

DOI: <https://doi.org/10.17816/MSER77379>

Сравнительный анализ влияния аппаратов для нижних конечностей и туловища и ортезов для голеностопных суставов на биомеханические параметры ходьбы у детей с ДЦП (случай из практики)

А.А. Кольцов¹, А.Ю. Аксёнов², Э.И. Джомардлы¹¹ Федеральный научный центр реабилитации инвалидов имени Г.А. Альбрехта, Санкт-Петербург, Российская Федерация² Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Детям со спастическими формами детского церебрального паралича (ДЦП) нередко назначаются аппараты на нижние конечности и туловище типа «тройник». В то же время мы не встретили в мировой литературе значимых публикаций, посвящённых изучению влияния этих аппаратов на биомеханические параметры ходьбы.

Цель исследования — продемонстрировать результаты сравнительного анализа влияния аппаратов типа «тройник» для нижних конечностей и туловища и ортезов для голеностопных суставов на биомеханические параметры ходьбы у детей с ДЦП.

Материал и методы. В исследовании участвовали два ребенка в возрасте 13 и 15 лет с диагнозом «Детский церебральный паралич, спастическая диплегия, GMFCS 3, MACS 2–3, Ashworth Scale 2–3». Проведено 6 исследований (по три теста у каждого ребенка: босиком, в ортезе на голеностопные суставы и аппарате на нижние конечности и туловище) с помощью системы видеонализа Qualisys (Швеция). Выполнена оценка пространственно-временных и кинематических показателей движения, а также индекса походки.

Результаты. Анализ результатов обследования пациента Д. продемонстрировал, что ношение аппарата «тройник» по сравнению с AFO привело к незначительному улучшению пространственно-временных показателей ходьбы (от 4,0–12,5%), тогда как выявлено ухудшение кинематики тазобедренного сустава и индекса походки (2,5–28,1%). Вместе с тем у пациента А. отмечено, что использование аппарата «тройник» по сравнению с AFO оказало отрицательное влияние на пространственно-временные показатели ходьбы (4,0–97,6%), кинематику коленного и голеностопного суставов и улучшение кинематики тазобедренного сустава в сагиттальной плоскости, но влияние на индекс походки было неоднозначным. По совокупности проанализированных данных пациенту Д. было рекомендовано ношение AFO вместо аппарата на нижние конечности и туловище. Пациенту А. также было рекомендовано ношение AFO вместо «тройника», даже несмотря на неоднозначные результаты биомеханического исследования, т.к. итоговое решение по выбору конструкции ортеза учитывало не только «тонкие» изменения биомеханических параметров, но и ряд иных факторов, в частности социально-бытовые.

Заключение. Пациентам с уровнем глобальных моторных функций GMFCS 3 перед назначением медицинских приспособлений, захватывающих два и более сегментов тела, с целью улучшения биомеханических параметров опоры и передвижения целесообразно отдавать предпочтение более коротким и функциональным ортезам.

Ключевые слова: детский церебральный паралич; видеонализ; биомеханика; ходьба, ортез.

Как цитировать

Кольцов А.А., Аксёнов А.Ю., Джомардлы Э.И. Сравнительный анализ влияния аппаратов для нижних конечностей и туловища и ортезов для голеностопных суставов на биомеханические параметры ходьбы у детей с ДЦП (случай из практики) // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2021. Т. 24, № 3. С. 5–14. DOI: <https://doi.org/10.17816/MSER77379>

DOI: <https://doi.org/10.17816/MSER77379>

Comparative analysis of the effect trunk-hip-knee-ankle foot orthosis and ankle-foot orthosis on the gait biomechanical parameters in children with cerebral palsy (case report)

Andrey A. Koltsov¹, Andrey Yu. Aksenov², Elnur I. Dzhomardly¹

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

² National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics named after academician G.A. Ilizarov, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: In children with spastic forms of cerebral palsy often prescribed difference type of trunk-hip-knee-ankle foot orthosis (THKAFO). At the same time, we have not found any significant reports in the world literature dedicated to the study of the influence of these orthosis on the gait biomechanical parameters.

AIM: To demonstrate the results of a comparative analysis of the effect of trunk-hip-knee-ankle-foot orthosis and ankle-foot orthosis on the gait biomechanical parameters in children with cerebral palsy.

MATERIALS AND METHODS: The study involved two 13- and 15-year-old children with a diagnosis of "cerebral palsy, spastic diplegia, GMFCS 3, MACS 2–3, Ashworth Scale 2–3". Six studies were conducted — three tests for each child (barefoot, in AFO and THKAFO) using the 3D video analysis system "Qualisys" (Sweden). The spatio-temporal and kinematic indicators of gait, as well as the gait index, were evaluated.

RESULTS: Analysis of the results in patient D. demonstrated that using the THKAFO in comparison with AFO led to a slight improvement in spatio-temporal gait indicators (from 4.0–12.5%), but to a deterioration in hip kinematics and a deterioration in the gait index (2.5–28.1%). Whereas in patient A., it was noted that the use of the THKAFO in comparison with AFO had a negative effect on the spatio-temporal parameters of gait (4.0–97.6%), on the kinematics of the knee and ankle joints, and on the improvement of the hip kinematics in the sagittal plane, but the effect on the gait index was not unambiguous. According to the totality of the analyzed data, patient D. was recommended to wear AFO instead of the THKAFO. Patient A. was also recommended to wear an AFO instead of a THKAFO, even despite the ambiguous results of the biomechanical research, since the final decision on the choice of the orthosis design took into account not only "accurate" changes in biomechanical parameters, but also a number of other factors, in particular social and household ones.

