

Научная статья

УДК 531.1/.3:616.831-009.12-031.4-053.2:612.766(086.8)

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-2-234-244>



Особенности походки у детей со спастической гемиплегией

У.Ф. Мамедов✉, Т.И. Долганова, О.И. Гатамов, Д.А. Попков

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

Автор, ответственный за переписку: Улви Фаиг оглы Мамедов, ulvi.mamedof@gmail.com

Аннотация

Введение. В литературе недостаточно публикаций о влиянии ранних изолированных операций удлинения трицепса голени при гемипарезах на состояние двигательных характеристик и развитие ортопедических осложнений у детей с уровнем GMFCS II.

Цель работы — провести с использованием метода компьютерного анализа движений сравнение особенностей походки у детей со спастической гемиплегией, ранее не оперированных и прошедших изолированное оперативное удлинение трицепса в раннем возрасте.

Материалы и методы. 3D-видеоанализ походки. Группы детей со спастической гемиплегией по Rodda et Graham: I — тип походки 2a (4 ребенка), II — тип 3 (3 ребенка), III — тип 4 (7 детей), IV — тип 4 с ранее выполненным удлинением трицепса (9 детей).

Результаты. Выявленные особенности движений при типах походки 2a, 3 и 4 в сагиттальной плоскости соответствуют характерным и описанным ранее признакам. Во всех группах мы наблюдали несимметричные ротационные движения таза и асимметрию наклона во фронтальной плоскости. В группе ранних изолированных удлинений трицепса выявлено снижение момента силы при толчке стопой в момент окончания одноопорной фазы в сочетании с повышением момента сил разгибания коленного сустава в одноопорную фазу.

Обсуждение. Ранние изолированные удлинения трицепса, ослабляющие его функцию, ведут к компенсаторному увеличению работы разгибателей колена, что схоже по механизму с развитием ятрогенной crouch-походки, но в условиях контралатеральной здоровой конечности не приводит к полной потере функции ходьбы.

Заключение. Патология движений присутствует во всех трех плоскостях измерений при типах походки 2a, 3, 4 по классификации Rodda et Graham. Наиболее выраженные отклонения выявлены при типе походки 3. Ротационный разворот таза является исходно компенсаторным механизмом на фоне внутриторсионной деформации бедра. Изолированные операции удлинения трицепса, выполненные в раннем возрасте, ведут к снижению силы подошвенного толчка, увеличению компенсаторной работы разгибателей коленного сустава и, вероятно, не предотвращают ортопедической патологии, встречающейся при типе походки 4 по Rodda et Graham.

Ключевые слова: анализ походки, дети, спастическая гемиплегия, кинематика, кинетика

Для цитирования: Мамедов У.Ф., Долганова Т.И., Гатамов О.И., Попков Д.А. Особенности походки у детей со спастической гемиплегией. *Гений ортопедии*. 2024;30(2):234-244. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-2-234-244. EDN: KQLKFK.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-2-234-244>



Gait analysis characteristic features in children with spastic hemiplegia

U.F. Mamedov✉, T.I. Dolganova, O.I. Gatamov, D.A. Popkov

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

Corresponding author: Ulvi F. Mammadov, ulvi.mamedof@gmail.com

Abstract

Introduction There are not enough published studies on the impact of early isolated triceps lengthening operations in hemiparesis on the state of motor characteristics and on the development of orthopedic complications in children with GMFCS II.

Purpose Analyze motor locomotion in children with spastic hemiplegia who had not previously been operated on and those who had undergone isolated surgical lengthening of the triceps at an early age.

Material and methods Four groups of children with spastic hemiplegia according to Rodda et Graham types: I) type 2a gait (4 children), II) type 3 (3 children), III) type 4 (7 children), IV) type 4 with previous triceps lengthening (9 children).

Results The features revealed in gait types 2a, 3 and 4 in the sagittal plane correspond to the characteristic and previously described features. In all groups, asymmetric rotational movements of the pelvis and tilt asymmetry in the frontal plane were observed. In the group of early isolated tricep lengthening, a decrease in the moment of force by pushing with the foot at the end of the single-support phase was revealed, in combination with an increase in the moment of forces of knee joint extension in the single-support phase.

Discussion Early isolated triceps lengthening that weakens its function leads to a compensatory increase in the work of the knee extensors which is similar to the mechanism to of iatrogenic crouch gait, but does not result in a complete loss of walking function in the conditions of a contralateral healthy limb.

Conclusions Movement pathology is present in all three measurement planes in gait types 2a, 3, 4 according to the Rodda et Graham classification. The most pronounced deviations were found in gait type 3. The rotational turn of the pelvis is an initially compensatory mechanism due to intratorcion femur deformity. Isolated triceps lengthening surgeries performed at an early age lead to reduced plantar push strength, increased compensatory work of the knee extensors, and probably do not prevent the orthopedic pathology found in Rodda et Graham's gait type 4.

Keywords: gait analysis, children, spastic hemiplegia, kinematics, kinetics

For citation: Mamedov UF, Dolganova TI, Gatamov OI, Popkov DA. Gait analysis characteristic features in children with spastic hemiplegia. *Genij Ortopedii*. 2024;30(2):234-244. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-2-234-244

ВВЕДЕНИЕ

Гемипаретическая форма церебрального паралича является наиболее распространенным вариантом данного заболевания [1]. Спастический гемипарез характеризуется дефицитом двигательной координации, нарушениями позы и равновесия, мышечной слабостью, спастичностью, недостаточным селективным контролем, присутствующими на верхней и нижней конечности одной стороны тела [2]. Несмотря на такие изменения, практически все дети развивают способность к самостоятельной ходьбе без посторонней помощи [3, 4]. Основными вторичными ортопедическими нарушениями при спастических гемиплегиях являются контрактуры голеностопного, коленного и тазобедренного суставов, эквино-варусные или эквино-вальгусные деформации стоп, торсионные деформации бедра, неравенство длины конечностей [5–7].

Компьютерный анализ походки в большинстве случаев является необходимым методом для диагностики двигательных нарушений и определения показаний к оперативному лечению [8, 9]. Признанными хирургическими подходами коррекции ортопедических нарушений являются одномоментные многоуровневые вмешательства, обеспечивающие улучшение параметров походки в течение периода наблюдения более 10 лет [2, 10, 11]. Тем не менее, изолированное удлинение трицепса в раннем возрасте 4–6 лет считается операцией, имеющей показания [3, 12], несмотря на достаточно высокую частоту рецидивов контрактуры, которые связывают с неравенством длины ног и слабой функцией тыльных флексоров [13].

Существующие классификации нарушений походки при спастической гемиплегии отражают типы нарушений и общее направление эволюции нарушений по мере роста ребенка [3, 14, 15]. Известно, что интенсивные консервативные мероприятия позволяют улучшить двигательные способности ребенка с уровнем GMFCS I при спастических гемипарезах [2, 16].

Однако в литературе недостаточно публикаций о влиянии ранних изолированных операций удлинения трицепса голени при гемипарезах на состояние двигательных характеристик и развитие ортопедических осложнений у детей с уровнем GMFCS II в возрастных рамках, соответствующих стадиям 2 и 3 компенсированных ортопедических изменений (контрактур и костных деформаций) по Н.К. Graham et al. [16].

