

## Клинико-биомеханические результаты многоуровневых ортопедических вмешательств при crouch gait

Т.И. Долганова, О.И. Гатамов, Г.М. Чибиров, Д.В. Долганов, Д.А. Попков

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курган, Россия

## Clinical and biomechanical results of multilevel orthopaedic interventions in crouch-gait patients

T.I. Dolganova, O.I. Gatamov, G.M. Chibirov, D.V. Dolganov, D.A. Popkov

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

**Целью** данного исследования явилась оценка результатов многоуровневых вмешательств у пациентов, страдающих спастической диплегией, с типом походки crouch gait. **Материалы и методы.** Исследуемая когорта состояла из 39 пациентов (10 женского пола, 29 мужского пола). Средний возраст пациентов составил  $16,3 \pm 4,29$  года (от 7 до 26 лет). В 19 случаях уровень GMFCS был III, в 16 случаях соответствовал уровню II и в 4 случаях – уровню I. Данные исследования походки анализировались в двух группах пациентов. В группе 1 пациенты не имели никаких ранее выполненных ортопедических вмешательств, и паттерн crouch gait считался развившимся естественным образом (15 пациентов). В группе 2 пациентам ранее выполнялись операции на сухожильно-мышечном аппарате (в иных медицинских учреждениях), подразумевавшие фибромитомии – 16 пациентов или открытое удлинение ахиллова сухожилия – 8 пациентов. Паттерн crouch gait в группе 2 считался ятрогенным. Анализ походки с использованием Эдинбургской шкалы и 3D-анализа выполняли до операции, через 1–2 года после вмешательства. **Результаты.** При сопоставлении пред- и послеоперационных показателей Эдинбургской шкалы отмечено улучшение показателей движений в голеностопном суставе как в опорную, так и в неопорную фазу цикла шага для обеих групп: уменьшение максимальной тыльной флексии стопы при нагрузке, улучшение максимального разгибания в коленном суставе в опорную фазу, практически полное устранение патологической ориентации стопы относительно вектора движения, а также улучшение позиции в коленном суставе непосредственно перед первичным контактом с опорной поверхностью. Компьютерный анализ походки показал, что хирургическое многоуровневое вмешательство улучшило параметры угла сгибания коленного сустава в момент первичного контакта, увеличило амплитуду разгибания коленного сустава в опорную фазу шага, нормализовало ориентацию стопы относительно вектора движения, уменьшило или полностью откорректировало патологические величины тыльной флексии стопы в опорную фазу шага и уменьшило энергоёмкость движений. Не отмечено достоверного увеличения показателей, отражающих силовые характеристики подошвенных флексоров, что отражает выраженное угнетение функции этой группы мышц при развитии crouch gait. GPS изменился с  $17,1 \pm 3,01$  до  $13,4 \pm 3,19$  для естественного crouch gait и с  $15,9 \pm 6,16$  до  $14,8 \pm 4,6$  для ятрогенного. **Заключение.** Паттерн crouch gait не является однородным как с точки зрения естественного и ятрогенного развития, так и с точки зрения ортопедических нарушений. Ятрогенный паттерн развивается при чрезмерном хирургическом ослаблении подошвенных флексоров стопы даже при отсутствии патологических ротационных установок сегментов нижних конечностей у пациентов более молодого возраста и с меньшим уровнем GMFCS. Планирование многоуровневого оперативного лечения обосновывается 3D-анализом походки и должно быть направлено на устранение ортопедических компонентов патологии, обуславливающих паттерн crouch gait. Хирургическое лечение позволяет достичь улучшения показателей кинетики и кинематики в коленном суставе и кинематических показателей голеностопного сустава и, в целом, повысить показатель профиля походки.

**Ключевые слова:** ДЦП, многоуровневые одномоментные хирургические вмешательства, crouch gait

**The aim** of this study was to evaluate the results of multilevel interventions in patients with spastic diplegia and crouch gait. **Materials and methods** The study cohort consisted of 39 patients (10 females, 29 males). The average age of the patients was  $16.3 \pm 4.29$  years (range, 7 to 26 years). In 19 cases, the GMFCS level was III, in 16 cases it corresponded to level II and in 4 cases to level I. The gait study data were analyzed in two groups of patients. In group 1, patients did not have any previous orthopedic interventions, and the crouch gait pattern was considered to have developed naturally (15 patients). In group 2, patients underwent previous operations on the tendon-muscular apparatus (in other medical institutions) such as fibromyotomy (16 patients) or open lengthening of the Achilles tendon (8 patients). The crouch gait pattern in group 2 was considered iatrogenic. Gait analysis using the Edinburgh Scale and 3D analysis was performed before surgery, and at one to 2 years after the interventions. **Results** Upon comparing the pre- and postoperative indicators of the Edinburgh scale, there was an improvement in the indicators of movements in the ankle joint both in the supporting and in the non-supporting phases of the stride cycle for both groups: a decrease in the maximum dorsal flexion of the foot under load, an improvement in the maximum extension in the knee joint during the support phase, practically complete elimination of the pathological orientation of the foot relative to the motion vector, as well as improvement of the position in the knee joint immediately before the initial contact with the supporting surface. Computer gait analysis showed that multilevel surgical interventions improved the parameters of the knee flexion angle at the time of initial contact, increased the amplitude of knee joint extension in the support phase of the stride, normalized the orientation of the foot relative to the motion vector, reduced or completely corrected the pathological values of the dorsal flexion of the foot in the support phase of the stride and reduced the energetic intensity of movements. There was no significant increase in the indicators reflecting the strength characteristics of the plantar flexors, which reflects a pronounced suppression of the function of these muscles in the development of crouch gait. GPS changed from  $17.1 \pm 3.01$  to  $13.4 \pm 3.19$  for natural crouch gait and from  $15.9 \pm 6.16$  to  $14.8 \pm 4.6$  for iatrogenic one. **Conclusion** The crouch gait pattern is not homogeneous, both in terms of natural and iatrogenic development, and in terms of orthopedic disorders. The iatrogenic pattern develops with excessive surgical weakening of the plantar flexors of the foot, even if there is no pathological rotation of the lower limb segments in younger patients and with lower GMFCS levels. The planning of multilevel surgical treatment is based on 3D gait analysis and should be aimed at eliminating orthopedic components of the pathology that determine the crouch gait pattern. Surgical treatment enables to improve the kinetics and kinematics in the knee joint and the kinematic indicators of the ankle joint and, in general, increase the gait profile indicator.

**Keywords:** cerebral palsy, single-event multilevel orthopedic surgery, crouch gait

### ВВЕДЕНИЕ

Детский церебральный паралич является одной из самых частых причин двигательных нарушений [1, 2]. При этом патологический паттерн ходьбы crouch gait

(походка с постоянным сгибанием в коленном суставе и позицией стопы в тыльной флексии) превалирует у старших детей, подростков и взрослых с уровнем

Клинико-биомеханические результаты многоуровневых ортопедических вмешательств при crouch gait / Т.И. Долганова, О.И. Гатамов, Г.М. Чибиров, Д.В. Долганов, Д.А. Попков // Гений ортопедии. 2020. Т. 26, № 3. С. 325-333. DOI 10.18019/1028-4427-2020-26-3-325-333

Dolganova T.I., Gatamov O.I., Chibirov G.M., Dolganov D.V., Popkov D.A. Clinical and biomechanical results of multilevel orthopaedic interventions in crouch-gait patients, *Genij Ortopedii*, 2020, vol. 26, no 3, pp. 325-333. DOI 10.18019/1028-4427-2020-26-3-325-333

нарушения глобальных двигательных функций I-III (GMFCS) [3–7]. Данное нарушение походки выделяется в отдельный IV паттерн в классической работе Rodda JM et al. [8]. Этот паттерн характеризуется сгибанием коленного сустава более 15° в момент первоначального контакта опорной фазы цикла шага [4, 8–10], а также перманентной позицией стопы в положении тыльного сгибания, сгибательной установкой бедра, что часто сочетается с внутриторсионной деформацией бедренной кости (избыточная антеверсия шейки бедра), наружной ротационной установкой стопы относительно вектора движения пациента, обусловленной ее тяжелой плоско-вальгусной деформацией с крайне выраженным отведением переднего отдела и/или наружной торсионной деформацией костей голени [11–13].