CONCLUSION: In patients with level GMFCS 3, for improve the biomechanical parameters of gait, it is advisable to give preference to shorter and functional orthoses before prescribing orthoses that capture two or more body segments.

Keywords: cerebral palsy; 3D video analysis; biomechanics; gait, orthosis.

To cite this article

Koltsov AA, Aksenov AY, Dzhomardly EI. Comparative analysis of the effect trunk-hip-knee-ankle foot orthosis and ankle-foot orthosis on the gait biomechanical parameters in children with cerebral palsy (case report). *Medical and social expert evaluation and rehabilitation*. 2021;24(3):5–14. DOI: <https://doi.org/10.17816/MSER77379>

ОБОСНОВАНИЕ

Детский церебральный паралич (ДЦП) — наиболее часто встречающееся в практике ортопеда нейроортопедическое заболевание [1]. У подавляющего большинства детей с ДЦП наблюдаются спастические формы паралича [2, 3], для которых характерно раннее проявление вторичных ортопедических осложнений: патологические уставки, контрактуры в суставах конечностей, в том числе подвывихи и вывихи; вторичные костные деформации; деформации позвоночника; нарушения роста и развития опорно-двигательного аппарата [4, 5]. С целью коррекции указанных нарушений в арсенале ортопеда представлены различные консервативные и хирургические методы лечения [6, 7].

Современная ортопедическая хирургия пациентов с ДЦП стремится к одномоментным многоуровневым вмешательствам (singl-event multilevel surgery, SEMLS) [8, 9]. Аналогичный параллелизм нередко можно наблюдать при ортезировании данного континента больных. Аргументацией специалистов при назначении таких ортезов являются многоуровневость поражения у детей групп GMFCS 3–5 и, таким образом, необходимость получить возможность контроля (фиксации, расфиксации, стабилизации, коррекции) на всех уровнях за счёт применяемого технического средства. Однако если по SEMLS в мировой литературе уже представлено значительное количество работ, и число их только растёт, то в отношении изучения роли аппаратов на нижние конечности и туловище (так называемых тройников) в комплексном лечении детей с ДЦП встречаются лишь единичные отечественные патенты и публикации.

Анализ значительной базы ретроспективных данных продемонстрировал, что более чем 1/4 всех больных ДЦП с уровнями GMFCS 3–5 хотя бы один раз были назначены и, соответственно, использованы ими «тройники» [10]. В то же время, согласно другому исследованию, авторы обнаружили существенно более низкую (27%) частоту повторного использования такого типа ортезов, как аппарат на нижние конечности и туловище («тройник»), изначально предназначенный для пациентов с тяжёлыми уровнями статодинамических нарушений [10]. По нашему мнению, вышеописанная тенденция косвенно отражает выбор родителей, а нередко и специалистов в пользу менее громоздких, более функциональных и удобных в быту изделий. Так, использование аппаратов на нижние конечности и туловище характерно для пациентов с уровнями глобальных моторных функций GMFCS 2–5. Пациенты групп GMFCS 2 и 5 практически полностью отказались от повторного использования данных ортезов (0 и 3,7% соответственно), тогда как в группах GMFCS 3–4 лишь каждый третий ребёнок повторно получал «тройник». По данным анкетирования, основными причинами такой низкой частоты повторного использования этих аппаратов были неудобство использования в быту и негативное

отношение ребёнка к изделию. Примечательно, что авторы ряда найденных патентов нередко позиционируют такие изделия как средства для опоры и передвижения.

С учётом вышеуказанного, проведённое нами исследование является уникальным и представляет значительный интерес для практического здравоохранения и службы медико-социальной помощи.

Цель исследования — продемонстрировать результаты сравнительного анализа влияния аппаратов для нижних конечностей и туловища типа «тройник» и ортезов для голеностопных суставов на биомеханические параметры ходьбы у детей с ДЦП.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании участвовали два ребёнка в возрасте 13 и 15 лет, получавших комплексное медицинское лечение в клинике ФГБУ ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта с диагнозом «Детский церебральный паралич, спастическая диплегия, децентрация головок бедренных костей, эквин-но-плано-вальгусная деформация стоп, внутривертенозная дисфункция нижних конечностей, сгибательно-приводящая установка в тазобедренных суставах, сгибательная установка в коленных суставах, разгибательная установка в голеностопных суставах. Состояние после многократных оперативных вмешательств на уровне стоп, коленных и тазобедренных суставов. GMFCS 3, MACS 2–3, Ashworth Scale 2–3». Родители пациентов предъявляли жалобы на невозможность опоры и передвижения без дополнительных технических средств — тростей или ходунков. При сборе анамнеза выяснилось, что из технических средств реабилитации пациентами используются ортопедическая обувь, туторы на нижние конечности для сна и ортезы по типу «тройник» (рис. 1).

После проведённого клинико-рентгенологического обследования и медико-технической комиссии каждому ребёнку рекомендованы ортезы на голеностопные суставы (рис. 2), выбор конструкции которых осуществлялся с учётом классификации J. Rodda и H.K. Graham (2001).

