



Биомеханическое исследование ходьбы и вертикальной позы детей 4–6 лет со спастическими формами детского церебрального паралича

Рукина Н.Н., Шейко Г.Е., Кузнецов А.Н., Воробьева О.В.

Приволжский исследовательский медицинский университет Минздрава России, Нижний Новгород, Россия

Резюме

Реабилитация детей с детским церебральным параличом (ДЦП) требует системного подхода и динамичной оценки достигаемых результатов. Большую значимость для современной медицинской реабилитации представляет разработка методов оценки динамики двигательных нарушений в ходе проведения медицинской реабилитации. В последние годы появляется всё больше научных работ, посвященных изучению биомеханических нарушений локомоции у пациентов с ДЦП.

Цель исследования. Изучить особенности биомеханических характеристик ходьбы и устойчивости вертикальной позы детей 4–6 лет со спастическими формами ДЦП для дальнейшего формирования реабилитационных групп с учетом выявленных функциональных нарушений.

Материалы и методы. В исследование включено 20 пациентов (5,4±0,67 лет) со спастическими формами ДЦП. Выполнен сравнительный анализ биомеханических показателей при ходьбе и стоянии в вертикальной позе детей со спастической диплегией и гемиплегической формой ДЦП между собой и с группой условно здоровых детей (группа нормы) (n=12).

Результаты. У детей с геми- и парапарезом было выявлено статически значимое снижение следующих показателей по данным подографического исследования: скорость ходьбы, длина двойного шага и угол сгибания / разгибания в тазобедренном суставе. При спастической диплегии отклонения более выражены, но не всегда равнозначны для обеих конечностей; наблюдается нарушение пропорций цикла шага. При гемиплегической форме ДЦП снижение длины двойного шага более выражено на пораженной конечности, наблюдается снижение угла сгибания / разгибания в тазобедренном суставе, более выражено на здоровой конечности. По данным стабิโลграфического исследования в обеих исследуемых группах наблюдается высокий разброс значений. Однако, в группе детей с гемипарезом статистически значимо отличается от нормы только среднее положение центра давления относительно фронтальной плоскости. При парапарезе таких отличий от нормы гораздо больше: площадь статокинезиограммы, максимальная амплитуда колебаний центра давления и энергия спектра частот.

Заключение. Выявленные биомеханические особенности ходьбы и устойчивости вертикальной позы детей со спастическими формами ДЦП могут послужить основой для разработки программ реабилитации. Клинико-реабилитационные группы детей с ДЦП необходимо формировать с учетом тяжести статико-динамических нарушений, имеющихся у пациентов. Такой подход позволит планировать дальнейшее восстановительное лечение таких пациентов и адекватно оценивать получаемые результаты.

Ключевые слова: биомеханика, подография, видеонализ ходьбы, стабิโลграфия, детский церебральный паралич, гемипарез, парапарез

Источник финансирования: Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования.

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

Для цитирования: Рукина Н.Н., Шейко Г.Е., Кузнецов А.Н., Воробьева О.В. Биомеханическое исследование ходьбы и вертикальной позы детей 4–6 лет со спастическими формами детского церебрального паралича. *Вестник восстановительной медицины*. 2021; 20 (2): 49–61. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-20-2-49-61>

Для корреспонденции: Рукина Наталья Николаевна, e-mail: rukinnan@mail.ru

Статья получена: 13.01.2021

Статья принята к печати: 17.03.2021

Biomechanical Study of Walking and Vertical Posture in 4–6-year-old Children with Spastic Forms of Cerebral Palsy

Natalia N. Rukina, Gennadiy E. Sheiko, Alexey N. Kuznetsov, Olga V. Vorobyova

Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Abstract

Rehabilitation of children with cerebral palsy (CP) requires a systematic approach and dynamic assessment of the results achieved. The development of methods for assessing the dynamics of motor disorders during medical rehabilitation is of great importance for modern medical rehabilitation. In recent years, there are more and more scientific papers devoted to the study of biomechanical disorders of locomotion in patients with CP.

The aim. To assess the features of walking biomechanical characteristics and vertical pose stability in of children 4-6 years old with spastic forms of CP for further formation of rehabilitation groups, taking into account the identified functional disorders.

Materials and methods. The study included 20 patients (5.4±0.67 years) with spastic forms of CP. A comparative analysis of walking parameters and stabilography of children with spastic diplegia and hemiplegic CP among themselves and with a group of conditionally healthy children (norm group) (n=12) was performed.

Results. A statistically significant decrease in the following indicators was found in children with hemi- and paraparesis: walking speed, double step length, and hip flexion/extension angle. Deviations of indicators are more pronounced in spastic diplegia, but are not always equivalent for both limbs; there is a violation step cycle proportions. The decrease in the length of the double step is more pronounced on the affected limb; there is a decrease in the angle of flexion/extension in the knee joint, more pronounced on a healthy limb in patients with hemiplegic CP. A wide range of stabilographic indicators values is observed in both study groups. However, only the average position of the pressure center relative to the frontal plane statistically significantly differs from the norm in the group of children with hemiparesis. In paraparesis, such differences from the norm are much more common: the area of the statokinesiogram, the maximum amplitude of fluctuations in the center of pressure and the energy of the frequency spectrum. The range of values for most indicators in paraparesis is wider.

Conclusion. The revealed biomechanical features of walking and stability of the vertical posture of children with spastic forms of CP can serve as a basis for the development of rehabilitation programs. Clinical and rehabilitation groups of children with CP should be formed taking into account the severity of static-dynamic disorders present in patients. This approach will make it possible to plan further rehabilitation treatment of such patients and adequately assess the results obtained.

Keywords: biomechanics, podography, video analysis of walking, stabilography, cerebral palsy, hemiparesis, paraparesis

Acknowledgments: The study had no sponsorship.

Conflict of interest: The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Rukina N.N., Sheiko G.E., Kuznetsov A.N., Vorobyova O.V. Biomechanical Study of Walking and Vertical Posture in 4-6-year-old Children with Spastic Forms of Cerebral Palsy. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2021; 20 (2): 49-61. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-20-2-49-61>

For correspondence: Natalia N. Rukina, e-mail: rukinann@mail.ru

Received: Jan 13, 2021

Accepted: March 17, 2021

Введение

Детский церебральный паралич (ДЦП) является одной из самых частых причин инвалидизации детей и представляет собой группу перманентных нарушений моторики и поддержания позы, обусловленных непрогрессирующим повреждением и / или аномалией развивающегося головного мозга у плода или новорожденного ребёнка [1, 2]. В России распространённость ДЦП составляет 2,5-5,9 случая на 1000 новорожденных, что в целом соответствует общемировой эпидемиологической обстановке по данному заболеванию [3, 4]. Двигательные нарушения, которые развиваются вследствие повреждения мозга различного происхождения на ранних этапах его развития, зачастую являются ключевым проявлением ДЦП, значительно ограничивающим жизнедеятельность маленького пациента [5-8]. Реабилитация детей с ДЦП требует системного подхода и динамичной оценки достигаемых результатов [9, 10]. Большую значимость для современной медицинской реабилитации представляет разработка методов оценки динамики двигательных нарушений в ходе проведения медицинской реабилитации. В последние годы появляется всё больше научных работ, посвященных изучению биомеханических нарушений локомоции у пациентов с ДЦП [11-19]. Несмотря на это, оценка биомеханических показателей нарушений движений у детей с ДЦП до сих пор не используется в рутинной клинической практике для планирования и оценки результатов медицинской реабилитации, что, вероятно, связано с недостаточной изученностью данного вопроса.

Цель исследования

Изучить особенности биомеханических характеристик ходьбы и устойчивости вертикальной позы детей 4-6 лет со спастическими формами ДЦП для дальнейшего формирования реабилитационных групп с учетом выявленных функциональных нарушений.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 20 пациентов (средний возраст 5,4±0,67 лет) со спастическими формами

ДЦП, преимущественно мужского пола (n=14) с установленным диагнозом ДЦП, согласно МКБ-10, (диагностическая категория G80). У 8 пациентов отмечалась спастическая диплегия (G80.1); у 12 пациентов – гемиплегическая форма (G80.2). Клиническая характеристика пациентов представлена в таблице 1.

