

Объективные признаки деформаций стоп у детей со спастическими формами детского церебрального паралича: обоснование индивидуального подхода к обеспечению обувью

Л.М. Смирнова^{1, 2}, Э.И. Джомардлы¹, А.А. Кольцов¹

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

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

Реферат

Актуальность. У детей с детским церебральным параличом наиболее частой патологией опорно-двигательного аппарата являются деформации стопы. При этом многие из детей с данной патологией пользуются типовой обувью, не учитывающей индивидуальные особенности стопы. **Цель** — обоснование целесообразности индивидуального подхода к ортопедическому обеспечению детей с детским церебральным параличом. **Материал и методы.** Обследовано 220 стоп у 110 человек в возрасте 3–18 лет: 62 пациента со спастическими формами детского церебрального паралича и 48 детей, обследованных во время профилактических осмотров в общеобразовательных учреждениях (контрольная группа). Обследования проведены методами клинического осмотра, компьютерной оптической плантографии и подометрии планшетным сканированием стоп (снизу, сзади, медиально) в позе стоя. **Результаты.** Выявлены статистически значимые различия по 8 показателям деформации стопы в трех плоскостях у детей с детским церебральным параличом по сравнению с нормой, а также различия между группами пациентов с разной степенью нарушения глобальных моторных функций (Gross Motor Functions). Установлено патологическое изменение формы стопы у детей с детским церебральным параличом; статистически значимое различие типов и степеней этих нарушений для групп пациентов с разными уровнями нарушения Gross Motor Functions; выраженная индивидуальность деформации стоп в пределах каждой из этих групп. **Заключение.** Объективно инструментальным методом определено, что основными компонентами деформации стоп у пациентов с детским церебральным параличом с сохранением и реализацией возможности ходьбы являются: снижение высоты продольных сводов, пронация среднего отдела и вальгус заднего отдела стопы, вальгусная деформация первого пальца стопы. Увеличение высоты продольных сводов (полая стопа), супинация среднего отдела и варус заднего отдела стопы являются более редкими компонентами деформаций стоп и чаще встречаются у пациентов с более тяжелыми формами заболевания. Сильный разброс значений параметров формы стопы, выявленный внутри разных групп нарушений моторных функций, указывает на целесообразность применения индивидуального подхода к назначению обуви: типовой, малосложной или сложной ортопедической. Для реализации применения полученных данных в клинической практике целесообразно проведение дополнительного комплекса биомеханических исследований, направленных на разработку критериев назначения и оценки эффективности разных типов обуви не только с учетом анатомических особенностей стопы, но и ее статодинамической функции, а также уровня глобальных моторных функций пациента.

Ключевые слова: детский церебральный паралич, спастичность, деформация стоп, плантография, подометрия, ортопедическое обеспечение.

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 обувью. *Травматология и ортопедия России*. 2019;25(3):90-99. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-90-99.

Cite as: Smirnova L.M., Dzhomardly E.I., Koltsov A.A. [Objective Signs of Foot Deformities in Children with Spastic Form 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.

Кольцов Андрей Анатольевич / Andrey A. Koltsov; e-mail: katandr2007@yandex.ru

Рукопись поступила/Received: 17.01.2019. Принята в печать/Accepted for publication: 27.06.2019.

Objective Signs of Foot Deformities in Children with Spastic Form of Cerebral Paralysis: Justification of Individual Approach to Footwear Support

L.M. Smirnova^{1,2}, E.I. Dzhomardly¹, A.A. Koltsov¹

¹ Federal Scientific Center of Rehabilitation of the Disabled named after G.A. Albrecht, St. Petersburg, Russian Federation

² Saint-Petersburg State Electrotechnical University "LETI" of V.I. Ulyanov (Lenin), St. Petersburg, Russian Federation

Abstract

Relevance. Foot deformities are the most common locomotor pathology in children with infantile cerebral paralysis. At the same time many children suffering from this pathology wear standard shoes that do not take into account the individual foot anatomy. **Purpose of the study** — to justify the expediency of individual approach to orthopaedic support for children with infantile cerebral paralysis. **Materials and methods.** The authors examined 220 feet in 110 patients aging from 3 to 18 years: 62 patients with spastic form of infantile cerebral paralysis and 48 children who were examined during periodic screening at general education institutions (control group). Clinical examination methods, computerized plantography and podometry by flatbed foot scanning (ventrally, posteriorly, medially) in standing position were used in the present study. Results. Statistically significant variances ($p^* < 0.005$) were obtained for 8 indicators of foot deformity in three planes in children with infantile cerebral paralysis as compared to the norm, as well as differences between the groups of patients with varying degree of disorders in gross motor functions. The authors established pathological foot deformities in children with infantile cerebral paralysis; statistically significant variances in types and degrees of these disorders for patient groups with different levels of gross motor functions disorders; distinctiveness of foot deformities within each of the groups. **Conclusion.** Objectively instrumental method was used to identify the main components of foot deformities in patients with infantile cerebral paralysis with preservation and realization of walking capability: loss of height of longitudinal arches, midfoot pronation and hindfoot valgus, hallux valgus. Increased elevation of longitudinal arches (cavus foot), midfoot supination and hindfoot varus are rarer components of deformities occurring more often in patients with severer forms of the pathology. Strong variation in the spread of foot anatomy parameters observed within different groups of motor dysfunctions indicates the expediency of individual approach to footwear recommendations: standard, less or more complex orthopaedic shoes. Implementation of obtained data into the clinical practice requires additional series of biomechanical trials aimed at elaboration of criteria for recommendations and efficiency evaluation of various footwear types that take into account not only specifics of foot anatomy but also its statodynamic function as well as the level of gross motor functions of a particular patient.

