

Обзорная статья

УДК 616.831-009.11-06:616.718-007.74

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-2-292-300>



Ортопедические осложнения гемипаретических форм церебрального паралича: проблемы нижних конечностей (обзор литературы)

У.Ф. Мамедов[✉], А.В. Попков, О.И. Гатамов, Г.М. Чибиров, 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. Спастическая гемиплегия (одностороннее неврологическое поражение) встречается чаще у доношенных детей, когда в большинстве случаев причиной страдания является внутриутробный или перинатальный инсульт. Как правило, дети с гемипаретическими формами поражения имеют достаточно сохраненные когнитивные и функциональные возможности в сочетании со способностью к самостоятельному передвижению. Среди прочих форм ДЦП гемипаретические спастические формы составляют от 10,4 до 15,3 %. При этом преобладают формы с нетяжелыми двигательными нарушениями по классификации Gross Motor Function Classification System: 87,8 % — уровень I GMFCS, 7,1 % — уровень II GMFCS.

Цель работы — обобщение информации о применении метода ортопедических вмешательств при гемипаретических формах церебрального паралича как с точки зрения их планирования и полноты коррекции анатомических нарушений, включая неравенство длины нижних конечностей, так и оценки функциональных результатов на основе анализа движений.

Материалы и методы. Поиск публикаций проведен в научных электронных платформах PubMed, eLIBRARY, Scopus, Elsevier, Springer, Research Gate с глубиной поиска 20 лет (с 2002 по 2022 г.). Использованы следующие критерии включения: систематические обзоры, обзорные статьи, когортные исследования по теме многоуровневых вмешательств при гемипаретических формах ДЦП.

Результаты и обсуждение. Неравенство длины нижних конечностей 1 см и более негативно влияет на кинематику пораженной и интактной контралатеральной конечности. Для непораженной конечности характерна компенсаторная сгибательная установка в тазобедренном и коленном суставах и избыточная тыльная флексия в опорную фазу. На пораженной стороне особенно важен вклад укорочения в развитие патологической кинематики таза и позвоночника. Велика вероятность эквинусной контрактуры после хирургической коррекции на фоне неустраненного неравенства длины нижних конечностей. Методами коррекции неравенства длины являются: консервативный (компенсация обувью), удлинение голени, эпифизеодез контралатеральной конечности, укорачивание контралатеральной конечности. В литературе нет мнения о предпочтительности того или иного метода, о необходимой степени коррекции неравенства длины.

Заключение. Оценка неравенства длины и вклад этого ортопедического компонента в системные нарушения движений при спастических гемипарезах происходит на основе компьютерной томографии или магнитно-резонансной томографии, а также компьютерного анализа походки. В литературе вопрос коррекции неравенства длины рассматривается отдельно от комплекса других ортопедических вмешательств, при этом не определены особенности коррекции этого симптома в зависимости от потенциала спонтанного роста или после его завершения. Преимущество уравнивания длины конечностей у детей за счет временного эпифизеодеза (над дистракционным остеогенезом) лишь предполагается. Недостаточно данных о влиянии степени уравнивания длины конечностей у пациентов со спастическими гемиплегиями на параметры компьютерного анализа походки.

Ключевые слова: спастическая гемиплегия, ортопедические вмешательства, неравенство длины конечностей

Для цитирования: Мамедов У.Ф., Попков А.В., Гатамов О.И., Чибиров Г.М., Попков Д.А. Ортопедические осложнения гемипаретических форм церебрального паралича: проблемы нижних конечностей (обзор литературы). *Гений ортопедии*. 2024;30(2):292-300. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-2-292-300. EDN: OKBAPU.



Orthopaedic complications of hemiparetic forms of cerebral palsy: problems of the lower extremities (literature review)

U.F. Mamedov✉, A.V. Popkov, O.I. Gatamov, G.M. Chibirov, D.A. Popkov

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

Corresponding author: Ulvi F Mamedov, ulvi.mamedov@gmail.com

Abstract

Introduction Spastic hemiplegia (a unilateral neurological disorder) is encountered more often in full-term infants. In most cases, the cause of the condition is intrauterine or perinatal stroke. Children with hemiparetic forms maintain cognitive and functional capabilities in combination with the ability to move independently. Among other forms of cerebral palsy, hemiparetic spastic forms range from 10.4 to 15.3 %. Types with mild motor impairments predominate according to the Gross Motor Function Classification System: 87.8 % are level I GMFCS, 7.1 % are level II GMFCS.

The purpose of the work was to summarize information on the use of orthopaedic interventions for hemiparetic forms of cerebral palsy, both from the point of view of their planning and completeness of correction of anatomical disorders including lower limb length discrepancy, and assessment of functional results based on gait analysis.