Цель работы — провести с использованием метода компьютерного анализа движений сравнение особенностей походки у детей со спастической гемиплегией, ранее не оперированных и прошедших изолированное оперативное удлинение трицепса в раннем возрасте.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Критерии включения: возраст 9–16 лет, диагноз «детский церебральный паралич, GMFCS II, спастический гемипарез», отсутствие ранее выполненных многоуровневых оперативных вмешательств. Всем пациентам перед операцией проведено исследование — 3D-компьютерный анализ походки.

Критерии исключения: возраст 16 лет и старше, диагноз «детский церебральный паралич, GMFCS III, спастическая диплегия», ранее выполненные многоуровневые оперативные вмешательства.

Группы исследования сформированы в соответствии с клинической классификацией походки, определяемой при визуальном контроле [3], и по критерию выполненных в раннем возрастном периоде удлинений трицепса голени.

Во время обследования пациенты ходили самостоятельно или придерживаясь за одну руку родителя, босиком на 7-метровой дорожке с привычной для них скоростью. Кинематические данные регистрировали оптическими камерами Qualisys 7+ с технологией видеозахвата пассивных маркеров; синхронизированными с шестью динамометрическими платформами KISTLER (Швейцария). При установке маркеров использовали модель IOR. Анализ кинематики и кинетики проводили в программах QTM (*Qualisys*) и Visual3D (*C-Motion*) с автоматизированным расчетом значений [17].

Для статистической обработки данных применяли программу AtteStat 12.0.5. Учитывая малое число наблюдений, использована непараметрическая статистика. Количественные характеристики показателей в выборочных совокупностях представляли в таблицах в виде Me (25 ÷ 75 %), а статистическую значимость различий определяли с использованием непарного критерия Вилкоксона для независимых переменных с принятием уровня значимости $p \leq 0,05$.

На проведение исследований получено разрешение комитета по этике НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова (протокол от 07.10.2022 № 2-72). Исследования проводили в соответствии с этическими стандартами Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г., «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 № 266. Родители детей, участвовавших в исследовании, присутствовали при его проведении, подтверждали информированное согласие на его проведение и публикацию результатов исследований без идентификации личности.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Из общей выборки (23 пациента) были сформированы следующие группы:

- I группа – тип 2a по Rodda et Graham: 4 человека, возраст 10 (9 ÷ 11,8) лет, ранее не оперированы;
- II группа – тип 3 по Rodda et Graham: 3 человека, возраст 10 (9,5 ÷ 10) лет, ранее не оперированы;
- III группа – тип 4 по Rodda et Graham: 7 человек, возраст 11 (9,25 ÷ 11) лет, ранее не оперированы;
- IV группа – тип 4 по Rodda et Graham: 9 человек, возраст 11 (10 ÷ 14) лет, удлинение трицепса голени произведено в возрасте 3–6 лет. Для удлинения трицепса использовали методы удлинения ахиллова сухожилия (3 случая) и чрескожных фибромиотомий (6 случаев).

В таблице 1 представлены пространственно-временные характеристики ходьбы и интегральный показатель индекса оценки профиля походки (GPS).

Таблица 1

Пространственно-временные характеристики ходьбы, GPS

Параметр	Группы пациентов				
	I	II	III	IV	
GPS	9 (8,05 ÷ 10,78)	13,6 (13,1 ÷ 17,8)¹	10,6 (8,7 ÷ 12,6)	13,5 (12,6 ÷ 17,2)	
Скорость, м/с	1,01 (0,98 ÷ 1,05)	0,9 (0,89 ÷ 0,91)	0,84 (0,66 ÷ 0,98)	0,92 (0,77 ÷ 1,12)	
Ширина шага, м	0,11 (0,098 ÷ 0,13)	0,16 (0,13 ÷ 0,17)¹	0,12 (0,07 ÷ 0,15)	0,15 (0,11 ÷ 0,19)	
Длина периода шага, м	1,08 (1,02 ÷ 1,09)	0,98 (0,95 ÷ 0,99)	1,01 (0,08 ÷ 1,06)	0,99 (0,91 ÷ 1,08)	
GPS	П	9 (8,05 ÷ 10,8)	15,4 (15,35 ÷ 20,5)¹	10,5 (8,9 ÷ 11,8)[*]	13,7 (11,7 ÷ 18,7)
	К	11,5 (11,1 ÷ 11,9)	10,7 (10,6 ÷ 13,1)	10,7 (8,8 ÷ 12,5)	12,8 (10 ÷ 13,9)
Длина шага, м	П	0,55 (0,52 ÷ 0,55)	0,49 (0,48 ÷ 0,49)	0,49 (0,39 ÷ 0,52)	0,49 (0,45 ÷ 0,52)
	К	0,53 (0,50 ÷ 0,53)	0,5 (0,5 ÷ 0,52)	0,52 (0,48 ÷ 0,54)	0,49 (0,44 ÷ 0,53)
Длительность шага, с	П	0,55 (0,50 ÷ 0,58)	0,61 (0,59 ÷ 0,61)	0,58 (0,55 ÷ 0,68)	0,58 (0,55 ÷ 0,63)
	К	0,48 (0,44 ÷ 0,52)	0,5 (0,47 ÷ 0,5)	0,53 (0,48 ÷ 0,59)	0,51 (0,43 ÷ 0,55)
Опорный период, %	П	59,2 (56,7 ÷ 60,1)	57 (57 ÷ 57,8)	60,8 (59,7 ÷ 63)	59,9 (53,3 ÷ 61,1)
	К	62,1 (60,4 ÷ 63,3)	67 (65,5 ÷ 67,5)	64,4 (62,7 ÷ 69,9)	65,7 (64,1 ÷ 66,3)
Неопорный период, %	П	41,3 (39,7 ÷ 44,3)	42 (41,9 ÷ 42,5)	39,2 (37 ÷ 40,6)	39,4 (38,7 ÷ 40,7)
	К	38,6 (37,1 ÷ 40,1)	33 (32,5 ÷ 34,6)	35,6 (33,1 ÷ 37,3)	34,3 (34,1 ÷ 36,1)

Примечание: П – пораженная конечность, К – контралатеральная конечность; * – достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами III и IV; ¹ – достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами I и II

Найденные достоверные различия по GPS между группами типов походки 2a и 3 указывают на закономерную эволюцию двигательных нарушений при увеличении тяжести ортопедических нарушений, что отражается и в нестабильности шага во фронтальной плоскости. Различия же между группами типов походки 4 (неоперированные) и 4 (оперированные) носят скорее функциональный характер, что более детально представлено далее. В таблицах 2, 3 и 4 показаны особенности кинематики голеностопных, коленных и тазобедренных суставов в сагиттальной плоскости и моменты силы.