Пациенты не различались по большинству клинических показателей и результатов оценки по шкалам. Статистически значимые различия в баллах по шкале классификации функции рук (Manual Ability Classification System – MACS) связаны с тем, что у большей части пациентов с диплегией (G80.1) отмечалась спастичность в нижних конечностях.

Аппаратура. Исследования ходьбы выполнялись на подографической дорожке Walkway производства Tek-Scan (США) и на системе видеонализа движений Simi Aktisys (Германия). Стабилографические исследования проводились на стабилоплатформе ST-150 (Россия). Протокол биомеханического обследования включал подографию, 2D видеонализ ходьбы и стабилографию.

Подография. Изучение показателей ходьбы осуществлялось следующим образом: обследуемый в носках проходил по подографической дорожке 8-10 метров обычной походкой, соблюдая заданный темп. Протокол подографического обследования включал временные и пространственные параметры: скорость ходьбы, период шага (время шага), длина шага, ширина шага, максимальная сила толчка, угол разворота стопы, цикл шага, период опоры, период переноса, коэффициент ритмичности ходьбы).

2D видеонализ ходьбы. После размещения маркеров в проекции плечевого, тазобедренного, коленного, голеностопного суставов и в области боковой проекции 5-ой пястной кости стопы пациент проходил по ровной поверхности с произвольной скоростью 3 метра вперед, затем разворачивался и проходил 3 метра назад (для регистрации перемещения пациента с левой и правой стороны). В каждом проходе проводилась видеозапись ходьбы. Проводилась оценка следующих параметров: углы сгибания тазобедренного, коленного и голеностоп-

Табл. 1. Клиническая характеристика пациентов
Table 1. Clinical characteristics of patients

Шкала опросник / Scale questionnaire	Среднее значение показателя / Average value of the indicator		p
	Спаستическая диплегия / Spastic diplegic cerebral palsy (G80.1), n=8	Гемиплегическая форма / Spastic hemiplegic cerebral palsy (G80.2), n=12	
Возраст, лет / Age, years	5,2±0,78	5,3±0,65	0,913
Пол, мужской / Gender, male	5 (62,5%)	9 (75%)	0,237
GMFCS	2[2;2]	2[1;2]	0,057
GMFM-88, %	78,2±4,4	83,0±3,0	0,378
ш. Эшворта / Ashworth Scale	3[3;3,5]	3[2,5;4]	0,935
MACS	1[1;1]	2[2;3]	0,003
ВАШ / VAS	2[1;4]	2[1,5;2]	0,656

Примечание: Используемые шкалы: шкала классификации глобальных моторных функций (Global Motor Function Classification System, GMFCS), шкала оценки глобальных моторных функций (Gross motor function measure 88, GMFM-88), модифицированная шкала спастичности Эшворта, визуально-аналоговую шкалу (ВАШ), система классификации мануальных способностей для детей с церебральным параличом (Manual Ability Classification System, MACS)
Note: Scales: Global Motor Function Classification System (GMFCS), Gross motor function measure 88 (GMFM-88), Modified Ashworth Scale, Visual analogue scale, Manual Ability Classification System (MACS)

ного суставов в сагиттальной плоскости и наклон туловища во время ходьбы.

Стабилография. Исследование проводилось при спокойном стоянии пациента в американской позиции (стопы ног параллельны) на стабилметрической платформе с открытыми глазами. Продолжительность пробы составляла 60 секунд. Протокол стабилографического обследования включал следующие оцениваемые параметры: положение центра давления, длина пути центра давления, площадь статокинезиограммы, скорость перемещения центра давления, максимальная амплитуда колебаний.

Выполнен сравнительный анализ показателей ходьбы и стабилографии детей с ДЦП с группой условно здоровых детей (далее группа нормы) (n=12).

Исследование проводилось на базе Университетской клиники ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России в период с 2017г. по 2019г. и было одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, (протокол №4 от 29.03.2017 г.).

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием программы MedCalc Statistical Software, Microsoft Office Excel 2010 и среды вычислений R. Проверка нормальности распределения количественных признаков проводилась с использованием критерия Шапиро-Уилка. Основные статистики, приводимые далее, имеют следующие обозначения: Me – медиана, Q1 – верхний квартиль, Q3 – нижний квартиль, Mean – среднее арифметическое, SD – среднее квадратичное отклонение (СКО), n – объем анализируемой подгруппы, p – величина статистической значимости различий. Данные в таблицах представлены в виде Me[Q1;Q3] и Mean±SD. Выявление статистически значимых различий между несвязанными выборками выполнялись с помощью методов параметрической и непараметрической статистики: критерия Стьюдента и критерия Манна-Уитни. Для проверки гипотезы о зависимости качественных и порядковых признаков использовался критерий χ^2 Пирсона для таблиц сопряженности. Критическое значение уровня значимости принимали равным 5% (p≤0,05) Учитывались тенденции

до p<0,2. Степень различия между группами по исследуемым параметрам отображена в процентной разнице относительно группы нормы.

Результаты

Подографическое исследование детей с ДЦП. Оценивались показатели симметрии левой и правой нижних конечностей (в группе нормы) и больной и здоровой нижних конечностей (в группах с геми- и парапарезом) во время ходьбы в свободном темпе. Все показатели симметрии ходьбы приведены в таблице 2.

При сравнении группы пациентов с гемипарезом и группы нормы нами выявлены следующие статистически значимые различия: симметрия периодов шага снижена в группе с гемипарезом на 6% (p<0,05); симметрия периодов опоры – на 5,9% (p<0,01); симметрия периодов переноса (коэффициент ритмичности) – на 5,4% (p<0,01); симметрия периодов одиночной опоры – на 4,8% (p<0,05); симметрия периодов опоры на пятку – на 22,2% (p<0,05); симметрия средней фазы опоры – на 38,5% (p<0,05); симметрия пропульсивных периодов – на 19,1% (p<0,05). Кроме этого выявлены тенденции: симметрия начальной фазы двойной опоры снижена на 11% (p<0,1); симметрия заключительной фазы двойной опоры – на 11% (p<0,1).

При сравнении пациентов с парапарезом с группой нормы, статистически значимое снижение в исследуемой группе наблюдалось по следующим показателям: симметрия периодов опоры снижена на 2,9% (p<0,05); симметрия периодов опоры на пятку – на 27,6% (p<0,05); симметрия средней фазы опоры – на 41,6% (p<0,05). Выявлены следующие тенденции: симметрия скорости двойного шага снижена на 2,4% (p<0,1); симметрия периодов переноса (коэффициент ритмичности) – на 5,3% (p<0,1); симметрия пассивного пропульсивного периода – на 29,4% (p<0,1); симметрия периодов одиночной опоры – на 6,2% (p<0,2); симметрия пропульсивных периодов – на 10,6% (p<0,2).

Исходя из результатов подографического исследования, можно сделать вывод, что для пациентов с гемипарезом характерно более выраженное нарушение симметрии при ходьбе в периоде опоры. Кроме того, такие показатели, как время контакта пятки с опорой, время

Табл. 2. Показатели симметрии ходьбы в группах нормы, гемипареза и парапареза
Table 2. Indicators of walking symmetry in the norm, hemiparesis and paraparesis groups