Materials and methods The search for publications was carried out in open electronic sources of medical literature PubMed, eLIBRARY, Scopus, Elsevier, Springer, Research Gate with a search depth of 20 years (2002–2022). The following inclusion criteria were used: systematic reviews of the literature, review articles, cohort studies on the topic of multilevel interventions for hemiparetic types of cerebral palsy.

Results and discussion Lower limb length discrepancy of 1 cm or more affects the kinematics of the affected and intact contralateral limb. The unaffected limb is characterized by a compensatory flexion in the hip and knee joints and excessive dorsal flexion in the stance phase. On the affected side, the contribution of shortening to the development of pathological kinematics of the pelvis and spine is especially important. There is a high probability of equinus contracture after surgical correction due to unresolved discrepancy in the length of the lower extremities. Methods for correcting length discrepancy are conservative (compensation with shoes), and surgical lengthening of the lower leg, epiphyseodesis of the contralateral limb, shortening of the contralateral limb. There is no opinion in the literature about the preference of this or that method, and on the necessary magnitude of limb length correction.

Conclusion The assessment of limb length discrepancy and contribution of this orthopaedic component to systemic movement disorders in spastic hemiparesis is based on computed tomography or magnetic resonance imaging, as well as on computer gait analysis. In the literature, the issue of limb length correction is considered separately from the complex of other orthopaedic interventions, while the features of correction with regard to spontaneous growth potential or after growth completion have not been defined. The advantage of equalizing the limb length in children with temporary epiphyseodesis over distraction osteogenesis is only supposed. There is not enough data on the effect of the limb length correction magnitude in patients with spastic hemiplegia on the parameters of computer gait analysis.

Keywords: unilateral cerebral palsy, orthopedic surgery, lower limb length discrepancy

For citation: Mamedov UF, Popkov AV, Gatamov OI, Chibirov GM, Popkov DA. Orthopaedic complications of hemiparetic forms of cerebral palsy: problems of the lower extremities (literature review). *Genij Ortopedii*. 2024;30(2):292-300. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-2-292-300

ВВЕДЕНИЕ

Церебральный паралич (детский церебральный паралич, ДЦП) — первичное нейродвигательное расстройство центральной нервной системы, возникающее в пренатальном или перинатальном периодах и вызывающее нарушение мышечного тонуса, движений и позы [1, 2]. И хотя неврологическое расстройство не носит прогрессирующего характера, возникающие вторичные осложнения, преимущественно ортопедические, ведут к серьезной потере функциональных возможностей [3–5]. Встречаемость ДЦП варьирует от 1,5 до 4,2 на 1000 новорожденных в зависимости от географического региона и материального состояния населения [6, 7].

Спастическая гемиплегия (одностороннее неврологическое поражение), ортопедические осложнения которой являются объектом данного обзора, встречается чаще у доношенных детей, когда в большинстве случаев причиной страдания является внутриутробный или перинатальный инсульт [8]. Как правило, дети с гемипаретическими формами поражения имеют достаточно сохраненные когнитивные и функциональные возможности в сочетании со способностью к самостоятельному передвижению [9, 10]. Среди прочих форм ДЦП гемипаретические спастические формы составляют от 10,4 до 15,3 % [7, 11]. При этом преобладают формы с нетяжелыми двигательными нарушениями по классификации Gross Motor Function Classification System [12]: 87,8 % — уровень I GMFCS, 7,1 % — уровень II GMFCS [11].

Гемипаретические формы ДЦП редко сопровождаются значимыми интеллектуальными расстройствами, однако возникающие ортопедические нарушения серьезно влияют на двигательные возможности и качество жизни детей и взрослых [13–18]. Основными ортопедическими вторичными нарушениями при спастических гемиплегиях являются контрактуры голеностопного, коленного и тазобедренного суставов, эквино-варусные или эквино-вальгусные деформации стоп, торсионные деформации бедра, неравенство длины конечностей [13, 15, 19–21].

Современная концепция оперативного лечения ортопедических осложнений у детей с ДЦП — это проведение многоуровневых хирургических вмешательств на всех компонентах биомеханической цепи конечностей, включая и случаи гемипаретических форм ДЦП [15, 22–25].

При анализе планирования лечения и оценке результатов вмешательств исследователи обращают свое внимание на проблему неравенства длины конечностей у пациентов со спастическим гемипарезами [26], на анатомические и функциональные изменения контралатеральной, неврологически интактной, конечности [19, 27–29], а также на детальный компьютерный анализ особенностей походки этих пациентов [20, 30–33].