Таблица 2

Кинематика голеностопного сустава

Параметр	Группы пациентов				
	I	II	III	IV	
Положение стопы в момент первичного контакта, °	П	-6,2 (-13 ÷ -3,7)	-27,4 (-30,9 ÷ -26,7)¹	-8,2 (-10,2 ÷ -3,4)	-9,7 (-31,7 ÷ -8,4)
	К	6,8 (5,2 ÷ 8,5)	4,4 (3,2 ÷ 5,2)	5 (2 ÷ 5,5)	-0,3 (-3,2 ÷ 1,7)
Максимальная тыльная флексия, °	П	-1,5 (-5,5 ÷ 3,5)	-25 (-28,4 ÷ -24,5)¹	4,3 (-5,3 ÷ 6,8)	5,3 (-30,4 ÷ 11,0)
	К	19,1 (13,1 ÷ 23,3)	17 (16,1 ÷ 23)	17,7 (15,3 ÷ 20,6)	17 (13,4 ÷ 21,2)
Максимальная подошвенная флексия, °	П	-12,2 (-19,3 ÷ -11,3)	-36,7 (-46,9 ÷ -35,9)¹	-10,4 (-17,7 ÷ -6,9)	-14,2 (-20,2 ÷ -5,6)
	К	-11,2 (-17,5 ÷ -8,3)	-11,3 (-14,2 ÷ -8,7)	-11 (-20 ÷ -7,3)	-16 (-16,4 ÷ -12,3)
Амплитуда движений в голеностопном суставе на протяжении цикла шага, °	П	15,5 (12,4 ÷ 20,9)	11,7 (11,4 ÷ 18,5)	15,3 (1,2 ÷ 20)	15,5 (13,7 ÷ 24,3)
	К	35,4 (29,6 ÷ 37,8)	34 (30,3 ÷ 34,5)	25,9 (23,7 ÷ 31,8)	31,9 (25,9 ÷ 40,5)
Клиренс шага по переднему отделу стопы, см	П	4,1 (3,8 ÷ 5,1)	4,9 (4,8 ÷ 5,2)	4,5 (3,9 ÷ 5,9)	5,3 (5 ÷ 5,5)
	К	5,3 (5,1 ÷ 5,7)	6 (5,8 ÷ 7,4)	5,5 (5,1 ÷ 6,3)	6,3 (5,5 ÷ 7,4)
Относительный момент сил тыльной флексии, Н·м/кг	П	0 (-0,01 ÷ 0,02)	0,007 (0,0065 ÷ 0,0075)	-0,006 (-0,023 ÷ -0,007)	-0,004 (-0,007 ÷ -0,002)
	К	-0,05 (-0,08 ÷ -0,02)	-0,104 (-0,105 ÷ -0,08)	-0,101 (-0,134 ÷ -0,076)	-0,056 (-0,075 ÷ -0,027)
Относительный момент сил подошвенной флексии, Н·м/кг	П	0,84 (0,66 ÷ 1,02)	0,47 (0,39 ÷ 0,48)¹	1,05 (0,92 ÷ 1,1)	0,77 (0,4 ÷ 1,16)[*]
	К	1,3 (1,1 ÷ 1,4)	1,43 (1,33 ÷ 1,46)²	1,15 (1,07 ÷ 1,23)	1,32 (1,04 ÷ 1,36)

Примечание: П – пораженная конечность, К – контралатеральная конечность; * – достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами III и IV; ¹ – достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами I и II; ² – достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между пораженной (П) и контралатеральной конечностью (К)×

Кинематика и кинетика коленного сустава

Параметр		Группы пациентов			
		I	II	III	IV
Положение коленного сустава в момент первичного контакта, °	П	24,7 (22,5 ÷ 25,8)	30,1 (29,5 ÷ 40,7)	19,4 (12,4 ÷ 26,8)	22,3 (19,8 ÷ 29,8)
	К	24 (20,6 ÷ 28,6)	17 (15,5 ÷ 27,4)	24,5 (21,6 ÷ 28,4)	19,5 (18 ÷ 31)
Максимальное разгибание, середина одноопорной фазы, °	П	9,3 (7,8 ÷ 11,5)	27 (24,9 ÷ 27,6)¹	6,9 (4,8 ÷ 14,2)	10,8 (7,1 ÷ 28,8)
	К	17,4 (14,8 ÷ 20,3)	7,2 (5,4 ÷ 14,6)	11,8 (9,4 ÷ 13,3)	14,6 (10 ÷ 15,8)
Максимальное сгибание в	П	62,8 (61,5 ÷ 64,9)	54,8 (53,9 ÷ 66,5)	56,5 (52,7 ÷ 66,5)	52 (50 ÷ 59,2)
	К	72,3 (66,4 ÷ 75,1)	63 (61,7 ÷ 66)	61,5 (56,4 ÷ 67,2)	71,2 (65,7 ÷ 71,8)
Амплитуда движений на протяжении цикла шага, °	П	50,9 (47,5 ÷ 57,2)	26 (23,4 ÷ 26,3)¹	49,1 (43,9 ÷ 51,4)	29,3 (27,8 ÷ 46,9)*
	К	54,6 (50,9 ÷ 55,6)	60,4 (58,6 ÷ 77)	48,6 (45,9 ÷ 56,6)	56 (50,4 ÷ 56,6)
Относительный момент сил разгибания коленного сустава, Н·м/кг	П	0,38 (0,32 ÷ 0,49)	0,77 (0,7 ÷ 0,93)¹	0,3 (0,2 ÷ 0,41)	0,69 (0,27 ÷ 0,71)*
	К	0,68 (0,59 ÷ 0,79)	1,35 (1,25 ÷ 1,38)	0,65 (0,53 ÷ 0,75)	0,97 (0,71 ÷ 1,17)

Примечание: П — пораженная конечность, К — контралатеральная конечность; * — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами III и IV; ¹ — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами I и II; ² — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между пораженной (П) и контралатеральной конечностью (К)

Таблица 4

Кинематика и кинетика тазобедренного сустава

Параметр		Группы пациентов			
		I	II	III	IV
Положение в момент первичного контакта, °	П	33,1 (31,1 ÷ 36,15)	32 (31,6 ÷ 43,2)	28 (18,9 ÷ 33,8)	31,1 (30,4 ÷ 36,3)
	К	44,2 (37,3 ÷ 47,4)	43,3 (38,7 ÷ 47,9)	30,9 (30 ÷ 37,6)	35,4 (32 ÷ 41,8)
Максимальное разгибание, одноопорная фаза, °	П	-3,7 (-4,4 ÷ -2,5)	8 (7,6 ÷ 16,5)^{1,2}	-8,1 (-9,3 ÷ -3,7)	2,7 (-5,2 ÷ 3,9)*
	К	-6,7 (-7,5 ÷ -3,8)	-11,0 (-12,5 ÷ -11,5)	-6,9 (-13 ÷ -6,3)	-10,1 (-13 ÷ -7,9)
Максимальное сгибание в фазу переноса, °	П	39,3 (38,5 ÷ 41,6)	36 (35,9 ÷ 48,6)	31 (22,4 ÷ 41)	39 (30,9 ÷ 40,7)
	К	44,8 (39,03 ÷ 49)	41 (38,2 ÷ 51,5)	31,8 (30,9 ÷ 35,8)	39,6 (32,4 ÷ 42,7)
Амплитуда движений на протяжении цикла шага, °	П	42,6 (40,2 ÷ 46,5)	29,9 (28,9 ÷ 33)^{1,2}	39,7 (34,4 ÷ 45,5)	36,1 (33,1 ÷ 42,9)
	К	47,6 (37,9 ÷ 57,7)	53,2 (49,8 ÷ 64,1)	37,8 (37,4 ÷ 46,5)	43,5 (40,2 ÷ 50,2)
Относительный момент сил сгибания тазобедренного сустава, Н·м/кг	П	-0,44 (-0,52 ÷ -0,35)	-0,34 (-0,49 ÷ -0,29)	-0,41 (-0,57 ÷ -0,31)	-0,46 (-0,53 ÷ -0,39)
	К	-0,42 (-0,52 ÷ -0,38)	-0,78 (-0,79 ÷ -0,75)	-0,4 (-0,63 ÷ -0,34)	-0,69 (-0,74 ÷ -0,66)
Относительный момент сил разгибания тазобедренного сустава, Н·м/кг	П	0,76 (0,68 ÷ 0,81)	0,94 (0,85 ÷ 1,195)¹	0,52 (0,45 ÷ 0,78)	0,84 (0,66 ÷ 1,05)*
	К	0,75 (0,56 ÷ 0,97)	0,97 (0,96 ÷ 1,14)	0,63 (0,56 ÷ 0,79)	0,9 (0,85 ÷ 1,21)