Показатели симметрии / Symmetry indicators	Норма / Norm			Гемипарез / Hemiparesis			Парапарез / Paraparesis		
	Среднее / Average value	СКО / SD	КВ / CV	Среднее / Average value	СКО / SD	КВ / CV	Среднее / Average value	СКО / SD	КВ / CV
Время шага (%) / Step time (%)	95,11	2,32	2,44	89,38	6,74	7,54	92,85	6,52	7,02
Длина шага (%) / Step length (%)	94,50	5,10	5,40	92,88	5,55	5,98	88,73	9,13	10,29
Скорость ходьбы (%) / Walking velocity (%)	90,70	6,62	7,30	87,63	8,60	9,81	88,36	10,44	11,82
Длина шага, длина ноги (%) / Step length, leg length (%)	94,41	5,50	5,82	93,10	4,93	5,30	86,05	8,90	10,34
Ширина шага (%) / Step width (%)	91,03	8,36	9,18	94,78	5,17	5,45	92,58	5,13	5,55
Время двойного шага (%) / Stride time (%)	98,72	1,21	1,22	97,88	2,62	2,68	98,15	1,45	1,48
Длина двойного шага (%) / Stride length (%)	98,31	0,82	0,84	98,04	1,79	1,83	96,81	2,61	2,69
Скорость двойного шага (%) / Stride velocity (%)	97,58	1,77	1,81	96,90	3,76	3,88	95,25	3,41	3,58
Максимальная сила (%) / Maximum force (%)	95,66	2,86	2,99	93,41	6,00	6,43	95,20	3,68	3,86
Импульс (%) / Impulse (%)	94,74	3,68	3,89	90,00	7,79	8,66	93,80	6,71	7,15
Максимальное пиковое давление (%) / Maximum peak pressure (%)	92,37	5,69	6,16	80,83	12,79	15,82	83,42	13,90	16,67
Угол разворота стопы (%) / Foot angle (%)	52,11	30,09	57,74	37,37	29,25	78,25	41,88	39,25	93,73
Время цикла шага (%) / Step cycle time (%)	98,72	1,21	1,22	97,88	2,62	2,68	98,15	1,45	1,48
Время опоры (%) / Support time (%)	98,42	1,36	1,38	92,63	4,76	5,14	95,58	3,26	3,41
Время переноса (%) / Transfer time (%)	97,21	1,71	1,76	92,00	4,87	5,29	92,04	7,50	8,15
Время одиночной опоры (%) / Single support time (%)	96,38	3,37	3,50	91,72	5,66	6,18	90,41	9,55	10,56
Время начала двойной опоры (%) / Initial double support time (%)	88,61	7,75	8,75	78,88	15,55	19,71	88,43	8,57	9,69
Время окончания двойной опоры (%) / Terminal double support time (%)	88,61	7,75	8,75	78,88	15,55	19,71	88,43	8,57	9,69
Общее время двойной опоры (%) / Total double support time (%)	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
Время контакта пятки с опорой (%) / Heel contact time (%)	89,28	12,72	14,25	69,48	19,30	27,78	64,66	25,31	39,14
Время контакта полной стопы с опорой (%) / Foot flat time (%)	77,97	15,80	20,26	71,53	12,76	17,84	73,26	26,28	35,87
Время середины фазы опоры (%) / Support mid-phase time (%)	84,28	18,74	22,24	51,86	20,12	38,79	49,24	30,58	62,10
Время движения (%) / Gait time (%)	88,08	11,55	13,11	71,28	13,91	19,51	78,71	15,20	19,31
Активный пропульсивный период (%) / Active propulsion time (%)	74,81	18,58	24,83	64,44	21,53	33,41	77,54	18,44	23,78
Пассивный пропульсивный период (%) / Passive propulsion time (%)	89,35	9,28	10,38	74,18	22,09	29,78	63,08	36,34	57,61

Примечание: СКО – среднее квадратичное отклонение, КВ – коэффициент вариаций
Note: MSD – mean squared deviation, CV – coefficient of variation

Табл. 3. Средние групповые значения биомеханических показателей пациентов с гемипарезом и здоровых испытуемых (видеозахват движений)**Table 3.** Average group values of biomechanical parameters of patients with hemiparesis and healthy subjects (video capture of movements)

Параметр / Parameter	Норма / Norm		Гемипарез / Hemiparesis		p
	Среднее / Mean	СКО / SD	Среднее / Mean	СКО / SD	
Скорость ходьбы Б (км/ч) / Gait velocity P (km/h)	3,15	1,06	3,60	0,90	0,03
Фаза опоры Б (%) / Foot flat time P (%)	64,24	5,11	60,74	3,31	0,60
Фаза переноса Б (%) / Transfer time P (%)	35,76	5,11	39,26	3,31	0,60
Длина двойного шага Б (м) / Stride time P (m)	0,86	0,24	0,97	0,22	0,04
Угол сгибания / разгибания в тазобедренном суставе Б (°) / Angle of flexion/extension in the hip joint P (°)	43,58	9,06	48,54	8,84	0,43
Угол сгибания/разгибания в коленном суставе Б (°) / Angle of flexion/extension in the knee joint P (°)	55,22	11,56	57,47	13,81	0,19
Угол сгибания / разгибания в голеностопном суставе Б (°) / Angle of flexion/extension in the ankle joint P (°)	27,65	8,61	29,33	8,80	0,47
Скорость ходьбы З (км/ч) / Gait velocity H (km/h)	3,36	1,20	3,57	1,11	0,01
Фаза опоры З (%) / Foot flat time H (%)	62,43	5,67	62,81	3,49	0,64
Фаза переноса З (%) / Transfer time H (%)	37,57	5,67	37,20	3,49	0,64
Длина двойного шага З (м) / Double step length H (m)	0,89	0,23	0,95	0,22	0,18
Угол сгибания/разгибания в тазобедренном суставе З (°) / Angle of flexion/extension in the hip joint H (°)	44,56	8,39	44,03	9,83	0,03
Угол сгибания/разгибания в коленном суставе З (°) / Angle of flexion/extension in the knee joint H (°)	58,40	11,46	61,11	9,78	0,08
Угол сгибания/разгибания в голеностопном суставе З (°) / Angle of flexion/extension in the ankle joint H (°)	34,19	9,63	34,64	11,38	0,90

Примечание: Б – больная, паретичная нижняя конечность, З – здоровая нижняя конечность**Note:** P – parietic lower limb, H – healthy lower limb

середины фазы опоры и пропульсивного периода статистически значимо различаются в худшую сторону в сравнении с группой нормы.

У детей в группе с парапарезом наиболее выражено нарушение симметрии средних фаз опоры и периодов опоры на пятку. Также имеется тенденция к нарушению симметрии пассивных пропульсивных периодов.

При сравнении показателей симметрии подографического исследования между исследуемыми группами, отмечается более выраженное снижение показателей в группе с гемипарезом, но, стоит заметить, что разброс значений в представленном множестве (СКО – среднеквадратичное отклонение) был больше у пациентов с парапарезом, что, вероятно, связано с нарушением моторных функций нижних конечностей.

Для построения паттернов изучаемых спастических форм ДЦП наиболее информативными показателями, по нашему мнению, являются: симметрия периодов шага, симметрия периодов переноса (коэффициент ритмичности), симметрия периодов опоры на пятку, симметрия средней фазы опоры, симметрия пропульсивных периодов, симметрия начальной фазы двойной опоры, симметрия заключительной фазы двойной опоры, симметрия пассивного пропульсивного периода.

Видеоанализ ходьбы детей с ДЦП. Степень различия параметров ходьбы детей с гемипарезом и парапарезом отображена относительно группы нормы и между исследуемыми группами. Полученные в ходе исследования показатели приведены в таблицах 3-5, рисунках 1-6.

При сравнении группы пациентов с гемипарезом и группы нормы выявлены следующие статистически значимые различия: скорость ходьбы здоровой ноги снижена на 23% ($p < 0,01$); скорость ходьбы больной ноги – на 19% ($p < 0,03$); длина двойного шага больной ноги – на 16% ($p < 0,04$); угол сгибания/разгибания в тазобедренном суставе здоровой ноги – на 6% ($p < 0,03$). Кроме этого выявлены тенденции: снижение угла сгибания/разгибания в коленном суставе здоровой ноги на 18% ($p < 0,08$) и в коленном суставе больной ноги на 9% ($p < 0,19$); снижение длины двойного шага здоровой ноги на 9% ($p < 0,18$).