Цель работы — обобщение информации о применении метода ортопедических вмешательств при гемипаретических формах церебрального паралича как с точки зрения их планирования и полноты коррекции анатомических нарушений, включая неравенство длины нижних конечностей, так и оценки функциональных результатов на основе анализа движений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск публикаций проведен на научных электронных платформах PubMed, eLIBRARY, Scopus, Elsevier, Springer, Research Gate с глубиной поиска 20 лет (с 2002 по 2022 г.). Отбор осуществлен с использованием ключевых словосочетаний на русском и английском языках: одномоментная многоуровневая операция, несоответствие длины нижней конечности, остановка роста, управляемый рост, эпифизиодез, удлинение костей, анализ походки, односторонний церебральный паралич (single-event multilevel surgery, lower limb length discrepancy, growth arrest, guided growth, epiphysiodesis, bone lengthening, gait analysis, unilateral cerebral palsy).

Использованы следующие критерии включения: систематические обзоры, обзорные статьи, когортные исследования по теме многоуровневых вмешательств при гемипаретических формах ДЦП. Критерии невключения: описания клинических случаев или серии случаев, рефераты, повторные публикации.

По запросу всего обнаружена 1261 статья по направлению гемипареза (unilateral cerebral palsy), 173 статьи о многоуровневых вмешательствах (single-event multilevel surgery). Из них отобрано и проанализировано 16 публикаций о многоуровневых ортопедических вмешательствах при гемипаретических формах ДЦП, 5 статей, касающихся коррекции неравенства длины конечностей при данной проблеме, 9 статей по исследованию функциональных результатов многоуровневых операций при гемипаретических формах с применением анализа походки и 4 статьи о влиянии ортопедической патологии на здоровую конечность при спастических гемипарезах.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Элементы ортопедической патологии, использование анализа походки при диагностике и планировании операции

В таблице 1 представлены ортопедические проблемы нижних конечностей у пациентов с ДЦП, которые стали причиной обращения за медицинской помощью, объектом диагностических исследований, а также особенности анализа движений.

Очевидно, что первостепенным объектом внимания являются торсионные деформации бедра, контрактуры голеностопного сустава и деформации стопы. На упоминание и, тем более, на коррекцию неравенства длины ног в рамках многоуровневых вмешательств указывает меньшая часть публикаций. В части из них речь идет лишь о методах инструментальной диагностики неравенства длины [14, 26] или об исследовании количественного влияния укорочения на параметры походки и контралатеральную конечность [19, 35, 36].

Таблица 1

Описанные ортопедические осложнения ДЦП, особенности применения анализа движений у пациентов с гемипаретическими формами

Публикация	Контрактура тазобедренного и коленного суставов	Контрактура голеностопного сустава	Торсионная деформация бедра и/или голени	Плоско-вальгусная деформация стопы	Варусно-супинированная (приведенная) деформация стопы	Неравенство длины конечностей	Анализ походки
J.J. Krzak et al., 2015 [21]	+	+	–	–	+	–	Компьютерный 3D-анализ
N. Sclavos et al., 2023 [50]	+	+	–	+	–	–	Компьютерный 3D-анализ
T.F. Winters et al., 1987 [37]	+	+	–	–	–	–	Обсервационный анализ
S.A. Rethlefsen et al., 2006 [17]	+	+	+	–	+	–	–
H.S. Kim et al., 2022 [4]	–	+	–	–	–	+	–
M. Corradin et al., 2018 [27]	–	+	–	–	–	+	Обсервационный анализ (Эдинбургская шкала)
H.J. Lee et al., 2013 [15]	+	–	+	–	–	–	–
M. Mork et al., 2001 [14]	+	+	+	+	+	+	–
J. McCahill et al., 2022 [20]	–	–	+	+	–	–	Компьютерный 3D-анализ
C. Schranz et al., 2017 [31]	+	+	+	+	+	–	Компьютерный 3D-анализ
V. Saraph et al., 2006 [45]	–	+	+	–	–	+	–
S. Schmid et al., 2016 [48]	+	+	–	–	–	+	Компьютерный 3D-анализ
J. Rodda et al., 2001 [38]	+	+	+	+	+	–	Компьютерный 3D-анализ
R. O'Sullivan et al., 2013 [40]	+	+	+	–	+	–	Компьютерный 3D-анализ
T.A. Wren et al., 2005 [58]	+	+	+	+	+	–	Компьютерный 3D-анализ
R.K. Elnaggar et al., 2020 [34]	+	+	+	+	–	–	Компьютерный 3D-анализ

Классификация нарушений походки при гемипаретических формах ДЦП

Первой предложенной классификацией нарушений походки при односторонних спастических поражениях является классификация T.F. Winters et al. [37], 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. Группа I характеризуется эквинусной позицией стопы в неопорную фазу цикла шага, отсутствием первого пере-