Примечание: П — пораженная конечность, К — контралатеральная конечность; * — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами III и IV; ¹ — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между группами I и II; ² — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между пораженной (П) и контралатеральной конечностью (К)

При анализе данных (табл. 2) видно явное различие в параметрах движений в голеностопном суставе вовлеченной стороны между типами походки 2а и 3: ограничение по амплитуде движения осуществляются только в секторе подошвенной флексии в любой момент цикла шага. Именно этим объясняются положительные значения момента сил тыльной флексии, когда практически не происходит изменения положения стопы от момента первичного контакта до середины периода одноопорной фазы при типе походки 3 (рис. 1). Отметим и достоверные различия в значениях момента сил подошвенной флексии при концентрическом сокращении между здоровой и вовлеченной конечностью у пациентов этой же группы, что объясняется выраженной контрактурой трицепса, характерной для ситуации, когда пациент практически перестает артикулировать в голеностопном суставе, осуществляя перемещение с опорой на стопу практически в вертикальной позиции со сниженной общей амплитудой движений (рис. 1). Интересной находкой является и достоверное снижение момента подошвенной флексии у пациентов группы 4 (оперированные) в сравнении с пациентами, которые не были ранее оперированы (рис. 2). Очевидно, что после выполненных операций не произошло функционального восстановления. Отметим также появление положительных значений тыльной флексии у пациентов групп 4 (оперированные). Мы объясняем эти измерения формированием плоско-вальгусной отведенной деформации стоп («подъем» переднего отдела) на этой стадии эволюции ортопедических проблем, когда в сагиттальной плоскости без учета девиации стопа проецируется в положении тыльной флексии.

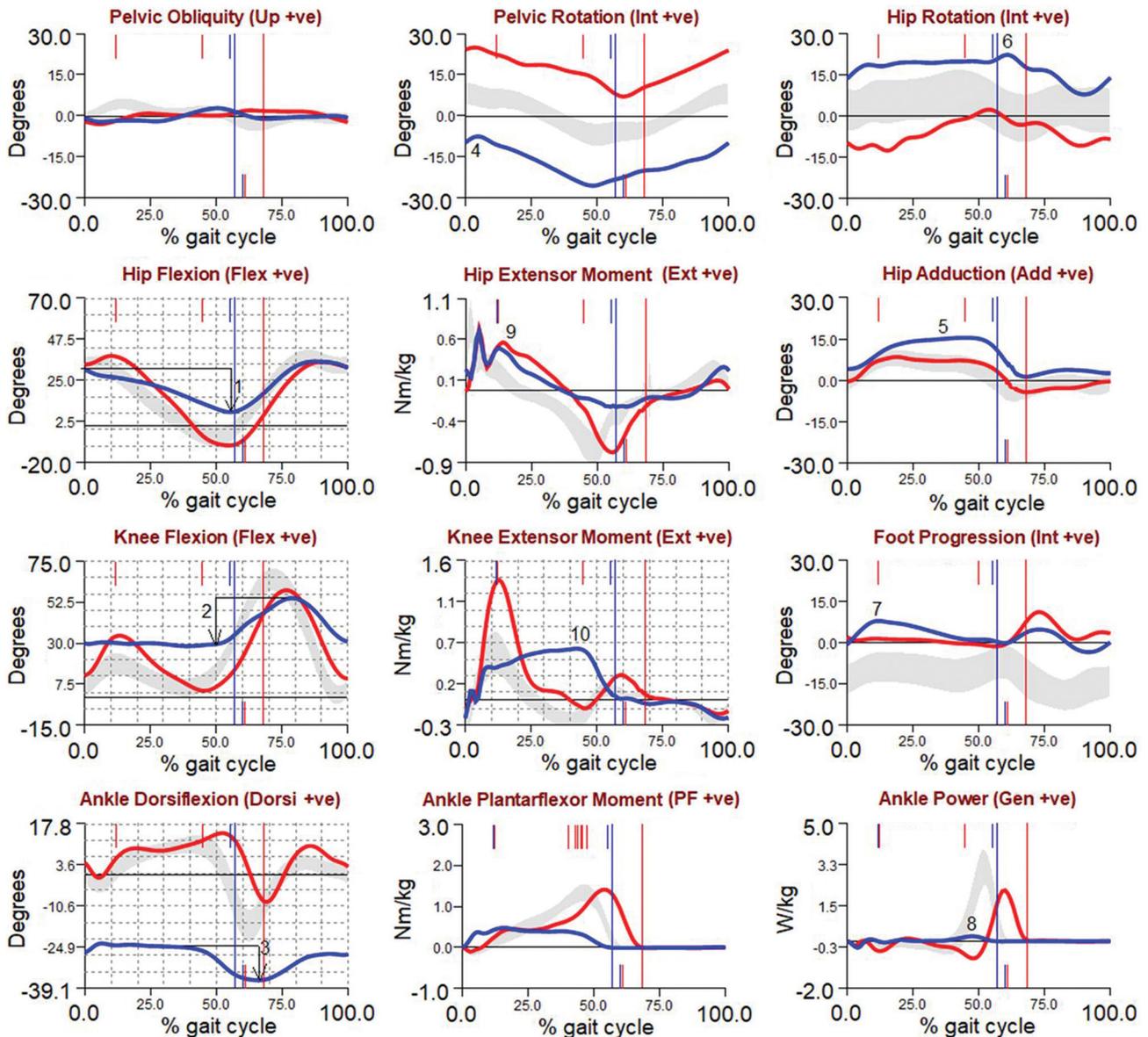


Рис. 1. Пример кинематических и кинетических графиков пациента Е. (тип походки 3), правосторонний спастически гемипарез (линии синего цвета — вовлеченная конечность): сниженная амплитуда движений в тазобедренном (1), коленном (2) и голеностопном суставах (3) в сагиттальной плоскости, данные суставы находятся в сгибательной позиции (голеностопный — в подошвенной флексии), типичные наклон таза и компенсаторная ротационная установка (4), умеренное приведение бедра в процессе ходьбы (5), выраженная торсионная установка бедра (6) и соответствующая внутренняя ротация стопы (7) относительно вектора движения, сниженные силовые характеристики подошвенного толчка (8), пропульсия осуществляется за счет повышенного момента сил при концентрическом сокращении разгибателей бедра (9), работа разгибателей коленного сустава (10) направлена лишь на предотвращение дальнейшего сгибания в коленном суставе в опорную фазу и может характеризоваться как элемент, типичный для stiff knee gait

Сгибательная установка коленного сустава в группе III с низкой амплитудой движений на протяжении всего цикла шага (компенсаторный stiff knee gait, рис. 1) объясняет повышенный момент сил разгибания коленного сустава в сравнении с группой II. Для группы IV (рис. 2) достоверное снижение амплитуды движений на протяжении цикла шага, а также повышенные значения момента сил разгибания коленного сустава отражают адаптационный механизм в ответ на ослабленную сократительную функцию трицепса голени.