Keywords: infantile cerebral paralysis, spasticity, foot deformity, plantography, podometry, orthopaedic support.

Введение

По последним данным мировой литературы, распространенность детского церебрального паралича (ДЦП) составляет до 3,3 на 1000 живорожденных детей [1–7], в настоящее время число таких пациентов продолжает расти [6, 8–10]. Доля спастических форм ДЦП, которые характеризуются ранним проявлением патологических установок и деформаций, составляет не менее 80% от всех форм заболевания [11–13]. Наиболее частой патологией опорно-двигательного аппарата является деформация стоп [4, 14–19]. При этом имеются результаты клинических исследований, указывающие на связь выраженности деформации стопы с тяжестью нарушений опорно-двигательной функции при данном заболевании [20–22].

Родители детей с ДЦП хорошо понимают необходимость использования ортопедической обуви при данной патологии ввиду наглядности результата — улучшения опоры и передвижения ребенка. В то же время, как следует из результатов опроса родителей, многие, если не большинство детей с ДЦП, пользуются не индивидуальной ортопедической обувью, изготовленной на заказ с учетом особенностей формы деформированной стопы, а купленной в ортопедическом салоне или обычном магазине и при этом именуемой ортопедической.

В связи с такой ситуацией мы провели исследование для объективного подтверждения представлений о том, что деформации стоп при спастических формах ДЦП значительно различаются как

по типу, так и по тяжести нарушений и, следовательно, в ортопедическом обеспечении таких пациентов должен превалировать индивидуальный подход.

Цель исследования — обоснование целесообразности индивидуального подхода к ортопедическому обеспечению детей с ДЦП.

Материал и методы

Дизайн исследования: обсервационное одномоментное исследование «случай-контроль».

Пациенты. Методом компьютерной планто-подографии обследованы 220 стоп у 110 человек в возрасте 3–18 лет (61 женского пола и 49 — мужского). Пациенты были разделены на две группы. Одну группу составили 62 пациента с ДЦП (31 женского пола и 31 — мужского), которые проходили реабилитацию в ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта (группа ДЦП). Во вторую группу вошли 48 детей, обследованных во время профилактических осмотров в общеобразовательных учреждениях (контрольная группа).

Критерии включения в группу ДЦП: наличие подтвержденного диагноза «ДЦП, спастическая диплегия» либо «ДЦП, спастический тетрапарез»; возраст от 3 до 17 лет включительно.

Критерии исключения: отсутствие возможности принятия позы стоя босиком (без ортезов, аппаратов, обуви) даже с использованием средств дополнительной опоры (костылей, тростей, ходунков) или с поддержкой со стороны других лиц; неспособность сохранения в этих условиях стабильности позы стоя в течение 5 сек.; тяжелое когнитивное нарушение или эмоциональное состояние обследуемого, не позволяющее добиться контакта с ним для проведения биомеханического обследования; хирургическое лечение стопы в анамнезе; наличие в анамнезе нейрохирургического лечения, направленного на изменение спастичности; ботулинотерапия менее чем за 6 мес. до обследования.

Техника обследования. Все обследования проводились методами клинического осмотра и компьютерной оптической планшетной трехкоординатной планто-подографии на программно-аппаратном комплексе «Скан» (регистрационное удостоверение Росздравнадзора №ФСР 2010/07441). Принципы проведения обследования на диагностическом комплексе изложены в опубликованной ранее статье [23].

Плантограммы и изображения стоп снизу, с медиальной стороны и сзади получали методом сканирования стоп под нагрузкой от веса тела пациента в позе стоя. Для обработки и расчета данных использовалось программное обеспечение «ДиаСкан» (версия 5.0.162), входящее в состав комплекса «Скан».

Статистический анализ

Статистический анализ данных проводился с использованием пакета статистического анализа SPSS 13.0 for Windows. Применялись описательная статистика, непараметрические критерии Краскела–Уоллиса, Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка с критическим уровнем значимости $p = 0,05$, тест Манна–Уитни с критическим уровнем значимости $p^* = 0,0051$, рассчитанным в соответствии с количеством производимых сравнений групп переменных.

Результаты

В результате компьютерного планто-подографического обследования 220 стоп была сформирована база данных из 660 планто-подографических электронных изображений: 220 в сагиттальной плоскости — вид с медиальной стороны, 220 во фронтальной — вид сзади, 220 в горизонтальной — вид плантарной поверхности стопы снизу под нагрузкой от веса тела.

При статистическом анализе данных в качестве независимых переменных были приняты возраст на момент обследования (переменная «Age») и тяжесть заболевания по системе классификации крупных моторных функций — Gross Motor Functions Classification System (GMFCS) (переменная «GMFCS») [24].