ката стопы в начале опорной фазы шага. Нарушения обусловлены слабостью или гипоактивностью передней большеберцовой мышцы в сравнении с икроножной и камбаловидной мышцами. В группе II нарушений стопа находится в эквинусной позиции в неопорную фазу цикла шага и в постоянном положении подошвенной флексии в опорную фазу. Нарушения группы II обусловлены контрактурой трицепса голени. В группе III к вышеперечисленным нарушениям групп I и II добавляется ограничение сгибания ноги в коленном суставе в неопорную фазу цикла шага, избыточное сгибание в тазобедренном суставе и поясничный гиперлордоз. В группе нарушений IV помимо предыдущих нарушений отмечается значительно редуцированная амплитуда движений в тазобедренном и коленном суставах на протяжении цикла шага.

Классификация Winter уточнена J. Rodda, H.K. Graham в 2001 [38], которые добавили группу (тип) IIb (эквинусная контрактура в сочетании с гиперэкстензией или рекурвацией в коленном суставе), а в группе IV добавлены торсионные деформации (патологические ротационные установки бедра). Классификация J. Rodda [38] предлагает и принципы консервативного и оперативного ортопедического лечения для коррекции девиации походки. Две данные классификации являются общепризнанными и используются в определении двигательного статуса пациента и планировании многоуровневых вмешательств [39]. Однако отметим, что эти классификации не учитывают неравенства длины нижних конечностей в оценке тяжести ортопедических и моторных нарушений.

Проблема неравенства длины нижних конечностей

Ряд исследований указывает на важность влияния разноразмерности нижних конечностей на формирование ортопедической патологии и на нарушения походки [40], помимо других факторов, демонстрируя значимую корреляцию между неравенством длины и нарушенными параметрами.

M.B. Zonta et al. [41] обнаружили корреляцию между величиной укорочения конечности и степенью зависимости пациента со спастической гемиплегией от посторонней помощи. В том же исследовании показана связь между степенью укорочения и продолжительностью начальной фазы двойной опоры для пораженной конечности. Исследователи объясняют такие изменения уменьшением биомеханического рычага в сочетании с мышечной слабостью и нарушенным селективным контролем мышечного сокращения.

При выполнении теста ходьбы по неровной поверхности пациенты с неравенством длины нижних конечностей при гемиплегии показывают большую ширину шага и более медиальное расположение центра масс в одноопорную фазу шага в сравнении со здоровыми сверстниками [42, 43].

M.N. Eek et al. при величине укорочения 1 и более см при ходьбе босиком обнаружили снижение скорости ходьбы и длины шага у детей со спастической гемиплегией [44].

Контралатеральная непораженная конечность также находится в неблагоприятных условиях, что потенциально ведет к ортопедической патологии [27]. В опорную фазу цикла шага на непораженной стороне отмечено избыточное сгибание в коленном и тазобедренном суставах, а также чрезмерная тыльная флексия стопы [44, 45].

J.A. Yoon et al. обнаружили у 40 пациентов (52 %) со спастической гемиплегией (в выборке 76 пациентов) вальгусную деформацию стопы контралатеральной непораженной конечности. Авторы указывают на 1 см разницы в длине ног как на значимый предел для развития патологии здоровой конечности [46].

Патологический передний наклон таза и величина его несимметричных разворотов при спастической диплегии зависят от величины укорочения конечности, что обнаружено у детей (выборка 91 пациент, средний возраст 10,8 года) и не учитывается в вышеупомянутых классификациях [47]. Отличия более 1SD от группы здоровых сверстников обнаружены в 61,5 % случаев для патологического разворота таза и в 60,4 % случаев для его патологического наклона.

S. Schmid et al. указывают на зависимость кинематических нарушений позвоночника от неравенства длины ног в сочетании с контрактурами тазобедренного сустава на пораженной стороне [48]. При этом компенсации укорочения ортезными изделиями оказывается недостаточно, и предполагается необходимость комплексного вмешательства и последующей физической терапии.

Разница в длине 1 см и более предрасполагает к рецидиву эквинусной контрактуры (деформации) после первичного удлинения трицепса (апоневротомия по Strayer и другим методикам), на что указывают D.A. Sala et al. [49]. В другой работе N. Sclavos et al. [50] приведена среднестатистическая вероятность подошвенной флексии стопы в неопорную фазу цикла шага после операций по устранению эквинусной контрактуры (25 %), однако этот риск значительно выше для пациентов со спастической гемиплегией (42 %). В качестве причины авторы указывают сочетание неравенства длины со сниженной силой тыльных флексоров и низким селективным контролем этих мышц.

С точки зрения диагностики проблем при спастической гемиплегии, включая неравенство длины конечностей, M. Mork et al. отмечают сложности полноценного выявления всех патологических компонентов специалистами общей сети, предлагая ведущую роль нейрорепедиатру [14].

