в общеобразовательных учреждениях. Критерии исключения для этой группы — наличие клинических признаков деформации стопы или нарушений опорно-двигательной функции.

Группа 2 включала 47 пациентов со спастическими формами ДЦП, разделенных на три подгруппы в соответствии с уровнем нарушения глобальных моторных функций по классификации GMFCS [12], отражающим тяжесть заболевания:

- подгруппа 2.1 (GMFCS 1) — с первым уровнем нарушений (9 человек);
- подгруппа 2.2 (GMFCS 2) — со вторым (19 человек);
- подгруппа 2.3 (GMFCS 3) — с третьим (19 человек);

Пациенты проходили реабилитацию в ФГБУ «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Минтруда России.

При формировании второй группы пациентов применялись следующие *критерии включения*: наличие подтвержденного диагноза «ДЦП, спастическая диплегия» либо «ДЦП, спастический тетрапарез».

*Критериями исключения* были: отсутствие возможности ходьбы без ортезов или аппаратов даже с использованием средств дополнительной опоры (костылей, тростей, ходунков) или с поддержкой со стороны других лиц; тяжелое когнитивное нарушение или эмоциональное состояние обследу-

емого, не позволяющее добиться с ним контакта для проведения биомеханического обследования; ботулинотерапия в анамнезе менее чем за 6 мес. до обследования; хирургическое лечение в анамнезе менее чем за 1 год до обследования.

Биомеханические обследования проводили с регистрацией и анализом распределения нагрузки под стопами (бароплантография) при ходьбе, используя программно-аппаратный медицинский комплекс «ДиаСлед-М-Скан» с матричными измерителями плантарного давления в форме стелек. При обследовании измерители вкладывали в специальную обувь, конструкция которых минимально влияла на функциональность стопы (гибкая подошва, мягкий верх, каблук 1,0–1,5 см).

Сформированная для статистического анализа база данных (БД) содержала 122 наблюдения: 28 стоп детей контрольной группы (группа 1) и 94 стопы пациентов (группа 2).

### Статистический анализ

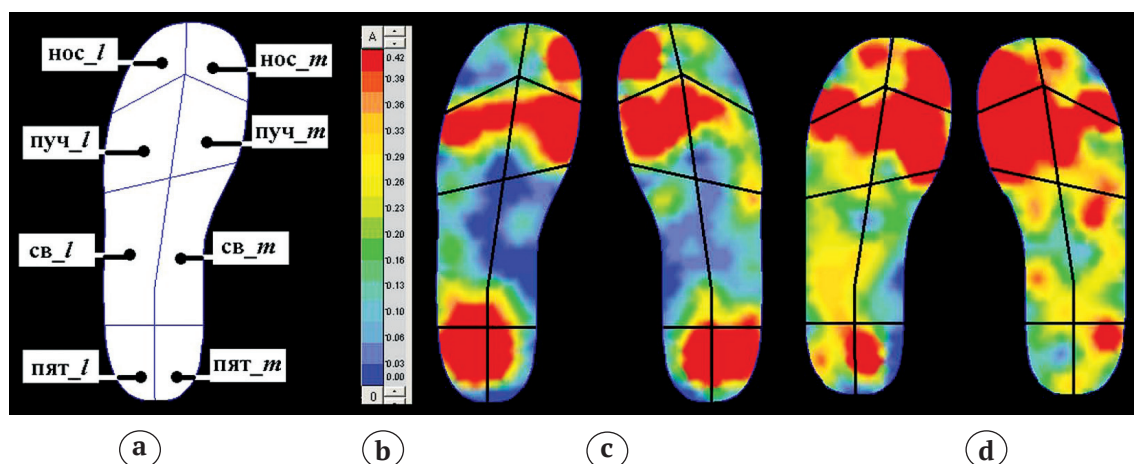
Статистический анализ данных выполнен с использованием программы SPSS for Windows. Применялись описательная статистика, тест Колмогорова–Смирнова с поправкой Lilliefors и Шапиро–Уилка с критическим уровнем значимости  $p = 0,05$ , непараметрические критерии Краскела–Уоллиса и Манна–Уитни с критическим уровнем значимости  $p^* = 0,0125$ , рассчитанным в соответствии с количеством производимых сравнений групп переменных.

### Результаты

Было использовано условное деление площади плантарной поверхности стопы на зоны, соответствующие зонам матричного измерительного сенсора (стельки) в программном обеспечении ПАК «ДиаСлед-М-Скан», с использованием которого и выполнялись биомеханические обследования (рис. 1).

Нагрузка на область стопы определялась как сумма давления на все датчики измерителя в этой области, парциальная нагрузка на область стопы — как доля от нагрузки на всю стопу. Носочно-пяточное соотношение нагрузки рассчитывалось как частное от деления величины нагрузки на пятку к величине нагрузки на носок стопы. Медио-латеральное соотношение нагрузки в области стопы определялось как отношение нагрузки на медиальную половину области к нагрузке на латеральную половину.

При статистическом анализе наблюдений в качестве зависимых переменных были выбраны 11 бароплантографических параметров, характеризующих межзональное распределение нагрузки под стопой (табл. 1).



**Рис. 1.** Схема деления матричного измерительного сенсора на зоны (а), шкала давлений (b) и бароплантограммы стоп обследуемого контрольной группы (с) и ребенка с ДЦП (d). Обозначения: нос – носочная, пуч – пучковая, св – подсводная, пят – пяточная; *m* – медиальная, *l* – латеральная

**Fig. 1.** Diagram of dividing the matrix measuring sensor into zones (a); pressure scale (b); baroplantograms of a healthy child from the control group (c) and a child with cerebral palsy (d)

Таблица 1

**Исследуемые зависимые переменные**

№	Обозначение	Наименование
1	f_пят	Парциальная нагрузка на область пятки
2	f_св	Парциальная нагрузка на область свода
3	f_пуч	Парциальная нагрузка на область пучков
4	f_нос	Парциальная нагрузка на область носка
5	Кнос/пят	Носочно-пяточное соотношение нагрузки
6	Кп/з	Соотношение нагрузок на передний отдел стопы (зона пучков вместе с носком) и задний (пятка вместе с подсводным пространством)
7	Км/л_пят	Медио-латеральное соотношение нагрузки в области пятки
8	Км/л_св	Медио-латеральное соотношение нагрузки в области свода
9	Км/л_пуч	Медио-латеральное соотношение нагрузки в области пучков
10	Км/л_нос	Медио-латеральное соотношение нагрузки в области носка
11	Км/л	Медио-латеральное соотношение нагрузки на стопу

