

Гений ортопедии. 2022. Т. 28, № 5. С. 669-674.
Genij Ortopedii. 2022. Vol. 28, no. 5. P. 669-674.

Научная статья

УДК [616.728.2-009.12-76:616.831-009.12-053.2](086.8)

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-5-669-674>



Влияние отводящего ортеза на кинематические показатели тазобедренного сустава при ходьбе у детей со спастическими формами ДЦП

Андрей Юрьевич Аксенов¹, Андрей Анатольевич Кольцов^{2✉}, Эльнур Исфандиярович Джомардлы²

¹ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

² Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Андрей Анатольевич Кольцов, katandr2007@yandex.ru

Аннотация

Введение. Одними из значимых причин усугубления статодинамических нарушений у детей со спастическими формами ДЦП нередко являются приводящие или сгибательно-приводящие установки нижних конечностей в тазобедренном суставе. С целью коррекции указанных нарушений в клинической практике мы часто наблюдаем применение отводящих ортезов на тазобедренные суставы. В то же время нами не обнаружены работы, подтверждающие или опровергающие эффективность этих изделий в коррекции паттерна ходьбы. **Цель.** Исследовать влияние отводящего ортеза на тазобедренные суставы на биомеханические параметры ходьбы у детей со спастическими формами ДЦП. **Материалы и методы.** Проведены 12 биомеханических исследований у 6-и пациентов с уровнем GMFCS 3 (6 тестов в отводящем ортезе на тазобедренные суставы и 6 тестов без ортеза). Биомеханические исследования выполнены с помощью системы видеонализа «Qualisys» Miquis M5 (Швеция). Обработка данных выполнена с использованием пакетов прикладных программ Visual3D, Clinical Gait PAF (Qualisys), Statistica 10 и Excel. **Результаты.** Сравнительный анализ средних значений показал наличие различий биомеханических параметров ходьбы в зависимости от условий теста. Так, в ортезе отмечено улучшение пространственно-временных параметров в диапазоне от 0,4 до 23,6 %. Анализ кинематики крупных суставов продемонстрировал незначительное положительное влияние на функцию тазобедренных суставов. Существенных различий в работе других суставов не отмечено. Использование ортеза улучшило общий индекс походки для левой и правой нижней конечности на 12,5 и 5,7 % соответственно. Детальный анализ индекса походки для крупных суставов нижних конечностей по отдельности продемонстрировал их улучшение. **Заключение.** Использование отводящих ортезов на тазобедренные суставы в целом положительно повлияло на биомеханические параметры ходьбы испытуемых детей со спастическими формами ДЦП. **Ключевые слова:** ходьба, ортезы, видеонализ, ДЦП, дети

Для цитирования: Аксенов А.Ю., Кольцов А.А., Джомардлы Э.И. Влияние отводящего ортеза на кинематические показатели тазобедренного сустава при ходьбе у детей со спастическими формами ДЦП // Гений ортопедии. 2022. Т. 28, № 5. С. 669-674. DOI: 10.18019/1028-4427-2022-28-5-669-674. EDN WOHGCT.

Original article

Effect of hip abduction orthosis on gait kinematics of children with spastic cerebral palsy

Andrey Yu. Aksenov¹, Andrey A. Koltsov^{2✉}, Elnur I. Dzhomardly²

¹ Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

² Federal scientific center for rehabilitation of disabled people named after G.A. Albrecht, Saint-Petersburg, Russian Federation

Corresponding author: Andrey A. Koltsov, katandr2007@yandex.ru

Abstract

Introduction Adduction or flexion-adduction contracture of the hip joint often causes static and dynamic impairments in children with spastic cerebral palsy that can be corrected with hip abduction orthosis. No reports confirming or rejecting the effectiveness of the method in the gait correction have not found. **The objective** was to explore the effect of the hip abduction orthosis on gait kinematics in children with spastic cerebral palsy. **Material and methods** Twelve biomechanical tests were performed for 6 patients of GMFCS level 3 (6 tests with hip abduction orthosis and 6 tests with no hip abduction orthosis). Gait analysis was produced using the Qualisys Miquis M5 motion capture system (Sweden). Clinical gait analysis was performed with PAF 2.0 of QTM software, Visual3D, Statistica 10 and Excel. **Results** A comparative analysis of the mean values showed differences in the gait parameters depending on test conditions. Improvements in the spatial-temporal parameters ranged between 0.4 % and 23.6 % with use of orthosis. The kinematic analysis of large joints demonstrated a slight positive effect on the hip joint function. There were no significant differences in the function of other joints. The use of orthosis improved the overall gait index score for the left and right lower limbs by 12.5 % and 5.7 %, respectively. A detailed analysis of the gait index for large joints of the lower limbs demonstrated the discrete improvement. **Conclusion** Hip abduction orthosis showed a positive effect on the gait pattern of children with spastic cerebral palsy.