При плантографической оценке плоскостопия у детей и подростков принято различать следующие возрастные группы: до 4 лет, 5–7 лет, 8–18 лет, старше 18 лет. Наблюдалось следующее распределение обследованных по этим возрастным группам:

0–4 года — 8 пациентов группы ДЦП и 10 человек контрольной группы;

5–7 лет — 20 в группе ДЦП и 19 — в контрольной группе;

8–18 лет — 34 пациента с ДЦП и 19 — в контрольной группе.

Все обследованные были ранжированы по тяжести заболевания на 4 группы: 0 — отсутствие заболевания, т.е. контрольная группа; 1, 2, 3, 4 — тяжесть проявлений ДЦП по GMFCS от первой до четвертой группы соответственно. Анализ распределения обследованных пациентов по тяжести заболевания по классификации GMFCS показал следующие результаты: группа GMFCS 1 — 9; GMFCS 2 — 16; GMFCS 3 — 20; GMFCS 4 — 17 человек.

В качестве зависимых были приняты 9 переменных, характеризующих форму стопы в трех плоскостях.

В горизонтальной плоскости (плоскости опоры) определяли следующие параметры:

α_1 (°) — угол Шопарова сустава, характеризующий вальгусное/варусное положение среднего отдела стопы. Этот угол образован двумя прямыми

линиями, исходящими из точки, расположенной на наружном (латеральном) крае отпечатка стопы на границе ее задней и средней третей (0,36 длины стопы от пятки), причем одна из линий проходит через наиболее выступающую наружу точку пучков стопы (на линии центров головок плюсневых костей), а другая линия является касательной к наружному краю контура пяточного отдела стоп;

$\alpha 2$ (°) — угол вальгусного отклонения (отведения) первого пальца, образованный внутренней касательной к отпечатку стопы и касательной к отпечатку первого пальца;

$k1$ — коэффициент переднего отдела стопы, характеризующий приведение или отведение переднего отдела стопы (отношение ширины внутренней части линии пучков к наружной, разделяемых продольной осью стопы);

$k2$ — коэффициент распластанности переднего отдела стопы (отношение ширины стопы в пучках к длине стопы);

$k3$ — линейный показатель высоты свода, который определяли по смещению границы «зоны анемии» в среднем отделе стопы в направлении от латерального края отпечатка подошвенной поверхности стопы к медиальному. Увеличение смещения указанной зоны соответствует снижению высоты продольного свода;

S (%) — относительная площадь опоры (отношение площади плантарного отпечатка к площади плантарной поверхности, т.е. площади внутри контура стопы).

В сагиттальной плоскости определяли следующие параметры:

p_h (%) — подометрический индекс (отношение высоты бугристости ладьевидной кости к длине стопы, умноженное на 100%);

h (%) — индекс высоты внутреннего продольного свода (расстояние от плоскости опоры до наиболее высокой точки видимой дуги внутреннего продольного свода, деленное на длину стопы, умноженное на 100%).

Во фронтальной плоскости измеряли только показатель b — фронтальный угол отклонения оси пятки от вертикали («+» — отклонение на вальгус, «-» — на варус).

По данным, представленным в таблице 1, видно, что лишь для переменной h (индекс высоты внутреннего продольного свода) выявлено соответствие закону нормального распределения, причем только по тесту Колмогорова–Смирнова ($p = 0,067$). Поэтому для выявления зависимости между группами GMFCS и формой стопы далее был применен непараметрический критерий Краскела–Уоллиса (табл. 2).

Так как результаты теста Краскела–Уоллиса, представленные в таблице 2, показали статистически значимые различия между разными группами GMFCS по всем параметрам формы стопы, было принято решение о целесообразности проведения дальнейших апостериорных сравнений этих групп при помощи критерия Манна–Уитни (табл. 3).

Таблица 1

Результаты проверки распределения переменных с помощью статистических критериев

Переменная	Уровень значимости p	
	тест Колмогорова–Смирнова	тест Шапиро–Уилка
$\alpha 1$	<0,001	<0,001
$\alpha 2$	<0,001	<0,001
$k1$	<0,001	<0,001
$k2$	<0,001	0,006
$k3$	<0,001	<0,001
S	<0,001	<0,001
p_h	0,008	<0,001
h	0,067	0,001
b	<0,001	<0,001

Таблица 2

Результаты анализа групповых различий критерием Краскела – Уоллиса с группирующей переменной GMFCS в программе SPSS 13.0 for Windows

Показатель	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$k 1$	$k 2$	$k 3$	S	p_h	h	b
χ^2 (хи-квадрат)	28,151	53,431	16,752	33,340	31,346	39,519	72,275	82,999	52,150
Degress of freedom (число степеней свободы)	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Asymp. Sig. (уровень статистической значимости)	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Таблица 3

Результаты сравнения критерием Манна – Уитни групп с различным уровнем нарушений по GMFCS