Данный паттерн патологической походки при спастической диплегии рассматривается как финальный этап эволюции нарушений ходьбы, отмечаемый у детей старшего возраста и взрослых [8]. При естественном развитии событий после установления данного типа походки происходит усугубление составляющих его компонентов: увеличение деформации стопы в среднем и заднем отделе и увеличение степени тыльной флексии стопы в опорную фазу, а также сгибательных контрактур коленного и тазобедренного суставов [14–17]. Данной деградации способствуют прогрессирующее увеличение высокой позиции надколенника (*patella alta*) и торсионные деформации сегментов конечностей, являющиеся причиной дисфункции рычагов, снижающих величину генерируемых мышечным сокращением усилий [9, 18, 19]. Негативными явлениями прогрессирования *crouch gait* являются развитие болевого синдрома, связанного с артрозом суставов стопы, ранним феморопателлярным артрозом, апофизитом нижнего полюса надколенника, постепенное снижение способностей к самостоятельному передвижению вплоть до полной потери способностей к автономной ходьбе даже со вспомогательными средствами передвижения [2, 11, 20, 21].

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данное исследование были включены пациенты, страдающие спастической диплегией, способные к самостоятельному передвижению с использованием или без вспомогательных средств опоры, паттерн походки которых классифицировался как *crouch gait*. Этим пациентам выполнялись многоуровневые одномоментные ортопедические вмешательства, проводился наблюдательный и компьютерный анализ походки до операции, а также через период не менее 12 месяцев после операции.

Из исследования были исключены пациенты со спастической диплегией, но с другими типами нарушений походки, пациенты с действующей баклофеновой помпой, случаи проведения ботулинотерапии с промежутком менее 6 месяцев до операции, а также пациенты с атаксическими, дистоническими формами ДЦП, с наследственной спастической параплегией.

В итоге, исследуемая когорта состояла из 39 пациентов (10 женского пола, 29 мужского пола). Средний возраст пациентов составил  $16,3 \pm 4,29$  года (от 7 до 26 лет).

Для всей выборки, в 19 случаях уровень нарушений глобальной двигательной активности был III, в 16 случаях соответствовал уровню II и в 4 случаях – уровню I согласно GMFCS. Степень двигательных нарушений

В настоящее время стандартом хирургического ортопедического лечения *crouch gait* является выполнение одномоментных многоуровневых ортопедических вмешательств, обеспечивающих коррекцию первичных и вторичных ортопедических нарушений при данном паттерне походки [5, 22–25]. Такой подход позволяет избежать признанного в настоящее время устаревшим метода выполнения частых, вплоть до ежегодных, изолированных вмешательств [20, 26, 27]. Одномоментные многоуровневые вмешательства значительно сокращают общее количество операций, уменьшают время послеоперационного восстановления и реабилитации, имеют экономические преимущества [8, 15, 27, 28]. Однако планирование такого подхода требует проведения 3D-анализа походки (3D Gait Analysis), сопоставления его результатов с клиническими и лучевыми методами исследованиями [23, 29].

Пациенты с *crouch gait* не являются однородной группой: степень и наличие отдельных ортопедических элементов, требующих хирургической коррекции, варьирует [5, 8, 22, 30, 31]. Выделяют также естественно развившийся паттерн *crouch gait*, наблюдающийся обычно в период полового созревания и связанный с увеличением массы тела и мышечной слабостью, и ятрогенный *crouch gait*, обусловленный удлинением ахиллова сухожилия, изолированным выполнением апоневротомии икроножных мышц без коррекции нарушений на проксимальном уровне, выполнением ранних вмешательств по типу фибромиотомий на еще спастических мышцах – до наступления их ретракции [10, 22, 32, 33].

Целью данного исследования явилась оценка результатов многоуровневых ортопедических вмешательств у детей и взрослых, страдающих спастической диплегией, с типом походки *crouch gait*, а также сравнение особенностей естественного и ятрогенного *crouch gait* в предоперационном периоде и сопоставление результатов их коррекции с точки зрения изменения особенностей походки.

оценивалась клинически, а также по медицинской документации и анамнестическим данным.

Данные исследования походки анализировались в двух группах пациентов. В группе 1 пациенты не подвергались ранее никаким ортопедическим вмешательствам на нижних конечностях, и паттерн *crouch gait* считался развившимся естественным образом (15 пациентов). В группе 2 пациентам ранее выполнялись операции на сухожильно-мышечном аппарате (в иных медицинских учреждениях согласно медицинским документам), подразумевавшие одно- или многократные фибромиотомии – 16 пациентов, открытое удлинение ахиллова сухожилия – 8 пациентов. Паттерн *crouch gait* в группе 2 считался ятрогенным.

Анализ походки с использованием Эдинбургской шкалы [32] выполняли до операции, через 1–2 года после вмешательства у всех пациентов. Кроме того, пациентам производился компьютерный анализ параметров ходьбы в Лаборатории анализа походки Центра Илизарова (Iizarov Gait Analysis Laboratory) [29].

При исследовании кинематики и кинетики движений пациента использовались 6 камер Oqus компании Qualisys и 1 динамометрическая платформа

AMTI (Advanced Mechanical Technology Inc., Watertown, MA) с технологией видеозахвата пассивных маркеров. Пациенты ходили босиком, при необходимости, с поддержкой за руки, с привычной для них скоростью на 7-метровой дорожке. При установке маркеров использовалась модель IOR [21], которая подходит для анализа ходьбы пациента с небольшой скоростью, что уменьшает артефакты движения кожи.

Для статистической обработки данных использовали программу AtteStat 12.0.5. В описательной статистике применяли среднее значение показателя и его стандартное отклонение. Для определения достоверности различий и клинической оценки походки до операции

и в отдаленном периоде внутри групп по показателям Эдинбургской шкалы использовали Т-критерий Вилкоксона для связанных выборок. Для сравнения групп между собой по количественным критериям 3D-анализа походки использовали W-критерий Вилкоксона для независимых выборок. Различия приняты считать существенными при  $p$  менее 0,05. Для сравнения встречаемости признака возможности ходьбы без вспомогательных средств (допуская объединение случаев, соответствующих уровням GMFCS I и II) и с использованием тростей или костылей (GMFCS III) в группах естественного и ятрогенного паттерна crouch gait использовали критерий хи-квадрат для бинарных выборок.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 1 представлено распределение пациентов по возрасту, полу и критерию нарушения глобальных моторных функций.

Отметим достоверную разницу между показателями возраста выполнения операции ( $p = 0,013$ ), что, видимо, указывает на более раннее развитие ортопедических осложнений, характерных для ятрогенного crouch gait, потребовавших хирургической коррекции. Кроме того, между группами существует достоверная разница по критерию хи-квадрат ( $p = 0,0301$ ) по встречаемости нарушений моторных функций, соответствующих уровню III GMFCS. Это указывает на достоверно более высокую вероятность развития паттерна crouch gait после открытого удлинения ахиллова сухожилия или чрескожных фибромиотомий даже при более благоприятном уровне нарушений глобальных двигательных функций (I-II GMFCS), чем при естественной эволюции ортопедических нарушений.