При сравнении группы пациентов с парапарезом и группы нормы выявлены следующие достоверные различия: скорость ходьбы правой ноги снижена на 47% ($p < 0,001$); длина двойного шага правой ноги – на 40% ($p < 0,01$); скорость ходьбы левой ноги – на 42% ($p < 0,001$); длина двойного шага левой ноги – на 28% ($p < 0,01$); угол сгибания / разгибания в тазобедренном суставе левой ноги – на 11% ($p < 0,05$). Кроме этого, выявлены тенден-

Табл. 4. Средние групповые значения биомеханических показателей ходьбы пациентов с парапарезом и здоровых испытуемых (видеозахват движений)
Table 4. Average group values of biomechanical parameters of walking in patients with paraparesis and healthy subjects (motion capture)

Параметр / Parameter	Норма / Norm		Парапарез / Paraparesis		P
	Среднее / Mean	СКО / SD	Среднее / Mean	СКО / SD	
Скорость ходьбы П (км/ч) / Gait velocity R (km/h)	3,15	1,06	2,28	0,97	0,00
Фаза опоры П (%) / Foot flat time R (%)	64,24	5,11	68,68	6,90	0,10
Фаза переноса П (%) / Transfer time R (%)	35,76	5,11	31,28	6,85	0,08
Длина двойного шага П (м) / Stride time R (m)	0,86	0,24	0,68	0,21	0,01
Диапазон движения в тазобедренном суставе П (°) / Range of movement in the hip joint R (°)	43,58	9,06	41,48	10,21	0,33
Диапазон движения в коленном суставе П (°) / Range of movement in the knee joint R (°)	55,22	11,56	56,59	8,90	0,38
Диапазон движения в голеностопном суставе П (°) / Range of movement in the ankle joint R (°)	27,65	8,61	32,16	10,52	0,56
Скорость ходьбы Л (км/ч) / Gait velocity L (km/h)	3,36	1,20	2,70	0,85	0,00
Фаза опоры Л (%) / Foot flat time L (%)	62,43	5,67	66,20	5,58	0,10
Фаза переноса Л (%) / Swing time L (%)	37,57	5,67	33,80	5,58	0,10
Длина двойного шага Л (м) / Stride time L (m)	0,89	0,23	0,81	0,21	0,02
Диапазон движения в тазобедренном суставе Л (°) / Range of movement in the hip joint L (°)	44,56	8,39	42,15	5,80	0,05
Диапазон движения в коленном суставе Л (°) / Range of movement in the knee joint L (°)	58,40	11,46	61,50	6,04	0,06
Диапазон движения в голеностопном суставе Л (°) / Range of movement in the ankle joint L (°)	34,19	9,63	33,12	14,79	1,00

Примечание: П- правая нижняя конечность, Л- левая нижняя конечность
Note: R – right lower limb, L – left lower limb

ции: фаза переноса правой ноги снижена на 17% ($p < 0,1$); фаза опоры правой ноги повышена на 10% ($p < 0,1$); фаза опоры левой ноги повышена на 7% ($p < 0,1$); угол сгибания / разгибания в коленном суставе левой ноги снижен на 10% ($p < 0,06$).

При сравнении средних групповых значений биомеханических показателей ходьбы пациентов с парапарезом и гемипарезом, таких как скорость ходьбы, фаз цикла шага, длины двойного шага, достоверных статистических различий не выявлено, однако в группе с парапарезом разброс показателей более выражен (рис. 1-6).

Стабилографическое исследование детей с ДЦП.

Полученные в ходе стабилографического исследования показатели приведены в таблицах 6-9, рисунках 7, 8.

В таблицах 7-9 произведено сравнение исследуемых групп. Параметры «Х» и «Угол» взяты по модулю.

Как видно из таблицы 7, статистически значимое отличие от нормы в группе гемипареза только по среднему положению центра давления (ЦД) относительно фронтальной плоскости (Х, мм) (на 276% превышает среднее значение нормы, $p < 0,03$).

При парапарезе значимые отличия наблюдаются по следующим показателям (табл. 8): площадь статокинезиограммы (S, мм²) (больше нормы на 262%), максимальная амплитуда колебаний ЦД относительно фронтальной

плоскости (Мах Х, мм) (больше нормы на 145%), максимальная амплитуда колебаний ЦД относительно сагиттальной плоскости (Мах Y, мм) (больше нормы на 62%), энергия спектра частот сагиттальной плоскости (F60y, Гц) (меньше нормы на 28%).

При сравнении стабилографических показателей групп гемипареза и парапареза, значимые отличия наблюдаются по следующим показателям: среднее положение ЦД относительно фронтальной плоскости (Х, мм), энергия спектра частот сагиттальной плоскости (F60y, Гц) (табл. 8, рис. 7, 8).

При оценке ходьбы детей с геми- и парапарезом методами подографии и видеоанализа было выявлено статистически значимое снижение скорости ходьбы, длины двойного шага и угла сгибания / разгибания в тазобедренном суставе, увеличение фазы опоры. При парапарезе отклонения более выражены, но не всегда равнозначны для обеих конечностей; наблюдается нарушение пропорций цикла шага (увеличение фазы опоры/сокращения фазы переноса). При гемиплегической форме ДЦП снижение длины двойного шага более выражено на пораженной конечности, наблюдается снижение угла сгибания / разгибания в тазобедренном суставе. Данные показатели отражают степень проявления патологических расстройств, связанных с несогласованной работой

Табл. 5. Сравнение средних групповых значений биомеханических показателей ходьбы пациентов с парапарезом и гемипарезом (видеозахват движений)

Table 5. Comparison of the average group values of biomechanical parameters of walking in patients with paraparesis and hemiparesis (motion capture)

Параметр / Parameter	Гемипарез / Hemiparesis		Парапарез / Paraparesis		p
	Среднее / Mean	СКО / SD	Среднее / Mean	СКО / SD	
Скорость ходьбы Б (км/ч) / Gait velocity P (km/h)	3,60	0,90	2,28	0,97	0,02
Фаза опоры Б (%) / Foot flat time P (%)	60,74	3,31	68,68	6,90	0,04
Фаза переноса Б (%) / Transfer time P (%)	39,26	3,31	31,28	6,85	0,03
Длина двойного шага Б (м) / Double step length P (m)	0,97	0,22	0,68	0,21	0,02
Угол сгибания/разгибания в тазобедренном суставе Б (°) / Angle of flexion/extension in the hip joint P (°)	48,54	8,84	41,48	10,21	0,64
Угол сгибания/разгибания в коленном суставе Б (°) / Angle of flexion/extension in the knee joint P (°)	57,47	13,81	56,59	8,90	0,45
Угол сгибания/разгибания в голеностопном суставе Б (°) / Angle of flexion/extension in the ankle joint P (°)	29,33	8,80	32,16	10,52	0,80
Скорость ходьбы З (км/ч) / Gait velocity H (km/h)	3,57	1,11	2,70	0,85	0,09
Фаза опоры З (%) / Foot flat time H (%)	62,81	3,49	66,20	5,58	0,15
Фаза переноса З (%) / Transfer time H (%)	37,20	3,49	33,80	5,58	0,15
Длина двойного шага З (м) / Double step length H (m)	0,95	0,22	0,81	0,21	0,05
Угол сгибания/разгибания в тазобедренном суставе З (°) / Angle of flexion/extension in the hip joint H (°)	44,03	9,83	42,15	5,80	0,80
Угол сгибания/разгибания в коленном суставе З (°) / Angle of flexion/extension in the knee joint H (°)	61,11	9,78	61,50	6,04	0,55
Угол сгибания/разгибания в голеностопном суставе З (°) / Angle of flexion/extension in the ankle joint H (°)	34,64	11,38	33,12	14,79	0,67

Примечание: Б- больная, паретичная нижняя конечность, З- здоровая нижняя конечность
Note: P – paretic lower limb, H – healthy lower limb

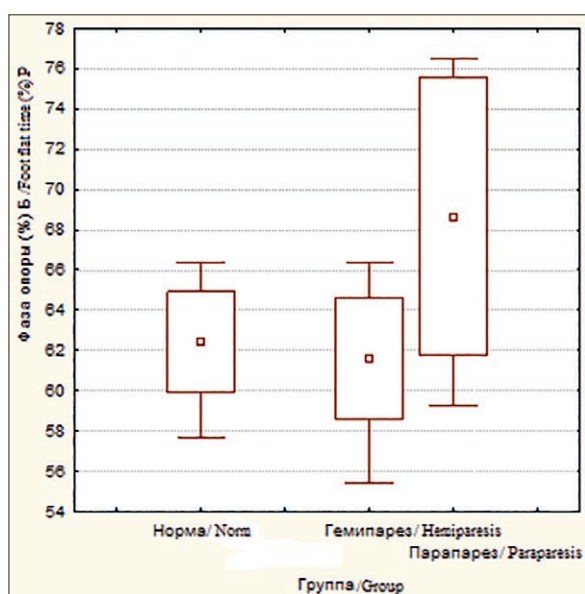


Рис. 1. Диаграмма разброса фазы опоры левой (больной) нижней конечности в группе гемипареза) нижней конечности по группам