За предыдущий период пребывания в стационаре (в течение 4 нед.) ребёнок и сопровождающее лицо были обучены пользованию ортезами на голеностопные суставы (AFO). Пациентом А. освоена ходьба с помощью многоопорных тростей, пациентом Д. — ходьба с помощью переднеопорных ходунков длительностью до 60 мин и периодичностью до 2–3 раз в день. Параллельно пациенты получали курс восстановительного лечения с использованием роботизированной механотерапии.

Перед выпиской из стационара (через 4 нед.) с целью проведения сравнительного анализа ортезов на голеностопный сустав и ортезов типа «тройник» по их влиянию на пространственно-временные и кинематические параметры ходьбы выполнен видеонализ с помощью системы Qualisys Miquis M5 (Швеция). Регистрация кинематики осуществлялась 12 камерами с разрешением



Рис. 1. Вид (спереди и сбоку) аппаратов на нижние конечности и туловище по типу «тройник» и ортезов на голеностопные суставы, используемых во время прохождения биомеханических тестов: *а* — пациентом А., *б* — пациентом Д.

Fig. 1. View (from the front and from the side) of devices for the lower extremities and trunk of the “tee” type and orthoses for the ankle joints used during biomechanical tests: *a* — patient A., *b* — patient D.

4 Мп и частотой 100 Гц. Использован метод IOR установки пассивных маркеров для реконструкции скелета человека [11]. Анализ кинематики проведён в программах QTM (Qualisys), Visual 3D (C-Motion) и с помощью клинического

PAF Gait модуля, встроенного в программное обеспечение. Расчёт индекса ходьбы (the gait profile score) описан в работах [12–14]. Опыт использования данного индекса и нормативной базы Qualisys показал, что нормой можно считать значения ниже 8,5, при этом значения индекса от 8,5 и выше указывают на дисфункцию опорно-двигательного аппарата.

Этические нормы

Исследование одобрено этическим комитетом ФГБУ ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта Минтруда России и проведено в соответствии с этическими стандартами, изложенными в Хельсинкской декларации.

Пациенты (доверенные лица) подписали письменное информированное согласие на участие в исследовании.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сравнительный анализ влияния AFO и аппарата на нижние конечности и туловище типа «тройник» осуществлён по пространственно-временным и кинематическим параметрам ходьбы испытуемых. В качестве интегрального показателя рассчитан индекс профиля походки (Gait Profile Score, GPS) как глобально для правой и левой нижней конечности, так и отдельно для тазобедренного, коленного и голеностопного суставов. В ходе исследования выполнено 6 исследований по 3 теста на каждого пациента: босиком, в ортезе на голеностопный сустав и в «тройнике».



Рис. 2. Рекомендованные пациентам А. и Д. ортезы на голеностопные суставы с учётом классификации J. Rodda и H.K. Graham (2001).

Fig. 2. Recommended ankle orthoses for patients A. and D., taking into account the classification of J. Roddy and H.K. Graham (2001).

Таблица 1. Результаты пространственно-временных показателей

Table 1. Results of spatial and temporal indicators

Переменные		Пациент Д.			Пациент А.		
		Bf	AFO	ТНКАFO	Bf	AFO	ТНКАFO
Скорость, м/с		0,104	0,096	0,108	0,652	0,777	0,466
Длина шага, м	Левая	0,278	0,207	0,211	0,488	0,547	0,419
	Правая	0,076	0,164	0,174	0,267	0,365	0,291
Симметрия		3,65	1,26	1,21	1,83	1,50	1,44
База шага, м		0,291	0,203	0,214	0,148	0,147	0,137
Длительность двухопорного периода, сек		2,398	2,722	2,438	0,303	0,292	0,577

Примечание. Bf — босиком; AFO — ортез на голеностопный сустав; ТНКАFO — аппарат на нижние конечности и туловище.

Note. Bf — barefoot; AFO — ankle orthosis; ТНКАFO — apparatus for the lower extremities and trunk.

Результаты анализа пространственно-временных показателей приведены в табл. 1.

Анализ пространственно-временных параметров показал, что использование обоих типов ортезов у детей с ДЦП по сравнению с ходьбой босиком положительно сказалось на пространственно-временных характеристиках ходьбы. Однако, как видно из табл. 1, конструкция ортеза по-разному влияет на биомеханику ходьбы у каждого конкретного ребёнка. Так, у пациента Д. «тройник» в сравнении с AFO положительно повлиял на скорость, длину, симметрию и базу шага, длительность двухопорного периода. У пациента А. анализ полученных данных показал обратную тенденцию.

Анализ гониограмм тазобедренного, коленного и голеностопного суставов, выполненных в сагиттальной плоскости, представлен на рис. 3.