Снижение общей амплитуды движений в тазобедренном суставе на фоне его сгибательной контрактуры в сагиттальной плоскости у пациентов с типом 3 (рис. 1) по сравнению с типом 2 ведет к необходимости увеличения момента сил разгибания для обеспечения пропульсии (при концентрических сокращениях разгибателей тазобедренного сустава) в конце одноопорной фазы шага (табл. 4). Появление деформаций стопы, обеспечивающих опору не только на передний отдел стопы, позволяет пациентам группы 4 (оперированные) передвигаться с эффективным разгибанием бедра (рис. 2).

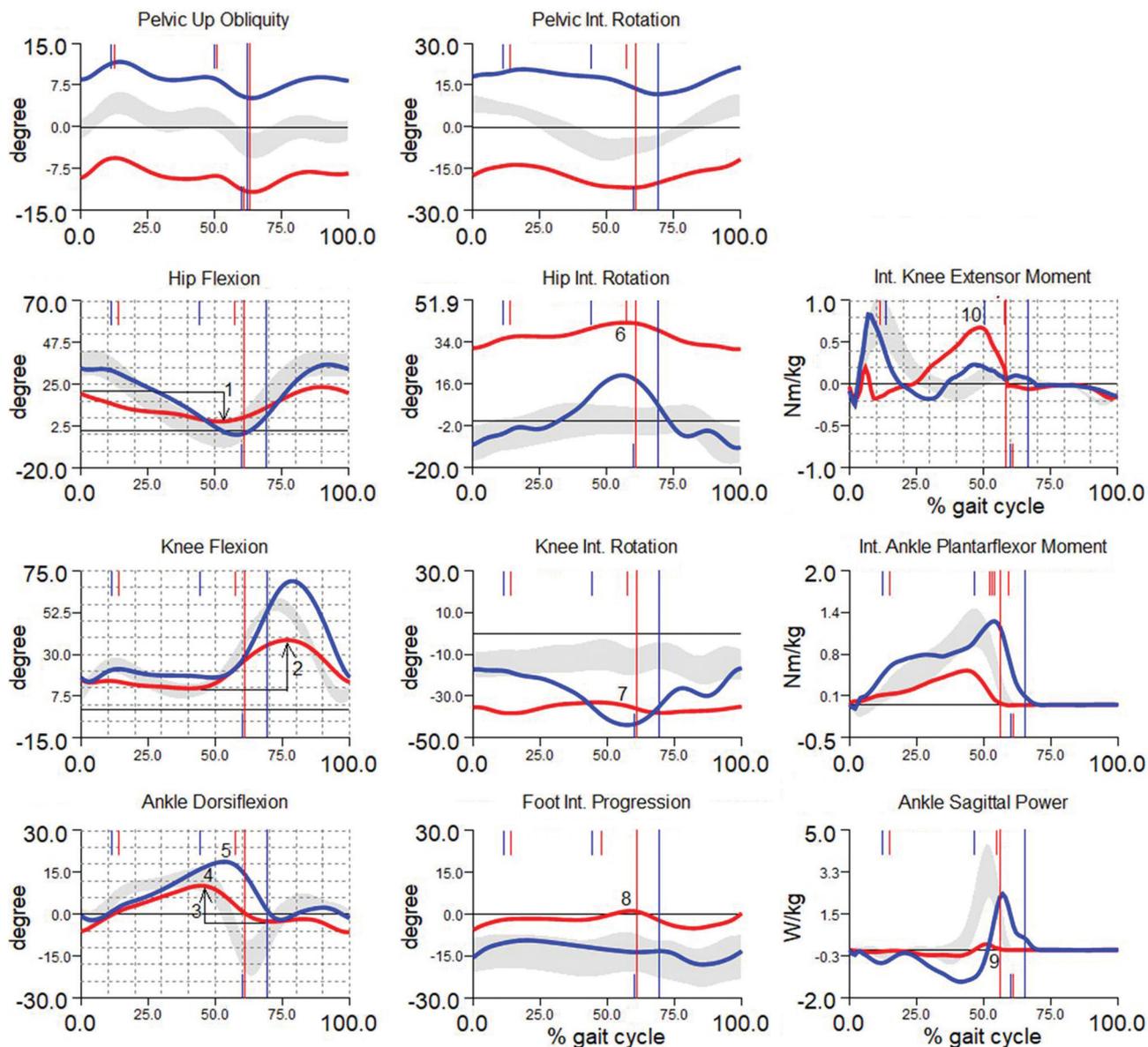


Рис. 2. Пример кинематических и кинетических графиков пациента В. (тип походки 4, опер.), левосторонний спастический гемипарез (линии красного цвета — вовлеченная конечность): сниженная амплитуда движений в тазобедренном (1), коленном (2) и голеностопном суставах (3) в сагиттальной плоскости, тазобедренный и коленный сустав находятся в умеренной сгибательной позиции, в момент опорной фазы отмечается слева достаточная тыльная флексия стопы (4) и избыточная (5) со стороны не вовлеченной, типичные наклон таза и компенсаторная его ротационная установка, выраженная внутриротационная установка бедра (6) частично компенсируется наружной торсией голени (7), что резюмируется умеренной внутренней ротацией стопы относительно вектора движения (8), сниженные силовые характеристики подошвенного толчка (9), работа разгибателей коленного сустава значительно повышена относительно не вовлеченной стороны (10) и компенсирует слабость подошвенных флексоров для удержания достаточного угла разгибания коленного сустава в опорную фазу, тем не менее, резкое снижение амплитуды сгибания коленного сустава в неопорную фазу свидетельствует о сформированном компенсаторном элементе stiff knee gait

Однако на фоне ослабления трицепса голени у пациентов в группе 4 (оперированные) пропульсию обеспечивает не столько подошвенная флексия, сколько разгибание в тазобедренном суставе, что отражается в достоверном различии в значениях момента сил разгибания в тазобедренном суставе.

Исследования движений таза и бедра в горизонтальной и фронтальной плоскостях, а также изменения ориентации общей оси стопы относительно вектора движений позволили выйти за рамки классификации Rodda et Graham в понимании кинематики спастических гемипарезов (табл. 5).

Движения таза во фронтальной плоскости идентичны и близки по амплитуде во всех группах: преимущественный наклон таза в сторону вовлеченной конечности. Вновь отметим снижение суммарной амплитуды движений, характерной для группы типа 3. Еще более демонстративные изменения каса-

ются кинематики таза в горизонтальной плоскости: на протяжении цикла шага доминирует разворот таза в сторону вовлеченной конечности, что достоверно отличается от не вовлеченной конечности во всех группах (рис. 1, 2), при этом амплитуда ротации таза остается практически симметричной между вовлеченной и здоровой конечностями. В процессе ходьбы бедро явно находится в приведенной позиции, по значениям достоверно отличаясь от не вовлеченной конечности в группах 3 и 4 (оперированные). При этом амплитуда движений бедра во фронтальной плоскости у пациентов в данном исследовании остается сбалансированной.