Keywords: gait, orthosis, gait analysis, cerebral palsy, children

For citation: Aksenov A.Yu., Koltsov A.A., Dzhomardly E.I. Effect of hip abduction orthosis on gait kinematics of children with spastic cerebral palsy. *Genij Ortopedii*, 2022, vol. 28, no 5, pp. 669-674. DOI: 10.18019/1028-4427-2022-28-5-669-674.

ВВЕДЕНИЕ

У пациентов со спастическими формами ДЦП в структуре ортопедических нарушений приводящие установки/контрактуры нижних конечностей в тазобедренных суставах занимают значимое место в нарушении стереотипа ходьбы [1-3]. Согласно данным литературы, может сформироваться мнение, что коррекция указанных нарушений в основном достигается инвазивным путем [4-7]. Отчасти это обусловлено тем, что

количество источников, посвященных исследованию консервативных методов лечения, в частности, роли ортезов на тазобедренные суставы, крайне мало [8, 9]. В этих работах ортезы рассматриваются в основном в контексте их влияния на состояние тазобедренных суставов в комбинации с хирургией, применения ботулинического токсина типа А и т.д. [10, 11] Вместе с тем, мы в своей практике часто наблюдаем, что значительное количество

больных использует отводящий ортез на тазобедренные суставы с целью улучшения функции опоры и передвижения за счет устранения приводящих установок. В то же время нами в мировой литературе не обнаружено значимых публикаций о влиянии применения данных отводящих ортезов на статодинамическую функцию и стереотип передвижения пациента, за исключением работы одной группы ученых [12]. В указанной работе авторы сообщают о положительном влиянии применения ортеза типа SWASH на пространственно-временные характеристики ходьбы ребенка с ДЦП. На наш взгляд, данная работа имеет ограничения по дизайну, так как в качестве объективного инструмента оценки указанных

параметров ходьбы применен аппаратный комплекс на основе программного обеспечения (ПО) «Kinect», который, согласно Ма У. и соавторам [13], может быть применен только в качестве скринингового метода.

С учетом вышесказанного, исследование влияния отводящих ортезов на биомеханические параметры опоры и передвижения с использованием высокоточного метода – 3D-видеоанализа, являющегося «золотым» стандартом обследования за рубежом [14], представляется актуальным.

Цель – исследовать влияние отводящего ортеза на тазобедренные суставы на кинематические параметры ходьбы у детей со спастическими формами ДЦП.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

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

Пациенты получали комплексную медицинскую реабилитацию в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации.

По результатам клинического осмотра для проведения биомеханического обследования сформирована группа из шести пациентов в возрасте от 5 до 16 лет включительно (т.е. с уже сформировавшимся стереотипом ходьбы) с подтвержденным диагнозом «ДЦП, спастическая диплегия» либо «ДЦП, спастический тетрапарез» с уровнем двигательной активности GMFCS 3 и уровнем спастичности Ashworth scale 2–3.

Критерии исключения – невозможность ходьбы даже с использованием средств дополнительной опоры (костылей, тростей, ходунков); значимое когнитивное нарушение или эмоциональное состояние обследуемого, не позволяющее добиться с ним контакта для проведения биомеханического обследования; ботулинотерапия в анамнезе менее чем за 6 месяцев до обследования; хирургическое лечение в анамнезе менее чем за 12 мес. до обследования.

Все пациенты прошли 2 теста – в отводящем ортезе на тазобедренные суставы и без него.

Требования к ортезу: наличие жесткого низкопрофильного корсета на туловище и манжет на оба бедра,

соединенных между собой посредством располагающихся монолатерально бедренных стержневых шин и беззамковых шарниров, с применением для крепления корсета на туловище и манжет на бедрах лент «велкро». У четырех детей в качестве отводящего ортеза на тазобедренные суставы применялся ортез иностранного производства (Швеция) (рис. 1, а), у двух пациентов – аппарат на тазобедренные суставы российского производства (рис. 1, б, в).

Ортез использовался пациентом до исследования не менее 4 недель, при этом ношение изделия не вызывало дискомфорта. Отводящий ортез на тазобедренный сустав приобретался пациентом до поступления в стационар либо выдавался непосредственно в клинике на период реабилитации. Решение о рекомендации снабжения ортезом принималось по итогам проведения медико-технической комиссии. В состав медико-технической комиссии входили три врача травматолога-ортопеда (председатель МТК, заведующий отделением, лечащий врач), научный сотрудник института протезирования и ортезирования, а также как минимум один техник-ортезист. Отведение нижних конечностей осуществлялось до физиологического положения.

Видеоанализ выполнен с помощью системы «Qualisys» Miqus M5 (Швеция). Регистрация кинематики осуществлялась 12 камерами с разрешением 4Мп и частотой 100 Гц. Использовался метод IOR установки пассивных маркеров для реконструкции скелета человека (рис. 2) [15].