Fig. 1. Data comparison graph of the resting phase the left (paretic lower limb in the group of hemiparesis) lower limb in groups

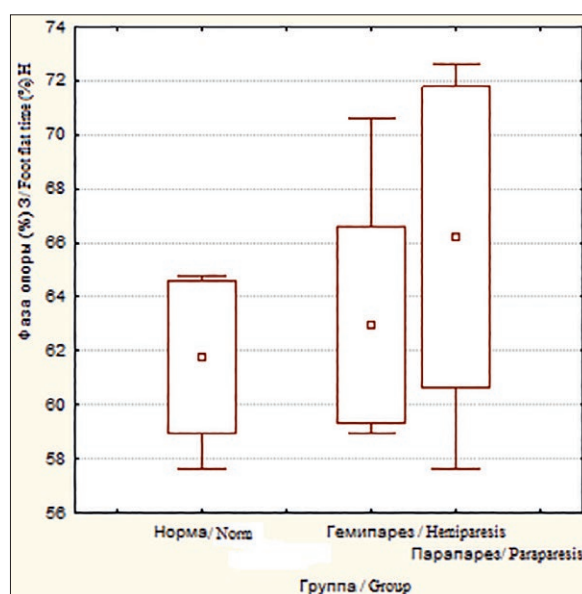


Рис. 2. Диаграмма разброса фазы опоры правой (здоровой) нижней конечности в группе гемипареза) нижней конечности по группам

Fig. 2. Data comparison graph of the resting phase the right (healthy lower limb in the group of hemiparesis) lower limb in groups

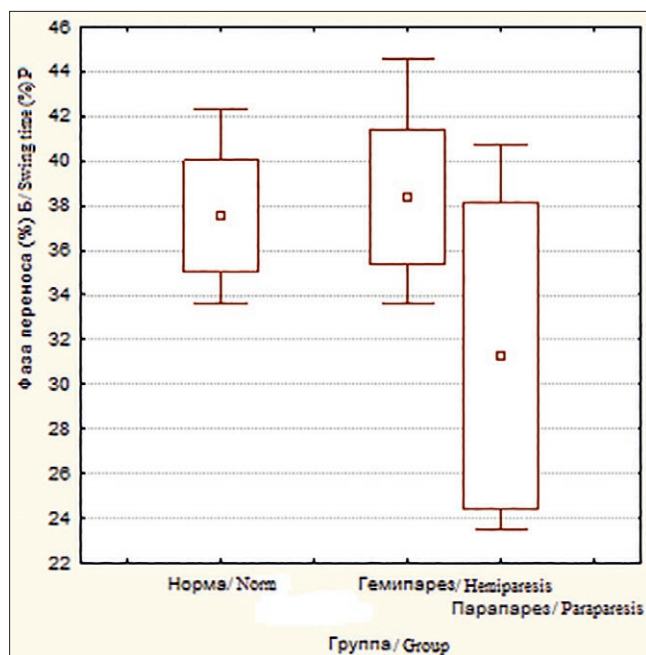


Рис. 3. Диаграмма разброса фазы переноса левой (больной нижней конечности в группе гемипареза) нижней конечности по группам

Fig. 3. Data comparison graph of the shifting phase the left (paretic lower limb in the group of hemiparesis) lower limb in groups

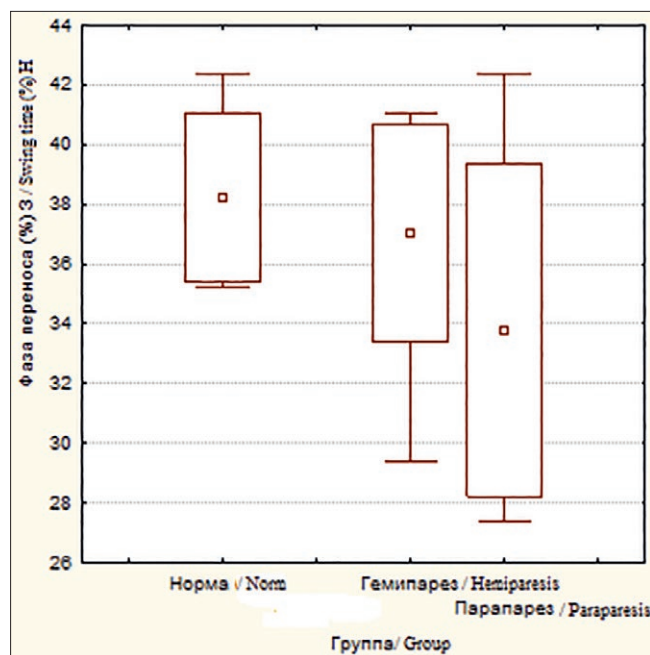


Рис. 4. Диаграмма разброса фазы переноса правой (здоровой нижней конечности в группе гемипареза) нижней конечности по группам

Fig. 4. Data comparison graph of the shifting phase the right (healthy lower limb in the group of hemiparesis) lower limb in groups

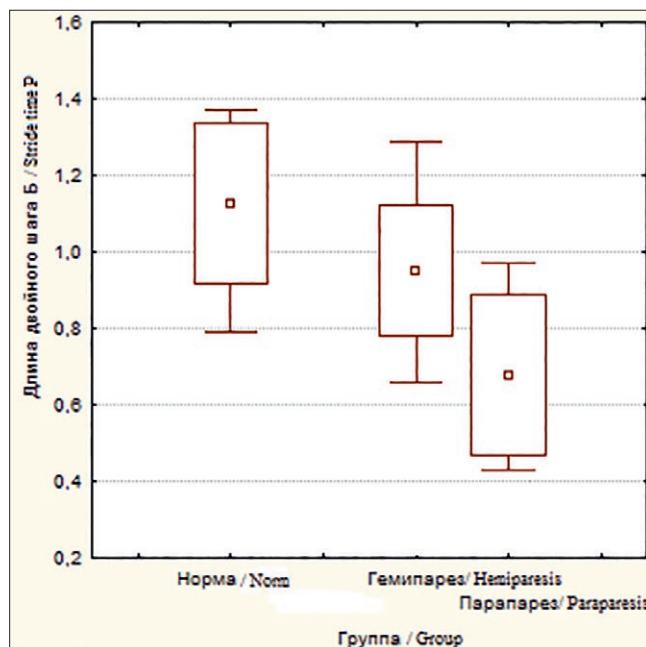


Рис. 5. Диаграмма разброса длины двойного шага левой (больной нижней конечности в группе гемипареза) ноги по группам

Fig. 5. Data comparison graph of the length of the double step the left (paretic lower limb in the group of hemiparesis) lower limb in groups

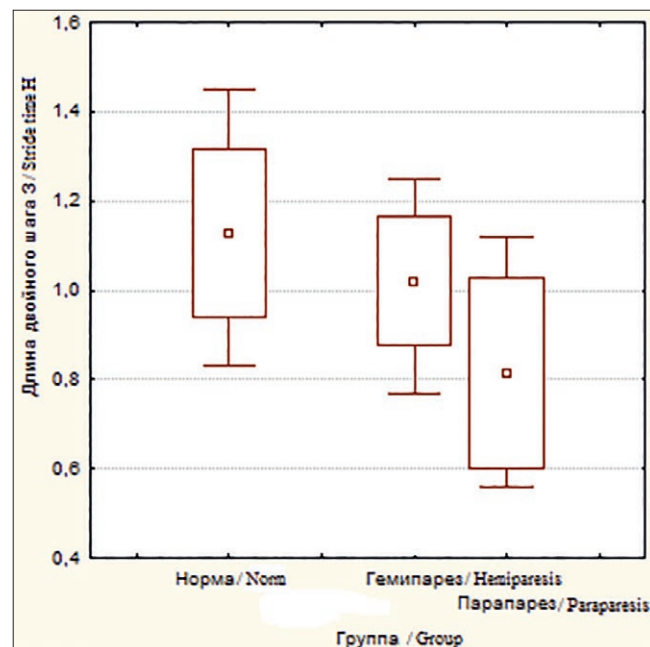


Рис. 6. Диаграмма разброса длины двойного шага правой (здоровой нижней конечности в группе гемипареза) нижней конечности по группам