Таблица 5

Кинематика таза и бедра во фронтальной и горизонтальной плоскости, ориентация общей оси стопы

Параметр	Конечность	Группы пациентов				
		I	II	III	IV	
Наклон таза, °	П	max	6,2 (4,8 ÷ 6,9)	3,1 (0,75 ÷ 3,5)	4,9 (2,33 ÷ 7,33)	3,5 (0,8 ÷ 6,3)
		min	-3,6 (-6,1 ÷ -1,8)	-3,4 (-4,5 ÷ -3,1)	-1,95 (-5,38 ÷ 0,18)	-3,1 (-5,4 ÷ 0,7)
	К	max	3,7 (1,9 ÷ 6,2)	2,1 (0,5 ÷ 2,3)	2,1 (-2,71 ÷ 4,95)	3,3 (-1,1 ÷ 4,9)
		min	-6,9 (-7,6 ÷ -5,3)	-7,1 (-9,3 ÷ -5,2)	-4,9 (-6,9 ÷ -2,05)	-3,2 (-8 ÷ -1,3)
Ротация таза, °	П	max	9,2 (7,8 ÷ 9,6)²	4,1 (2,5 ÷ 5,2)²	1,1 (-4,7 ÷ 4,2)²	3,2 (-0,5 ÷ 9,1)²
		min	-12,7(-14,6 ÷ -11,8)	-22,7(-24,3 ÷ -17,8)	-18,2 (-23 ÷ -14,6)	-18,1(-21,8 ÷ -10,8)
	К	max	13,5 (12,1 ÷ 16,5)	26,4 (26,1 ÷ 26,7)	18,2 (15,6 ÷ 25,85)	22,9 (12,5 ÷ 26,8)
		min	-7,5 (-8,95 ÷ -6,03)	5,0 (0,9 ÷ 5,9)	-0,3 (-3,4 ÷ 6,15)	-1,2 (-5,4 ÷ 2,9)
Приведение бедра, °	П	max	10,1 (7,4 ÷ 11,6)	4,9 (4,75 ÷ 5,15)	7,7 (0,05 ÷ 11,48)	8 (5,4 ÷ 10,9)
		min	-7,6 (-9,7 ÷ -5,4)	-7,8 (-9,7 ÷ -6,3)	-5,05 (-8,2 ÷ -2,65)	-4 (-10,5 ÷ -2,5)
	К	max	8,7 (7,7 ÷ 10,7)	9,3 (9,15 ÷ 9,5)	6,15 (4,75 ÷ 10,5)	7,3 (4,2 ÷ 8,6)
		min	-5,9 (-8,1 ÷ -4,9)	-8,6 (-10,2 ÷ -10,8)	-10 (-12,15 ÷ -4,8)	-10 (-12,6 ÷ -6,1)
Ротация бедра, °	П	max	19,2 (12,5 ÷ 27,6)	24,8 (23,9 ÷ 27,5)²	19,6 (14,05 ÷ 23,2)	21,2 (16,4 ÷ 30,1)²
		min	-5,3 (-10,1 ÷ 1,95)	8,1 (7,8 ÷ 12,3)	-0,45 (-8,8 ÷ -4,8)	6,4 (0,3 ÷ 12,7)
	К	max	13,9 (12,5 ÷ 14,5)	9,1 (7,9 ÷ 18,9)	11,3 (7,23 ÷ 17,9)	6,1 (-2,7 ÷ 22,7)
		min	-8,6 (-13,3 ÷ 5,95)	-5,6 (-9,6 ÷ 0,45)	-15 (-19,5 ÷ -5,4)	-9,7 (-20,1 ÷ -3,1)
Ориентация стопы, °	П	max	4,9 (-2,3 ÷ 11,4)	11,0 (9,6 ÷ 24,9)	4,1 (-3,2 ÷ 14,2)	14,8 (7,2 ÷ 20,1)
		min	-16,5(-19,2 ÷ -11,6)	-3,9 (-4,4 ÷ 2,3)	-15,0 (-20,2 ÷ -2,6)	-3,8 (-11,8 ÷ 6,1)
	К	max	13,1 (11,1 ÷ 14,2)	9,0 (8,7 ÷ 10,5)	3,3 (-5,05 ÷ 9,98)	7,0 (-0,2 ÷ 15,4)
		min	-4,45 (-9,8 ÷ -3,45)	-7,4 (-10,6 ÷ -5,5)	-12,9 (-20,6 ÷ -5,6)	-13,8 (-21,5 ÷ -1,9)

Примечание: П — пораженная конечность, К — контралатеральная конечность; ² — достоверные отличия по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$) между пораженной (II) и контралатеральной конечностью (К)

Так же, как и в среднем, отмечается ориентация стоп относительно вектора движений. Тем не менее, внутриротационная установка стопы 15° и более отмечена у одного пациента в группе 2, у двух пациентов в группе типа 3 и у четырех пациентов в группе 4 (оперированные). Данная позиция расценивается как декомпенсаторная. В нашей выборке она была обусловлена торсионными деформациями бедра в 4 случаях и варусно-супинированной деформацией стопы в трех случаях.

ОБСУЖДЕНИЕ

Первой предложенной классификацией нарушений походки при односторонних спастических поражениях является классификация T.F. Jr. Winters et al. [14], которая выделяет 4 группы на основе патологии движений конечности пораженной стороны в сагиттальной плоскости. Классификация отражает прогрессирование нарушений от дистального уровня к проксимальному (от нарушений движений в голеностопном суставе к тазобедренному) по мере увеличения тяжести заболевания. Однако отмечено, что в 23 % случаев выявленные нарушения не могут быть определены согласно этой классификации [15]. Классификация Rodd et Graham является наиболее общей при описании особенностей походки у детей с гемипаретическими формами ДЦП [3]. Классификация отражает прогрессирование нарушений от дистального уровня к проксимальному (от нарушений движений в голеностопном суставе к тазобедренному) по мере увеличения тяжести заболевания. Группа 1 характеризуется эквинусной позицией стопы в неопорную фазу цикла шага, отсутствием первого переката стопы в начале опорной фазы шага. Нарушения обусловлены слабостью или гипоактивностью передней большеберцовой мышцы в сравнении с икроножной и камбаловидной мышцами. В группе 2а стопа находится в эквинусной позиции в неопорную фазу цикла шага и в постоянном положении подошвенной флексии, в группе 2б наблюдается эквинусная контрактура в сочетании с рекурвацией в коленном суставе в опорную фазу. Нарушения группы 2 обусловлены контрактурой трицепса голени. В группе 3 к вышеперечисленным нарушениям групп 1 и 2 добавляется ограничение сгибания ноги в коленном суставе в неопорную фазу цикла шага, избыточное

сгибание в тазобедренном суставе. В группе нарушений 4 помимо предыдущих нарушений отмечается редуцированная амплитуда движений в тазобедренном и коленном суставах на протяжении цикла шага и торсионные деформации (патологические ротационные установки бедра). Отметим, что классификация не учитывает неравенства длины нижних конечностей в оценке тяжести ортопедических и моторных нарушений. Мы также не нашли в литературе достаточных доказательств, что прогрессирование нарушений походки коррелирует с возрастом ребенка, как это характерно для спастической диплегии.