Сравниваемые группы	Уровень статистической значимости (2-сторонняя) различий для исследуемых переменных								
	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$k 1$	$k 2$	$k 3$	S	p_h	h	b
0 и 1	0,0002	0,1220	0,1173	0,0019	0,9411	0,0892	0,1069	0,0078	0,0164
0 и 2	0,0001	0,0015	0,0732	<0,0001	0,0072	0,3268	0,0004	0,0001	<0,0001
0 и 3	0,0003	<0,0001	0,0086	0,0018	<0,0001	0,9543	<0,0001	<0,0001	<0,0001
0 и 4	0,2880	<0,0001	0,0058	0,1723	0,0151	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
1 и 2	0,5662	0,2058	0,0217	0,9346	0,1171	0,0785	0,1985	0,0811	0,0903
1 и 3	0,3192	0,0226	0,0093	0,4168	0,0050	0,2259	0,0003	<0,0001	0,0432
1 и 4	0,0815	0,0001	0,0093	0,1109	0,2620	0,0077	0,0028	0,0021	0,0357
2 и 3	0,6044	0,4077	0,9097	0,0757	0,0153	0,4784	0,0081	0,0018	0,6208
2 и 4	0,0679	0,0263	0,5330	0,0075	0,0111	<0,0001	0,0548	0,2775	0,4592
3 и 4	0,1191	0,1126	0,4118	0,2411	0,0003	<0,0001	0,6270	0,0430	0,6335

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

Чтобы избежать проблемы множественных сравнений и не принять решение о наличии различий там, где их на самом деле нет, вместо уровня значимости $p = 0,05$ был рассчитан новый критический уровень значимости p^* с учетом производимых сравнений: $p^* = 1 - 0,95^{1/n} = 0,0051$, где n — количество производимых сравнений, т. е. 5.

Для более подробного описания данных мы использовали анализ не только уровней значимости групповых различий, но и квартильных диаграмм (рис.) и медианных значений переменных одних и тех же параметров формы стопы для разных групп GMFCS (табл. 4).