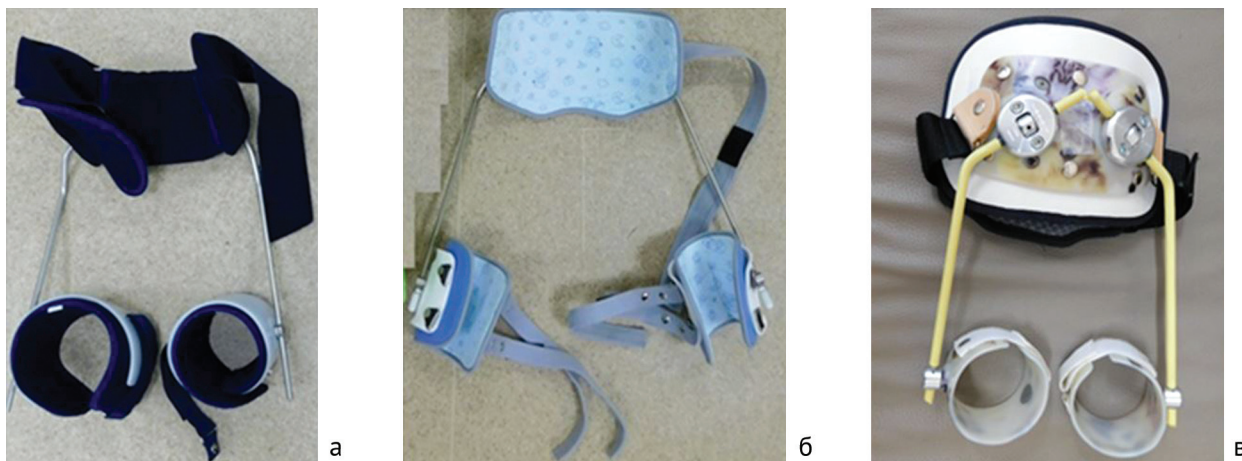


Рис. 1. Образцы вариантов отводящих ортезов на тазобедренные суставы, использованных пациентами во время исследования

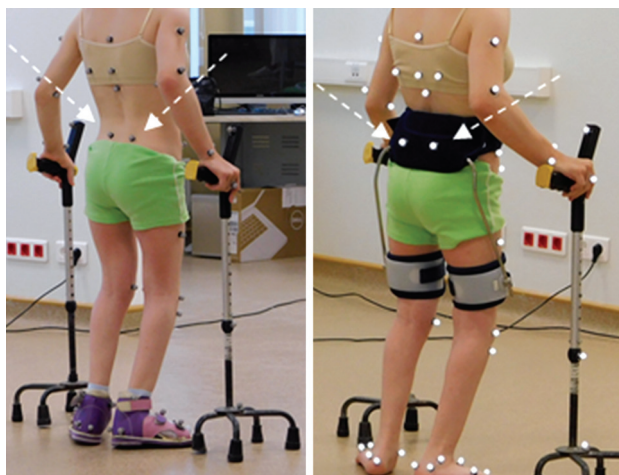


Рис. 2. Размещение маркеров при разных условиях теста

Анализ кинематики проводился в программах QTM (Qualisys), Visual3D (C-Motion) и с помощью клинического PAF Gait модуля, встроенного в программное обеспечение. Расчет индекса ходьбы (the gait profile score) производился для всех суставов нижних конечностей и

описан в литературе [16–18]. Опыт использования данного индекса и нормативной базы Qualisys показал, что нормой можно считать общее значения ниже 8,5, тогда как более высокие значения данного показателя указывают на дисфункцию опорно-двигательного аппарата.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В рамках исследования нами изучались три блока основных переменных, позволяющих произвести комплексную оценку функции опоры и передвижения: пространственно-временные параметры ходьбы; кинематика крупных суставов нижних конечностей; интегральный показатель – индекс походки (GPS), который рассчитан как глобально для правой и левой нижней конечности, так и отдельно для тазобедренного, коленного и голеностопного суставов. Кроме того, для более наглядного представления различий в ходьбе у обследованных детей в отводящем ортезе на тазобедренные суставы и без него рассчитано отличие медианных значений ΔMe_i исследованных переменных (табл. 1 и 2):

$$\Delta Me_i = 100 \% (Me_{i_o} - Me_{i_{\phi/o}}) / (Me_{i_{\phi/o}}),$$
 где Me_{i_o} – медиана i -й переменной у пациентов в ортезе, $Me_{i_{\phi/o}}$ – без ортеза.

Как видно из таблицы 1, имеются различия по четырём переменным: скорость ходьбы, длина и база шага, длительность двухопорного периода.