Ряд дополнительных исследований, основанных на компьютерном анализе походки, позволяет уточнить особенности движения стопой, ее передним и задним отделом, что важно для выбора способа коррекции деформаций стопы и/или ее внутриторсионной установки [18]. Помимо понимания механизма и элементов нарушения движений при гемипарезах 3D-анализ походки позволяет определить уровень и величину коррекции деформаций в горизонтальной плоскости [7, 19, 20]. Наше исследование также позволило отличить торсионные деформации (декомпенсированные или компенсированные [34], есть взаимно противоположенные на уровне бедра и голени) от деформаций стопы и определить степень необходимой коррекции.

Важной находкой нашего исследования является выявление ротационного разворота во всех исследованных группах пациентов, что дополняет описание особенностей походки к классификации Rodd et Graham [3]. Ротационный разворот таза ранее рассматривался как патологический элемент, обусловленный топографией неврологических поражений [21, 22]. В настоящее время торсионный разворот таза рассматривается либо как результат спастичности и/или ретракции мышц вовлеченной стороны, либо как компенсаторный механизм, позволяющий устанавливать ось стопы со стороны внутриторсионной деформации бедра в более-менее правильную позицию относительно вектора движения [19, 23]. Мы полагаем, что присутствие разворота таза при любом из типов 2–4 нарушения походки, обнаруженном в нашем исследовании, носит компенсаторный характер, так как сочетается с симметричными амплитудами движений таза с обеих сторон. Но по мере существования нарушений данная компенсаторная установка становится нередуцируемой, что относится к третичным нарушениям [24–26]. Укажем также, что развитию патологической ротационной установки таза сопутствуют и определяют неэффективность изолированной хирургической коррекции следующие факторы: внутриторсионная деформация бедра, тип 2 походки по Winter, ограничения тыльной флексии стопы, передний наклон таза и асимметричная позиция верхней конечности со стороны неврологического поражения [27].

В нашем исследовании наиболее существенные отклонения по суммарному индексу ходьбы (GPS) наблюдались при типе 3. Очевидно, что характерные выраженные контрактуры ограничивают как возможность симметричной опоры, так и достаточный объем движений в суставах, снижая и силовые характеристики движений [2, 3, 8]. С этой точки зрения еще большие нарушения следует ожидать при типе 4 по Rodd et Graham. Однако в нашем исследовании такой предполагаемой закономерности не обнаружено. Мы высказываем гипотезу, что присоединение деформации стопы, позволяющей опору целиком на данный сегмент, и в условиях здоровой контралатеральной конечности улучшает условия для реализации движений в коленном и голеностопном суставах вовлеченной конечности.

Отметим также, что в группе пациентов, имевших удлинение трицепса в раннем возрасте, мы отмечаем присутствие типичных нарушений походки для типа 4, патологии движений и ортопедических нарушений, что и в группе пациентов с таким же типом нарушений (тип 4), но без ортопедических операций. Отличием является лишь снижение сократительных способностей трицепса для пропульсии в сочетании с компенсаторным повышением момента сил разгибания коленного сустава и развитием ограничения сгибания колена в фазу переноса (элемент, характерный для stiff knee gait). Данный феномен ранних изолированных операций, ослабляющих трицепс голени, характерен для спастической диплегии [28, 29]. Очевидно, что такой вариант ранних операций не ведет к улучшению ортопедической ситуации в старшем возрасте и лишь способствует повышению расхода энергии для перемещения.

Неравенство длины конечностей при спастической гемиплегии находит свое отражение в наклоне таза, компенсаторном сгибании тазобедренного и коленного сустава и сопряженной тыльной флексии на здоровой стороне [31]. Наше исследование также отразило данные особенности, что подчеркивает важность разновеликости ног для биомеханики ходьбы при гемипарезах. Ожидаемо, что коррекция неравенства длины позволит избегать вовлечения здоровой конечности в компенсацию данной ортопедической патологии [32, 33].

Слабыми сторонами нашего исследования является его кросс-секционный характер, без наблюдения эволюции элементов патологии походки на протяжении определенного времени у детей, без исследования параметров ходьбы до выполнения ранних ортопедических операций. Другим аспектом, который требует дополнительного исследования, является изучение адаптационных изменений движений контралатеральной конечности как в сравнении с вовлеченной конечностью, так и в сравнении со здоровыми сверстниками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Патология движений, выявляемая компьютерным анализом походки, присутствует во всех трех плоскостях измерений при типах походки II, III, IV по классификации Rodda et Graham. Наиболее выраженные отклонения при ходьбе выявлены для пациентов с типом походки III.

Ротационный разворот таза является исходно компенсаторным механизмом на фоне внутриторсионной деформации бедра, позволяющим ориентировать ось стопы близко к вектору направления ходьбы.

Изолированные операции удлинения трицепса, выполненные в раннем возрасте, ведут к ухудшению параметров походки, связанных со снижением силы подошвенного толчка, увеличением компенсаторной работы разгибателей коленного сустава и общим расходом энергии для ходьбы и, вероятно, не предотвращают ортопедической патологии, встречающейся при типе походки IV по Rodda et Graham.

Конфликт интересов. Отсутствует.

Источник финансирования. Статья выполнена 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 имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России.

Этическая экспертиза. Не требуется.

