

Многоуровневые ортопедические вмешательства у детей со спастическим параличом**Д.А. Попков¹, Г.М. Чибиров¹, В.В. Кожевников², Н.С. Гвоздев¹**¹Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курган, Россия²Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Барнаул, Россия**Multilevel orthopaedic surgery in children with spastic cerebral palsy****D.A. Popkov¹, G.M. Chibirov¹, V.V. Kozhevnikov², N.S. Gvozdev¹**¹Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation²Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis, Barnaul, Russian Federation

Введение. Целью данной статьи стал обзор современной литературы о роли многоуровневых одномоментных вмешательств в хирургии вторичных ортопедических осложнений у детей с ДЦП. **Материалы и методы.** При подготовке обзора были использованы поисково-информационные источники: научный поисковый портал PubMed, Scopus, ResearchGate, РИНЦ, а также издательские продукты (Elsevier, Springer etc). Статья построена на материале доклада, созданного для впервые проводимой в России образовательной конференции European Pediatric Orthopaedic Society в Центре Илизарова в 2021 году. **Результаты и обсуждение.** Работа включает обсуждение терминологии, показаний, особенностей хирургической техники и раннего послеоперационного периода, отдаленных результатов лечения при использовании многоуровневых ортопедических вмешательств, а также аспектов ятрогенных ортопедических нарушений у детей с ДЦП. **Заключение.** Многоуровневые вмешательства для коррекции вторичных ортопедических осложнений у пациентов с ДЦП являются стандартом оказания хирургической помощи. Успех данного вида хирургии зависит от правильности определения показаний и количественных значений коррекции, основывающихся на 3D-анализе походки, от соблюдения специфических технических требований к выполнению операции и проведения ранней реабилитационной программы. Стратегия многоуровневых вмешательств подразумевает максимально возможное снижения количества ортопедических операций и может быть признана успешной, если на протяжении детского периода жизни пациенту выполнялось не более двух многоуровневых реконструктивных вмешательств.

Ключевые слова: детский церебральный паралич, многоуровневые одномоментные ортопедические вмешательства

Introduction The purpose of the article was to review the modern literature on the role of multilevel single-stage interventions in the surgery of secondary orthopaedic complications in children with cerebral palsy. **Material and methods** The review was done using the databases of the current sources of scientific information including PubMed, Scopus, ResearchGate, RSCI and Elsevier, Springer publishing products. A report made for the first educational meeting of the European Pediatric Orthopaedic Society held in Russia at the Ilizarov Center in 2021 was used for the contribution. **Results and discussion** The article discusses terminology, indications, particular techniques and early postoperative period, long-term outcomes of multilevel orthopaedic interventions and aspects of iatrogenic orthopaedic conditions in children with cerebral palsy. **Conclusion** Multilevel intervention is the surgical procedure of choice for the correction of secondary orthopaedic complications in patients with cerebral palsy. The success of the surgery would depend on adequately identified indications and quantitative values of the correction to be performed on the basis of 3D gait analysis, the compliance with specific technical requirements for the procedure and an early rehabilitation program. The strategy of multilevel interventions suggests the greatest possible reduction in the number of orthopaedic surgeries and can be considered successful if the patient undergoes a maximum of two multilevel reconstructive interventions in the childhood.

Keywords: cerebral palsy, single-event multilevel orthopaedic surgery**ВВЕДЕНИЕ**

Детский церебральный паралич (ДЦП) – в настоящее время наиболее частая причина двигательных нарушений в детском возрасте [1]. Частота встречаемости составляет 3,6 на 1000 детей в США [1], 2,4 случая на 1000 детей в Швеции [2], что близко к данным по России, во Франции ежегодно регистрируется более 1500 новых случаев [3], в целом в Европе проживает более 240000 больных ДЦП в возрасте до 20 лет [4]. Среди

различных форм паралича доминируют двусторонние и односторонние спастические, дистонические формы, составляя до 83–85 % [3, 5]. Именно при этих формах и развиваются ортопедические осложнения, требующие хирургической коррекции [6–9]. **Целью** данной статьи стал обзор современной литературы о роли многоуровневых одномоментных вмешательств в хирургии вторичных ортопедических осложнений у детей с ДЦП.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При подготовке обзора были использованы поисково-информационные источники: научный поисковый портал PubMed, Scopus, ResearchGate, РИНЦ, а также издательские продукты (Elsevier, Springer etc). Статья построена на материале доклада, созданного

для впервые проводимой в России образовательной конференции European Pediatric Orthopaedic Society в Центре Илизарова в 2021 году, и состоит из разделов, посвященных различным аспектам многоуровневых вмешательств.