Результаты анализа данных с помощью теста Колмогорова–Смирнова с поправкой Lilliefors и Шапиро–Уилка показали, что тип распределения для некоторых зависимых переменных (в частности, Км/л\_пуч, Км/л и f\_пят) не соответствует закону нормального распределения. Об этом же свидетельствовала форма гистограмм и квантильных диаграмм для этих переменных. Это наблюдалось как для контрольной группы, так и, тем более, для всей совокупности детей с ДЦП. Еще большее ко-

личество переменных не соответствовало закону нормального распределения при оценке их отдельно для подгрупп пациентов, состояние которых соответствовало разному уровню нарушения глобальных моторных функций: GMFCS 1, GMFCS 2, GMFCS 3. В связи с этим для дальнейших статистических исследований переменных применялись непараметрические методы.

Для выявления характерных отличий зонального распределения нагрузки под стопами де-

тей с ДЦП по сравнению с контрольной группой был применен непараметрический критерий Манна–Уитни, результаты представлены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что ходьба детей с ДЦП отличается от ходьбы детей контрольной группы по

шести переменным — показателям межзонального распределения нагрузки под стопой: *f\_пят*, *f\_св*, *f\_пуч*, *f\_нос*, *Кнос/пят*, *Км/л\_нос*. Для уточнения этих различий в таблице 3 указаны значения медианы и процентилей этих переменных в сравниваемых группах.

Таблица 2

**Результаты анализа переменных с применением критерия Манна–Уитни: статистическая значимость отличий контрольной группы и группы детей с ДЦП**

№	Переменные	Значения критерия Манна–Уитни	Уровень значимости различий (Asymp. Sig. (2-tailed))
1	<b>f_пят</b>	481	<b>0,000</b>
2	<b>f_св</b>	348	<b>0,000</b>
3	<b>f_пуч</b>	819	<b>0,003</b>
4	<b>f_нос</b>	834	<b>0,003</b>
5	<b>Кнос/пят</b>	544	<b>0,000</b>
6	Кп/з	1185	0,427
7	Км/л_пят	1276	0,808
8	Км/л_св	1138	0,278
9	Км/л_пуч	1048	0,103
10	<b>Км/л_нос</b>	779	<b>0,001</b>
11	Км/л	1200	0,480

Жирным шрифтом выделены переменные, по которым отмечались статистически значимые различия.

Таблица 3

**Основные характеристики переменных, по которым выявлено статистически значимое различие между контрольной группой и группой детей с ДЦП**

№	Переменные	Группы	Процентили			Ме (медиана)	Процентили		
			5	10	25		75	90	95
1	f_пят	Контрольная	17,67	19,19	22,54	28,02	31,80	34,58	35,63
		Пациенты с ДЦП	5,67	7,64	12,69	17,92	25,26	28,76	31,98
2	f_св	Контрольная	11,08	12,90	16,68	19,71	22,85	26,81	30,70
		Пациенты с ДЦП	17,84	20,41	24,87	29,34	34,44	41,13	44,04
3	f_пуч	Контрольная	27,53	30,65	34,93	38,47	43,10	47,59	48,08
		Пациенты с ДЦП	20,86	23,29	26,13	34,15	38,93	42,91	47,78
4	f_нос	Контрольная	4,68	5,26	9,81	14,11	18,08	23,34	24,17
		Пациенты с ДЦП	6,86	10,33	13,04	18,23	23,28	26,72	28,51
5	Кнос/пят	Контрольная	0,16	0,19	0,33	0,55	0,67	0,94	1,26
		Пациенты с ДЦП	0,27	0,39	0,62	0,99	1,73	3,20	4,70
6	Км/л_нос	Контрольная	0,99	1,47	1,96	2,92	3,93	4,24	5,36
		Пациенты ДЦП	0,78	0,99	1,31	1,83	2,66	4,55	5,67

Кроме того, рассчитано отличие медианных значений  $\Delta Me_i$  этих переменных для группы пациентов с ДЦП по сравнению с контрольной группой (табл. 4):

$$\Delta Me_i = 100\% (Me_{i_{п}} - Me_{i_{к}}) / (Me_{i_{к}}),$$

где  $Me_{i_{п}}$  — медиана  $i$ -й переменной в группе пациентов,  $Me_{i_{к}}$  — в контрольной группе.

Наглядное представление различий обследованных групп дает визуальное сопоставление медиан и квартилей переменных на квантильных диаграммах (рис. 2).

Таблица 4

Отличие медианных значений переменных в группе детей с ДЦП по сравнению с контрольной группой

№	Переменные, по которым выявлено статистически значимое различие		$\Delta Me, \%$
	обозначение	наименование	
1	f_пят	Парциальная нагрузка на область пятки	-36
2	f_св	Парциальная нагрузка на область свода	49
3	f_пуч	Парциальная нагрузка на область пучков	11
4	f_нос	Парциальная нагрузка на область носка	29
5	Кнос/пят	Носочно-пяточное соотношение нагрузки	80
6	Км/л_нос	Медио-латеральное соотношение нагрузки в области носка	37