Исследование кинематики движения крупных суставов нижних конечностей выполнялось в трех плоскостях – сагиттальной, фронтальной и трансверсальной. В сагиттальной плоскости изучались сгибание и разгибание в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах, во фронтальной – отведение в тазобедренном суставе, в трансверсальной – ротационное положение стоп (рис. 3).

Таблица 1

Значения пространственно-временных показателей ($M \pm \sigma$)

Переменные	Нижняя конечность	Варианты тестов		ΔMe_i
		без ортеза (n = 6)	в ортезе (n = 6)	
Скорость (м/с)		$0,35 \pm 0,17$	$0,38 \pm 0,16$	6,6
База шага (м)		$0,13 \pm 0,06$	$0,16 \pm 0,04$	23,6
Длительность двухопорного периода (с)		$0,88 \pm 0,43$	$0,73 \pm 0,32$	-17,2
Длина шага (м)	левая	$0,32 \pm 0,02$	$0,34 \pm 0,02$	5,1
	правая	$0,32 \pm 0,07$	$0,32 \pm 0,07$	-0,4

Примечание к таблицам 1 и 2: n – количество наблюдений; $M \pm \sigma$ – среднее значение со стандартным отклонением.

Таблица 2

Результаты расчета индекса походки

Параметры/индекс походки (GPS)	Нижняя конечность	Варианты тестов		$\Delta Me (\%)$
		без ортеза (n = 6)	в ортезе (n = 6)	
GPS общий	левая	$14,45 \pm 2,68$	$12,65 \pm 2,15$	-12,5
	правая	$14,63 \pm 2,64$	$13,80 \pm 1,59$	-5,7
Тазобедренный сустав, сгибание GPS	левая	$12,95 \pm 2,73$	$10,23 \pm 4,16$	-21
	правая	$14,45 \pm 3,38$	$13,88 \pm 4,39$	-3,9
Тазобедренный сустав, приведение GPS	левая	$5,58 \pm 2,19$	$5,03 \pm 2,61$	-9,9
	правая	$6,48 \pm 4,68$	$6,07 \pm 2,19$	-6,4
Коленный сустав, GPS	левая	$20,95 \pm 2,60$	$20,37 \pm 4,02$	-2,8
	правая	$22,52 \pm 3,29$	$22,45 \pm 4,30$	-0,3
Голеностопный сустав, GPS	левая	$17,75 \pm 3,22$	$14,45 \pm 4,49$	-18,6
	правая	$17,85 \pm 6,55$	$16,28 \pm 5,77$	-8,8
Разворот стопы, GPS	левая	$17,68 \pm 10,28$	$14,40 \pm 8,11$	-18,6
	правая	$14,75 \pm 10,31$	$15,62 \pm 7,20$	5,88

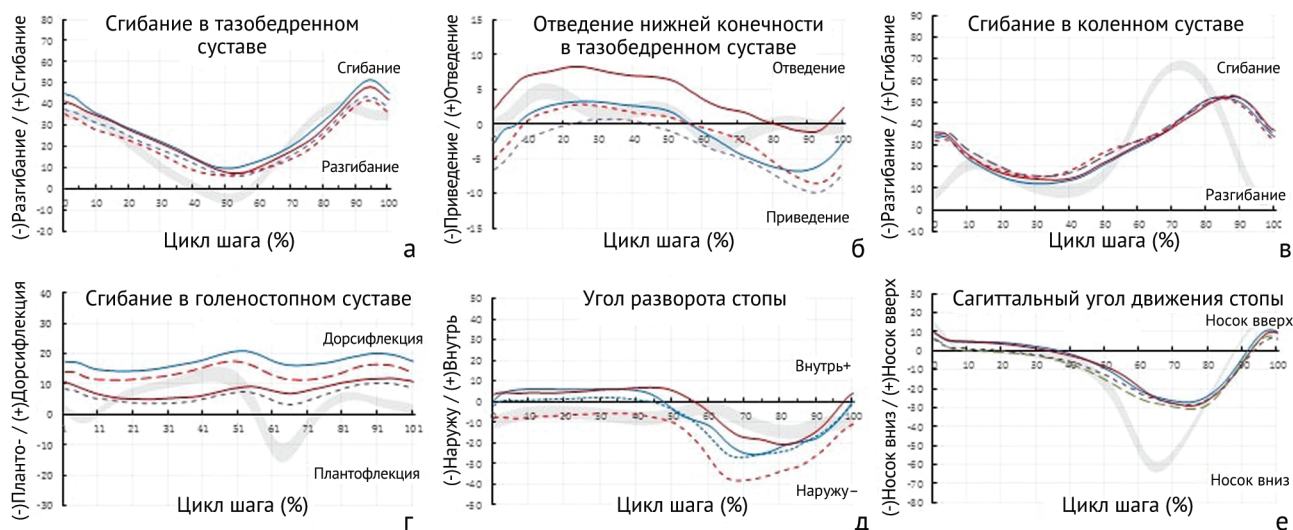


Рис. 3. Гониограммы крупных суставов нижних конечностей. Примечание: серая полоса – норма; сплошная красная линия – левая нижняя конечность в ортезе; сплошная синяя линия – правая нижняя конечность в ортезе; пунктирная красная линия – левая нижняя конечность без ортеза; пунктирная синяя линия – правая нижняя конечность без ортеза

Результаты расчета интегрального показателя (индекса походки) представлены в таблице 2.