Результат расчёта интегрального показателя (индекс походки) представлен в табл. 2.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов биомеханического исследования детей с ДЦП продемонстрировал, что использование разных типов ортезов по сравнению с ходьбой босиком положительно влияет на биомеханические параметры ходьбы. В свою очередь, сравнительный анализ исследованных ортезов между собой показал разнонаправленные тенденции у обоих пациентов (см. табл. 1). Так, у пациента Д. использование «тройника» по сравнению с ортезом на голеностопный сустав привело к увеличению скорости ходьбы (на 12,5%), длины (среднее значение 4,0%), симметрии (4,0%) и базы шага (5,4%), а также

Таблица 2. Числовые показатели индекса профиля походки

Table 2. Numerical indicators of the gait profile index

Переменные	н/к	Пациент Д.			Пациент А.		
		Bf	AFO	ТНКАFO	Bf	AFO	ТНКАFO
Передвижение (GPS total)	Левая	19,3	12,9	16,0	11,5	10,6	9,2
	Правая	17,3	15,8	18,3	10,9	10,0	9,1
	overall	19,0	15,1	18,2	11,6	10,6	9,8
Сгибание бедра (Hip Flexion)	Левая	20,6	17,7	17,6	15,4	11,4	9,2
	Правая	12,1	16,5	15,2	14,8	11,0	10,0
Сгибание колена (Knee Flexion)	Левая	29,3	22,9	21,8	11,3	13,2	13,5
	Правая	24,3	24,3	22,4	16,8	15,5	15,9
Сгибание лодыжки (Ankle Flexion)	Левая	22,3	9,2	9,9	8,1	7,9	17,0
	Правая	24,0	12,8	16,0	12,3	11,0	15,5
Отведение бедра (Hip Abduction)	Левая	13,3	4,9	4,0	5,0	6,1	3,6
	Правая	6,3	6,4	7,9	6,6	6,0	3,6
Вращение бедер (Hip Rotation)	Левая	25,8	9,5	13,9	13,3	12,9	5,2
	Правая	22,2	23,7	37,4	9,3	7,6	7,1
Прогресс стопы (Foot Progres)	Левая	9,8	13,4	27,3	17,4	14,6	10,5
	Правая	14,3	17,0	10,5	5,6	8,8	5,2

Примечание. н/к — нижняя конечность; Bf — босиком; AFO — ортез на голеностопный сустав; ТНКАFO — аппарат на нижние конечности и туловище.

Note. н/к — lower limb; Bf — barefoot; AFO — ankle orthosis; ТНКАFO — apparatus for lower limbs and trunk.

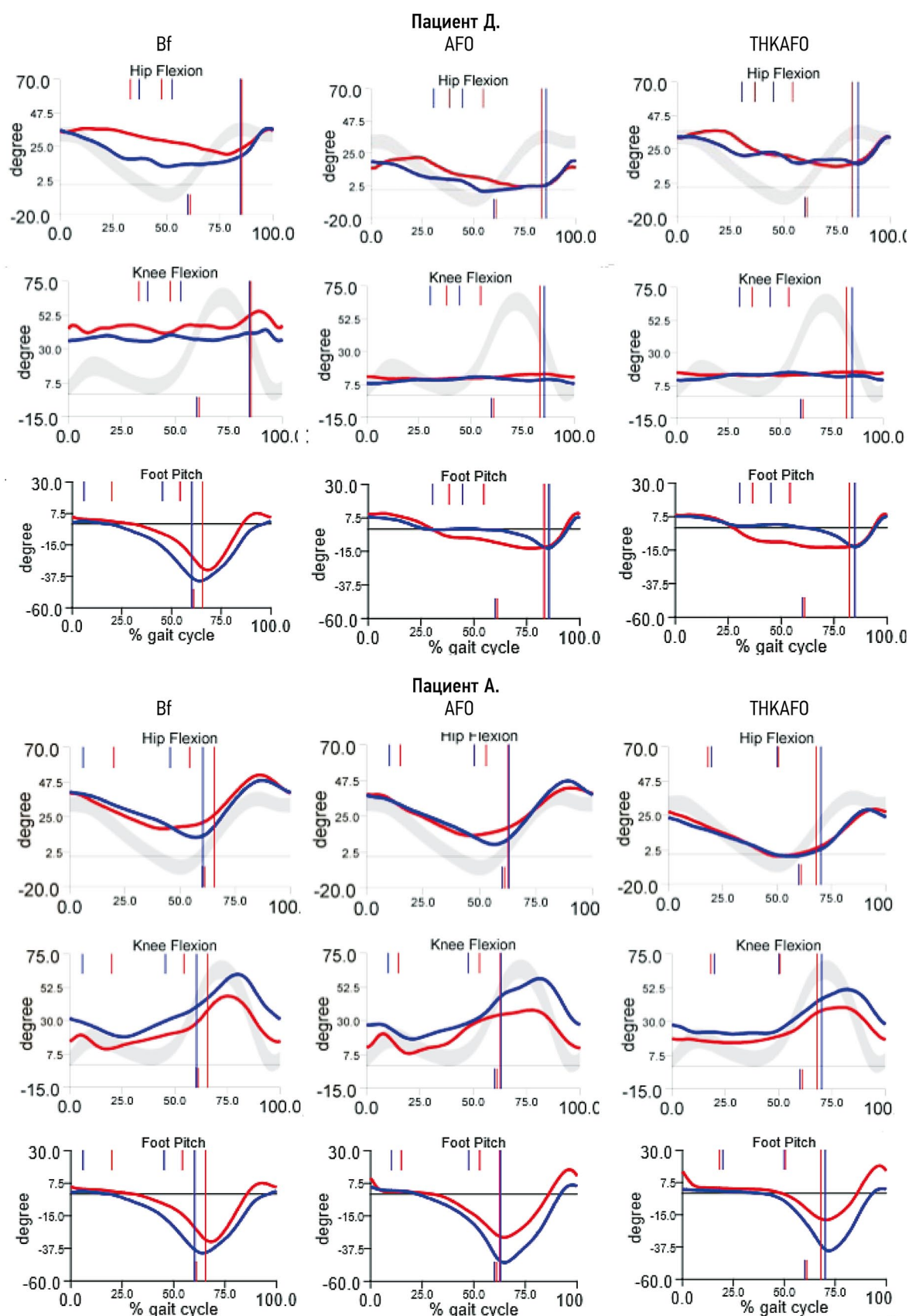


Рис. 3. Гониограммы крупных суставов детей со спастическими формами детского церебрального паралича: серая полоса — норма; красная линия — левая нижняя конечность; синяя линия — правая нижняя конечность; Bf — босиком; AFO — ортез на голеностопный сустав; THKAFO — аппарат на нижние конечности и туловище.