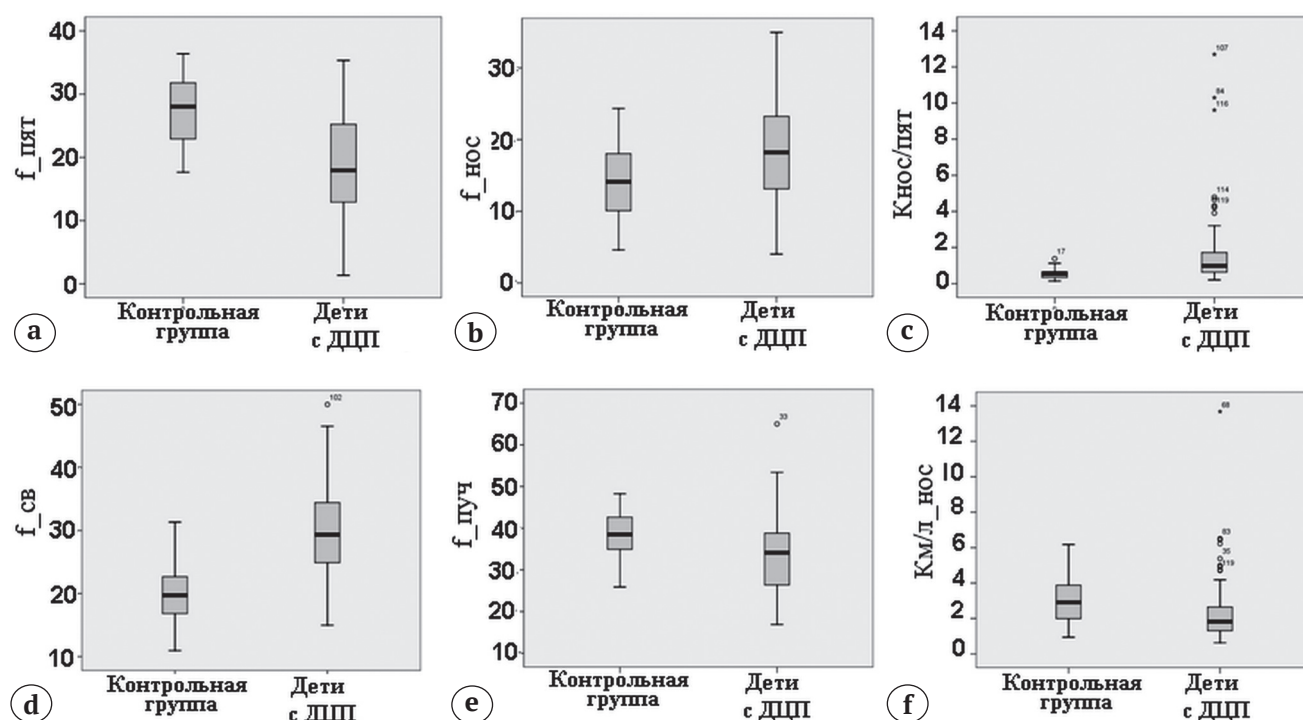


Рис. 2. Квантильные диаграммы переменных, по которым выявлено статистически значимое отличие переката через стопу детей с ДЦП по сравнению с контрольной группой: а — парциальная нагрузка на область пятки ( $f_{\text{пят}}$ ); б — парциальная нагрузка на область носка ( $f_{\text{нос}}$ ); с — носочно-пяточное соотношение нагрузки (Кнос/пят); д — парциальная нагрузка на область свода ( $f_{\text{св}}$ ); е — парциальная нагрузка на область пучков ( $f_{\text{пуч}}$ ); ф — медио-латеральное соотношение нагрузки в области носка (Км/л\_нос). Жирная линия — медиана; нижняя и верхняя границы бокса — 25-я и 75-я процентиля; концы усов — 10-я и 90-я процентиля

Fig. 2. The quantile diagrams of the variables, which revealed a statistically significant difference in the rolling-over-the-foot of children with cerebral palsy compared with the control group: а — partial load on the heel area ( $f_{\text{пят}}$ ); б — partial load on the toe area ( $f_{\text{нос}}$ ); с — toe-to-heel load ratio (Кнос/пят); д — partial load on the arch area ( $f_{\text{св}}$ ); е — partial load on the bundles area ( $f_{\text{пуч}}$ ); ф — medio-lateral load ratio in the toe area (Км/л\_нос). The bold line is the median; the lower and upper bounds of the box are the 25<sup>th</sup> and 75<sup>th</sup> percentiles; whisker tips — 10<sup>th</sup> and 90<sup>th</sup> percentiles

Учитывая, что, несмотря на плано-вальгусную деформацию стопы у подавляющего количества пациентов с ДЦП, в исследуемой нами выборке наблюдались также варусная или эквино-варусная деформации стоп (в 9% наблюдений — 8 стоп), статистический расчет был проведен также после удаления из исходной БД восьми таких наблюдений. Однако результаты статистического расчета этой усеченной базы практически не изменились, по сравнению с исходной, и потому в статье не приводятся. В частности, перечень переменных, по которым были выявлены статистически значимые отличия от контрольной группы, остался прежним.

Обращает на себя внимание существенно больший разброс значений переменных в группе пациентов по сравнению с контрольной группы. Такая ситуация придавала актуальности поиску групповых различий этих переменных в зависимости от степени выраженности нарушения глобальных моторных функций.

Предварительно был применен непараметрический критерий Краскела – Уоллиса с группирующей переменной GMFCS (табл. 5).

Так как результаты теста Краскела – Уоллиса показали для многих зависимых переменных наличие статистически значимых различий между подгруппами пациентов, отличающихся наличием и степенью тяжести ДЦП, было принято решение о целесообразности проведения дальнейших

апостериорных парных сравнений подгрупп по этим переменным при помощи критерия Манна – Уитни с новым критическим уровнем значимости  $p^*$  с учетом количества производимых сравнений, чтобы избежать проблемы множественных сравнений и не принять решение о наличии различий там, где их на самом деле нет:

$$p^* = 1 - 0,95^{1/n},$$

где  $n$  — количество производимых сравнений.

При четырех группах критический уровень  $p^* = 1 - 0,95^{0,17} = 0,0085$ .

Статистическая значимость выявленных различий этим методом представлена в таблице 6.

Наглядное представление различий обследованных групп дает сопоставление медиан и квартилей переменных на квантильных диаграммах (рис. 3).

Следует отметить, что исключение из БД тех наблюдений, которые соответствуют эквино-варусным стопам, привело к значимым изменениям только одного из бароплантографических показателей — парциальной нагрузки на область продольного свода  $f_{св}$  (рис. 4). Такой результата указывает на целесообразность накопления и обработки большей БД с достаточным количеством наблюдений с варусной и эквино-варусной деформациями стопы для возможности статистического исследования характерного для них распределения нагрузки на стопы.