Fig. 6. Data comparison graph of the length of the double step the right (healthy lower limb in the group of hemiparesis) lower limb in groups

Табл. 6. Список исследуемых стабиллографических параметров
Table 6. List of the studied stabilographic parameters

X (мм) / X (mm)	Среднее положение ЦД относительно фронтальной плоскости / The average position of the CP relative to the frontal plane
Y (мм) / Y (mm)	Среднее положение ЦД относительно сагиттальной плоскости / The average position of the CP relative to the sagittal plane
L (мм) / L (mm)	Длина статокинезиограммы / Length of the statokinesiogram
S (мм ²) / S (mm ²)	Площадь статокинезиограммы / Area of the statokinesiogram
V (мм/с) / V (mm/s)	Средняя скорость перемещения ЦД / Average velocity of movement of the CP
Угол (°) / Angle (°)	Среднее направление плоскости колебаний ЦД / The average direction of the plane of oscillations of CP
Max X (мм) / Max X (mm)	Максимальная амплитуда колебаний ЦД относительно фронтальной плоскости / Maximum amplitude of the CP oscillations relative to the frontal plane
Max Y (мм) / Max Y (mm)	Максимальная амплитуда колебаний ЦД относительно сагиттальной плоскости / Maximum amplitude of the CP oscillations relative to the sagittal plane
60% ЭХ (Гц) / 60% ЭХ (Hz)	Энергия спектра частот – основная частота колебаний ЦД относительно фронтальной плоскости / The energy of the frequency spectrum is the main frequency of oscillations of the CP relative to the frontal plane
60% ЭУ (Гц) / 60% ЭУ (Hz)	Энергия спектра частот – основная частота колебаний ЦД относительно сагиттальной плоскости / The energy of the frequency spectrum is the main frequency of oscillations of the CP relative to the sagittal plane
A, Дж / A, J	Работа / Activity
NA, %	Энергоэффективность поддержания вертикальной позы / Energy efficiency of maintaining a vertical posture

Примечание: ЦД – центр давления
Note: CP – center of pressure

Табл. 7. Средние значения биомеханических показателей по группам нормы и гемипареза, достоверность различий (стабиллография)
Table 7. The average values of biomechanical parameters for the norm and hemiparesis groups, the reliability of differences (stabilography)

Параметр / Parameter	Норма / Norm		Гемипарез / Hemiparesis		p
	Среднее / Mean	СКО / SD	Среднее / Mean	СКО / SD	
X, мм / X, mm	5,08	5,57	19,09	13,34	0,03
Y, мм / Y, mm	45,93	7,73	47,06	17,57	0,64
L, мм / L, mm	1030,72	547,01	1191,50	334,68	0,09
S, мм ² / S, mm ²	620,14	669,18	988,26	726,64	0,11
V, мм/сек / V, mm/s	17,16	9,10	19,84	5,57	0,09
Угол ° / Angle °	22,06	25,77	36,67	24,36	0,69
Max X, мм / Max X, mm	21,67	21,06	31,63	16,26	0,07
Max Y, мм / Max Y, mm	22,04	12,61	27,18	8,06	0,15
F60x, Гц / F60x, Hz	0,96	0,22	0,92	0,22	0,64
F60y, Гц / F60y, Hz	0,89	0,14	0,85	0,19	0,76
A, Дж / A, J	14,62	16,51	15,12	7,66	0,24
NA, %	23,14	13,24	16,83	8,59	0,24

Табл. 8. Средние значения биомеханических показателей по группам нормы и парапареза, достоверность различий (стабилография)

Table 8. Average values of biomechanical parameters for the norm and paraparesis groups, the reliability of differences (stabilography)

Параметр / Parameter	Норма / Norm		Парапарез / Paraparesis		p
	Среднее / Mean	СКО / SD	Среднее / Mean	СКО / SD	
X, мм / X, mm	5,08	5,57	5,29	4,58	0,13
Y, мм / Y, mm	45,93	7,73	51,64	17,34	0,63
L, мм / L, mm	1030,72	547,01	1284,96	629,78	0,20
S, мм ² / S, mm ²	620,14	669,18	2247,80	1834,26	0,01
V, мм/сек / V, mm/s	17,16	9,10	21,40	10,49	0,19
Угол / Angle, °	22,06	25,77	49,00	31,12	0,33
Max X, мм / Max X, mm	21,67	21,06	53,13	46,65	0,005
Max Y, мм / Max Y, mm	22,04	12,61	35,73	13,74	0,02
F60x, Гц / F60x, Hz	0,96	0,22	0,76	0,20	0,07
F60y, Гц / F60y, Hz	0,89	0,14	0,64	0,15	0,01
A, Дж / A, J	14,62	16,51	16,39	14,97	0,63
NA, %	23,14	13,24	19,94	12,76	0,63

Табл. 9. Средние значения биомеханических показателей по группам гемипареза и парапареза, достоверность различий (стабилография)

Table 9. Average values of biomechanical parameters for the groups of hemiparesis and paraparesis, the significance of differences (stabilography)

Параметр / Parameter	Гемипарез / Hemiparesis		Парапарез / Paraparesis		p
	Среднее / Mean	СКО / SD	Среднее / Mean	СКО / SD	
X, мм / X, mm	19,09	13,34	5,29	4,58	0,01
Y, мм / Y, mm	47,06	17,57	51,64	17,34	0,47
L, мм / L, mm	1191,50	334,68	1284,96	629,78	0,87
S, мм ² / S, mm ²	988,26	726,64	2247,80	1834,26	0,06
V, мм/сек / V, mm/s	19,84	5,57	21,40	10,49	0,93
Угол / Angle °	36,67	24,36	49,00	31,12	0,40
Max X, мм / Max X, mm	31,63	16,26	53,13	46,65	0,27
Max Y, мм / Max Y, mm	27,18	8,06	35,73	13,74	0,09
F60x, Гц / F60x, Hz	0,92	0,22	0,76	0,20	0,14
F60y, Гц / F60y, Hz	0,85	0,19	0,64	0,15	0,03
A, Дж / A, J	15,12	7,66	16,39	14,97	0,55
NA, %	16,83	8,59	19,94	12,76	0,55

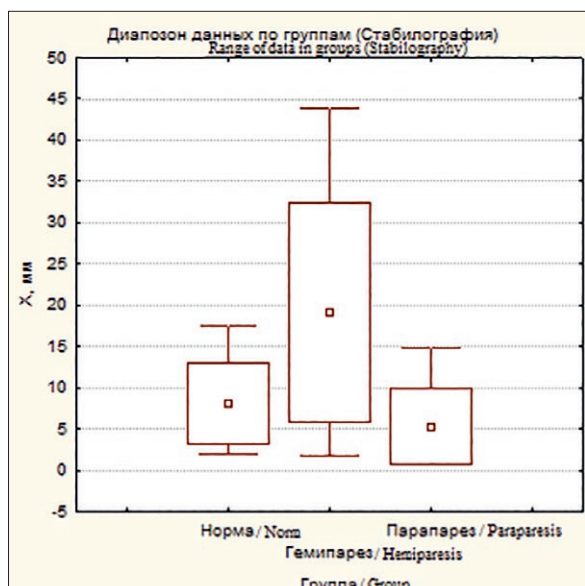


Рис. 7. Диапазон значений X (мм) по группам
Fig. 7. Range of X (mm) values in groups

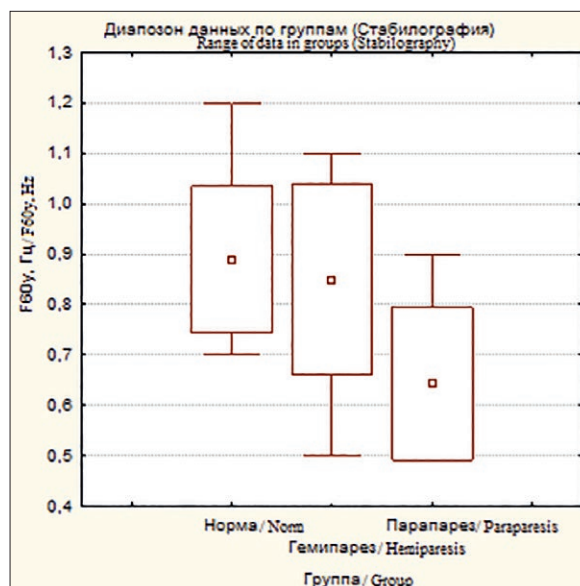


Рис. 8. Диапазон значений $F60y$ (Гц) по группам
Fig. 8. Range of $F60y$ (Hz) values in groups

мышц разгибателей и сгибателей, управляющих ходьбой. При этом, снижение скорости ходьбы и увеличение фазы опоры являются компенсаторным механизмом, позволяющим удерживать вертикальную позу при ходьбе в комфортном темпе (не падать).