В среднем было выполнено 10,1 хирургического элемента вмешательства у каждого пациента и в группе 1, и в

группе 2 (табл. 2), что отражает многочисленность взаимосвязанных ортопедических проблем, возникающих у старших детей и молодых взрослых при развитии crouch gait.

Отметим, что в группе ятрогенно детерминированной патологической походки необходимыми элементами вмешательства во многих случаях становятся укорачивание ахиллова сухожилия и пересадка сухожилия длинной малоберцовой мышцы на пяточную кость с целью усиления функции подошвенной флексии. Кроме того, практически не возникали показания к удлинению трицепса голени. Обе эти особенности оперативного лечения в группе 2 обусловлены ранее проведенными хирургическими вмешательствами.

Средние значения для каждого из показателей Эдинбургской шкалы, изученные в пред- и послеоперационном периоде, представлены в таблице 3. В целом, отмечено улучшение кинематических параметров походки у пациентов после проведенных операций и последующего периода реабилитации.

Таблица 1

Распределение пациентов по возрасту, полу и критерию нарушения глобальных моторных функций

Группа	Количество пациентов	Женщины/мужчины	Возраст; лет	GMFCS; количество случаев		
				I	II	III
1	15	4/11	18,9 ± 4,75	-	4	11
2	24	6/18	14,8 ± 3,07	4	13	7

Таблица 2

Элементы хирургических вмешательств; количество

Элемент операции	Группа 1	Группа 2
Удлинение медиальной группы сгибателей коленного сустава	30	48
Удлинение аддукторов	8	4
Апоневротомия икроножной мышцы, удлинение ахиллова сухожилия	28	7
Укорачивание сухожилия m. tibialis post.	18	28
Надмышечковая разгибательная и деторсионная остеотомия	8	18
Низведение надколенника	22	42
Деторсионная остеотомия бедра	6	8
Дистальный трансфер m. rectus femoris	2	8
Удлинение m. iliopsoas	4	-
Деторсионная остеотомия костей голени	2	1
Таранно-ладьевидный артродез	8	8
Коррекция деформации стопы по Evans	4	12
Трехсуставной артродез	6	16
Пересадка сухожилия длинной малоберцовой мышцы на пяточную кость	-	7
Укорачивание ахиллова сухожилия	-	12
Рассечение retinaculum extensorum /удлинение сухожилия передней большеберцовой мышцы	-	2
Коррекция hallux valgus, включая артродез первого ПФС	11	20
Всего	155	241

Средние значения показателей Эдинбургской шкалы до операции и в период 1–2 года после вмешательства

Показатель	Группа 1		Группа 2	
	до лечения	через 1-2 года	до лечения	через 1-2 года
Initial contact	1,4 ± 0,50	0,7 ± 0,52	1,2 ± 0,51	0,67 ± 0,50
Heel lift	1,3 ± 0,53	0,9 ± 0,25	1,02 ± 0,5	0,75 ± 0,38
Maximum ankle dorsiflexion	1,4 ± 0,50	0,3 ± 0,53*	1,5 ± 0,54	0,21 ± 0,42*
Hind-foot varus/valgus	1,5 ± 0,68	0,27 ± 0,45*	1,35 ± 0,73	0,2 ± 0,32*
Foot progression angle	1,7 ± 0,58	0,23 ± 0,50*	1,44 ± 0,69	0,3 ± 0,55*
Knee progression angle	1,1 ± 0,63	0,53 ± 0,51	0,88 ± 0,69	0,4 ± 0,48
Peak knee extension	1,8 ± 0,38	0,47 ± 0,57*	1,7 ± 0,47	0,27 ± 0,49*
Peak hip extension	1,5 ± 0,57	0,8 ± 0,81	1,17 ± 0,79	0,58 ± 0,51
Pelvic obliquity at Mid-Stance	0,97 ± 0,41	1,03 ± 0,32	1,13 ± 0,74	0,96 ± 0,48
Pelvic rotation at Mid-Stance	0,6 ± 0,72	0,33 ± 0,48	0,71 ± 0,73	0,46 ± 0,55
Trunk Peak Sagittal Position	1,1 ± 0,48	1,17 ± 0,83	1,2 ± 0,68	1,04 ± 0,67
Trunk maximum lateral shift	1,5 ± 0,51	1,4 ± 0,5	1,9 ± 0,23	1,6 ± 0,54
Clearance	1,1 ± 0,45	0,43 ± 0,50	0,78 ± 0,62	0,5 ± 0,51
Maximum ankle dorsiflexion	0,77 ± 0,68	0,1 ± 0,31	0,94 ± 0,87	0,19 ± 0,40
Peak knee flexion	1,2 ± 0,75	0,7 ± 0,58	1,1 ± 0,71	0,63 ± 0,59
Knee terminal swing position	1,7 ± 0,47	0,47 ± 0,63*	1,6 ± 0,49	0,52 ± 0,50*
Peak hip flexion	1,1 ± 0,78	0,5 ± 0,51	0,79 ± 0,88	0,33 ± 0,48
Суммарно	43,7 ± 7,54	20,9 ± 8,98*	40,8 ± 10,91	19,2 ± 6,05*

Примечание: \* - достоверное различие с исходным суммарным показателем по парному критерию Вилкоксона ( $p < 0,05$ ).

При сопоставлении пред- и послеоперационных показателей отметим явное улучшение показателей движений в голеностопном суставе как в опорную, так и в неопорную фазу цикла шага для обеих групп (рис. 1 и 2): уменьшение максимальной тыльной флексии стопы при нагрузке, улучшение максимального разгибания в коленном суставе в опорную фазу, практически полное устранение патологической ориентации стопы относительно вектора движения, а также улучшение позиции в коленном суставе непо-

средственно перед первичным контактом с опорной поверхностью. Таким образом, оперативное лечение позволило при устранении контрактур суставов и дисфункции рычагов, связанных с деформациями в горизонтальной плоскости, добиться улучшения взаимосвязанной кинематики в голеностопном и коленном суставах. Отметим, тем не менее, что улучшения движений в тазобедренных суставах не столь выражены, а улучшения позиции туловища в разные моменты цикла шага практически не отмечены.