Информированное согласие. Не требуется.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Kulak W, Sobaniec W. Comparisons of right and left hemiparetic cerebral palsy. *Pediatr Neurol.* 2004;31(2):101-108. doi: 10.1016/j.pediatrneurol.2004.01.009
- Bonnefoy-Mazure A, De Coulon G, Lascombes P, et al. A 10.5-year follow-up of walking with unilateral spastic cerebral palsy. *J Child Orthop.* 2023;17(2):173-183. doi: 10.1177/18632521231154975
- 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 Suppl 5:98-108. doi: 10.1046/j.1468-1331.2001.00042.x
- Patel DR, Neelakantan M, Pandher K, Merrick J. Cerebral palsy in children: a clinical overview. *Transl Pediatr.* 2020;9(Suppl 1):S125-S135. doi: 10.21037/tp.2020.01.01
- Wren TA, Rethlefsen S, Kay RM. Prevalence of specific gait abnormalities in children with cerebral palsy: influence of cerebral palsy subtype, age, and previous surgery. *J Pediatr Orthop.* 2005;25(1):79-83. doi: 10.1097/00004694-200501000-00018
- Romkes J, Hell AK, Brunner R. Changes in muscle activity in children with hemiplegic cerebral palsy while walking with and without ankle-foot orthoses. *Gait Posture.* 2006;24(4):467-74. doi: 10.1016/j.gaitpost.2005.12.001
- Lee HJ, Oh CW, Song KS, et al. Rotational osteotomy with submuscular plating in skeletally immature patients with cerebral palsy. *J Orthop Sci.* 2013;18(4):557-62. doi: 10.1007/s00776-013-0384-3
- Armand S, Decoulon G, Bonnefoy-Mazure A. Gait analysis in children with cerebral palsy. *EFORT Open Rev.* 2016;1(12):448-460. doi: 10.1302/2058-5241.1.000052
- 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;25(4):493-500. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-493-500
- Schranz C, Kruse A, Kraus T, et al. Does unilateral single-event multilevel surgery improve gait in children with spastic hemiplegia? A retrospective analysis of a long-term follow-up. *Gait Posture.* 2017;52:135-139. doi: 10.1016/j.gaitpost.2016.11.018
- Гатамов О.И., Чибиров Г.М., Борзунов Д.Ю. и др. Коррекция торсионных деформаций у подростков и взрослых с ДЦП, влияние на параметры походки. *Гений ортопедии.* 2019;25(4):510-516. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-510-516
- Sala DA, Grant AD, Kummer FJ. Equinus deformity in cerebral palsy: recurrence after tendo Achillis lengthening. *Dev Med Child Neurol.* 1997;39(1):45-48. doi: 10.1111/j.1469-8749.1997.tb08203.x
- Sclavos N, Thomason P, Passmore E, et al. Foot drop after gastrocnemius lengthening for equinus deformity in children with cerebral palsy. *Gait Posture.* 2023;100:254-260. doi: 10.1016/j.gaitpost.2023.01.007
- Winters TF Jr, Gage JR, Hicks R. Gait patterns in spastic hemiplegia in children and young adults. *J Bone Joint Surg Am.* 1987;69(3):437-441.
- Riad J, Haglund-Akerlind Y, Miller F. Classification of spastic hemiplegic cerebral palsy in children. *J Pediatr Orthop.* 2007;27(7):758-64. doi: 10.1097/BPO.0b013e3181558a15
- Graham HK, Thomason P, Willoughby K, et al. Musculoskeletal Pathology in Cerebral Palsy: A Classification System and Reliability Study. *Children (Basel).* 2021;8(3):252. doi: 10.3390/children8030252
- Аксенов А.Ю., Клишковская Т.А. Программа формирования отчета биомеханики ходьбы человека. Патент РФ на изобретение № 2020665238. 24.11.2020. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet. Ссылка активна на 14.09.2023.
- Krzak JJ, Corcos DM, Damiano DL, et al. Kinematic foot types in youth with equinovarus secondary to hemiplegia. *Gait Posture.* 2015;41(2):402-408. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.10.027
- Graham HK, Baker R, Dobson F, Morris ME. Multilevel orthopaedic surgery in group IV spastic hemiplegia. *J Bone Joint Surg Br.* 2005;87(4):548-55. doi: 10.1302/0301-620X.87B4.15525
- Hamid J, Do P, Bauer J. 3D Gait Analysis and Patient-reported Outcomes of Femoral Osteotomies for Torsional Deformity. *J Pediatr Orthop.* 2022;42(9):496-502. doi: 10.1097/BPO.0000000000002204

21. Perry J. The mechanics of walking in hemiplegia. *Clin Orthop Relat Res.* 1969;63:23-31.
22. Siegfried J, Lazorthes Y, Broggi G, et al. La neurochirurgie fonctionnelle de l'infirmité motrice d'origine cérébrale [Functional neurosurgery of cerebral palsy]. *Neurochirurgie.* 1985;31 Suppl 1:1-118. (In French)
23. Park BS, Chung CY, Park MS, et al. Effects of soft tissue surgery on transverse kinematics in patients with cerebral palsy. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019;20(1):566. doi: 10.1186/s12891-019-2955-8
24. Church C, Lennon N, Pineault K, et al. Persistence and Recurrence Following Femoral Derotational Osteotomy in Ambulatory Children With Cerebral Palsy. *J Pediatr Orthop.* 2017;37(7):447-453. doi: 10.1097/BPO.0000000000000701
25. Hosseinzadeh P, Baldwin K, Minaie A, Miller F. Management of Hip Disorders in Patients with Cerebral Palsy. *JBJS Rev.* 2020;8(3):e0148. doi: 10.2106/JBJS.RVW.19.00148
26. Sees JP, Truong WH, Novacheck TF, et al. What's New in the Orthopaedic Treatment of Ambulatory Children With Cerebral Palsy Using Gait Analysis. *J Pediatr Orthop.* 2020;40(6):e498-e503. doi: 10.1097/BPO.0000000000001461
27. Park KB, Park H, Park BK, et al. Clinical and Gait Parameters Related to Pelvic Retraction in Patients with Spastic Hemiplegia. *J Clin Med.* 2019;8(5):679. doi: 10.3390/jcm8050679
28. Долганова Т.И., Гатамов О.И., Чибиров Г.М. и др. Клинико-биомеханические результаты многоуровневых ортопедических вмешательств при crouch gait. *Гений ортопедии.* 2020;26(3):325-333. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-3-325-333
29. Theologis T. Lever arm dysfunction in cerebral palsy gait. *J Child Orthop.* 2013;7(5):379-82. doi: 10.1007/s11832-013-0510-y
30. Долганова Т.И., Долганов Д.В., Чибиров Г.М. и др. Количественные параметры кинетики и кинематики ятрогенного crouch паттерна. *Гений ортопедии.* 2022;28(5):675-683. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-5-675-683
31. Cimolin V, Galli M, Tenore N, et al. Gait strategy of uninvolved limb in children with spastic hemiplegia. *Eura Medicophys.* 2007;43(3):303-10.
32. Joo S, Miller F. Abnormalities in the uninvolved foot in children with spastic hemiplegia. *J Pediatr Orthop.* 2012;32(6):605-608. doi: 10.1097/BPO.0b013e318263a245
33. Corradin M, Schiavon R, Borgo A, et al. The effects of uninvolved side epiphysiodesis for limb length equalization in children with unilateral cerebral palsy: clinical evaluation with the Edinburgh visual gait score. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2018;28(5):977-984. doi: 10.1007/s00590-017-2097-3
34. Чибиров Г.М., Долганова Т.И., Попков Д.А. и др. Анализ кинематических и кинетических параметров походки у больных детским церебральным параличом с внутренней торсионной деформацией бедра. *Сибирский научный медицинский журнал.* 2022;42(3):83-93. doi: 10.18699/SSMJ20220311

Статья поступила 01.08.2023; одобрена после рецензирования 08.09.2023; принята к публикации 24.02.2024.

The article was submitted 01.08.2023; approved after reviewing 08.09.2023; accepted for publication 24.02.2024.

Информация об авторах:

Улви Фаиг оглы Мамедов — аспирант, ulvi.mamedof@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-0266-6515>;

Тамара Игоревна Долганова — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник, rjik532007@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0117-3451>;

Орхан Ильхам оглы Гатамов — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, заведующий отделением, or-gatamov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-4244-5774>;

Дмитрий Арнольдович Попков — доктор медицинских наук, профессор РАН, руководитель клиники, член-корр. Французской Академии медицинских наук, dpopkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8996-867X>.

Information about the authors:

Ulvi F. Mammadov — post-graduate student, ulvi.mamedof@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-0266-6515>;

Tamara I. Dolganova — Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher, rjik532007@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0117-3451>;

Orkhan I. Gatamov — Candidate of Medical Sciences, traumatologist-orthopedist, Head of Department, or-gatamov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-4244-5774>;

Dmitry A. Popkov — Doctor of Medical Sciences, Professor of RAS, correspondent member French Academy of Medical Sciences, dpopkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8996-867X>.

Вклад авторов:

Мамедов У.Ф. — обработка данных, написание, первоначальный вариант.

Долганова Т.И. — валидация, написание-рецензирование и редактирование.

Гатамов О.И. — контроль.

Попков Д.А. — методология, концептуализация, управление проектом.