Таблица 5

**Результаты анализа переменных с применением критерия Краскела – Уоллиса: статистическая значимость наличия отличий между подгруппами детей с ДЦП с разной степенью нарушений по системе GMFCS**

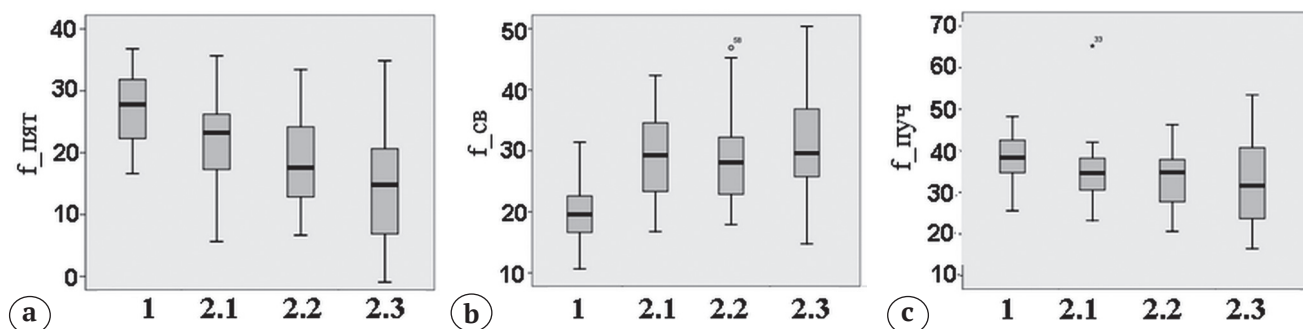
Статистические критерии	Переменные										
	f_пят	f_св	f_пуч	f_нос	Кнос/пят	Кп/з	Км/л_пят	Км/л_св	Км/л_пуч	Км/л_нос	Км/л
Chi-Square (хи-квадрат)	32,821	37,317	11,023	25,306	34,358	4,469	1,165	22,311	8,892	11,223	13,412
df (степень свободы)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Asymp. Sig. (уровень стат. значимости)	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,215	0,761	0,000	0,031	0,011	0,004

Таблица 6

**Результаты анализа переменных с применением критерия Манна–Уитни (U): статистическая значимость отличий контрольной группы и подгрупп детей с ДЦП с разной степенью нарушений по системе GMFCS**

Группы сравнения	Статистики	Переменные								
		f_пят	f_св	f_пуч	f_нос	Кнос/пят	Км/л_св	Км/л_пуч	Км/л_нос	Км/л
Контрольная группа и GMFCS 1	U	152	66	145	230	184	137	233	180	152
	Asymp. Sig.	0,024	<b>0,000</b>	0,016	0,620	0,129	0,010	0,669	0,108	0,024
Контрольная группа и GMFCS 2	U	185	159	323	318	205	429	410	279	444
	Asymp. Sig.	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,010	<b>0,008</b>	<b>0,000</b>	0,238	0,152	<b>0,002</b>	0,330
Контрольная группа и GMFCS 3	U	144	123	351	242	154	342	367	319	403
	Asymp. Sig.	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,013	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,009	0,023	<b>0,004</b>	0,070
GMFCS 1 и GMFCS 2	U	233	291	329	161	185	124	226	324	155
	Asymp. Sig.	,074	0,451	0,943	<b>0,002</b>	<b>0,008</b>	<b>0,000</b>	0,056	0,872	<b>0,001</b>
GMFCS 1 и GMFCS 3	U	180	301	315	113	135	108	199	350	161
	Asymp. Sig.	<b>0,003</b>	0,391	0,537	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,009	0,986	<b>0,001</b>
GMFCS 2 и GMFCS 3	U	553	570	650	574	531	561	603	684	632
	Asymp. Sig.	0,080	0,117	0,457	0,125	0,048	0,095	0,218	0,701	0,355

Жирным шрифтом выделены переменные, по которым отмечались статистически значимые различия.

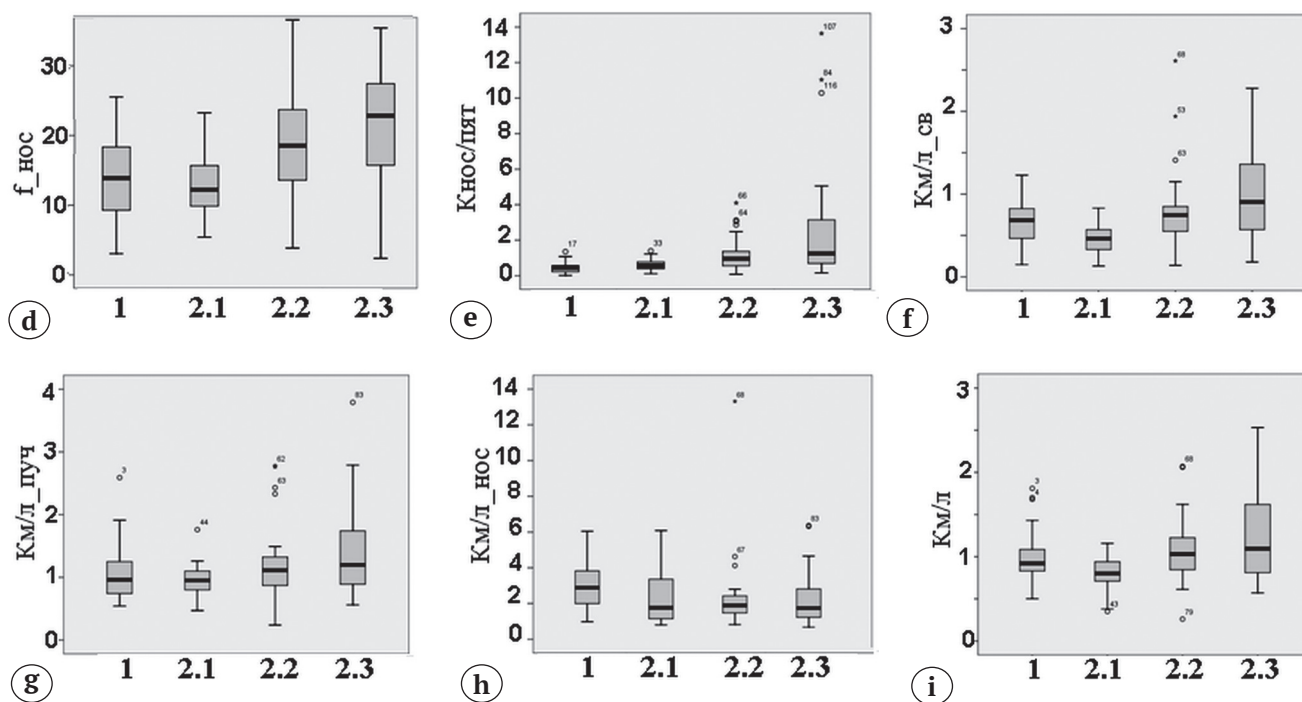


**Рис. 3 (а, б, в).** Квантильные диаграммы переменных для контрольной группы и для группы детей с ДЦП с уровнями нарушения глобальных моторных функций GMFCS 1–3 (подгруппы 2.1, 2.2, 2.3): а – парциальная нагрузка на область пятки (f\_пят); б – парциальная нагрузка на область свода (f\_св); в – парциальная нагрузка на область пучков (f\_пуч).