При оценке способности удержания вертикальной позы методом стабیلлографии отмечено, что в обеих исследуемых группах наблюдается разброс значений стабیلлографических показателей. Однако, в группе детей с гемипарезом статистически значимо отличается от нормы только среднее положение ЦД относительно фронтальной плоскости. При парапарезе таких отличий от нормы гораздо больше: площадь статокинезиограммы, максимальная амплитуда колебаний ЦД, энергия спектра частот. Полученные данные говорят о высокой степени индивидуальных различий внутри исследуемых групп.

Заключение

Оценка биомеханических показателей нарушений движений у детей с ДЦП в настоящее время не исполь-

зуется в рутинной клинической практике для планирования и оценки результатов медицинской реабилитации, что, вероятно, связано с недостаточной изученностью данного вопроса. Полученные нами результаты подографии, видеоанализа и стабیلлографии говорят о высокой степени индивидуальных различий внутри исследуемых групп, что может быть в дальнейшем использовано для разделения групп по уровню тяжести биомеханических нарушений. Выявленные биомеханические особенности ходьбы и устойчивости вертикальной позы детей со спастическими формами ДЦП могут послужить основой для разработки программ медицинской реабилитации. Клинико-реабилитационные группы детей с ДЦП необходимо формировать с учетом тяжести статико-динамических нарушений, имеющих у пациентов. Такой подход позволит планировать дальнейшее восстановительное лечение таких пациентов и адекватно оценивать получаемые результаты.

Список литературы

1. Семёнова Е.В., Ключкова Е.В., Коршикова-Морозова А.Е., Трухачева А.В., Заблоцкий Е.Ю. Реабилитация детей с ДЦП: обзор современных подходов в помощь реабилитационным центрам. М. Лепта Книга. 2018: 584 с.
2. Wimalasundera N., Stevenson V.L. Cerebral palsy. *Practical Neurology*. 2016; 16(3): 184-94. <https://doi.org/10.1136/practneurol-2015-001184>
3. Игнатова Т.С., Скоромец А.П., Колбин В.Е., Сарана А.М., Щербак С.Г., Макаренко С.В., Дейнеко В.В., Данилов Ю.П. Транслингвальная нейростимуляция головного мозга в лечении детей с церебральным параличом. *Вестник восстановительной медицины*. 2016; 6(76): 10-16.
4. Каладзе Н.Н., Мошкова Е.Д., Пономаренко Ю.Н. Эпилепсия у детей с детским церебральным параличом в условиях санаторно-курортной реабилитации. *Вестник восстановительной медицины*. 2017; 3(79): 71-76.
5. Лепесова М.М., Текебаева Л.А., Казакенова А.К., Егинчибаева Р.Г., Долгополова Г.Г. Этиопатогенетические факторы как предикторы диагностики ДЦП. *Вестник Алматинского государственного института усовершенствования врачей*. 2011; (1): 36-38.
6. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Кузенкова Л.М., Куренков А.Л., Ключкова О.А., Мамедъяров А.М., Каримова Х.М., Бурсагова Б.И., Вишнева Е.А. Клинические рекомендации. Детский церебральный паралич у детей. 2016: 26 с.
7. Никитина М.Н. Детский церебральный паралич. М. Медицина. 2017: 120 с.
8. Силина Е.В., Комаров А.Н., Шальгин В.С., Ковражкина Е.А., Трофимова А.К., Бикташева Р.М., Школина Л.А., Никитина Е.А., Петухов Н.И., Степочкина Н.Д., Полушкин А.А., Кезина Л.П., Иванова Г.Е. БОС-стабилометрия для инвалидов-колясочников. *Вестник восстановительной медицины*. 2014; 3(61): 29-34.
9. Белова А.Н., Шейко Г.Е., Шаклунова Н.В., Израелян Ю.А. Медицинская реабилитация при детском церебральном параличе: применение Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья детей и подростков. *Вестник восстановительной медицины*. 2019; 1(89): 2-9.
10. Никитюк И.Е., Кононова Е.Л., Икоева Г.А., Солохина И.Ю. Влияние роботизированной механотерапии в различных комбинациях с неинвазивной электростимуляцией мышц и спинного мозга на постуральный баланс у детей с тяжелыми формами ДЦП. *Вестник восстановительной медицины*. 2020; 4(98): 26-34. <https://doi.org/10.38025/2078196220209842634>

11. Коршунов С.Д., Давлетьярова К.В., Капилевич Л.В. Биомеханические характеристики ходьбы у детей с врожденными расстройствами локомоций. Вестник Томского государственного университета. 2014; (387): 203-207. <https://doi.org/10.17223/1561793/387/31>
12. Коршунов С.Д., Давлетьярова К.В., Капилевич Л.В. Биомеханические принципы физической реабилитации детей с детским церебральным параличом. Бюллетень сибирской медицины. 2016; 15(3): 55-62. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2016-3-55-62>
13. Петрушанская К.А., Витензон А.С. Исследование структуры ходьбы больных детским церебральным параличом. Российский журнал биомеханики. 2005; 9(3): 59-69.
14. Ammann-Reiffer C., Bastiaenen C.H., Meyer-Heim A.D., van Hedel H.J. Effectiveness of robot-assisted gait training in children with cerebral palsy: a bicenter, pragmatic, randomized, cross-over trial (PeLoGAIT). *BMC Pediatrics*. 2017; 15(1): 64 p.
15. Bulea T.C., Stanley C.J., Damiano D.L. Part 2: Adaptation of gait kinematics in unilateral cerebral palsy demonstrates preserved independent neural control of each limb. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2017; 13(11): 50 p.
16. Girolami G.L., Shiratori T., Aruin A.S. Anticipatory postural adjustments in children with hemiplegia and diplegia. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2011; 21(6): 988-997.
17. Ju Y.H., Hwang I.S., Cherng R.J. Postural adjustment of children with spastic diplegic cerebral palsy during seated hand reaching in different directions. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2012; 93(3): 471-479.
18. Mansouri M., Birgani P.M., Kharazi M.R., Lotfian M., Naeimipoor M., Mirbagheri M.M. Estimation of gait parameter using sonoelastography in children with cerebral palsy. *Conference proceedings – IEEE engineering in medicine and biology society*. 2016: 1729-1732. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591050>
19. Tretiakov M., Do K.P., Aiona M. The Influence of the Unaffected Hip on Gait Kinematics in Patients With Hemiplegic Cerebral Palsy. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 2017; 37(3): 217-221.