В отношении ортопедических проблем помимо компьютерного анализа походки [39] значимую роль в выявлении структурных нарушений играют компьютерная и магнитно-резонансная томография (МРТ) [51]. Так, укорочение нижней конечности при гемиплегии практически полностью определяет сегмент дистальнее коленного сустава: преимущественно большеберцовая кость, но свой вклад вносит и укорочение таранной кости и пяточной кости, что выявлено по данным МРТ [26].

Коррекция неравенства длины конечностей в рамках многоуровневых вмешательств в литературе не представлена. Многоуровневые ортопедические вмешательства при спастической гемиплегии направлены на устранение торсионных деформаций с целью восстановления величины биомеханических рычагов, коррекции контрактур суставов и деформаций стоп [52, 53].

В качестве коррекции неравенства длины нижних конечностей отметим несколько различных стратегических подходов (табл. 2). Исходя из этих данных, временный эпифизеодез выглядит предпочтительнее. Показана возможность его применения в сочетании с другими элементами операции по поводу сгибательной установки голени у детей с ДЦП [53]. При планировании эпифизеодезов классически ориентируются на костный возраст, однако методология его интерпретации у детей с односторонними формами спастического паралича противоречива: T. Erickson et al. не находят влияния стороны гемипареза на интерпретацию костного возраста по рентгенограммам кисти [54], а J.S. Lee et al. указывают на отставание значений костного возраста на стороне гемипареза в сравнении с интактной рукой [55]. Именно в такой ситуации методика временного эпифизеодеза является предпочтительной, так как носит обратимый характер [56, 57], и риски раннего применения с гиперкоррекцией отсутствуют [58]. Отметим, что для детей с ДЦП используемым материалом эпифизеодеза должен быть сплав титана, так как сохраняется возможность проведения МРТ [59].

Таблица 2

Стратегия коррекции неравенства длины при спастических гемипарезах, влияние на параметры походки

Публикация	Количество и средний возраст пациентов	Способ коррекции	Влияние на параметры походки	Примечания
M. Corradin et al., 2018 [27]	10 пациентов, 12,7 года	Эпифизеодез. Исходная средняя разница в длине 3,4 см, финальная разница 1,2 см (средний период наблюдения после операции 6,7 года)	Улучшение кинематики здоровой (исчезновение компенсаторных чрезмерных сгибательных установок в коленном и тазобедренном суставах и избыточной тыльной флексии стопы) и оперированной конечности	Эдинбургская визуальная шкала — наблюдательный анализ походки
M.N. Eek et al., 2017 [44]	10 детей, укорочение более 1 см	Компенсация обувью	Увеличение длины шага и скорости ходьбы, симметричность длительности опорной фазы цикла шага	Сравнение с 10 здоровыми сверстниками. Компьютерный 3D-анализ походки
S. Schmid et al., 2016 [48]	10 подростков, укорочение более 1 см	Компенсация ортезными изделиями	Компенсация укорочения консервативными методами не привела к улучшению кинематики таза и позвоночника ввиду присутствия контрактур тазобедренного сустава	Сравнение с 10 здоровыми сверстниками. Компьютерный 3D-анализ походки
V. Saraph et al., 2006 [45]	11 детей, 11,7 года, укорочение более 2,5 см	Удлинение голени аппаратом внешней фиксации	Улучшение кинематики здоровой (исчезновение компенсаторных чрезмерных сгибательных установок в коленном и тазобедренном суставах и избыточной тыльной флексии стопы)	Компьютерный 3D-анализ походки, период исследования — 3 года после удлинения
R. Jahmani et al., 2020 [60]	1 пациент с гемипарезом среди 6, укорочение в среднем в группе, 4,2 см	Одномоментное укорачивание на интрамедуллярном стержне	Констатирован лишь достигнутый анатомический результат	Рентгенотелеметрия только, нет анализа движений

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время исследователи обращают свое внимание на проблему неравенства длины конечностей у пациентов со спастическим гемипарезами, на анатомические и функциональные изменения контралатеральной, неврологически интактной конечности.

В литературе вопрос коррекции неравенства длины рассматривают отдельно от комплекса других ортопедических вмешательств, при этом не определены особенности коррекции этого симптома в зависимости от потенциала спонтанного роста или после его завершения. Преимущество уравнивания длины конечностей у детей за счет временного эпифизеодеза (над дистракционным остеогенезом) лишь предполагается. Недостаточно данных о влиянии степени уравнивания длины конечностей у пациентов со спастическими гемиплегиями на параметры компьютерного анализа походки.