Жирная линия – медиана; нижняя и верхняя границы бокса – 25-я и 75-я процентиля; концы усов – 10-я и 90-я процентиля

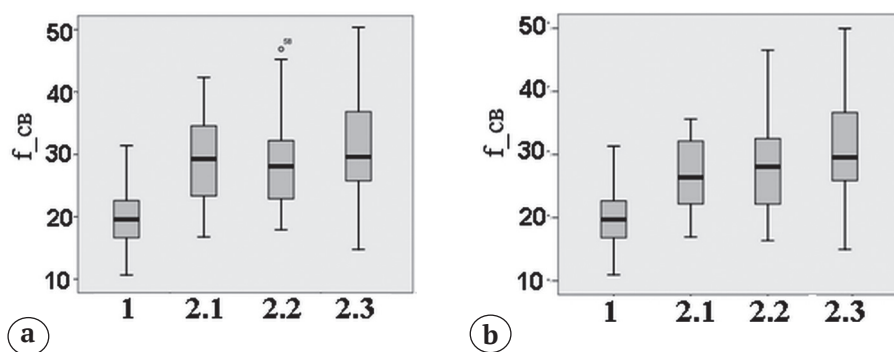
**Fig. 3. (a, b, c).** The quantile diagrams of variables for the control group and for the GMFCS 1–3 cerebral palsy group (subgroups 2.1, 2.2, 2.3): a – partial load on the heel area (f\_пят); b – partial load on the arch area (f\_св); в – partial load on the bundles area (f\_пуч). The bold line is the median; the lower and upper bounds of the box are the 25<sup>th</sup> and 75<sup>th</sup> percentiles; whisker tips – 10<sup>th</sup> and 90<sup>th</sup> percentiles





**Рис. 3 (d, e, f, g, h, i).** Квантильные диаграммы переменных для контрольной группы и для группы детей с ДЦП с уровнями нарушения глобальных моторных функций GMFCS 1–3 (подгруппы 2.1, 2.2, 2.3): d – парциальная нагрузка на область носка ( $f_{\text{нос}}$ ); e – носочно-пяточное соотношение нагрузки (Кнос/пят); f – медио-латеральное соотношение нагрузки в области свода (Км/л\_св); g – медио-латеральное соотношение нагрузки в области пучков (Км/л\_пуч); h – медио-латеральное соотношение нагрузки в области носка (Км/л\_нос); i – медио-латеральное соотношение нагрузки на стопу (Км/л). Жирная линия – медиана; нижняя и верхняя границы бокса – 25-я и 75-я процентиля; концы усов – 10-я и 90-я процентиля

**Fig. 3. (d, e, f, g, h, i).** The quantile diagrams of variables for the control group and for the GMFCS 1–3 cerebral palsy group (subgroups 2.1, 2.2, 2.3): d – partial load on the toe area ( $f_{\text{нос}}$ ); e – toe-to-heel load ratio (Кнос/пят); f – medio-lateral load ratio in the arch area (Км/л\_св); g – medio-lateral load ratio in the bundles area (Км/л\_пуч); h – medio-lateral load ratio in the toe area (Км/л\_нос); i – (Км/л) medio-lateral load ratio on the foot. The bold line is the median; the lower and upper bounds of the box are the 25<sup>th</sup> and 75<sup>th</sup> percentiles; whisker tips – 10<sup>th</sup> and 90<sup>th</sup> percentiles



**Рис. 4.** Квантильные диаграммы переменной «парциальная нагрузка на область свода» ( $f_{\text{св}}$ ) для контрольной группы и для группы детей с ДЦП с уровнями нарушения глобальных моторных функций GMFCS 1–3 (подгруппы 2.1, 2.2, 2.3): a – до удаления из БД наблюдений с варусными и эквино-варусными стопами; b – после удаления

**Fig. 4.** The quantile diagrams of the variable “partial load on the arch area” ( $f_{\text{св}}$ ) for the control group and for the GMFCS 1–3 cerebral palsy group (subgroups 2.1, 2.2, 2.3): a – before deleting the cases with varus and equino-varus feet from the database; b – after deleting

## Обсуждение

В медицинской практике известны результаты клинических исследований, указывающие на патологические анатомо-функциональные изменения стоп вследствие ДЦП — часто наблюдаемое снижение высоты продольных сводов, пронация среднего отдела и вальгус заднего отдела стопы, вальгусная деформация первого пальца стопы. Значительно реже встречается при этом заболевании увеличение высоты продольных сводов, супинация среднего отдела и варус заднего отдела стопы [16]. Однако мы не нашли научных источников с подробным доказательным анализом взаимосвязи между тяжестью ДЦП, с одной стороны, и нарушением межзонального распределения нагрузки на плантарную поверхность стопы при ходьбе, с другой стороны.