References

1. Semyonova E.V., Klochkova E.V., Korshikova-Morozova A.E., Truhacheva A.V., Zablockis E.Y. Reabilitaciya detej s DCP: obzor sovremennyh podhodov v pomoshch' reabilitacionnyh centram [Rehabilitation of children with cerebral palsy: review of modern approaches to help rehabilitation centers]. Moscow. 2018: 584 p. (In Russ.).
2. Wimalasundera N., Stevenson V.L. Cerebral palsy. *Practical Neurology*. 2016; 16(3): 184-94. <https://doi.org/10.1136/practneurol-2015-001184>
3. Ignatova T.S., Skoromec A.P., Kolbin V.E., Sarana A.M., Shcherbak S.G., Makarenko S.V., Dejneko V.V., Danilov Y.P. Translingval'naya nejrostimulyaciya go-lovnogo mozga v lechenii detej s cerebral'nym paralichom [Translingual brain neurostimulation in treatment of the pediatric cerebral palsy]. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2016; 6(76): 10-16 (In Russ.).
4. Kaladze N.N., Moshkova E.D., Ponomarenko Y.N. Epilepsiya u detej s detskim cerebral'nym paralichom v usloviyah sanatorno-kurortnoj reabilitacii [Influence of electrosleeptherapy on the dynamics of biorythmological active hormone adaptation in children with arterial hypertension in the process of spa treatment]. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2017; 3(79): 71-76 (In Russ.).
5. Lepesova M.M., Tekebaeva L.A., Kazakenova A.K., Eginchibaeva R.G., Dolgoplova G.G. Etiopatogeneticheskie faktory kak prediktory diagnostiki DCP [Etiopatogenetichesky factors as predictors of diagnostics of cerebral spastic infantile paralysis]. *Vestnik Almatinskogo gosudarstvennogo instituta usovershenstvovaniya vrachej*. 2011; (1): 36-38 (In Russ.).
6. Baranov A.A., Namazova-Baranova L.S., Kuzenkova L.M., Kurenkov A.L., Klochkova O.A., Mamed'yarov A.M., Karimova H.M., Bursagova B.I., Vishneva E.A. Klinicheskie rekomendacii. Detskij cerebral'nyj paralich u detej [Clinical guidelines. Children with Cerebral palsy]. 2016: 26 p. (In Russ.).
7. Nikitina N.N. Detskij cerebral'nyj paralich [Cerebral palsy]. Moscow. 2017: 120 p. (In Russ.).
8. Silina E.V., Komarov A.N., SHalygin V.S., Kovrazhkina E.A., Trofimova A.K., Biktasheva R.M., SHkolina L.A., Nikitina E.A., Petuhov N.I., Stepochkina N.D., Polushkin A.A., Kezina L.P., Ivanova G.E. BOS-stabilometriya dlya invalidov-kolyasochnikov [Biofeedback stabilometry for wheelchair users]. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2014; 3(61): 29-34 (In Russ.).
9. Belova A.N., Sheiko G.E., Shaklunova N.V., Israelyan Y.A. Medicinskaya reabilitaciya pri detskom cerebral'nom paraliche: primeneniye Mezhdunarodnoj klassifikacii funkcionirovaniya, ogranichenij zhiznedeyatel'nosti i zdorov'ya detej i podrostkov [Medical rehabilitation of children with cerebral palsy: application of the international classification of functioning, disability and health (children & youth version)]. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2019; 1(89): 2-9 (In Russ.).
10. Nikityuk I.E., Kononova E.L., Ikoeva G.A., Solohina I.U. Vliyanie robotizirovannoj mekhanoterapii v razlichnyh kombinacijah s neinvazivnoj elektrostimulyaciej myshci i spinnogogo mozga na postural'nyj balans u detej s tyazhelymi formami DCP [Influence of robotic mechanotherapy in various combinations with non-invasive electrostimulation of muscles and spinal cord on the postural balance in children with severe forms of cerebral palsy]. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2020; 4(98): 26-34. <https://doi.org/10.38025/2078196220209842634> (In Russ.).
11. Korshunov S.D., Davlet'yarova K.V., Kapilevich L.V. Biomekhanicheskie harakteristiki hod'by u detej s vrozhdennymi rasstrojstvami lokomocij [Biomechanical characteristics of gait of children with congenital locomotion disorders]. *Tomsk State University Journal*. 2014; (387): 203-207. <https://doi.org/10.17223/1561793/387/31> (In Russ.).
12. Korshunov S.D., Davlet'yarova K.V., Kapilevich L.V. Biomekhanicheskie principy fizicheckoj reabilitacii detej s detskim cerebral'nym paralichom. Biomekhanicheskie principy fizicheckoj reabilitacii detej s detskim cerebral'nym paralichom [Biomechanical principles physical rehabilitation of children with cerebral palsy]. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2016; 15(3): 55-62. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2016-3-55-62> (In Russ.).
13. Petrushanskaya K.A., Vitenzon A.S. Issledovanie struktury hod'by bol'nyh detskim cerebral'nym paralichom [Study of the structure of walking in patients with cerebral palsy]. *Russian Journal of Biomechanics*. 2005; 9(3): 59-69 (In Russ.).
14. Ammann-Reiffer C., Bastiaenen C.H., Meyer-Heim A.D., van Hedel H.J. Effectiveness of robot-assisted gait training in children with cerebral palsy: a bicenter, pragmatic, randomized, cross-over trial (PeLoGAIT). *BMC Pediatrics*. 2017; 15(1): 64 p.
15. Bulea T.C., Stanley C.J., Damiano D.L. Part 2: Adaptation of gait kinematics in unilateral cerebral palsy demonstrates preserved independent neural control of each limb. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2017; 13(11): 50 p.
16. Girolami G.L., Shiratori T., Aruin A.S. Anticipatory postural adjustments in children with hemiplegia and diplegia. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2011; 21(6): 988-997.
17. Ju Y.H., Hwang I.S., Cherng R.J. Postural adjustment of children with spastic diplegic cerebral palsy during seated hand reaching in different directions. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2012; 93(3): 471-479.
18. Mansouri M., Birgani P.M., Kharazi M.R., Lotfian M., Naeimipoor M., Mirbagheri M.M. Estimation of gait parameter using sonoelastography in children with cerebral palsy. *Conference proceedings – IEEE engineering in medicine and biology society*. 2016: 1729-1732. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591050>
19. Tretiakov M., Do K.P., Aiona M. The Influence of the Unaffected Hip on Gait Kinematics in Patients With Hemiplegic Cerebral Palsy. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 2017; 37(3): 217-221.

Информация об авторах:

Рукина Наталья Николаевна, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отделения функциональной диагностики Университетской клиники, Приволжский исследовательский медицинский университет Минздрава России.

E-mail: ruginann@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0719-3402>

Шейко Геннадий Евгеньевич, кандидат медицинских наук, врач-невролог отделения функциональной диагностики Университетской клиники, Приволжский исследовательский медицинский университет Минздрава России.

E-mail: sheikogennadii@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0402-7430>

Кузнецов Алексей Николаевич, младший научный сотрудник отделения функциональной диагностики Университетской клиники, Приволжский исследовательский медицинский университет Минздрава России.

E-mail: metall.su@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1889-1297>

Воробьева Ольга Викторовна, младший научный сотрудник отделения функциональной диагностики Университетской клиники, Приволжский исследовательский медицинский университет Минздрава России.

E-mail: olgyshka1@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7225-8842>

Вклад авторов:

Рукина Н.Н. – обзор публикаций по теме статьи, разработка дизайна исследования, обследование пациентов; Шейко Г.Е. – статистическая обработка данных, отбор и обследование пациентов, научная редакция текста рукописи; Кузнецов А.Н. – статистическая обработка данных, научная редакция текста рукописи; Воробьева О.В. – обзор публикаций по теме статьи, обследование пациентов.

Information about the authors:

Natalia N. Rukina, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher of the Department of Functional Diagnostics of the University Clinic, Privolzhsky Research Medical University.

E-mail: ruginann@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0719-3402>

Gennadiy E. Sheiko, Cand. Sci. (Med.), Neurologist of the Department of Functional Diagnostics of the University Clinic, Privolzhsky Research Medical University.

E-mail: sheikogennadii@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0402-7430>

Alexey N. Kuznetsov, Junior Researcher of the Department of Functional Diagnostics of the University Clinic, Privolzhsky Research Medical University.

E-mail: metall.su@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1889-1297>

Olga V. Vorobyova, Junior Researcher of the Department of Functional Diagnostics of the University Clinic, Privolzhsky Research Medical University.

E-mail: olgyshka1@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7225-8842>

Contribution:

Rukina N.N. – review of publications on the subject of the article, the design of the study, the examination of patients; Sheiko G.E. – statistical data processing, selection and evaluation of patients, scientific editing of the manuscript text; Kuznetsov A.N. – statistical data processing, scientific editing of the manuscript text; Vorobyova O.V. – review of publications on the subject of the article, a survey of patients.