Fig. 3. Goniograms of large joints of children with spastic forms of cerebral palsy: gray stripe — normal; red line — left lower limb; blue line — right lower limb; Bf — barefoot; AFO — ankle orthosis; THKAFO — apparatus for lower limbs and trunk.

к снижению длительности двухопорного периода (10,4%). У пациента А., напротив, наблюдалась обратная тенденция: снижение скорости (на 40,0%), уменьшение длины (среднее значение 21,8%), симметрии (4,0%) и базы шага (6,8%), и увеличение длительности двухопорного периода (97,6%).

Анализ гониограмм показал значительное отклонение данных кинематики пациентов от нормы независимо от типа используемого ортеза или ходьбы босиком, при этом указанная девиация показателей увеличивалась с нарастанием тяжести нарушения глобальных моторных функций пациента [15]. В частности, анализ траектории движений в тазобедренном суставе в сагиттальной плоскости у пациента Д. показал резкое снижение амплитуды движений независимо от теста. На наш взгляд, это обусловлено в том числе снижением длины шага. Вместе с этим в тестах с использованием ортезов движения в тазобедренном суставе оказались более симметричны, чем при ходьбе босиком, о чём косвенно свидетельствует улучшение индекса симметрии длины шага — 1,26 и 1,21 в ортезах против 3,65 в тесте босиком.

Анализ гониограмм в тестах с использованием ортезов также продемонстрировал нормализацию траектории движений тазобедренного сустава во фронтальной плоскости. Следует отметить снижение угла сгибания в тазобедренном суставе в фазе контакта стопы с опорной поверхностью при ношении AFO по сравнению с нормативными данными.

С учётом того, что настоящее исследование является единственным по изучаемому вопросу, мы не нашли предшествующих работ, с результатами которых мы могли бы сопоставить полученные данные. Однако, исходя из клинического опыта, мы знаем, что попытка коррекции сгибательной установки в коленном суставе путём фиксации стопы и голени под прямым углом приводит к смещению центра тяжести кзади, в результате чего ребёнок падает назад. Можно предположить, что за счёт опоры руками на переднеопорные ходунки пациентом осуществлялась попытка компенсации скомпрометированной функции разгибания нижних конечностей в коленных суставах. В результате такая компенсация руками привела к гипервертикализации, которую объективно мы регистрировали как снижение угла сгибания в тазобедренном суставе в фазу контакта стопы с опорной поверхностью.

Кинематика коленного и голеностопного суставов как в ортезе на голеностопный сустав, так и в аппарате «тройник» визуально сопоставимы. На наш взгляд, данный факт обусловлен тем, что аппарат на нижние конечности и туловище состоит из нескольких частей, и конструктивные особенности его сегмента на стопу и голень сопоставимы с особенностями бесшарнирного жёсткого ортеза на голеностопный сустав, используемого пациентом в исследовании. Согласно данным J. Rodda и H.K. Graham [16], использование такой конструкции рекомендовано у детей с ДЦП при ходьбе в положении

«тройного сгибания». Действительно, как видно из гониограммы коленного сустава в тесте босиком, коленные суставы пациента в течение всего цикла шага находились в положении сгибания в диапазоне от 30° до 50° с минимальной амплитудой движения. Вместе с тем использование ортезов привело к уменьшению угла сгибания в коленных суставах до 7–15°, при этом движения в коленных суставах в течение всего цикла шага по-прежнему оставались минимальными. Анализ гониограмм показал, что использование ортезов по сравнению с тестом босиком ограничивало движения в голеностопном суставе (анализ по foot pitch — положению стопы относительно опорной поверхности). Очевидно, что это обусловлено конструктивной особенностью ортезов. Немаловажно и то, что положение стопы в фазу контакта с опорной поверхностью в ортезах по сравнению с тестом босиком более приближено к нормативным показателям.

Анализ гониограмм пациента А. показал значительно меньшее нарушение их показателей в сравнении с показателями пациента Д. Данный факт обусловлен прежде всего тем, что, несмотря на идентичный уровень GMFCS, двигательные возможности обоих детей существенно различались в пользу пациента А. Так, анализ траектории движения в сагиттальной плоскости показал улучшение её симметрии при ношении аппарата «тройник» в сравнении с тестами босиком и ортезом на голеностопный сустав. В то же время оценка гониограммы коленного сустава показала наилучший эффект при ношении AFO как за счёт уменьшения угла сгибания в коленном суставе в фазу контакта стопы с опорной поверхностью, так и за счёт общей картины траектории движений. Вместе с тем следует отметить незначительное нарастание асимметрии в период переноса конечности. Изучение графика взаимодействия стопы с опорной поверхностью (foot pitch) продемонстрировало его нормализацию при применении ортеза на голеностопный сустав в сравнении с другими тестами.