В отношении величины коррекции в литературе также нет устоявшегося мнения. Учитывая низкий селективный контроль и слабость тыльных флексоров стопы, M. Corradin et al. [27] рекомендуют оставшееся неравенство 0,5–1,5 см. С другой стороны, неравенство длины 1 см и более негативно влияет на кинематику таза и позвоночника при ходьбе [47, 48] и по-прежнему имеет показания к компенсации [44, 48].

Такая широкая неопределенность в вопросе коррекции ортопедических компонентов гемипаретических форм ДЦП обосновывает проведение комплексного исследования, позволяющего сопоставить результаты с известными публикациями.

Оценка неравенства длины и вклад этого ортопедического компонента в системные нарушения движений при спастических гемипарезах происходит на основе компьютерной или магнитно-резонансной томографии, а также компьютерного анализа походки. Эти же методы необходимы и для оценки отдаленных результатов лечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В литературе можно найти достаточно широкий спектр методов коррекции неравенства длины — консервативных и оперативных. Но общее количество статей крайне ограничено, а выборки пациентов малы. Несмотря на консенсус о необходимости коррекции укорочения как важного компонента нарушения кинематики, устойчивого мнения о методе выбора не существует. Кроме того, в представленных работах хирургическую коррекцию неравенства длины выполняют отдельным этапом, а не в рамках многоуровневых вмешательств.

Конфликт интересов: отсутствует.

Источник финансирования: дополнительные источники финансирования не привлекались.

Этическая экспертиза: не требуется.

Информированное согласие: не требуется.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Rosenbaum P, Paneth N, Leviton A, et al. A report: the definition and classification of cerebral palsy April 2006. *Dev Med Child Neurol Suppl.* 2007;109:8-14. Erratum in: *Dev Med Child Neurol.* 2007;49(6):480.
2. Colver A, Fairhurst C, Pharoah PO. Cerebral palsy. *Lancet.* 2014;383(9924):1240-1249. doi: 10.1016/S0140-6736(13)61835-8
3. Ando N, Ueda S. Functional deterioration in adults with cerebral palsy. *Clin Rehabil.* 2000;14(3):300-306. doi: 10.1191/026921500672826716
4. Kim HS, Son SM. Limb length discrepancy and corticospinal tract disruption in hemiplegic cerebral palsy. *Children (Basel).* 2022;9(8):1198. doi: 10.3390/children9081198
5. Hurley DS, Sukal-Moulton T, Msall ME, et al. The cerebral palsy research registry: development and progress toward national collaboration in the United States. *J Child Neurol.* 2011;26(12):1534-1541. doi: 10.1177/0883073811408903
6. Stavsky M, Mor O, Mastrolia SA, et al. Cerebral palsy-trends in epidemiology and recent development in prenatal mechanisms of disease, treatment, and prevention. *Front Pediatr.* 2017;5:21. doi: 10.3389/fped.2017.00021
7. Mushta SM, King C, Goldsmith S, et al. Epidemiology of cerebral palsy among children and adolescents in arabic-speaking countries: a systematic review and meta-analysis. *Brain Sci.* 2022;12(7):859. doi: 10.3390/brainsci12070859
8. Korzeniewski SJ, Slaughter J, Lenski M, et al. The complex aetiology of cerebral palsy. *Nat Rev Neurol.* 2018;14(9):528-543. doi: 10.1038/s41582-018-0043-6
9. Liptak GS, Murphy NA; Council on Children With Disabilities. Providing a primary care medical home for children and youth with cerebral palsy. *Pediatrics.* 2011;128(5):e1321-1329. doi: 10.1542/peds.2011-1468
10. 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
11. Gorter JW, Rosenbaum PL, Hanna SE, et al, Galuppi BE, Wood E. Limb distribution, motor impairment, and functional classification of cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2004;46(7):461-467. doi: 10.1017/s0012162204000763
12. Palisano RJ, Hanna SE, Rosenbaum PL, et al. Validation of a model of gross motor function for children with cerebral palsy. *Phys Ther.* 2000;80(10):974-85.