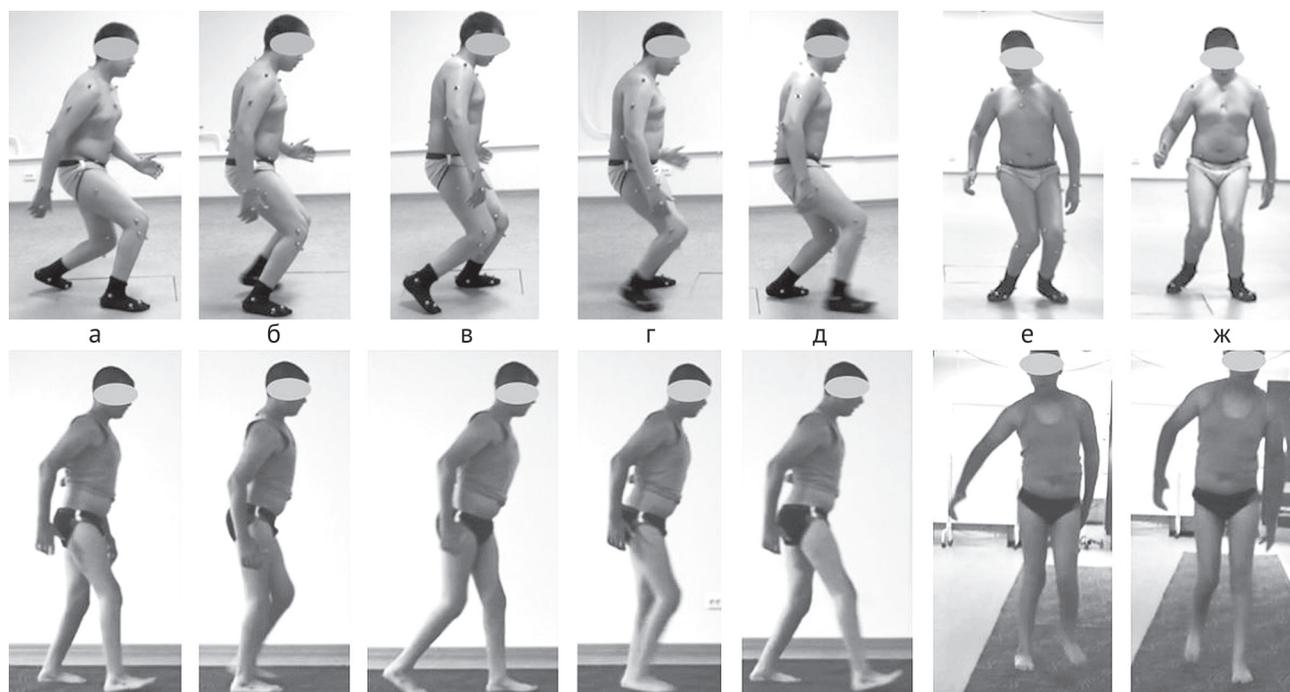


Рис. 1. Походка пациента О., 18 лет, GMFCS II, верхний ряд фотографий – до лечения, нижний ряд фотографий – через 2 года после операции: а – первичный контакт (до лечения – всей стопой, после – пяточным отделом); б – середина опорной фазы (до лечения: увеличенная тыльная флексия стопы, патологическое чрезмерное сгибание в коленном суставе; после лечения: нормализация кинематических показателей максимальной тыльной флексии стопы и максимального разгибания в коленном суставе); в – отрыв стопы (toe off), длина шага стала явно больше после операции; г – середина неопорной фазы, нормализация величины сгибания коленного сустава и клиренса шага после операции; д – позиция коленного сустава перед контактом стопы с поверхностью, нормализация величины сгибания коленного сустава после операции; е, ж – наружная девиация стопы опорной конечности и нормальная ориентация опорной стопы после лечения

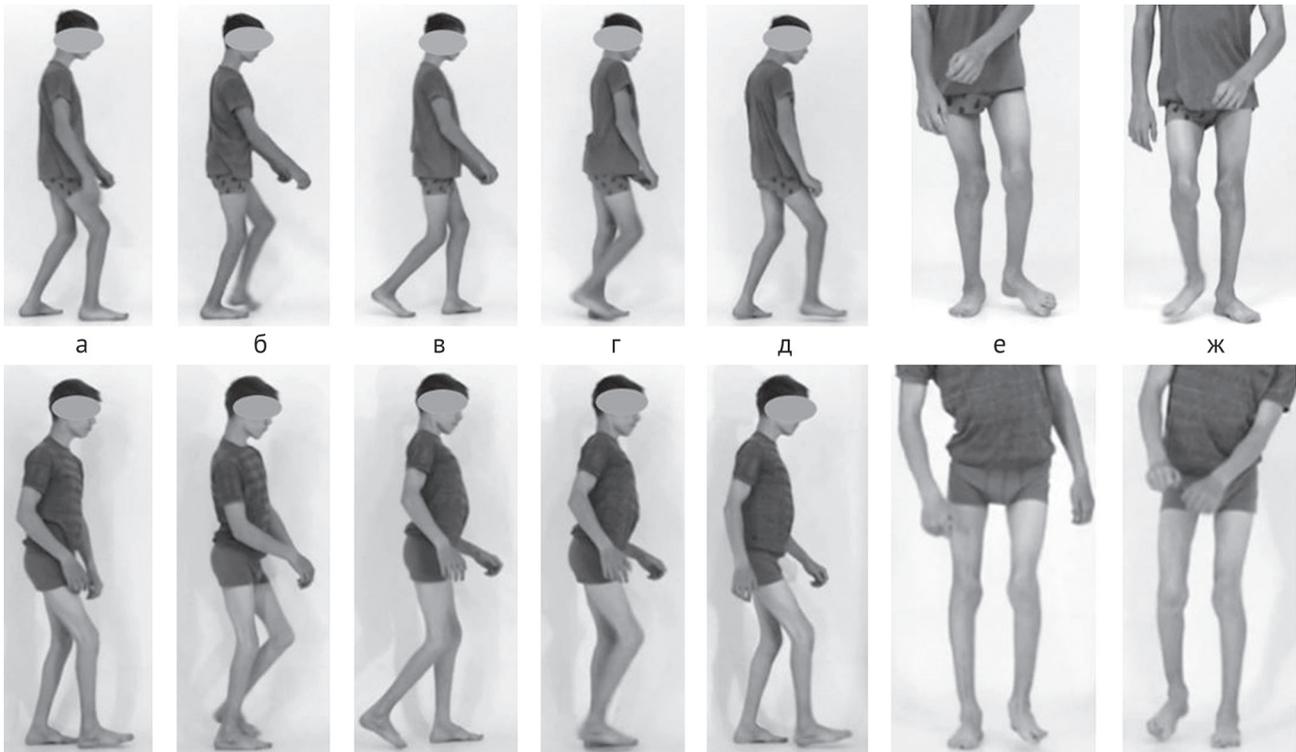


Рис. 2. Походка пациента С., 14 лет, GMFCS II, верхний ряд фотографий – до лечения, нижний ряд фотографий – через 1,5 года после операции: а – первичный контакт (до лечения – всей стопой, после – пяточным отделом); б – середина опорной фазы (до лечения: увеличенная тыльная флексия стопы, патологическое, чрезмерное сгибание в коленном суставе; после лечения: нормализация кинематических показателей максимальной тыльной флексии стопы и улучшение разгибания в коленном суставе); в – отрыв стопы (toe off), длина шага не увеличилась после операции; г – середина неопорной фазы, нормализация величины сгибания коленного сустава, достаточный клиренс шага до и после операции; д – позиция коленного сустава перед контактом стопы с поверхностью, улучшение величины сгибания коленного сустава после операции; е, ж – наружная девиация стопы опорной конечности и нормальная ориентация опорной стопы после лечения

Компьютерный анализ походки выявил следующие изменения кинематических и кинетических показателей (табл. 4, 5, 6).

В результатах, представленных в таблице 4, отметим, в первую очередь, достоверное уменьшение угла максимальной тыльной флексии стопы в опорную фазу шага (уменьшение, в среднем, на 39 % для первой группы и на 32 % – во второй). Кроме того, достигнута нормализация ориентации стопы относительно вектора направления ходьбы в обеих группах.

Хирургическое лечение позволило достоверно улучшить показатели движений в коленном суставе, уменьшая угол сгибания в начальном моменте опорной фазы и, что крайне важно, в середине опорной фазы отмечено уменьшение угла сгибания, практически в два раза. Кроме того, появление момента силы сгибателей свидетельствует и нормализации работы мышца-антагонистов области коленного сустава, оказавшихся

после оперативного лечения в биомеханически выгодных условиях.