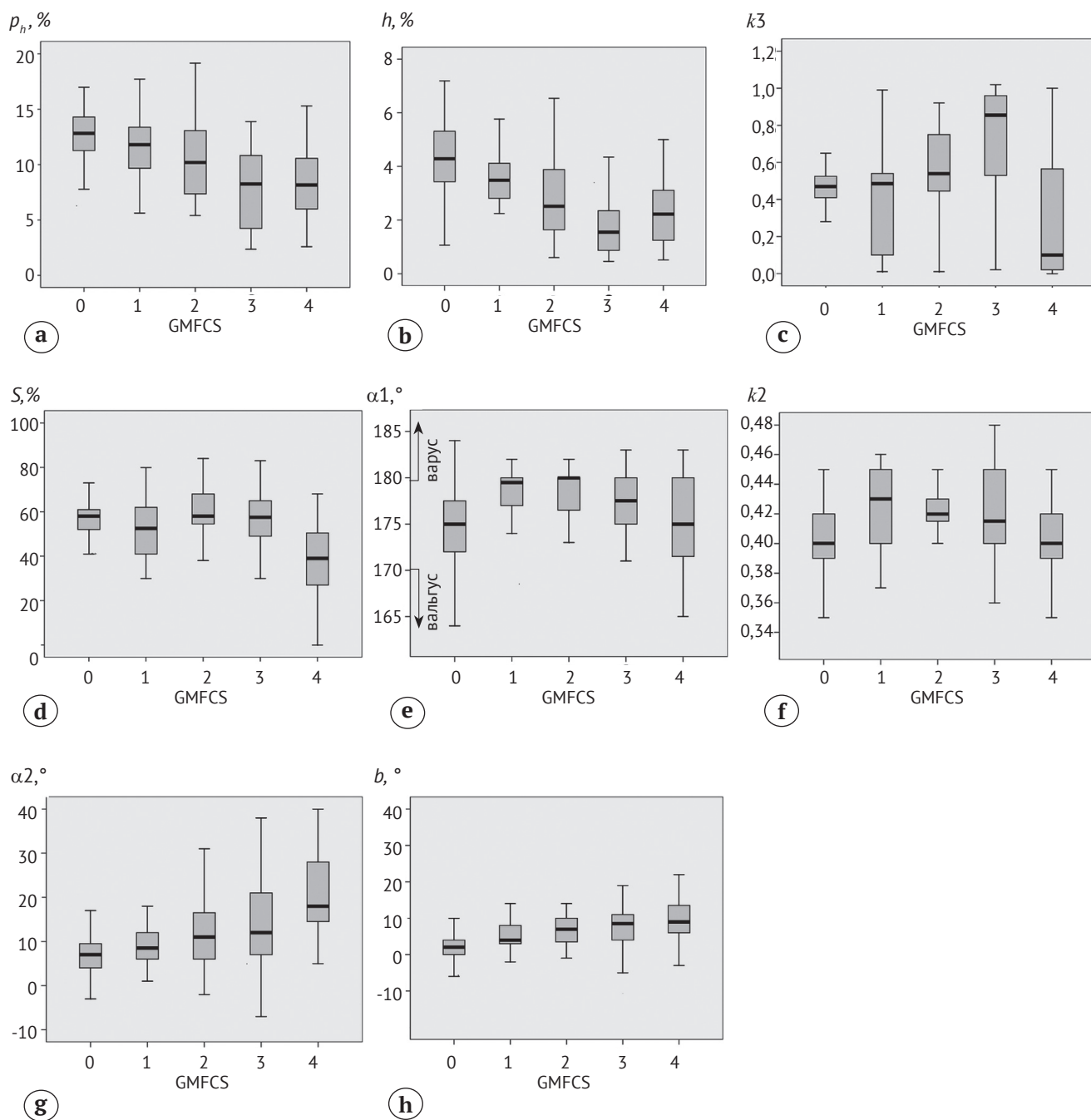


Рис. Квартильные диаграммы переменных для оценки формы стопы детей контрольной группы (0) и пациентов группы с ДЦП при 1–4 степенях нарушения моторных функций по GMFCS: а – подометрический индекс (p_h); б – индекс высоты внутреннего продольного свода (h); в – линейный показатель высоты свода ($k3$); д – относительная площадь опоры стопы (S); е – угол Шопарова сустава ($\alpha1$), ф – коэффициент расплатанности переднего отдела стопы ($k2$); г – угол вальгусного отклонения первого пальца ($\alpha2$); ж – фронтальный угол отклонения оси пятки от вертикали (b). Жирная линия – медиана; нижняя и верхняя границы бокса – 25-й и 75-й проценти, концы усов – 10-й и 90-й проценти

Fig. Quartile charts of variables for assessment of foot anatomy in children from control group (0) and patients with ICP and 1-4 levels of motor dysfunction according to GMFCS: а – podometry index (p_h); б – index of medial longitudinal arch height (h); в – linear parameter of arch height ($k3$); д – relative bearing square of the foot (S), е – Chopart joint angle ($\alpha1$); ф – flattening coefficient of forefoot ($k2$); г – hallux valgus angle ($\alpha2$); ж – frontal angle of heel axis deviation from vertical (b). Bold line – median; lower and upper borders of the box – 25% and 75% percentiles, whiskers ends – 10th and 90th percentiles

Таблица 4
**Медианы исследованных переменных
 для разных групп нарушений по GMFCS**

Переменные	Группы по GMFCS				
	0	1	2	3	4
$p_h, \%$	12,8	11,8	10,2	8,3	8,2
$h, \%$	4,3	3,5	2,5	1,6	2,2
$k3$	0,47	0,49	0,54	0,86	0,1
$S, \%$	58	53	58	58	39
$\alpha 1, ^\circ$	175	180	180	178	175
$k2$	0,4	0,43	0,42	0,42	0,4
$\alpha 2, ^\circ$	7	9	11	12	18
$b, ^\circ$	2	4	7	9	9

Обсуждение

В мировой литературе представлены результаты клинических исследований, указывающие на связь между выраженностью деформации стопы и тяжестью нарушений опорно-двигательной функции у пациентов с ДЦП, причины и механизмы формирования таких деформаций, методы их коррекции, основные компоненты деформации. Однако мы не обнаружили публикаций, посвященных изучению вариабельности анатомических особенностей стоп в зависимости от уровня глобальных моторных функций у детей с этим заболеванием с применением детального статистического анализа. В связи с этим полученные нами результаты, на наш взгляд, содержат новую информацию, углубляющую современные представления о вариантах и степени деформаций стоп у детей со спастическими формами ДЦП.

В нашем исследовании у пациентов с первым уровнем нарушений глобальной моторной функции по GMFCS по сравнению с контрольной группой выявлено статистически значимое отклонение формы стопы лишь по двум переменным: углу Шопарова сустава ($\alpha 1$) и коэффициенту распластанности переднего отдела стопы ($k2$) (см. табл. 3). Полученные нами результаты несколько отличаются от данных J. Wen с соавторами, описывающих в своей работе признаки продольного плоскостопия у детей групп GMFCS 1 и 2 [19], тогда как мы видим преобладание распластанности переднего отдела стоп.

У пациентов со вторым уровнем нарушения глобальных моторных функций значимое отклонение от контрольной группы было определено еще по четырем переменным: $\alpha 2$, b , h , p_h , т. е. характерными компонентами деформации стоп

у них являлись увеличение вальгусного отклонения первого пальца и заднего отдела стопы, снижение высоты внутреннего продольного свода, пронация среднего отдела стопы. Таким образом, наблюдения показали, что с увеличением выраженности нарушений общих моторных функций у детей с ДЦП отмечается нарастание тяжести деформации стоп за счет появления новых компонентов деформации.

Полученные результаты не противоречат данным литературы, согласно которым плано-вальгусная деформация стопы является наиболее частой ортопедической патологией у детей с ДЦП [25–27], но дополняют их статистически значимой информацией о выраженности каждого из компонентов деформации и их зависимости от уровня двигательной активности пациента. Кроме того, у больных группы GMFCS 2 выявлена тенденция к увеличению вальгусного отклонения первого пальца. Несмотря на то, что в литературе данная патология освещена достаточно хорошо, основная масса работ посвящена возможностям ее лечения, и единственным близким по тематике исследованием является работа S. van de Velde с соавторами, в которой описано состояние стоп у 21 подростка с ДЦП. Согласно этой работе, вальгусное отклонение первого пальца наиболее часто встречалось у пациентов с уровнем двигательной активности GMFCS 2 и 3 (48 и 33% соответственно) [28]. В отличие от этого, по нашим данным, вальгусное отклонение первого пальца встречалось у пациентов во всех исследуемых группах с отчетливой тенденцией к увеличению выраженности деформации по мере снижения двигательной активности ребенка, достигая максимума к 4-й группе. При этом следует отметить, что для группы 2 значение угла Шопарова сустава $\alpha 1$ осталось таким же, как для группы 1, а значение коэффициента распластанности переднего отдела стопы $k2$ даже приблизилось к показателям контрольной группы по сравнению с группой 1.