13. Rutz E, McCarthy J, Shore BJ, et al. Indications for gastrocnemius lengthening in ambulatory children with cerebral palsy: a Delphi consensus study. *J Child Orthop*. 2020;14(5):405-414. doi: 10.1302/1863-2548.14.200145
14. Mork M. Medical problems and needs of follow-up in a group of children with mild cerebral palsy. *Tidsskr Nor Laegeforen*. 2001;121(13):1566-1569. (In Norwegian)
15. 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):557-562. doi: 10.1007/s00776-013-0384-3
16. Gaillard F, Cretual A, Cordillet S, et al. Kinematic motion abnormalities and bimanual performance in children with unilateral cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2018;60(8):839-845. doi: 10.1111/dmcn.13774
17. Rethlefsen SA, Healy BS, Wren TA, et al. Causes of intoeing gait in children with cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Am*. 2006;88(10):2175-2180. doi: 10.2106/JBJS.E.01280
18. Grunt S. Looking beyond motor function-adaptive behaviour in children with unilateral spastic cerebral palsy. *Eur J Paediatr Neurol*. 2022;36:A1. doi: 10.1016/j.ejpn.2021.12.016
19. 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
20. McCahill J, Stebbins J, Prescott RJ, et al. Responsiveness of the foot profile score in children with hemiplegia. *Gait Posture*. 2022;95:160-163. doi: 10.1016/j.gaitpost.2022.04.012
21. 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
22. Gannotti ME, Gorton GE 3rd, Nahorniak MT, Masso PD. Walking abilities of young adults with cerebral palsy: changes after multilevel surgery and adolescence. *Gait Posture*. 2010;32(1):46-52. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.03.002
23. Lehtonen K, Mäenpää H, Piirainen A. Does single-event multilevel surgery enhance physical functioning in the real-life environment in children and adolescents with cerebral palsy (CP)? patient perceptions five years after surgery. *Gait Posture*. 2015;41(2):448-453. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.11.005
24. McGinley JL, Dobson F, Ganeshalingam R, et al. Single-event multilevel surgery for children with cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol*. 2012;54(2):117-128. doi: 10.1111/j.1469-8749.2011.04143.x
25. Sadeghi E, Jamebozorgi AA, Qoreishy M, et al. Comparison of quality of life following single - event multilevel surgery (SEMLS) using bandaging and casting immobilization methods in cerebral palsy Children. *Iran J Child Neurol*. 2021;15(3):55-64. doi: 10.22037/ijcn.v15i2.17361
26. Riad J, Finnbogason T, Broström E. Leg length discrepancy in spastic hemiplegic cerebral palsy: a magnetic resonance imaging study. *J Pediatr Orthop*. 2010;30(8):846-850. doi: 10.1097/BPO.0b013e3181fc35dd
27. 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
28. Senst S. Unilateral spastic cerebral palsy (hemiparesis). *Orthopade*. 2014 Jul;43(7):649-655. (In German) doi: 10.1007/s00132-013-2219-5
29. Theis N. Lower limb muscle growth in unilateral and bilateral cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2016;58(11):1102-1103. doi: 10.1111/dmcn.13149
30. Carty CP, Walsh HP, Gillett JG, et al. The effect of femoral derotation osteotomy on transverse plane hip and pelvic kinematics in children with cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis. *Gait Posture*. 2014;40(3):333-340. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.05.066
31. 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
32. Lamberts RP, Burger M, du Toit J, Langerak NG. A systematic review of the effects of single-event multilevel surgery on gait parameters in children with spastic cerebral palsy. *PLoS One*. 2016;11(10):e0164686. doi: 10.1371/journal.pone.0164686
33. Mackey AH, Walt SE, Lobb GA, Stott NS. Reliability of upper and lower limb three-dimensional kinematics in children with hemiplegia. *Gait Posture*. 2005;22(1):1-9. doi: 10.1016/j.gaitpost.2004.06.002
34. Elnaggar RK. Relationship between transverse-plane kinematic deviations of lower limbs and gait performance in children with unilateral cerebral palsy: a descriptive analysis. *Gait Posture*. 2020;79:224-228. doi: 10.1016/j.gaitpost.2020.05.003
35. Allen PE, Jenkinson A, Stephens MM, O'Brien T. Abnormalities in the uninvolved lower limb in children with spastic hemiplegia: the effect of actual and functional leg-length discrepancy. *J Pediatr Orthop*. 2000;20(1):88-92.
36. Cimolin V, Galli M, Tenore N, et al. Gait strategy of uninvolved limb in children with spastic hemiplegia. *Eura Medicophys*. 2007;43(3):303-310.
37. 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.
38. 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
39. 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
40. O'Sullivan R, Kiernan D, Walsh M, Brien TO. The difficulty identifying intoeing gait in cerebral palsy. *Ir Med J*. 2013;106(5):144-145.
41. Zonta MB, Ramalho-Júnior A, Puppi M, et al. Side-to-side growth discrepancies in children with hemiplegic cerebral palsy: association with function, activity and social participation. *Arq Neuropsiquiatr*. 2014;72(5):360-367. doi: 10.1590/0004-282x20140020
42. Romkes J, Freslier M, Rutz E, Bracht-Schweizer K. Walking on uneven ground: How do patients with unilateral cerebral palsy adapt? *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2020;74:8-13. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2020.02.001
43. Dobson F, Morris ME, Baker R, Graham HK. Unilateral cerebral palsy: a population-based study of gait and motor function. *Dev Med Child Neurol*. 2011;53(5):429-435. doi: 10.1111/j.1469-8749.2010.03878.x