В целом, отчетливо видно улучшение кинематики движений в коленном и голеностопном суставе, улучшение ориентации стопы относительно вектора движения ходьбы. Выявлено достоверное уменьшение сгибания коленного сустава в момент первичного контакта в обеих группах. Кроме того, улучшение разгибания в коленном суставе в опорную фазу сопровождалось снижением усилий и генерации энергии, что отражает снижение энергоёмкости ходьбы. С другой стороны, достоверного изменения кинетических параметров движений стопой не обнаружено при сравнении параметров в пред- и послеоперационный период. Отметим, однако, что значения момента силы подошвенного толчка и мощности подошвенного сгибания в группе паттерна естественно-го crouch gait выше, чем при ятрогенном развитии такого типа патологической походки.

Таблица 4

Изменение кинематических и кинетических показателей голеностопного сустава, длительности опорной фазы цикла шага

Показатель	Паттерн естественного crouch gait		Паттерн ятрогенного crouch gait	
	до операции	после операции	до операции	после операции
Позиция стопы в начале опорного периода, °	14,8 ± 2,99	3,50 ± 0,36 P = 0,002	12,7 ± 6,03	6,1 ± 5,70 P = 0,008
Угол максимальной тыльной флексии стопы в опорную фазу, °	27,3 ± 5,33	16,8 ± 8,03 Положит. динамика на 39 % P = 0,015	26,5 ± 10,3	18,2 ± 10,33 Положит. динамика на 32 % P = 0,003
Позиция стопы в момент отрыва, °	-1,35 ± 6,30	-0,23 ± 6,60	-0,8 ± 7,49	-1,88 ± 6,50
Длительность опорной фазы цикла шага, %	68,7 ± 7,86	65,9 ± 5,72	66,1 ± 8,80	68,6 ± 7,67
Угол ориентации стопы относительно вектора направления ходьбы, °	-33,5 ± 27,2	-18,8 ± 22,7	-25,1 ± 18,2	-11,9 ± 19,2
Момент силы подошвенных сгибателей, Nm/kg	0,95 ± 0,26	0,92 ± 0,14	0,88 ± 0,37	0,86 ± 0,26
Мощность подошвенного толчка; W/kg	1,27 ± 0,72	1,35 ± 0,44	1,21 ± 0,57	1,31 ± 0,99

Изменение кинематических и кинетических показателей коленного сустава

Показатель	Паттерн естественного crouch gait		Паттерн ятрогенного crouch gait	
	до операции	после операции	до операции	после операции
Угол сгибания колена в начале опорного периода; °	45,7 ± 3,92	27,0 ± 6,78 P = 0,004	39,2 ± 12,28	26,1 ± 14,9 P = 0,0008
Угол пикового разгибания коленного сустава в опорную фазу; °	38,4 ± 11,38	20,1 ± 8,98 P = 0,004	28,3 ± 18,7	13,4 ± 18,8 P = 0,0002
Угол максимального сгибания в неопорную фазу; °	66,0 ± 14,7	47,8 ± 5,64	56,5 ± 13,5	49,1 ± 15,83
Момент максимального сгибания в неопорную фазу (% цикла шага)	81,3 ± 6,25	78,8 ± 7,87	82,9 ± 4,96	80,9 ± 5,05
Момент силы разгибателей; Nm/kg	1,08 ± 0,55	0,77 ± 0,22	0,96 ± 0,50	0,61 ± 0,42 P = 0,001
Момент силы сгибателей; Nm/kg	0,03 ± 0,08	0,15 ± 0,07 P = 0,004	0,12 ± 0,17	0,36 ± 0,28 P = 0,0005
Мощность разгибания; W/kg	0,65 ± 0,43	0,66 ± 0,43	0,68 ± 0,42	0,61 ± 0,55

Таблица 6

Изменение кинематических и кинетических показателей тазобедренного сустава, таза, суммарного профиля походки (GPS)

Показатель	Паттерн естественного crouch gait		Паттерн ятрогенного crouch gait	
	до операции	после операции	до операции	после операции
GPS	17,1 ± 3,01	13,4 ± 3,19	15,9 ± 6,16	14,8 ± 4,6
Позиция бедра момент первичного контакта; °	43,6 ± 12,1	37,1 ± 4,45	39,5 ± 10,8	41,1 ± 14,7
Максимальный угол разгибания бедра в опорную фазу; °	14,6 ± 12,8	9,1 ± 9,74	10,0 ± 10,1	10,8 ± 16,6
Ротационная установка бедра в опорную фазу; °	26,3 ± 11,48	14,1 ± 18,2	19,2 ± 16,7	17,3 ± 14,87
Наклон таза; °	14,4 ± 9,53	20,8 ± 5,18	17,8 ± 10,6	22,4 ± 12,7

## ДИСКУССИЯ

В своей работе Rodda et al. [8] приводят классификацию, ставшую общепринятой и отправной для более глубоких исследований патологических паттернов походки у детей и подростков со спастической диплегией, основываясь на кинематике в сагиттальной плоскости. Паттерн crouch gait определяется как симметричная походка, когда стопа находится в позиции тыльной флексии на протяжении всей опорной фазы цикла шага, присутствует избыточное сгибание в коленном и тазобедренном суставе, таз может находиться в нормопозиции или наклонен кзади. Паттерн crouch gait может рассматриваться с другими типами походки в рамках нарушений, характеризующихся термином flexed-knee gait, когда при первичном контакте коленный сустав согнут более 15° (это соответствует более 1 SD для ребенка 6 лет), что может включать паттерны jump gait, apparent equinus and crouch gait [5, 9, 22]. Однако только при избыточной сгибательной позиции в коленном суставе и тыльной флексии стопы на протяжении всей stance-фазы можно говорить паттерн crouch gait [5, 8].

Нарушения, обнаруживаемые при crouch gait, хорошо описаны и включают спастичность/ретракцию сгибателей коленного и тазобедренного сустава, торсионные деформации бедра, наружно-ротационную установку стопы, как правило, связанную с тяжелой плоско-вальгусной деформацией, высокую позицию надколенника [8, 11, 36]. Такие изменения ведут к развитию патологии биомеханических рычагов и постепенному смещению направления вектора реакции опоры в перманентную позицию кзади от оси вращения в коленном суставе, что усугубляет ситуацию [11, 12, 20, 37]. То есть биомеханические нарушения обнаруживаются не только в сагиттальной плоскости, но и горизонтальной и фронтальной [19].

Данный тип патологического паттерна походки обычно наблюдается у детей старше 12 лет, связан с завершением роста, с увеличением массы тела, половым созреванием и рассматривается как эволюция других типов, наблюдаемых в более раннем возрасте (equinus gait, jump gait) [8, 14, 21]. Кроме того, компьютерный анализ походки позволяет обнаруживать патологическую активность квадрицепса (m. rectus femoris) в неопорную фазу цикла шага, характерную для stiff knee gait [6, 8, 17, 38].

Критичным для развития паттерна crouch gait считают развитие слабости трицепса голени и снижения силы разгибания коленного сустава, так как эти два элемента образуют важную взаимозависимую биомеханическую пару при ходьбе для достижения разгибания коленного сустава и снижения энергоёмкости ходьбы [8, 20, 33, 39, 40].

Кроме того, помимо естественного развития данного паттерна походки, выделяют ятрогенный паттерн crouch gait после проведенных в раннем возрасте и необоснованных фибромиотомий и изолированных удлинений ахиллова сухожилия [22, 33]. Последующее неизбежное ослабление трицепса голени приводит к потере функции камбаловидной мышцы, сокращаясь эксцентрично, поглощать кинетическую энергию опорной конечности, и патологическому сгибанию коленного сустава в опорную фазу [40–43]. Как показали Rose et al. [39], только апоневротомия икроножных мышц позволяет сохранить силу толчка при подошвенном сгибании стопы и предотвращает развитие слабости трицепса.