Результаты анализа различий ходьбы больных детей и детей контрольной группы показали статистически значимые отличия по шести переменным:  $f_{\text{пят}}$ ,  $f_{\text{св}}$ ,  $f_{\text{пуч}}$ ,  $f_{\text{нос}}$ ,  $K_{\text{нос/пят}}$  (зависимая от  $f_{\text{пят}}$  и  $f_{\text{нос}}$ ), а также переменной  $K_{\text{м/л нос}}$  (см. табл. 2). У пациентов со статистически значимыми отличиями наблюдалось выраженное увеличение носочно-пяточного соотношения нагрузки на стопу —  $K_{\text{нос/пят}}$  (см. табл. 2 и 3). По мнению W. Chen с соавторами [17], этот параметр является полезным объективным количественным критерием оценки тяжести эквинусной деформации стопы. Превышение медианного значения для этой переменной в нашем исследовании составило 80% от значения в контрольной группе (см. табл. 4, рис. 2с), что было следствием уменьшения нагрузки на пятку —  $f_{\text{пят}}$  (на 36%) (см. табл. 4, рис. 2а) и увеличения ее на носок —  $f_{\text{нос}}$  (на 29%) (см. табл. 4, рис. 2б). Наши результаты не противоречат данным мировой литературы, согласно которой эквинусная деформация стоп у детей с ДЦП является наиболее распространенной [17, 18, 19, 20]. Часто родители описывают это состояние, характеризуя его как «ходьба на носочках». Аналогичное название нередко можно встретить и в иностранной научной литературе (tip-toeing gait, in-toeing gait) [21, 22, 23]. На наш взгляд, отмеченные термины наиболее удачно описывают распределение нагрузки на плантарную поверхность стопы в сагиттальной плоскости. В то же время, значимого отличия показателя соотношения нагрузок на передний отдел стопы (пучки вместе с носком) и задний (пятка вместе и подсводным пространством) —  $K_{\text{п/з}}$  не было выявлено (см. табл. 2), что можно объяснить одновременным противофазным увеличением нагрузки на область свода —  $f_{\text{св}}$  (см. рис. 2с) и уменьшением ее на пучки стопы —  $f_{\text{пуч}}$  (см. рис. 2е) у детей с ДЦП.

Также у пациентов с ДЦП отмечалось значительное увеличение нагрузки на свод —  $f_{\text{св}}$ , почти в полтора раза (на 49%), причинами которого мы считаем увеличение площади контакта стопы с опорой в этой области вследствие действия совокупности факторов: снижения высоты свода, связанного с развитием продольного плоскостопия, вальгусной установки стопы, снижения участия пятки в восприятии нагрузки на стопу. Наши предположения о причинах увеличения нагрузки на свод согласуются с клиническими наблюдениями ряда авторов. Так, например, J.P. Sees с соавторами [11] описывают плано-вальгусную деформацию как одну из наиболее частых патологий стопы у пациентов со спастической диплегией. Клинически эта деформация варьирует от легкой, когда имеет место незначительное снижение продольного свода, до тяжелой, когда нагрузка в среднем отделе стопы осуществляется практически на головку таранной кости. W. Chen с соавторами [17] утверждают, что ретракция трехглавой мышцы голени приводит к смещению нагрузки в направлении от заднего отдела стопы к переднему.

Нами также выявлено уменьшение на 37% медио-латерального соотношения нагрузки на носок —  $f_{\text{нос}}$  (см. табл. 4, рис. 2ф), т.е. более выраженного нагружения латеральной половины носка. В то же время наблюдалось незначительное уменьшение нагрузки на область пучков —  $f_{\text{пуч}}$ , всего на 11% (см. табл. 4, рис. 2е).

Подобный комплекс нарушений может наблюдаться при косолапости, однако данный тип деформации стопы менее характерен для детей с ДЦП. Другой причиной, на наш взгляд, является такая распространенная для больных с ДЦП патологическая установка, как внутренняя ротация нижней конечности при передвижении, наблюдаемая как в фазе переноса, так и в фазе опоры. Такое положение конечности и стопы, в частности, в фазе заднего толчка приводит к повышенной нагрузке именно на латеральную часть носка. Как показали клинические наблюдения, именно такой стереотип переката через стопу характерен для значительного числа пациентов с ДЦП. Согласно данным мировой литературы, отмеченное состояние является одним из наиболее частых компонентов патологического паттерна ходьбы и в англоязычной литературе известно как «the foot progression angle (FPA)» [22, 23, 24].

В настоящее время нет согласованного представления относительно факторов, вызывающих внутреннюю ротацию стопы при ходьбе у детей с ДЦП. Например, одни авторы указывают на «статические» причины — антеверсия головки бедренной кости и торсия костей голени [23, 24, 25]. Другие исследователи считают, что более значимое влияние оказывают «динамические» при-

чины — нарушение тонуса мышц (спастичность, дистония, слабость), патология селективного моторного контроля и связанные с ним нарушения координированной работы мышц (паракинезия, некоординированность действий мышц агонистов и антагонистов) [24, 26, 27, 28]. Имеется и иное мнение о возможных факторах развития внутренней ротации стопы. Оно основано на том, что ахиллово сухожилие прикрепляется на 2,0 см кнутри от средней линии, и в результате его контракции пяточная кость смещается кнутри [21]. В то же время спастичная задняя большеберцовая мышца приводит передний отдел стопы (аддукция), вследствие чего развивается «функциональная косолапость».

Последовательность формирования характерных для ДЦП нарушений межзонального распределения нагрузки на стопы становится более понятной при рассмотрении отличий, характерных для групп пациентов с разной степенью нарушения глобальных моторных функций, отражающих тяжесть заболевания.

Как показали результаты анализа групповых различий (см. табл. 4), у пациентов группы GMFCS 1 статистически значимое отличие от контрольной группы наблюдалось только по одной переменной:  $f_{св}$  — увеличение парциальной нагрузки на область свода (см. рис. 2b). Мы расцениваем такой результат как одновременное действие двух факторов, влияющих на распределение нагрузки на стопу: снижение высоты продольного свода, вызывающее увеличение нагрузки на подсводную область, и снижение нагрузки на пятку вследствие эквинусной установки стопы.

У пациентов групп GMFCS 2 и GMFCS 3 статистически значимое отличие от контрольной группы наблюдалось уже по пяти переменным. У пациентов в этих группах сохраняется повышенная нагрузка на область свода, но еще более характерным признаком является нарушение распределения нагрузки в продольном направлении стопы: снижение нагрузки на пятку —  $f_{пят}$  (см. рис. 2a) и повышение ее под носком —  $f_{нос}$  (см. рис. 2d), что приводит к увеличению показателя носочно-пяточного соотношения нагрузки —  $Кнос/пят$  (см. рис. 2e). Кроме того, отмечается увеличение нагрузки на латеральную часть области носка, т.е. увеличение  $Км/л_{нос}$ , что мы связываем с патологической внутренней ротацией стопы в фазу заднего толчка.