По данным, представленным в таблице 2, видно, что использование ортеза улучшило общий индекс походки для левой и правой нижней конечности на

12,5 и 5,7 % соответственно. Детальный анализ индекса походки для крупных суставов нижних конечностей по отдельности продемонстрировал улучшение биомеханики ходьбы, за исключением разворота правой стопы.

ДИСКУССИЯ

На протяжении последних нескольких десятилетий отводящие ортезы позиционируются как ортопедические изделия, предназначенные, прежде всего, для профилактики прогрессирования миграции головки бедренной кости [19, 20]. Возможно, связи с этим в найденных нами немногочисленных работах данные ортезы рассматриваются в основном в контексте их влияния на состояние тазобедренных суставов, при этом чаще в комбинации с хирургией и инъекциями ботулинического токсина типа А и т.д., реже – самостоятельно [11, 21–24]. Несмотря на это, убедительных данных о влиянии отводящих ортезов на состояние тазобедренных суставов нет [25]. Вместе с тем, наглядным как для специалистов, так и для родителей является тот факт, что использование ортезов указанной конструкции позволяет снизить выраженность или полностью устранить приводящие установки нижних конечностей в тазобедренных суставах, а также повысить устойчивость ребенка при опоре и ходьбе. Интересно, что эти практические наблюдения никак не освещены в научных публикациях, в то время как именно этот аспект кажется нам первичным с учетом такого распространенного проявления спастичности как приводящая и сгибательно-приводящая установка или контрактура нижних конечностей [6, 26]. В связи с этим мы исследовали не только пространственно-временные показатели, которые нередко можно наблюдать при визуальной оценке, но и такие более тонкие и сложные для анализа переменные как гониограммы крупных суставов нижних конечностей в двух плоскостях, а также интегральный показатель – индекс походки.

Так, анализ пространственно-временных показателей продемонстрировал их улучшение при использовании отводящего ортеза на тазобедренные суставы. Максимальное улучшение отмечено по таким переменным как база шага и длительность двухопорного периода

(23,6 и 17,2 % соответственно), минимальное – длина и скорость шага (5,1 и 6,6 % соответственно). С точки зрения биомеханики, ключевой переменной, позволяющей оценивать устойчивость испытуемого, является длительность двухопорного периода, уменьшение которой характеризует повышение устойчивости ребенка. На наш взгляд, этот факт обусловлен значительным (23,6 %) увеличением базы шага в ортезе. Косвенное подтверждение этому можем получить из данных литературы, где сообщается о том, что устойчивость тела человека может изменяться в зависимости от изменения факторов устойчивости и возрастает при увеличении его массы, снижении уровня общего центра тяжести, увеличении площади опоры (рис. 4) [27–29].



Рис. 4. Схематическое представление понятий «Стабильность» и «Баланс»

В свою очередь, увеличение скорости и длины шага можно считать атрибутом повышения устойчивости и баланса тела пациента [29].

Следует отметить, что назначение ортеза любой конструкции нередко сопровождается нарушением кинематики смежных суставов. Так, согласно полученным нами ранее данным, ношение ортеза на тазобедренные суставы может приводить к избыточному сгибанию ко-

нечностей в коленных суставах и/или усилению патологической ротации нижних конечностей [12]. В связи с этим нами уделено значительное внимание оценке кинематики крупных суставов нижних конечностей. Так, изучение гониограммы тазобедренного сустава показало, что использование отводящего ортеза на тазобедренные суставы привело к оптимизации угла сгибания в фазе контакта стопы с опорной поверхностью по сравнению с тестом без ортеза, тогда как симметрия и амплитуда сгибания в указанном суставе в ортезе и без ортеза оказались сопоставимы. Анализ гониограммы, описывающей траектории отведения в тазобедренном суставе, продемонстрировал, что использование ортеза позволяет достичь более синхронной работы правой и левой нижней конечности, чем при его отсутствии (об этом свидетельствует разница диастаза между линиями – правая и левая нижняя конечность). Однако анализ гониограммы коленного сустава показал, что независимо от теста пациенты входили в начальную фазу периода опоры в положении сгибания в коленных суставах [30]. Полного разгибания не происходило и в конце указанного периода, следовательно, период переноса начинался также со сгибательной установки в коленных суставах [30]. Анализ гониограммы голеностопного сустава (взаимоположение плоскости подошвенной поверхности к плоскости опорной поверхности – foot pitch) показал ее стремление к нормативным показателям вне зависимости от условий теста. Сагиттальный угол движения стопы продемонстрировал улучшенные показатели между 0 и 50 % цикла шага, если сравнить с нормативными данными, и стопа полностью касалась поверхности пола. Исходя из анализа кинематики суставов можно утверждать, что у детей с ДЦП, принявших участие в исследовании, ношение ортеза не сопровождалось

нежелательным эффектом со стороны крупных суставов нижних конечностей, более того, так или иначе улучшало кинематику тазобедренных суставов.