На наш взгляд, более существенное значение имеет такой показатель ходьбы, как индекс походки (GPS), широко используемый в мировой клинической практике с целью оптимизации анализа значительного массива данных, получаемых при использовании высокоточных методов исследования и видеоанализа в частности, и который был применён для интегральной оценки походки пациента во всех трёх тестах. У пациента Д. ортезы улучшили индекс походки в сравнении с ходьбой босиком. В то же время наиболее оптимальным для данного пациента являлось ношение ортеза на голеностопный сустав с улучшением общего индекса походки относительно теста в ортезе типа «тройник» для правой и левой нижней конечности на 19,4 и 13,7% соответственно. Детальный анализ показал, что улучшение общего индекса походки обусловлено в том числе за счёт оптимизации работы коленного и тазобедренного суставов (hip rotation) (см. табл. 2). Анализ индекса походки пациента А. также продемонстрировал, что применение ортезов улучшило

индекс походки по сравнению с ходьбой босиком. Однако сравнительный анализ ортезов между собой показал неоднозначную тенденцию. Так, ношение ортеза типа «тройник» привело к незначительному улучшению общего индекса походки по сравнению с ходьбой в ортезе на голеностопный сустав для левой конечности на 13,2%, для правой — на 9,0%. Вместе с тем детальный анализ показал, что использование ортеза на голеностопные суставы значительно улучшило показатели функционирования коленного и голеностопного суставов в среднем на 28,1 и 2,5% соответственно.

Таким образом, пациенту Д. по совокупности данных было рекомендовано ношение более функционального ортеза на голеностопный сустав (AFO) вместо аппарата на нижние конечности и туловище. Пациенту А. также было рекомендовано ношение AFO вместо «тройника», даже несмотря на неоднозначные результаты биомеханического исследования.

Как видно из представленных в табл. 1 и 2 данных, использование ортезов на голеностопные суставы привело к значительному улучшению пространственно-временных показателей, кинематики коленного и голеностопного суставов, индекса походки коленного и голеностопного суставов. В то же время использование аппарата на нижние конечности и туловище привело к улучшению кинематики тазобедренного сустава и общего индекса походки для правой и левой нижней конечности. Однако итоговое решение о выборе конструкции ортеза учитывает не только «тонкие» изменения биомеханических параметров, но и ряд иных факторов, в числе которых немаловажную роль играют социально-бытовые. Как известно, для достижения положительного эффекта ортезирования необходимо ношение ортеза не менее 6 ч в день [17–19], тогда как из клинической практики и результатов анкетирования мы знаем, что ребёнок в «тройнике» может находиться без перерыва обычно не более 40–60 мин, чаще — меньше, при том условии, что самостоятельно снять и надеть данный ортез пациент не может, и даже у сопровождающих лиц этот процесс занимает как минимум несколько минут. Таким образом, ребёнку-инвалиду обычно крайне сложно обеспечить «целовое» время такого ортеза в сутки, так как многократное его надевание и снятие является практически невыполнимой ежедневной задачей как для пациента, так и сопровождающего лица (как правило, мамы).

ЛИТЕРАТУРА

1. Bar-On L., Aertbelien E., Molenaers G., et al. Muscle activation pattern when passively stretching spastic lower limb muscles of children with cerebral palsy // PLoS ONE. 2014. Vol. 9, N 3. P. e91759. doi: 10.1371/journal.pone.0091759
2. Zhou J.Y., Lowe E., Cahill-Rowley K., et al. Influence of impaired selective motor control on gait in children with cerebral palsy // J Child Orthop. 2019. Vol. 13, N 1. P. 73–81. doi: 10.1302/1863-2548.13.180013

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пациентам с уровнем глобальных моторных функций GMFCS 3 перед назначением медицинских приспособлений, захватывающих два и более сегментов тела, с целью улучшения биомеханических параметров опоры и передвижения целесообразно отдавать предпочтение более коротким и функциональным ортезам.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

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

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

Вклад авторов. Кольцов А.А. — концепция и дизайн исследования, этапное и заключительное редактирование статьи; Аксёнов А.Ю. — проведение биомеханических обследований, консультативная помощь в обработке данных цифрового материала, заключительное редактирование статьи; Джомарды Э.И. — анализ литературы, проведение клинического осмотра и помощь в проведении биомеханических обследований, обработка цифрового материала, написание базового текста статьи, этапное и заключительное редактирование статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Author contribution. Koltsov A.A. — concept and design of the study, step-by-step and final editing of the article; Aksenov A.Yu. — conducting biomechanical examinations, advisory assistance in data processing of digital material, final editing of the article; Dzhomardly E.I. — literature analysis, clinical examination and assistance in conducting biomechanical examinations, processing of digital material, writing the basic text of the article, step-by-step and final editing of the article. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

3. Munger M.E., Chen B.P., MacWilliams B.A., et al. 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. Vol. 9, N 6. P. e027486. doi: 10.1136/bmjopen-2018-027486
4. Min J.J., Kwon S.S., Sung K.H., et al. Progression of planovalgus deformity in patients with cerebral pal-