Как правило, в публикациях рассматриваются популяционные, ортопедические аспекты, методы и результаты коррекции данного типа патологической походки вместе – и для естественно развившегося crouch gait, и для ятрогенного, при этом указывается на отсутствие

достоверного влияния возраста на результат многоуровневых вмешательств у детей [14, 31, 36, 44, 45]. Однако наше исследование позволило обнаружить, что в группе ятрогенного нарушения походки возраст проведенного оперативного лечения достоверно ниже, чем в группе естественно развившейся патологии ходьбы. При этом при естественном развитии crouch gait чаще обнаруживается уровень II нарушения глобальных моторных функций, в то время как для пациентов без предыдущего оперативного лечения характерен уровень III GMFCS.

В настоящий момент нет необходимости доказывать и обосновывать целесообразность выполнения многоуровневых одномоментных хирургических вмешательств при коррекции ортопедических осложнений ДЦП. Это справедливо и для паттерна походки crouch gait [23, 30, 31, 46–48].

Как показало наше исследование, многоуровневая коррекция ортопедических деформаций и контрактур суставов при паттерне crouch gait позволила улучшить параметры тыльной флексии стопы и разгибания коленного сустава в опорную фазу шага, ротационной ориентации коленного сустава и стопы относительно вектора движения пациента: основные биомеханические нарушения, обуславливающие не только персистенцию, но и прогрессирование данного патологического типа походки, были устранены. Как результирующий суммарный показатель улучшился Gait Profile Score в обеих группах.

В литературе не проводится сравнения хирургических способов коррекции в зависимости от естественного или ятрогенного развития crouch gait [15, 30, 37, 48]. Наше исследование показало, что элементы вмешательства различаются для этих двух клинических ситуаций: для коррекции избыточной тыльной флексии стопы при ятрогенных нарушениях потребовалось укорачивание ахиллова сухожилия и, нередко, в комбинации с пересадкой длинной малоберцовой мышцы на пяточную кость. Отметим и необходимость одновременной с попыткой усиления активной подошвенной флексии коррекции деформации стопы с использованием различных артротомов для устранения патологии биомеханических рычагов с целью смещения вектора реакции опоры кледи от оси вращения коленного сустава.

3D-анализ походки является сегодня неотъемлемой частью диагностики и планирования ортопедической хирургии у пациентов с ДЦП, позволяя определять патологические значения и паттерны походки у пациентов с ДЦП [7, 47].

Наше исследование выявило особенности формирования ятрогенного crouch gait в отличие от естественного. Ятрогенное нарушение развивается на фоне серьезного постоперационного ослабления трицепса голени без существенных ротационных отклонений стопы от вектора движения в опорную фазу цикла

шага. При этом патологические значения амплитуд движений и углов в суставах в сагиттальной плоскости близки между двумя этими группами пациентов. Отметим тенденцию к меньшему углу сгибания в опорную фазу у пациентов с ятрогенным паттерном, что является элементом stiff knee gait. Показатели силы подошвенных флексоров одинаково выражено ослаблены в обеих группах, однако мощность толчка, оставаясь патологически низкой, выше в ятрогенной группе. Последнее обусловлено меньшей степенью неврологических расстройств, наблюдаемых в нашей выборке у пациентов с ятрогенным паттерном crouch gait.

Таким образом, негативный эффект от выполнения ранних вмешательств на подошвенных флексорах (фибриомиотомии по методу Ульзибата, открытое удлинение ахиллова сухожилия у детей со спастической диплегией [32, 33, 43, 49]) очевиден и проявляется в раннем развитии патологического паттерна походки crouch gait у детей без торсионных деформаций (без нарушения биомеханических рычагов в горизонтальной плоскости) и у детей с исходно высокими показателями двигательной активности и несклонных к развитию данного осложнения.

Как показал компьютерный анализ походки, хирургическое многоуровневое вмешательство позволяет в обеих группах улучшить параметры угла сгибания коленного сустава в момент первичного контакта, увеличить величину разгибания коленного сустава в опорную фазу шага, нормализовать ориентацию стопы относительно вектора движения, уменьшить или полностью откорректировать патологические величины тыльной флексии стопы в опорную фазу шага и уменьшить энергоемкость движений в опорную фазу шага. Однако не отмечено достоверного увеличения показателей, отражающих силовые характеристики подошвенных флексоров, что, видимо, отражает выраженное угнетение функции этой группы мышц при развитии crouch gait. Подчеркнем еще раз, что выраженное снижение функциональных возможностей подошвенных сгибателей при естественном crouch gait – закономерная эволюция ситуации, характерная для пациентов с уровнем двигательных нарушений III GMFCS, реже II. В то время как при ятрогенном crouch gait потеря функции трицепса голени – результат этапных или даже однократных фибромииотомий или удлинения ахиллова сухожилия, выполненных в раннем возрасте у пациентов с более благоприятным уровнем нарушений глобальных двигательных функций (I-II GMFCS).

В любом случае, стабилизация позиции стопы в горизонтальной плоскости в совокупности с улучшением кинетических и кинематических показателей для коленного сустава оказывается достаточным для снижения энергоемкости опорной фазы шага и в целом для повышения GPS даже при выраженном снижении функции подошвенных флексоров.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Паттерн crouch gait не является однородным как с точки зрения естественного и ятрогенного развития, так и с точки зрения ортопедических нарушений. Ятрогенный паттерн развивается при чрезмерном хирургическом ослаблении подошвенных флексоров стопы даже при отсутствии патологических ротационных установок сегментов нижних конечностей в более раннем возрасте и у пациентов с меньшим уровнем глобальных двигательных

нарушений по GMFCS. Планирование многоуровневого оперативного лечения обосновывается 3D-анализом походки и должно быть направлено на устранение всех – первичных и вторичных – ортопедических компонентов патологии, обуславливающих паттерн crouch gait. Хирургическое лечение позволяет достичь улучшения показателей кинетики и кинематики в коленном суставе и кинематики голеностопного сустава.