В группе 3 дополнительно к уже отмеченным для групп 1 и 2 значимым переменным $\alpha 1$, $\alpha 2$, $k2$, p_h , h , b добавилась еще переменная $k3$ — показатель высоты свода, при этом значение угла Шопарова сустава $\alpha 1$ не выходило за пределы нормы. Коэффициент распластанности переднего отдела стопы $k2$ не изменился по отношению к значению в группе 2, однако сохранялась тенденция увеличения угла вальгусного отклонения первого пальца $\alpha 2$, что косвенно указывало на нарастание перегрузки переднего отдела стопы. Мы считаем, что у пациентов с третьим уровнем глобальной двигательной активности по GMFCS перегрузка среднего и переднего отделов стоп наиболее выражена по совокупности нескольких причин: с одной стороны — способности к опоре и передвижению,

пусть и с поддержкой, а с другой стороны — значительно более выраженной, по сравнению с первой и второй группами, тяжестью неврологических нарушений: в частности, большей степенью выраженности спастичности и общих двигательных нарушений (патологических установок и деформации проксимально расположенных сегментов нижних конечностей и других отделов тела, нарушения координации), что в итоге приводит к формированию более значимой недостаточности функции мышечно-связочного аппарата. В связи с этим у пациентов группы 3 еще более характерным, чем в предыдущих группах, было вальгусное отклонения пятки и снижение высоты внутреннего продольного свода.

Таким образом, результаты анализа групповых различий переменных указывают на большее количество компонентов деформации стопы у пациентов с более тяжелыми нарушениям двигательной функции по классификации GMFCS, более выраженное вальгусное отклонение первого пальца и пятки, снижение продольных сводов стопы. Исключением является лишь группа 4: в ней по сравнению с контрольной группой было выявлено значимое отличие не по шести переменным, как для группы 3, а только по пяти: α_2 , S , p_h , h , b .

Также обращает на себя внимание, что, в отличие от увеличения медианного значения показателя высоты свода k_3 в группах 1, 2, 3, в группе 4 наблюдается статистически значимое существенное уменьшение этого параметра, что может указывать на повышение продольных сводов. Одной из причин получения таких результатов, на наш взгляд, является наличие в группе 4 пациентов с полыми стопами. Другая причина — более выраженное снижение сводов стопы из-за высоких перегрузок у мобильных пациентов (в группах 2 и 3) в условиях функциональной недостаточности мышечно-связочного аппарата, в отличие от пациентов, не испытывающих подобных перегрузок ввиду выраженного ограничения возможности ходьбы (в группе 4).

Отличительной особенностью пациентов группы 4 является также уменьшение площади опоры на стопу (S), что объясняется наличием у них более тяжелых компонентов деформаций, в частности полой и эквинусной, которые приводят к уменьшению площади опоры — зоны контакта подошвенной поверхности с опорой.

Анализ групп пациентов GMFCS 1 и 2 показал отсутствие статистически значимых различий по всем исследуемым переменным (см. табл. 3). Это объясняется отсутствием их значимого клинического различия: пациенты обеих групп передвигаются самостоятельно (лишь с разной степенью выраженности ограничений). Между тем, для остальных групп пациентов значимое межгрупповое различие было выявлено по одной, двум или даже трем пере-

менным, что объективно отражает клиническую картину. Эти данные согласуются с результатами клинических наблюдений О.А. Клочковой и А.Л. Куренкова, указывающими на сходство выраженности нарушений со стороны опорно-двигательного аппарата у детей с уровнями глобальных моторных функций GMFCS 1 и 2 [29].

Для оценки индивидуальной вариабельности деформаций стоп у детей с ДЦП следует обратить внимание на высокий внутригрупповой разброс значений переменных — большую разницу между значениями, входящими как в диапазон между 25-м и 75-м процентилями (границы «боксов» на диаграмме), так и в диапазон между 10-м и 90-м процентилями (границы «усов» на диаграмме). Эти данные дополнительно указывают на высокую вариабельность формы стопы у детей с ДЦП и необходимость индивидуального подхода при снабжении их ортопедической обувью, но и не исключают возможности минимальных отклонений формы стопы от нормы у некоторых детей с ДЦП даже с выраженными двигательными нарушениями по классификации GMFCS. О большой вариабельности только по одному из компонентов деформации стопы у детей младшего возраста — вальгусной установке — писали С. Church с соавторами [30], тогда как в нашем исследовании инструментальная оценка вариабельности стопы проведена по 8 переменным (компонентам деформации стопы) и по шести из них выявлены различия между разными группами.