- sy // *BMC Musculoskelet Disord*. 2020. Vol. 21, N 1. P. 141. doi: 10.1186/s12891-020-3149-0
5. Ganjwala D., Shah H. Management of the knee problems in spastic cerebral palsy // *Indian J Orthop*. 2019. Vol. 53, N 1. P. 53–62. doi: 10.4103/ortho.IJOrtho_339_17
6. Dursun N., Gokbel T., Akarsu M., Dursun E. Randomized controlled trial on effectiveness of intermittent serial casting on spastic equinus foot in children with cerebral palsy after botulinum toxin — A treatment // *Am J Phys Med Rehabil*. 2017. Vol. 96, N 4. P. 221–225. doi: 10.1097/PHM.0000000000000627
7. Weide G., Sloot L., Oudenhoven L., et al. Comprehensive evaluation of gait, spasticity, and muscle morphology: A case report of a child with spastic paresis treated with botulinum NeuroToxin-A, serial casting, and physiotherapy // *Clin Case Rep*. 2019. Vol. 7, N 9. P. 1637–1646. doi: 10.1002/ccr3.2227
8. Aslan A., Diril S.K., Demirci D., Yorgancigil H. Comparison of single event multilevel surgery and multiple surgical events in the lower extremities of children with spastic cerebral palsy // *Eklemler Hastalik Cerrahisi*. 2019. Vol. 30, N 3. P. 217–223. doi: 10.5606/ehc.2019.66516
9. Langerak N.G., Tam N., du Toit J., et al. Gait pattern of adults with cerebral palsy and spastic diplegia more than 15 years after being treated with an Interval Surgery Approach: Implications for Low-Resource Settings // *Indian J Orthop*. 2019. Vol. 53, N 5. P. 655–661. doi: 10.4103/ortho.IJOrtho_113_19
10. Кольцов А.А., Джомардлы Э.И. Анализ динамики типов технических средств реабилитации и частоты их использования у пациентов с детским церебральным параличом // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2020. Т. 8, № 2. С. 55–64. doi: 10.17816/PTORS18953
11. Leardini A., Sawacha Z., Paolini G., et al. A new anatomically based protocol for gait analysis in children // *Gait Posture*. 2007. Vol. 26, N 4. P. 560–571. doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.12.018
12. Baker R., McGinley J.L., Schwartz M.H., et al. The gait profile score and movement analysis profile // *Gait Posture*. 2009. Vol. 30, N 3. P. 265–269. doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.05.020
13. Rasmussen H.M., Nielsen D.B., Pedersen N.W., et al. Gait deviation index, gait profile score and gait variable score in children with spastic cerebral palsy: Intra-rater reliability and agreement across two repeated sessions // *Gait Posture*. 2015. Vol. 42, N 2. P. 133–137. doi: 10.1016/j.gaitpost.2015.04.019
14. Skaaret I., Steen H., Terjesen T., Holm I. Impact of ankle-foot orthoses on gait 1 year after lower limb surgery in children with bilateral cerebral palsy // *Prosthet Orthot Int*. 2019. Vol. 43, N 1. P. 12–20. doi: 10.1177/0309364618791615
15. Чибиров Г.М., Долганова Т.И., Долганов Д.В., Попков Д.А. Анализ причин патологических паттернов кинематического локомоторного профиля по данным компьютерного анализа походки у детей со спастическими формами ДЦП // *Гений ортопедии*. 2019. Т. 25, № 4. С. 493–500. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-493-500
16. Rodda J., Graham H.K. Classification of gait patterns in spastic hemiplegia and spastic diplegia: a basis for a management algorithm // *Eur J Neurol*. 2001. Vol. 8, N 5. P. 98–108. doi: 10.1046/j.1468-1331.2001.00042.x
17. Zhao X., Xiao N., Li H., Du S. Day vs day-night use of ankle-foot orthoses in young children with spastic diplegia: a randomized controlled study // *Am J Phys Med Rehabil*. 2013. Vol. 92, N 10. P. 905–911. doi: 10.1097/PHM.0b013e318296e3e8
18. Tardieu C., Lespargot A., Tabary C., et al. For how long must the soleus muscle be stretched each day to prevent contractures // *Dev Med Child Neurol*. 1986. Vol. 30, N 1. P. 3–10. doi: 10.1111/j.1469-8749.1988.tb04720.x
19. Schwarze M., Horoba L., Block J., et al. Wearing time of ankle-foot orthosis with modular shank supply in cerebral palsy: A descriptive analysis in a clinically prospective approach // *Rehabil Res Pract*. 2019. Vol. 2019. P. 2978265. doi: 10.1155/2019/2978265