**Этика публикации:** пациенты дали добровольное информированное согласие на публикацию клинического наблюдения.

**Конфликта интересов:** не заявлено.

**Источник финансирования:** не заявлено.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Quinby J.M., Abraham A. Musculoskeletal problems in cerebral palsy. *Current Paediatrics*. 2005. Vol. 15, No 1. P. 9-14.
2. Temelli Y., Akalan N.E. Diz fleksiyon kontraktüründe tedavi yaklaşımları // *Acta Orthop. Traumatol. Turc.* 2009. Vol. 43, No 2. P. 113-120. DOI: 10.3944/AOTT.2009.113.
3. Bony reconstruction of hip in cerebral palsy children Gross Motor Function Classification System levels III to V: a systematic review / T.A. El-Sobky, T.A. Fayyad, A.M. Kotb, B. Kaldas // *J. Pediatr. Orthop. B.* 2018. Vol. 27, No 3. P. 221-230. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000503.
4. Effectiveness of surgical and non-surgical management of crouch gait in cerebral palsy: A systematic review / S.A. Gale, Z.F. Lerner, T.C. Bulea, S. Zimble, D.L. Damiano // *Gait Posture*. 2017. Vol. 54. P. 93-105. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.02.024.
5. Flexed-knee gait in children with cerebral palsy: a 10-year follow-up study / T. Haumont, C. Church, S. Hager, M.J. Cornes, D. Poljak, N. Lennon, J. Henley, D. Taylor, T. Niller, F. Miller // *J. Child. Orthop.* 2013. Vol. 7, No 5. P. 435-443. DOI: 10.1007/s11852-013-0505-8.
6. Sutherland D.H., Davids J.R. Common gait abnormalities of the knee in cerebral palsy // *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1993. No 288. P. 139-147.
7. Wren T.A., Rethlefsen S., Kay R.M. Prevalence of specific gait abnormalities in children with cerebral palsy: influence of cerebral palsy subtype, age, and previous surgery // *J. Pediatr. Orthop.* 2005. Vol. 25, No 1. P. 79-83. DOI: 10.1097/00004694-200501000-00018.
8. Sagittal gait patterns in spastic diplegia / J.M. Rodda, H.K. Graham, L. Carson, M.P. Galea, R. Wolfe // *J. Bone Joint Surg. Br.* 2004. Vol. 86, No 2. P. 251-258. DOI: 10.1302/0301-620x.86b2.13878.
9. Kedem P., Scher D.M. Evaluation and management of crouch gait // *Curr. Opin. Pediatr.* 2016. Vol. 28, No 1. P. 55-59. DOI: 10.1097/MOP.0000000000000316.
10. Severe crouch gait in spastic diplegia can be prevented: a population-based study / C. Vuillermin, J. Rodda, E. Rutz, B.J. Shore, K. Smith, H.K. Graham // *J. Bone Joint Surg. Br.* 2011. Vol. 93, No 12. P. 1670-1675. DOI: 10.1302/0301-620X.93B12.27332.
11. Muscular contributions to hip and knee extension during the single limb stance phase of normal gait: a framework for investigating the causes of crouch gait / A.S. Arnold, F.C. Anderson, M.G. Pandey, S.L. Delp // *J. Biomech.* 2005. Vol. 38, No 11. P. 2181-2189. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2004.09.036.
12. Crouched postures reduce the capacity of muscles to extend the hip and knee during the single-limb stance phase of gait / J.L. Hicks, M.H. Schwartz, A.S. Arnold, S.L. Delp // *J. Biomech.* 2008. Vol. 41, No 5. P. 960-967. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2008.01.002.
13. The development of mature gait / D.H. Sutherland, R. Olshen, L. Cooper, S.L. Woo // *J. Bone Joint Surg. Am.* 1980. Vol. 62, No 3. P. 336-353.
14. Natural progression of gait in children with cerebral palsy / K.J. Bell, S. Ounpuu, P.A. DeLuca, M.J. Romness // *J. Pediatr. Orthop.* 2002. Vol. 22, No 5. P. 677-682.
15. Correction of severe crouch gait in patients with spastic diplegia with use of multilevel orthopaedic surgery / J.M. Rodda, H.K. Graham, G.R. Nattress, M.P. Galea, R. Baker, R. Wolfe // *J. Bone Joint Surg. Am.* 2006. Vol. 88, No 12. P. 2653-2664. DOI: 10.2106/JBJS.E.00993.
16. Natural history of flexed knee gait in diplegic cerebral palsy evaluated by gait analysis in children who have not had surgery / G.E. Rose, K.A. Lightbody, R.G. Ferguson, J.C. Walsh, J.E. Robb // *Gait Posture*. 2010. Vol. 31, No 3. P. 351-354. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2009.12.006.
17. Sutherland D.H., Cooper L. The pathomechanics of progressive crouch gait in spastic diplegia // *Orthop. Clin. North Am.* 1978. Vol. 9, No 1. P. 143-154.
18. Murphy K.P. Cerebral palsy lifetime care – four musculoskeletal conditions // *Dev. Med. Child. Neurol.* 2009. Vol. 51, No Suppl. 4. P. 30-37. DOI: 10.1111/j.1469-8749.2009.03431.x.
19. Theologis T. Lever arm dysfunction in cerebral palsy gait // *J. Child. Orthop.* 2013. Vol. 7, No 5. P. 379-382. DOI: 10.1007/s11852-013-0510-y.
20. Miller F. Cerebral palsy. New York: Springer. 2005.
21. Balance in relation to walking deterioration in adults with spastic bilateral cerebral palsy / A. Opheim, R. Jahnsen, E. Olsson, J.K. Stanghelle // *Phys. Ther.* 2012. Vol. 92, No 2. P. 279-288. DOI: 10.2522/ptj.20100432.
22. Single-event multilevel surgery for crouching cerebral palsy children: Correlations with quality of life and functional mobility / J. Amen, M. ElGebeily, D.M.E. El-Mikkawy, A.H. Yousry, T.A. El-Sobky // *J. Musculoskelet. Surg. Res.* 2018. Vol. 2, No 4. P. 148-155.
23. A Systematic Review of the Effects of Single-Event Multilevel Surgery on Gait Parameters in Children with Spastic Cerebral Palsy / R.P. Lamberts, M. Burger, J. du Toit, N.G. Langerak // *PLoS One*. 2016. Vol. 11, No 10. P. e0164686. DOI:10.1371/journal.pone.0164686.
24. Результаты многоуровневых одномоментных ортопедических операций и ранней реабилитации в комплексе с ботулинотерапией у пациентов со спастическими формами церебрального паралича / Д.А. Попков, В.А. Змановская, Е.Б. Губина, С.С. Леончук, М.Н. Буторина, О.Л. Павлова // *Журнал Неврологии и Психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2015. Т. 115, № 4. С. 41-48. DOI: 10.17116/jnevro20151154141-48.
25. Хирургическое ортопедическое лечение взрослых пациентов с ДЦП: обзор литературы и предварительный анализ собственных результатов / О.И. Гагатов, Г.М. Чибиров, Д.Ю. Борзунов, Д.А. Попков // *Гений ортопедии*. 2018. Т. 24, № 4. С. 538-547. DOI: 10.18019/1028-4427-2018-24-4-538-54.
26. Rang M., Silver R., De la Garza J. Cerebral palsy. In: *Pediatric Orthopaedics*, 2nd Ed. / Lovell W.W., Winter R.B., eds. Philadelphia: JB Lippincott Co. 1986. Vol. 1. P. 345-396.
27. Mechanical work, energetic cost, and gait efficiency in children with cerebral palsy / A. van den Hecke, C. Malghe, A. Renders, C. Detrembleur, S. Palumbo, T.M. Lejeune // *J. Pediatr. Orthop.* 2007. Vol. 27, No 6. P. 643-647. DOI: 10.1097/BPO.0b013e318095f4c3.
28. Multilevel orthopaedic surgery in group IV spastic hemiplegia / H.K. Graham, R. Baker, F. Dobson, M.E. Morris // *J. Bone Joint Surg. Br.* 2005. Vol. 87, No 4. P. 548-555. DOI: 10.1302/0301-620X.87B4.15525.
29. 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.
30. Distal femoral extension osteotomy with 90° pediatric condylar locking compression plate and patellar tendon advancement for the correction of crouch gait in cerebral palsy / A. Aroojis, M. Patel, A. Shah, K. Sarathy, S. Vaidya, R. Mehta // *Indian J. Orthop.* 2019. Vol. 53, No 1. P. 45-52. DOI: 10.4103/ortho.IJOrtho\_410\_17.
31. Long-term development of gait after multilevel surgery in children with cerebral palsy: a multicentre cohort study / T. Dreher, P. Thomason, M. Švehlík, L. Döderlein, S.I. Wolf, C. Putz, O. Uehlein, K. Chia, G. Steinwender, M. Sangeux, H.K. Graham // *Dev. Med. Child. Neurol.* 2018. Vol. 60, No 1. P. 88-93. DOI: 10.1111/dmcn.13618.
32. Evaluación externa de los cambios funcionales y la marcha tras una sesión de miofibrotomía múltiple en escolares con diplegia espástica / D. Gómez-Andrés, I. Pulido-Valdeolivas, J.A. Martín-Gonzalo, J. López-López, I. Martínez-Caballero, E. Gómez-Barrena, E. Rausell // *Rev. Neurol.* 2014. Vol. 58, No 6. P. 247-254.
33. Use of 3D gait analysis as predictor of Achilles tendon lengthening surgery outcomes in children with cerebral palsy / G. Piloni, M. Pau, F. Costici, C. Condoluci, M. Galli // *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.* 2019. Vol. 55, No 2. P. 250-257. DOI: 10.23736/S1973-9087.18.05326-1.
34. Edinburgh visual gait score for use in cerebral palsy / H.S. Read, M.E. Hazlewood, S.J. Hillman, R.J. Prescott, J.E. Robb // *J. Pediatr. Orthop.* 2003. Vol. 23, No 3. P. 296-301.
35. A new anatomically based protocol for gait analysis in children / A. Leardini, Z. Sawacha, G. Paolini, S. Ingrassio, R. Nativio, M.G. Benedetti // *Gait Posture*. 2007. Vol. 26, No 4. P. 560-571. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2006.12.018.
36. The influence of age at single-event multilevel surgery on outcome in children with cerebral palsy who walk with flexed knee gait / M. Švehlík, G. Steinwender, T. Kraus, V. Saraph, T. Lehmann, W.E. Linhart, E.B. Zwick // *Dev. Med. Child. Neurol.* 2011. Vol. 53, No 8. P. 730-735. DOI: 10.1111/j.1469-8749.2011.03995.x.