Из квантильных диаграмм (см. рис. 2) видно, что по мере увеличения тяжести ДЦП наблюдается планомерное снижение нагрузки на пятку —  $f_{пят}$  (см. рис. 2a) и вследствие этого происходит увеличение носочно-пяточного соотношения нагрузки —  $Кнос/пят$  (см. рис. 2e). Для остальных

показателей не наблюдается столь выраженной тенденции их изменения по мере нарастания нарушений глобальных моторных функций пациента. Наши результаты согласуются с данными литературы, согласно которым с утяжелением двигательных нарушений отмечается нарастание количества деформаций со стороны опорно-двигательного аппарата [20, 28, 29, 30] и, как следствие, нарушение межзонального распределения нагрузки по плантарной поверхности стопы.

Характерные для детей с ДЦП увеличение носочно-пяточного соотношения нагрузки, увеличение нагрузки на свод и уменьшение медио-латерального соотношения нагрузки на носок видны и на примере бароплантограмм, представленных на рисунке 1.

Объективным методом выявлены статистически значимые различия показателей межзонального распределения нагрузки при ходьбе детей с разными уровнями нарушения глобальных моторных функций при ДЦП: по мере утяжеления нарушения глобальных моторных функций отмечалось увеличение этих различий как по количеству показателей, так и по степени их выраженности.

Наиболее чувствительным показателем нарушения межзонального распределения нагрузки на стопы, отражающим тяжесть функциональных нарушений, является увеличение носочно-пяточного соотношения нагрузки вследствие уменьшения ее на пятку и повышения на носок.

Выявленные показатели нарушения переката через стопу целесообразно применять как дополнительные при диагностике состояния пациентов с ДЦП и оценке эффективности их реабилитации.

Представленные выводы основаны на анализе данных, полученных при обследовании наиболее часто встречающихся у детей со спастическими формами ДЦП деформаций стоп — вальгусная, плано-вальгусная и эквино-плано-вальгусная. Поэтому выводы статьи следует с осторожностью применять при варусных и пяточных вариантах деформаций стоп.

#### Этика исследования

Исследования были одобрены этическим комитетом ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта и проводились в соответствии с этическими стандартами, изложенными в Хельсинкской декларации. От всех обследованных было получено информированное согласие на участие в исследовании.

**Конфликт интересов:** не заявлен.

**Источник финансирования:** государственное бюджетное финансирование.

**Вклад авторов**

**Смирнова Л.М.** — консультативная помощь при проведении инструментальных биомеханических обследований, статистическая обработка цифрового материала, написание текста статьи, этапное и заключительное редактирование статьи.

**Джомардлы Э.И.** — анализ литературы, проведение клинического осмотра и биомеханических обследований, формирование статистических форм, сбор и обработка материала, написание текста статьи, этапное и заключительное редактирование статьи.

**Кольцов А.А.** — концепция и дизайн исследования, этапное и заключительное редактирование статьи.

**Литература [References]**

- Valentina J., Davidson S.A., Bear N., Blair E., Paterson L., Ward R. et al. A prospective study investigating gross motor function of children with cerebral palsy and GMFCS level II after long-term botulinum toxin type A use. *BMC Pediatrics*. 2020;20(1):7. doi: 10.1186/s12887-019-1906-8.
- Collado-Garrido L., Paras-Bravo P., Calvo-Martin P., Santibanez-Marguello M. Impact of resistance therapy on motor function in children with cerebral palsy: A systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(22):e4513. doi: 10.3390/ijerph16224513.
- Domagalska-Szopa M., Szopa A. Gait pattern differences among children with bilateral cerebral palsy. *Front Neurol*. 2019;10(183):1-7. doi: 10.3389/fneur.2019.00183.
- Zhou J., Butler E.E., Rose J. Neurologic correlates of gait abnormalities in cerebral palsy: Implications for treatment. *Front Hum Neurosci*. 2017;11(103):1-20. doi: 10.3389/fnhum.2017.00103.
- Кенис В.М. Лечение динамических эквино-плановальгусных деформаций стоп у детей с ДЦП. *Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова*. 2012;4(1):35-40. Kenis V.M. [Management of dynamic equinoplanovalgus feet deformities in children with cerebral palsy]. *Vestnik Severo-Zapadnogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta im. I.I. Mechnikova* [Herald of North-Western State named after I.I. Mechnikov]. 2012;4(1):35-40. (In Russian).
- Galli M., Cimolin V., Pau M., Leban B., Brunner R., Albertini G. Foot pressure distribution in children with cerebral palsy while standing. *Res Dev Disabil*. 2015;41-42:52-57. doi: 10.1016/j.ridd.2015.05.006.
- Kedem P., Scher D.M. Foot deformities in children with cerebral palsy. *Curr Opin Pediatr*. 2015;27(1):67-74. doi: 10.1097/MOP.0000000000000180.
- Munger M.E., Chen B.P.J., MacWilliams B.A., McMulkin M.L., Schwartz M.H. Comparing the effects of two spasticity management strategies on the long-term outcomes of individuals with bilateral spastic cerebral palsy: A multicentre cohort study protocol. *BMJ Open*. 2019;9:e027486. doi: 10.1136/bmjopen-2018-027486.
- Falisse A., Bar-On L., Desloovere K., Jonkers I., De Groote F. A spasticity model based on feedback from muscle force explains muscle activity during passive stretches and gait in children with cerebral palsy. *PLoS*. 2018;13(12):e0208811. doi: 10.1371/journal.pone.0208811.
- Armand S., Decoulon G., Bonnefoy-Mazure A. Gait analysis in children with cerebral palsy. *EFFORT Open Rev*. 2016;1(12):448-460. doi: 10.1302/2058-5241.1.000052.
- Sees J.P., Miller F. Overview of foot deformity management in children with cerebral palsy. *J Child Orthop*. 2013;7:373-377. doi: 10.1007/s11832-013-0509-4.
- Palisano R., Rosenbaum P., Walter S., Russell D., Wood E., Galuppi B. Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 1997;39(4):214-223. doi: 10.1111/j.1469-8749.1997.tb07414.x.
- Wang K.K., Munger M.E., Chen B.P.-J., Novacheck T.F. Selective dorsal rhizotomy in ambulant children with cerebral palsy. *J Child Orthop*. 2018;12:413-427. doi: 10.1302/18632548.12.180123.
- Gulati S., Sondhi V. Cerebral Palsy: An Overview. *Indian J Pediatr*. 2018;85(11):1006-1016. doi: 10.1007/s12098-017-2475-1.
- Meyns P., Kerkum Y.L., Brehm M.A., Becher J.G., Buizer A.I., Harlaar J. Ankle foot orthoses in cerebral palsy: Effects of ankle stiffness on trunk kinematics, gait stability and energy cost of walking. *Eur J Paediatr Neurol*. 2020; 26: 68-74. doi: 10.1016/j.ejpn.2020.02.009.
- Смирнова Л.М., Джомардлы Э.И., Кольцов А.А. Объективные признаки деформаций стоп у детей со спастическими формами детского церебрального паралича: обоснование индивидуального подхода к обеспечению обуви. *Травматология и ортопедия России*. 2019;25(3):90-99. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-90-99. Smirnova L.M., Dzhomardly E.I., Koltsov A.A. [Objective signs of foot deformities in children with spastic forms of cerebral paralysis: justification of individual approach to footwear support]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and orthopedics of Russia]. 2019;25(3):90-99. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-90-99.
- Chen W., Liu X., Pu F., Yang Y., Wang L., Liu H., Fan Y. Conservative treatment for equinus deformity in children with cerebral palsy using an adjustable splint — assisted ankle-foot orthosis. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(40):e8186. doi: 10.1097/MD.00000000000008186.
- Gendy S., Elgebeily M., El-Sobky T.A., Khoshhal K.I., Jawadi A.H. Current practice and preferences to management of equinus in children with cerebral palsy: A survey of orthopedic surgeons. *SICOT J*. 2019;5(3):1-8. doi: 10.1051/sicotj/2019003
- Park K.B., Joo S.Y., Park H., Rhee I., Shin J.K., Abdel-Baki S.W., Kim H.W. Architecture of the triceps surae muscles complex in patients with spastic hemiplegia: implication for the limited utility of the silfverskiold test. *J Clin Med*. 2019;(8):e2096. doi: 10.3390/jcm8122096
- Rethlefsen S.A., Blumstein G., Kay R.M., Dorey F., Wren T.A.L. Prevalence of specific gait abnormalities in children with cerebral palsy revisited: influence of age, prior surgery, and gross motor function classification system level. *Dev Med Child Neurol*. 2017;59(1):79-88. doi: 10.1111/dmcn.13205.
- Park B.S., Chung C.Y., Park M.S., Lee K.M., Cho S.H., Sung K.H. Effects of soft tissue surgery on transverse kinematics in patients with cerebral palsy. *BMC Musculoskelet Disord*. 2019;20(1):566. doi:10.1186/s12891-019-2955-8.
- Kim H.Y., Cha Y.H., Byun J.Y., Chun Y.S., Choy W.S. Changes in gait parameters after femoral derotational osteotomy in cerebral palsy patients with medial femoral