По данным литературы, 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 отмеченных в ряде источников [16–18]. Данный индекс применен нами для интегральной оценки походки пациентов в ортезе и без ортеза. Использование ортеза на тазобедренные суставы обусловило улучшение значений индекса походки левой и правой нижней конечности на 12,5 и 5,7 % соответственно. Более детальный анализ показал положительное влияние ортеза на работу тазобедренного (сгибание) и голеностопного (сгибание) суставов обеих нижних конечностей в диапазоне от 3,9 до 21,0 %. Изменение индекса походки коленного сустава в тестах с ортезом и без него продемонстрировало значимые различия. Влияние ортеза на внутривротационное положение стоп оказалось явно положительным для левой стопы (18,6 %) и умеренно отрицательным для правой стопы (5,9 %). При этом необходимо отметить, что, несмотря на такую разнонаправленную тенденцию, симметрия положения стоп в ортезе улучшилась. Тем не менее, рекомендуется провести более детальное исследование с использованием динамометрических платформ для расчета кинетики работы суставов, а также оценки активности работы основных мышц нижних конечностей.

Настоящая работа имеет ограничение по дизайну – не использованы динамометрические платформы и системы ЭМГ.

ВЫВОДЫ

1. Использование отводящего ортеза на тазобедренные суставы благоприятно повлияло на пространственно-временные характеристики ходьбы: базу шага, длину и скорость шага, длительность двухопорного периода.

2. Ношение ортеза улучшило функцию тазобедренного сустава (во фронтальной и сагиттальной плоско-

стях) без отрицательного влияния на работу коленного и голеностопного суставов.

3. Глобально использование отводящего ортеза положительно повлияло на паттерн ходьбы обследованных детей со спастическими формами ДЦП, о чем также свидетельствует улучшение переменных интегрального показателя – индекса походки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Prevalence of specific gait abnormalities in children with cerebral palsy revisited: influence of age, prior surgery, and Gross Motor Function Classification System level / S.A. Rethlefsen, G. Blumstein, R.M. Kay, F. Dorey, T.A. Wren // *Dev. Med. Child. Neurol.* 2017. Vol. 59, No 1. P. 79–88. DOI: 10.1111/dmcn.13205.
2. Musculoskeletal Pathology in Cerebral Palsy: A Classification System and Reliability Study / H.K. Graham, P. Thomason, K. Willoughby, T. Hastings-Ison, R.V. Stralen, B. Dala-Ali, P. Wong, E. Rutz // *Children* (Basel). 2021. Vol. 8, No 3. P. 252. DOI: 10.3390/children8030252.
3. Associations of hamstring and triceps surae muscle spasticity and stance phase gait kinematics in children with spastic diplegic cerebral palsy / N. Bowal, A. Nettel-Aguirre, G. Ursulak, E. Condliffe, I. Robu, S. Goldstein, C. Emery, J.L. Ronsky, G. Kuntze // *J. Biomech.* 2021. Vol. 117. P. 110218. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2020.110218.
4. Management of Hip disorders in Patients with Cerebral Palsy / P. Hosseinzadeh, K. Baldwin, A. Minaie, F. Miller // *JBJS Rev.* 2020. Vol. 8, No 3. P. e0148. DOI: 10.2106/JBJS.RVW.19.00148.
5. Aktaş E., Ömeroğlu H. Botulinum toxin type A injection increases range of motion in hip, knee and ankle joint contractures of children with cerebral palsy // *Ekleml. Hastalıklar. Cerrahisi.* 2019. Vol. 30, No 2. P. 155–162. DOI: 10.5606/ehc.2019.65453.
6. Results of adductors muscle tenotomy in spastic cerebral palsy / L.G. Guglielmetti, R.M. Santos, R.G. Mendonça, H.H. Yamada, R.M. Assumpção, P.M. Fucs // *Rev. Bras. Ortop.* 2015. Vol. 45, No 4. P. 420–425. DOI: 10.1016/S2255-4971(15)30391-8.
7. Adductor release and chemodeneration in children with cerebral palsy: a pilot study in 16 children / A. Khot, S. Sloan, S. Desai, A. Harvey, R. Wolfe, H.K. Graham // *J. Child. Orthop.* 2008. Vol. 2, No 4. P. 293–299. DOI: 10.1007/s11832-008-0105-1.
8. The Mechanism of hip dislocation related to the use of abduction bar and hip compression bandage in patients with spastic cerebral palsy / S. Kim, D. Lee, J.Y. Ko, Y. Park, Y.H. Yoon, J.H. Suh, J.S. Ryu // *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 2019. Vol. 98, No 12. P. 1125–1132. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2019.01.006.
9. Immediate effect of horse riding simulator on adductor spasticity in children with cerebral palsy: A randomized controlled trial / C. Hemachithra, N. Meena, R. Ramanathan, A.J.W. Felix // *Physiother. Res. Int.* 2020. Vol. 25, No 1. P. e1809. DOI: 10.1002/pri.1809.
10. The added value of orthotic management in the context of multi-level surgery in children with cerebral palsy / M. Schwarze, J. Block, T. Kunz, M. Alimusaj, D.W.W. Heitzmann, C. Putz, T. Dreher, S.I. Wolf // *Gait Posture.* 2019. Vol. 68. P. 525–530. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2019.01.006.
11. Does botulinum toxin A combined with bracing prevent hip displacement in children with cerebral palsy and "hips at risk"? A randomized, controlled trial / H.K. Graham, R. Boyd, J.B. Carlin, F. Dobson, K. Lowe, G. Nattrass, P. Thomason, R. Wolfe, D. Reddihough // *J. Bone Joint Surg. Am.* 2008. Vol. 90, No 1. P. 23–33. DOI: 10.2106/JBJS.F.01416.