37. Do the hamstrings operate at increased muscle-tendon lengths and velocities after surgical lengthening? / A.S. Arnold, M.Q. Liu, M.H. Schwartz, S. Ounpuu, L.S. Dias, S.L. Delp // J. Biomech. 2006. Vol. 39, No 8. P. 1498-1506. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2005.03.026.
38. Efficacy of clinical gait analysis: A systematic review / T.A. Wren, G.E. Gorton 3rd, S. Ounpuu, C.A. Tucker // Gait Posture. 2011. Vol. 34, No 2. P. 149-153. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2011.03.027.
39. Kine-matic and kinetic evaluation of the ankle after lengthening of the gastroc-nemius fascia in children with cerebral palsy / S.A. Rose, P.A. DeLuca, R.B. Davis 3rd, S. Ounpuu, J.R. Gage // J. Pediatr. Orthop. 1993. Vol. 13, No 3. P. 727-732. DOI: 10.1097/01241398-199311000-00007.
40. Shore B.J., White N., Graham H.K. Surgical correction of equinus deformity in children with cerebral palsy: a systematic review // J. Child. Orthop. 2010. Vol. 4, No 4. P. 277-290. DOI: 10.1007/s11832-010-0268-4.
41. Iso-lated calf lengthening in cerebral palsy. Outcome analysis of risk factors / D.C. Borton, K. Walker, M. Pirpiris, G.R. Nattrass, H.K. Graham // J. Bone Joint Surg. Br. 2001. Vol. 83, No 3. P. 364-370. DOI: 10.1302/0301-620x.83b3.10827.
42. Dietz F.R., Albright J.C., Dolan L. Medium-term follow-up of Achilles tendon lengthening in the treatment of ankle equinus in cerebral palsy // Iowa Orthop. J. 2006. Vol. 26. P. 27-32.
43. Calcaneal gait in spastic diplegia after heel cord lengthening: a study with gait analysis / L.S. Segal, S.E. Thomas, J.M. Mazur, M. Mauterer // J. Pediatr. Orthop. 1989. Vol. 9, No 6. P. 697-701. DOI: 10.1097/01241398-198911000-00013.
44. Single-event multilevel surgery for children with cerebral palsy: a systematic review / J.L. McGinley, F. Dobson, R. Ganeshalingam, B.J. Shore, E. Rutz, H.K. Graham // Dev. Med. Child. Neurol. 2012. Vol. 54, No 2. P. 117-128. DOI: 10.1111/j.1469-8749.2011.04143.x.
45. Reported outcomes of lower limb orthopaedic surgery in children and adolescents with cerebral palsy: a mapping review / N.C. Wilson, J. Chong, A.H. Mackey, N.S. Stott // Dev. Med. Child. Neurol. 2014. Vol. 56, No 9. P. 808-814. DOI: 10.1111/dmcn.12431.
46. The role of gait analysis in treating gait abnormalities in cerebral palsy / F.M. Chang, J.T. Rhodes, K.M. Flynn, J.J. Carollo // Orthop. Clin. North Am. 2010. Vol. 41, No 4. P. 489-506. DOI: 10.1016/j.ocl.2010.06.009.
47. Ławniczak D, Józwiak M, Manikowska F. Ocena całkowitej predkości liniowej i katowej stawu kolanowego u chorych z postacią spastyczną mózgowego porażenia po operacyjnym leczeniu tzw. "deformacji dźwigniowozależnych" kończyn dolnych—badanie prospektywne // Chir. Narządów Ruchu Ortop. Pol. 2010. Vol. 75, No 2. P. 92-97.
48. Distal femoral extension osteotomy and patellar tendon advancement to treat persistent crouch gait in cerebral palsy. Surgical technique / T.F. Novacheck, J.L. Stout, J.R. Gage, M.H. Schwartz // J. Bone Joint Surg. Am. 2009. Vol. 91, No Suppl. 2. P. 271-286. DOI: 10.2106/JBJS.I.00316.
49. Шишов С.В., Ившин В.Г. Минимально инвазивные операции на мышцах у детей с ДЦП. Опыт пятилетнего применения // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2016. № 2. С. 137-141.

Рукопись поступила 04.02.2020

**Сведения об авторах:**

1. Долганова Тамара Игоревна, д. м. н.,  
ФГБУ «НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России,  
г. Курган, Россия,  
Email: rjik532007@rambler.ru
2. Гатамов Орхан Ильхам оглы,  
ФГБУ «НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России,  
г. Курган, Россия
3. Чибиров Георгий Мирабович, к. м. н.,  
ФГБУ «НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России,  
г. Курган, Россия,  
Email: georgii\_chibirov@mail.ru
4. Долганов Дмитрий Владимирович, к. б. н.,  
ФГБУ «НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России,  
г. Курган, Россия,  
Email: Paradigma-DV@rambler.ru
5. Попков Дмитрий Арнольдович, д. м. н., профессор РАН,  
член-корр. Французской Академии медицинских наук,  
ФГБУ «НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России,  
г. Курган, Россия,  
Email: dpopkov@mail.ru

**Information about the authors:**

1. Tamara I. Dolganova, M.D., Ph.D.,  
Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and  
Orthopedics, Kurgan, Russian Federation,  
Email: rjik532007@rambler.ru
2. Orhan I. Gatamov, M.D.,  
Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and  
Orthopedics, Kurgan, Russian Federation
3. Georgy M. Chibirov, M.D., Ph.D.,  
Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and  
Orthopedics, Kurgan, Russian Federation,  
Email: georgii\_chibirov@mail.ru
4. Dmitrii V. Dolganov, Ph.D. of Biological Sciences,  
Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and  
Orthopedics, Kurgan, Russian Federation,  
Email: Paradigma-DV@rambler.ru
5. Dmitry A. Popkov, M.D., Ph.D., Professor of RAS, correspondent  
member French Academy of Medical Sciences,  
Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and  
Orthopedics, Kurgan, Russian Federation,  
Email: dpopkov@mail.ru