- torsion. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*. 2018;27:194-199. doi: 10.1097/BPB.0000000000000467.
23. Saglam Y., Akalan N.E., Temelii Y., Kuchimov S. Femoral derotation osteotomy with multi-level soft tissue procedures in children with cerebral palsy: does it improve gait quality. *J Child Orthop*. 2016;10(1):41-48. doi: 10.1007/s11832-015-0706-4.
  24. Lee K.M., Chung C.Y., Sung K.H., Kim T.W., Lee S.Y., Park M.S. Femoral anterversion and torsion only explain 25% of variance in regression analysis of foot progression angle in children with diplegic cerebral palsy. *J Neuroeng Rehabil*. 2013;10:56. doi: 10.1186/1743-0003-10-56.
  25. Carty C.P., Walsh H.P.J., Gillett J.G., Phillips T., Edwards J.M., deLacy M., Boyd R.N. The effect of femoral derotation osteotomy on transverse plane hip and pelvic kinematics in children with cerebral palsy: A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture*. 2014;40(3):333-340. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.05.06.
  26. Shuman B.R., Goudriaan M., Desloovere K., Schwatz M.H., Steele K.M. Muscle synergies demonstrate only minimal changes after treatment in cerebral palsy. *J Neuroeng Rehabil*. 2019;16(46):2-7. doi: 10.1186/s12984-019-0502-3.
  27. Barret R.S., Lichtwark G.A. Gross muscle morphology and structure in spastic cerebral palsy: systematic review. *Development Medicine and Child Neurology*. 2010;52(9):794-804. doi: 10.1111/j.1469-8749.2010.03686.x
  29. Choe YR, Kim JS, Kim KH, Yi TI. Relationship between functional level and muscle thickness in young children with cerebral palsy. *Ann Rehabil Med*. 2018;42(2):286-295. doi: 10.5535/arm.2018.42.2.286.
  29. Mutlu A., Pistav-Akmese P., Yardimci B.N., Ogretmen T. What do the relationships between functional classification systems of children with cerebral palsy tell us? *J Phys Sci*. 2016;28:3493-3498. doi: 10.1589/jpts.28.3493.
  30. Cobanoglu M., Cullu E., Omurlu I. The effect of hip reconstruction on gross motor function levels in children with cerebral palsy. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2018;52(1):44-48. doi: 10.1016/j.aott.2017.11.001.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

*Смирнова Людмила Михайловна* — д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела биомеханических исследований опорно-двигательной системы, ФГБУ «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Минтруда России; профессор кафедры биотехнических систем, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», Санкт-Петербург, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4373-9342>

*Джомардлы Эльнур Исфандиярович* — врач травматолог-ортопед, аспирант, ФГБУ «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Минтруда России, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0281-3262>

*Кольцов Андрей Анатольевич* — канд. мед. наук, заведующий детским травматолого-ортопедическим отделением, ФГБУ «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Минтруда России, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0862-8826>

#### AUTHORS' INFORMATION:

*Liudmila M. Smirnova* — Dr. Sci. (Tech.), Leading Researcher, Department of Biomechanical Researches of Musculoskeletal System, Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled named after G.A. Albrecht; Professor of Biotechnical Systems Department, St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4373-9342>

*Elnur I. Dzomardly* — Orthopedic Surgeon, PhD Student, Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled named after G.A. Albrecht, St. Petersburg, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0281-3262>

*Andrey A. Koltsov* — Cand. Sci. (Med.), Chief of Orthopedic Department for Children, Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled named after G.A. Albrecht, St. Petersburg, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0862-8826>