12. Роль функциональных ортезов на нижние конечности и туловище в изменении биомеханических параметров ходьбы у детей со спастическими формами детского церебрального паралича / А.А. Кольцов, Э.И. Джомардлы, Н.В. Марусин, О.Л. Белянин // Физическая и реабилитационная медицина. 2019. Т. 1, № 2. С. 5-15.
13. Kinect V2-based gait analysis for children with cerebral palsy: validity and reliability of spatial margin of stability and spatiotemporal variables / Y. Ma, K. Mithraratne, N. Wilson, Y. Zhang, X. Wang // Sensors (Basel). 2021. Vol. 21, No 6. P. 2104. DOI: 10.3390/s21062104.
14. Методология видеоанализа в диагностике нарушений локомоторной функции у детей с церебральным параличом при использовании ограниченного числа светотражающих камер (обзор литературы) / А.Ю. Аксенов, Г.Х. Хит, Т.А. Клишковская, Т.И. Долганова // Гений ортопедии. 2019. Т. 25, № 1. С. 102-110. DOI: 10.18019/1028-4427-2019-25-1-102-110.
15. A new anatomically based protocol for gait analysis in children / A. Leardini, Z. Sawacha, G. Paolini, S. Inghrasso, R. Nativio, M.G. Benedetti // Gait Posture. 2007. Vol. 26, No 4. P. 560-571. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2006.12.018.
16. The gait profile score and movement analysis profile / R. Baker, J.L. McGinley, M.H. Schwartz, S. Beynon, A. Rozumalski, H.K. Graham, O. Tirosh // Gait Posture. 2009. Vol. 30, No 3. P. 265-269. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2009.05.020.
17. 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 / H.M. Rasmussen, D.B. Nielsen, N.W. Pedersen, S. Overgaard, A. Holsgaard-Larsen // Gait Posture. 2015. Vol. 42, No 2. P. 133-137. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2015.04.019.
18. Impact of ankle-foot orthoses on gait 1 year after lower limb surgery in children with bilateral cerebral palsy / I. Skaaret, H. Steen, T. Terjesen, I. Holm // Prosthet. Orthot. Int. 2019. Vol. 43, No 1. P. 12-20. DOI: 10.1177/0309364618791615.
19. Effects of an underwearer-type hip abduction orthosis on sitting balance and sit-to-stand activities in children with spastic cerebral palsy / Y. Kusumoto, T. Matsuda, K. Fujii, K. Miyamoto, K. Takaki, O. Nitta // J. Phys. Ther. Sci. 2018. Vol. 30, No 10. P. 1301-1304. DOI: 10.1589/jpts.30.1301.
20. Effects of the standing program with hip abduction on hip acetabular development in children with spastic diplegia cerebral palsy / L. Macias-Merlo, C. Bagur-Calafat, M. Girabent-Farrés, W.A. Stuber // Disabil. Rehabil. 2016. Vol. 38, No 11. P. 1075-1081. DOI: 10.3109/09638288.2015.1100221.
21. The impact of botulinum toxin A and abduction bracing on long-term hip development in children with cerebral palsy / K. Willoughby, S.G. Ang, P. Thomson, H.K. Graham // Dev. Med. Child. Neurol. 2012. Vol. 54, No 8. P. 743-747. DOI: 10.1111/j.1469-8749.2012.04340.x.
22. Theologis T. The role of botulinum toxin A and abduction bracing in the management of hip development in children with cerebral palsy // Dev. Med. Child. Neurol. 2012. Vol. 54, No 8. P. 681. DOI: 10.1111/j.1469-8749.2012.04335.x.
23. The effect of botulinum toxin type A and a variable hip abduction orthosis on gross motor function: a randomized controlled trial / R.N. Boyd, F. Dobson, J. Parrott, S. Love, J. Oates, A. Larson, G. Burchall, P. Chondros, J. Carlin, G. Nattrass, H.K. Graham // Eur. J. Neurol. 2001. Vol. 8, No Suppl. 5. P. 109-119. DOI: 10.1046/j.1468-1331.2001.00043.x.
24. Prevention of hip displacement in children with cerebral palsy: a systematic review / S.D. Miller, M. Juricic, K. Hesketh, L. Mclean, S. Magnuson, S. Gasior, E. Schaeffer, M. O'donnell, K. Mulpuri // Dev. Med. Child. Neurol. 2017. Vol. 59, No 11. P. 1130-1138. DOI: 10.1111/dmcn.13480.
25. Orthotic management of cerebral palsy: recommendations from a consensus conference / C. Morris, R. Bowers, K. Ross, P. Stevens, D. Phillips // NeuroRehabilitation. 2011. Vol. 28, No 1. P. 37-46. DOI: 10.3233/NRE-2011-0630.
26. Hip adductor intramuscular nerve distribution pattern of children: a guide for BTX-A treatment to muscle spasticity in cerebral palsy / Y. Yan, X. Fu, X. Xie, S. Ji, H. Luo, F. Yang, X. Zhang, S. Yang, P. Xie // Front. Neurol. 2019. Vol. 10. P. 616. DOI: 10.3389/fneur.2019.00616.
27. Курочкина А.В., Овчинников Ю.Д. Изучение факторов равновесия, отталкивания в биомеханике движений спортсмена // Теоретическая и прикладная наука. 2019. Т. 75, № 7. С. 153-159. doi: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2019.07.75.27>.
28. Meyer G., Ayalon M. Biomechanical aspects of dynamic stability // Eur. Rev. Aging Phys. Act. 2006. Vol. 3. P. 29-33. DOI: 10.1007/s11556-006-0006-6.
29. Measures of dynamic balance during level walking in healthy adult subjects: Relationship with age, anthropometry and spatio-temporal gait parameters / T. Lencioni, I. Carpinella, M. Rabuffetti, D. Cattaneo, M. Ferrarin // Proc. Inst. Mech. Eng. H. 2020. Vol. 234, No 2. P. 131-140. DOI: 10.1177/0954411919889237.
30. Анализ причин патологических паттернов кинематического локомоторного профиля по данным компьютерного анализа походки у детей со спастическими формами ДЦП / Г.М. Чибиров, Т.И. Долганова, Д.В. Долганов, Д.А. Попков // Гений ортопедии. 2019. Т. 25, № 4. С. 493-500. DOI: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-493-500.