44. Eek MN, Zügner R, Stefansdottir I, Tranberg R. Kinematic gait pattern in children with cerebral palsy and leg length discrepancy: Effects of an extra sole. *Gait Posture*. 2017;55:150-156. doi: 10.1016/j.gaitpost.2017.04.022
45. Saraph V, Zwick EB, Steinwender G, et al. Leg lengthening as part of gait improvement surgery in cerebral palsy: an evaluation using gait analysis. *Gait Posture*. 2006;23(1):83-90. doi: 10.1016/j.gaitpost.2004.12.00
46. Yoon JA, Jung DH, Lee JS, et al. Factors associated with unaffected foot deformity in unilateral cerebral palsy. *J Pediatr Orthop B*. 2020;29(1):29-34. doi: 10.1097/BPB.0000000000000665
47. Salazar-Torres JJ, McDowell BC, Kerr C, Cosgrove AP. Pelvic kinematics and their relationship to gait type in hemiplegic cerebral palsy. *Gait Posture*. 2011;33(4):620-624. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.02.004
48. Schmid S, Romkes J, Taylor WR, et al. Orthotic correction of lower limb function during gait does not immediately influence spinal kinematics in spastic hemiplegic cerebral palsy. *Gait Posture*. 2016;49:457-462. doi: 10.1016/j.gaitpost.2016.08.013
49. 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
50. 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
51. Schroeder KM, Heydemann JA, Beauvais DH. Musculoskeletal imaging in cerebral palsy. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2020;31(1):39-56. doi: 10.1016/j.pmr.2019.09.001
52. 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
53. Klatt J, Stevens PM. Guided growth for fixed knee flexion deformity. *J Pediatr Orthop*. 2008;28(6):626-631. doi: 10.1097/BPO.0b013e318183d573
54. Erickson T, Loder RT. Bone age in children with hemiplegic cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*. 2003;23(5):669-671. doi: 10.1097/00004694-200309000-00019
55. Lee JS, Choi IJ, Shin MJ, et al. Bone age in unilateral spastic cerebral palsy: is there a correlation with hand function and limb length? *J Pediatr Endocrinol Metab*. 2017;30(3):337-341. doi: 10.1515/jpem-2016-0349
56. Journeau P. Update on guided growth concepts around the knee in children. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2020;106(1S):S171-S180. doi: 10.1016/j.otsr.2019.04.025
57. Tsitlakidis S, Horsch A, Schaefer F, et al. Gait classification in unilateral cerebral palsy. *J Clin Med*. 2019;8(10):1652. doi: 10.3390/jcm8101652
58. 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
59. Thompson RM, Fowler E, Culo B, Shellock FG. MRI safety and imaging artifacts evaluated for a cannulated screw used for guided growth surgery. *Magn Reson Imaging*. 2020;66:219-225. doi: 10.1016/j.mri.2019.11.005
60. Jahmani R, Lovisetti G, Alorjani M, Bashaireh K. Percutaneous femoral shortening over a nail using on-site smashing osteotomy technique. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2020;30(2):351-358. doi: 10.1007/s00590-019-02556-7

Статья поступила 27.02.2023; одобрена после рецензирования 11.04.2023; принята к публикации 24.02.2024.

The article was submitted 27.02.2023; approved after reviewing 11.04.2023; accepted for publication 24.02.2024.

Информация об авторах:

Улви Фаиг оглы Мамедов — аспирант, врач травматолог-ортопед, ulvi.mamedof@gmail.com;

Арнольд Васильевич Попков — доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник, apopkov.46@mail.ru;

Орхан Ильхам оглы Гатамов — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед;

Георгий Мерабович Чибиров — кандидат медицинских наук, заведующий отделением, georgii_chibirov@mail.ru;

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 — PhD student, ulvi.mamedof@gmail.com;

Arnold V. Popkov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief Researcher, apopkov.46@mail.ru;

Orkhan I. Gatamov — Candidate of Medical Sciences, traumatologist-orthopedist;

Georgii M. Chibirov — Candidate of Medical Sciences, Head of Department, georgii_chibirov@mail.ru;

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. — подготовка и написание первоначального проекта (черновика) работы.

Попков А.В. — редактирование, подготовка работы к публикации.

Гатамов О.И. — подготовка, представление работы к публикации.

Чибиров Г.М. — подготовка, представление работы к публикации.

Попков Д.А. — идеи; формулировка всеобъемлющих целей и задач исследования; контроль и руководство планированием и выполнением исследовательской работы, включая наставничество.