Безусловно, индивидуальные признаки деформации стоп у пациентов с ДЦП будут еще более выраженными. В частности, несмотря на снижение высоты продольного свода у большинства пациентов с ДЦП (уменьшение значений переменных p_h и h), у некоторых из них наблюдается полая деформация, при которой высота продольных сводов значительно превышает не только средний, но и максимальный уровень этого параметра в контрольной группе, что следует из анализа квартильных диаграмм. Столь выраженная вариабельность типов и степеней деформаций стопы подчеркивает необходимость применения индивидуального подхода при назначении ортопедических изделий детям с ДЦП. С. Church с соавторами на основании своего исследования, проведенного на 51 пациенте, пришли к выводу об эффективности применения консервативных методов, в частности, ортезирования для коррекции вальгусной установки стопы у детей с ДЦП. По мнению авторов, метод ортезирования наиболее успешен у детей раннего возраста и у пациентов с уровнем глобальных моторных функций GMFCS 1 и 2 [30]. По нашему мнению, в этих случаях особое внимание должно быть обращено на необходимость использования ортопедической обуви, изготовленной индивидуально по слепку или меркам со стопы пациента. При этом

не исключается назначение и асимметричной обуви, когда левая и правая «полупара» будут иметь конструктивные различия. Данное обстоятельство необходимо учитывать при формировании медицинских рекомендаций по назначению технических средств реабилитации.

Благодаря применению современного инструментального метода исследования выявлены с высокой статистической значимостью характерные деформации стоп пациентов со спастическими формами ДЦП с разной степенью нарушения глобальных моторных функций, а также высокая индивидуальность проявления этих деформаций в каждой из групп. Доказанная выраженная вариативность состояния стоп у данного контингента детей, с нашей точки зрения, указывает на целесообразность применения индивидуального подхода к назначению обуви: типовой, малосложной или сложной ортопедической. Для применения полученных данных в клинической практике целесообразно проведение дополнительного комплекса биомеханических исследований, направленных на разработку критериев назначения и оценки эффективности разных типов обуви не только с учетом анатомических особенностей стопы, но и ее статодинамической функции, а также уровня глобальных моторных функций пациента.

Этика исследования

Исследования были одобрены этическим комитетом ФГБУ «ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта» Минтруда России и проводились в соответствии с этическими стандартами, изложенными в Хельсинской 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. — статистическая обработка цифрового материала, написание базового текста статьи, этапное и заключительное редактирование статьи.

Джомардлы Э.И. — сбор информации, обработка материала, написание базового текста статьи, этапное и заключительное редактирование статьи.

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

Литература [References]