REFERENCES

1. Bar-On L., Aertbelien E., Molenaers G., et al. Muscle activation pattern when passively stretching spastic lower limb muscles of children with cerebral palsy. *PLoS ONE*. 2014;9(3):e91759. doi: 10.1371/journal.pone.0091759
2. Zhou JY, Lowe E, Cahill-Rowley K, et al. Influence of impaired selective motor control on gait in children with cerebral palsy. *J Child Orthop*. 2019;13(1):73–81. doi: 10.1302/1863-2548.13.180013
3. Munger ME, Chen BP, MacWilliams BA, et al. 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
4. Min JJ, Kwon SS, Sung KH, et al. Progression of planovalgus deformity in patients with cerebral palsy. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020;21(1):141. doi: 10.1186/s12891-020-3149-0
5. Ganjwala D, Shah H. Management of the knee problems in spastic cerebral palsy. *Indian J Orthop*. 2019;53(1):53–62. doi: 10.4103/ortho.IJOrtho_339_17
6. Dursun N, Gokbel T, Akarsu M, Dursun E. Randomized controlled trial on effectiveness of intermittent serial casting on spastic equinus foot in children with cerebral palsy after botulinum toxin — A treatment. *Am J Phys Med Rehabil*. 2017;96(4):221–225. doi: 10.1097/PHM.0000000000000627
7. Weide G, Sloot L, Oudenhoven L, et al. Comprehensive evaluation of gait, spasticity, and muscle morphology: A case report of a child with spastic paresis treated with botulinum NeuroToxin-A, serial casting, and physiotherapy. *Clin Case Rep*. 2019;7(9):1637–1646. doi: 10.1002/ccr3.2227
8. Aslan A, Diril SK, Demirci D, Yorgancigil H. Comparison of single event multilevel surgery and multiple surgical events in the lower extremities of children with spastic cerebral palsy. *Eklemler Hastalik Cerrahisi*. 2019;30(3):217–223. doi: 10.5606/ehc.2019.66516
9. Langerak NG, Tam N, du Toit J, et al. Gait pattern of adults with cerebral palsy and spastic diplegia more than 15 years after being treated with an Interval Surgery Approach: Implications for Low-Resource Settings. *Indian J Orthop*. 2019;53(5):655–661. doi: 10.4103/ortho.IJOrtho_113_19
10. Koltsov AA, Dzhomardly EI. Analysis of type and frequency dynamics of rehabilitation assistive devices in children with cerebral palsy. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and reconstructive Surgery*. 2020;8(2):55–64. (In Russ). doi: 10.17816/PTORS18953

11. Leardini A, Sawacha Z, Paolini G, et al. A new anatomically based protocol for gait analysis in children. *Gait Posture*. 2007;26(4):560–571. doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.12.018
12. Baker R, McGinley JL, Schwartz MH, et al. The gait profile score and movement analysis profile. *Gait Posture*. 2009;30(3):265–269. doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.05.020
13. Rasmussen HM, Nielsen DB, Pedersen NW, et al. Gait deviation index, gait profile score and gait variable score in children with spastic cerebral palsy: Intra-rater reliability and agreement across two repeated sessions. *Gait Posture*. 2015;42(2):133–137. doi: 10.1016/j.gaitpost.2015.04.019
14. Skaaret I, Steen H, Terjesen T, Holm I. Impact of ankle-foot orthoses on gait 1 year after lower limb surgery in children with bilateral cerebral palsy. *Prosthet Orthot Int*. 2019; 43(1):12–20. doi: 10.1177/0309364618791615
15. Chibirov GM, Dolganova TI, Dolganov DV, Popkov DA. Analysis of the causes of pathological patterns of kinematic locomotor profile according to computer analysis of gait in children with spastic forms

- of cerebral palsy. *The Genius Orthopedics*. 2019;25(4):493–500. (In Russ). doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-493-500
16. Rodda J, Graham HK. Classification of gait patterns in spastic hemiplegia and spastic diplegia: a basis for a management algorithm. *Eur J Neurol*. 2001;8(5):98–108. doi: 10.1046/j.1468-1331.2001.00042.x
17. Zhao X, Xiao N, Li H, Du S. Day vs day-night use of ankle-foot orthoses in young children with spastic diplegia: a randomized controlled study. *Am J Phys Med Rehabil*. 2013;92(10):905–911. doi: 10.1097/PHM.0b013e318296e3e8
18. Tardieu C, Lespargot A, Tabary C, et al. For how long must the soleus muscle be stretched each day to prevent contractures. *Dev Med Child Neurol*. 1986;30(1):3–10. doi: 10.1111/j.1469-8749.1988.tb04720.x
19. Schwarze M, Horoba L, Block J, et al. Wearing time of ankle-foot orthosis with modular shank supply in cerebral palsy: A descriptive analysis in a clinically prospective approach. *Rehabil Res Pract*. 2019;2019:2978265. doi: 10.1155/2019/2978265

ОБ АВТОРАХ

Автор, ответственный за переписку:

Кольцов Андрей Анатольевич, к.м.н.;

адрес: Россия, 195067, Санкт-Петербург, ул. Бестужевская, д. 50;

e-mail: katandr2007@yandex.ru; eLibrary SPIN: 2767-3392;

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

Соавторы:

Аксёнов Андрей Юрьевич, к.м.н.; e-mail:

a.aksenov@hotmail.com; eLibrary SPIN: 9403-8244;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7180-0561>

Джомардлы Эльнур Исфандиярович, аспирант;

e-mail: mamedov.ie@yandex.ru; eLibrary SPIN: 5853-0260;

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

AUTHORS' INFO

The author responsible for the correspondence:

Andrey A. Koltsov, MD, Cand. Sci. (Med.);

address: 50, Bestughevskaya street, Sankt-Petersburg, 195067,

Russia; e-mail: katandr2007@yandex.ru; eLibrary SPIN: 2767-3392;

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

Co-authors:

Andrey Yu. Aksenov, MD, Cand. Sci. (Med.);

e-mail: a.aksenov@hotmail.com; eLibrary SPIN: 9403-8244;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7180-0561>

Elmur I. Dzhomardly, MD, Graduate Student;

e-mail: mamedov.ie@yandex.ru; eLibrary SPIN: 5853-0260;

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