Статья поступила в редакцию 20.07.2021; одобрена после рецензирования 11.04.2022; принята к публикации 30.08.2022.

The article was submitted 20.07.2021; approved after reviewing 11.04.2022; accepted for publication 30.08.2022.

Информация об авторах:

1. Андрей Юрьевич Аксенов – Ph.D. в здравоохранении, доцент, a.aksenov@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7180-0561>;
2. Андрей Анатольевич Кольцов – кандидат медицинских наук, katandr2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0862-8826>;
3. Эльнур Исфандиярович Джомардлы – mamedov.ie@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0281-3262>.

Information about the authors:

1. Andrey Yu. Aksenov – Ph.D. in Health Sciences, a.aksenov@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7180-0561>;
2. Andrey A. Koltsov – Candidate of Medical Sciences, katandr2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0862-8826>;
3. Elnur I. Dzhomardly – mamedov.ie@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0281-3262>.

Вклад авторов:

Аксёнов А.Ю. – проведение биомеханических обследований, консультативная помощь в обработке данных цифрового материала, заключительное редактирование статьи.

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

Джомардлы 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.

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. Все пациенты, участвующие в исследовании, или их законные представители подписали информированное согласие на проведение данного исследования и публикацию результатов исследований без идентификации личности.

На биомеханическое исследование в рамках темы «Использование компьютерного анализа движений в обосновании алгоритма ортопедического хирургического лечения пациентов с ДЦП» государственного задания на осуществление научных исследований и разработок ФГБУ «НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова» Министерства здравоохранения России было получено разрешение комитета по этике при ФГБУ «НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова». № 2(57) от 17.05.2018 г. Исследования проводились в соответствии с этическими стандартами Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 года, «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 года № 266.

Конфликт интересов: отсутствует.

Источник финансирования: Бюджетное финансирование.