1. Armand S., Decoulon G., Bonnefoy-Mazure A. Gait analysis in children with cerebral palsy. *EFORT Open Rev.* 2016;1:448-460. doi: 10.1302/2058-5241.1.000052.
2. Colver A., Fairhurst C., Pharoah P.O. Cerebral palsy. *Lancet.* 2014; 383: 1240-1249. doi: 10.1016/S0140-6736(13)61835-8.
3. Narayanan U.G. Lower Limb Deformity in Neuromuscular Disorders: Pathophysiology, Assessment, Goals, and Principles of Management. In: *Pediatric lower limb deformities: principles and techniques of management.* Cham : Springer, 2016; 267-269.
4. Tolentino J., Talente G. Cerebral Palsy. In: *Care of Adults with Chronic Childhood Conditions.* Cham : Springer. 2016; 67-85. doi: 10.1007/978-3-319-43827-6_5.
5. Stavsky M., Mor O., Mastrolia S.A., Greenbaum S., Than N.G., Erez O. Cerebral palsy — trends in epidemiology and recent development in prenatal mechanisms of disease treatment, and prevention. *Front Pediatr.* 2017;5:21. doi: 10.3389/fped.2017.00021.
6. Goodwin J., Colver A., Basu A., Crombie S., Howel D. et al. Understanding frames: A UK survey of parents and professionals regarding the use of standing frames for children with cerebral palsy. *Child Care Health Dev.* 2018;44(2):195-202. doi: 10.1111/cch.12505.
7. Winter S. Cerebral Palsy. In: Rubin I.L., Merrick J., Greydanus D.E., Patel D.R. (eds). *Health Care for People with Intellectual and Developmental Disabilities across the Lifespan.* Switzerland: Springer; 2016. doi: 10.1007/978-3-319-18096-0_80.
8. Cauraugh J.H., Naik S.K., Hsu W.H., Coombes S.A., Holt K.G. Children with cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis on gait and electrical stimulation. *Clin Rehabil.* 2010;24(11):963-978.
9. Julieanne P.S., Freeman M. Overview of foot deformity management in children with cerebral palsy. *J Child Orthop.* 2013;7(5):373-377. doi: 10.1007/s11832-013-0509-4.
10. Kirby R.S., Wingate M.S., Van Naarden B.K., Doernberg N.S., Arneson C.L., Benedict R.E. et al. Prevalence and functioning of children with cerebral palsy in four areas of the United States in 2006: a report from the Autism and developmental disabilities monitoring network. *Res Dev Disabil.* 2011;32(2):462-469.
11. Ключкова О.А., Куренков А.Л., Кенис В.М. Формирование контрактур при спастических формах детского церебрального паралича: вопросы патогенеза. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2018;6(1): 58-66. doi: 10.17816/PTORS6158-66.
12. Klochkova O.A., Kurenkov A.L., Kenis V.M. [Development of contracture in spastic forms of cerebral palsy: pathogenesis and prevention]. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta* [Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery]. 2018;6(1):58-66. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS6158-66.
13. Solopova I.A., Moshonkina T.R., Umnov V.V., Vissarionov S.V., Baidurashvili A. G., Gerasimenko Yu.P. Neurorehabilitation of patients with cerebral palsy. *Human Physiology.* 2015;41(4):448-454.
14. Munger M.E., Chen B.P., 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(6):e027486. doi: 10.1136/bmjopen-2018-027486.
15. 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.
16. Кенис В.М. [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).
15. Рыжиков Д.В. Оперативное лечение эквино-плосковальгусной деформации стоп у детей больных детским церебральным параличом. *Гений ортопедии*. 2010;(3):95-100.
Ryzhikov D.V. [Surgical treatment of feet equinoplanovalgus deformity in children with infantile cerebral paralysis]. *Genij Ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2010;3:95-100. [In Russian].
 16. Choi J.Y., Jung S., Rha D.W., Park E.S. Botulinum toxin type A injection for spastic equinovarus foot in children with cerebral palsy: effects on gait and foot pressure distribution. *Yonsei Med J*. 2016;57(2):496-504. doi: 10.3349/ymj.2016.57.2.496.
 17. 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.
 18. 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.
 19. Wen J., Liu H., Xiao S., Li X., Fang K., Zeng M. et al. Comparison of mid-term efficacy of spastic flatfoot in ambulant children with cerebral palsy by 2 different methods. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(22):e7044. doi: 10.1097/MD.00000000000007044.
 20. Сычевский Л.З., Аносов В.С., Мармыш А.Г. Динамическая фотоплантография в диагностике деформаций стопы при детском церебральном параличе. *Журнал Гродненского государственного медицинского университета*. 2010;2:51-53.
Sychevskiy L.Z., Anosov V.S., Marmysh A.G. [Dynamic computer photoplantography for estimate foot deformity in patients with cerebral palsy]. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta* [Journal of Grodno State Medical University]. 2010;2:51-53.
 21. Karamitopoulos M.S., Nirenstein L. Neuromuscular foot: spastic cerebral palsy. *Foot Ankle Clin*. 2015;20(4):657-668. doi: 10.1016/j.fcl.2015.07.008.
 22. Miller F. Foot Deformities Impact on Cerebral Palsy Gait. In: *Cerebral Palsy*. 2018. doi: 10.1007/978-3-319-50592-3_201-1.
 23. Smirnova L.M. Hardware-Software Complex for Assessment of Anatomic-Functional Disturbances and Orthosis Efficiency in Patients with Foot Pathology. *Biomed Eng*. 2009;43(6):260-264. doi: 10.1007/s10527-010-9137-1.
 24. 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.
 25. Chen W., Yao J., Yang Y., Liu X., Wang L., Pu F., Fan Y. Relationship between subtalar joint stiffness and relaxed calcaneal stance position in cerebral palsy children with valgus deformities. *BioMed Res Int*. 2018;(2018):1-10. doi: 10.1155/2018/6576108.
 26. Умнов В.В., Умнов Д.В. Особенности патогенеза, клиники и диагностики эквино-плано-вальгусной деформации стоп у больных детским церебральным параличом. *Травматология и ортопедия России*. 2013;(1):93-98. doi:10.21823/2311-2905-2013-1-93-98.
Umnov V.V., Umnov D.V. Features of pathogenesis, clinics and diagnostics of equinoplanovalgus in patients with cerebral palsy. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2013;(1):93-98. (In Russian). doi:10.21823/2311-2905-2013--1-93-98.
 27. Boulay C., Jacquemier M., Castanier E., Giorgi H., Authier G., Pomeroy V. et al. Planovalgus foot deformity in cerebral palsy corrected by botulinum toxin injection in the peroneus longus: Clinical and radiological evaluations in young children. *Ann Phys Rehabil Med*. 2015;58(6):316-321. doi: 10.1016/j.rehab.2015.09.001.
 28. van de Velde S.K., Cashin M., Johari R., Blackshaw R., Khot A., Graham H.K. Symptomatic hallux valgus and dorsal bunion in adolescents with cerebral palsy: clinical and biomechanical factors. *Dev Med Child Neurol*. 2018;60(6):624-628. doi: 10.1111/dmcn.13724.
 29. Ключкова О.А., Куренков А.Л. Выбор целей и приоритетов ботулинотерапии у пациентов с детским церебральным параличом. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2019;(2):118-124. doi: 10.17116/jnevro2019119021118.
Klochkova O.A., Kurenkov A.L. [Priorities and Goals of Botulinum Toxin A Treatment in Cerebral Palsy]. *Zhurnal neurologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova* [Neuroscience and Behavioral Physiology]. 2019;(2):118-124. doi: 10.17116/jnevro2019119021118.
 30. Church C., Lennon N., Alton R., Schwartz J., Niiler T., Henley J., Miller F. Longitudinal change in foot posture in children with cerebral palsy. *J Child Orthop*. 2017;11(3):229-236. doi: 10.1302/1863-2548.11.160197.

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

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

Кольцов Андрей Анатольевич — канд. мед. наук, врач травматолог-ортопед, заведующий 1-м детским травматолого-ортопедическим отделением клиники, ФГБУ «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Минтруда России, Санкт-Петербург

AUTHOR'S AFFILIATIONS:

Ludmila M. Smirnova — Dr. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Department of Biomechanical Researches of Musculoskeletal System, Federal Scientific Center of Rehabilitation of the Disabled named after G.A. Albrecht; professor Biotechnical Systems Chair, Saint-Petersburg State Electrotechnical University “LETI” of V.I. Ulyanov (Lenin), St. Petersburg, Russian Federation

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

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