Многоуровневые ортопедические вмешательства у детей со спастическим параличом / Д.А. Попков, Г.М. Чибиров, В.В. Кожевников, Н.С. Гвоздев // Гений ортопедии. 2021. Т. 27, № 4. С. 475–480. DOI 10.18019/1028-4427-2021-27-4-475-480

Popkov D.A., Chibirov G.M., Kozhevnikov V.V., Gvozdev N.S. Multilevel orthopaedic surgery in children with spastic cerebral palsy. *Genij Ortopedii*, 2021, vol. 27, no 4, pp. 475–480. DOI 10.18019/1028-4427-2021-27-4-475-480

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определение

Одномоментные многоуровневые ортопедические вмешательства (SEMLS – single-event multilevel orthopaedic surgery) определяются как две и более хирургических процедуры (элементы вмешательства) на сухожильно-мышечном аппарате и/или костях, выполняемые в двух и более анатомических областях во время одного оперативного вмешательства при одной госпитализации, сопровождающейся единым реабилитационным периодом [10–12]. Помимо лечебных преимуществ такой подход обеспечивает снижение нагрузки лечебных мероприятий на социальную жизнь пациента и его семьи, а также имеет экономические преимущества для системы здравоохранения [6, 7, 13–15]. В некоторых ситуациях ввиду большого объема оперативное вмешательство может быть выполнено последовательно на двух конечностях с перерывом в 2–4 недели (во время одной госпитализации), но с единым реабилитационным периодом, что сохраняет принципы SEMLS [16–18].

Преимущества многоуровневого подхода по сравнению с этапными изолированными операциями у детей с ДЦП стали очевидными и были признаны в 80–90-е годы двадцатого века [19–21]. Fabry et al. [22] пишут, что они меняют свою хирургическую практику от этапных операций в пользу одномоментных многоуровневых, имеющих явные преимущества, и именно 3D-анализ движений и походки помог лучше исследовать элементы патологии и улучшить результаты лечения.

3D-компьютерный анализ походки, роль в диагностике и планировании SEMLS

Действительно, компьютерный анализ походки (3D gait analysis) позволяет синхронно исследовать кинематические, кинетические и электромиографические параметры движений при ходьбе у пациентов уровней I–III GMFCS [23–25]. Основополагающие работы по анализу походки выделили главные патологические паттерны походки и движений для отдельных суставов, ставшие базой классификаций нарушений ходьбы, определяющих планирование хирургических вмешательств в ежедневной работе, в частности, equinus gait, jump gait, apparent equinus gait, crouch gait, asymmetric gait, stiff knee gait [8, 23–26].

Точность и информативность компьютерного анализа походки в выявлении патологических элементов движений и их причин превосходит клинический анализ. Совпадения клинических заключений с объективным компьютерным анализом составляют, по данным разных авторов, 66–100 % [25], 50–68 % [27], 22 % [28], 59–90 % [29], 71,7 % [30]. При этом в 19,9 % случаев клиническим анализом не были выявлены нарушения, которые определялись 3D-анализом, и последний в 8,4 % случаев позволил исключить ложноположительные клинические симптомы [30].

Moissenet M et al. [31] определили этапность планирования многоуровневых вмешательств с обязательным включением 3D-анализа походки:

- 1) идентификация отклонений походки;
- 2) сопоставление с клиническими нарушениями и верификация;

3) определение оптимального плана хирургического вмешательства.

Отметим также роль 3D-анализа, в особенности, регистрируемых кинематических и пространственно-временных параметров в оценке результата лечения и контроля эволюции двигательных возможностей пациента после многоуровневых вмешательств [11, 32–34].

Авторы отмечают общие цели и принципы планирования многоуровневых вмешательств [11, 12, 35–41]. Ортопедические многоуровневые одномоментные вмешательства являются целе-ориентированными, планирование их должно осуществляться на основе объективного анализа движений и походки. Важно понимать, что хирургическое ортопедическое вмешательство не меняет уровень GMFCS, но позволяет устранить вторичные ортопедические осложнения, препятствующие реализации двигательного потенциала конкретного пациента.

Основополагающими целями SEMLS являются:

- коррекция деформаций для улучшения биомеханики передвижений, включая торсионные деформации (дисфункции плеч рычагов);
- устранение контрактур суставов для улучшения ежедневной двигательной активности и повышения функциональных возможностей;
- уменьшение энергетических трат, связанных с биомеханическими нарушениями;
- предотвращение или снижение болевого синдрома, обусловленного ранними артрозными явлениями;
- уменьшение/устранение проблем использования обуви и ортезных изделий.

Общие принципы хирургической техники многоуровневого вмешательства

Выполнение многоуровневых вмешательств подразумевает начало пассивных движений в суставах оперированной конечности (использование съемных ортезных изделий) и прогрессирующую осевую нагрузку через 2–3 недели после операции, то есть раннюю реабилитацию [42]. Именно поэтому рекомендуется по возможности избегать сухожильных швов, но удлинять мышцы за счет апоневротомий, делать пересадки сухожилий с применением якорей [43–45]. Кроме того, удлинение мышц в апоневротической части позволяет сохранить сократительные способности и силу мышечной ткани одновременно с увеличением пассивной амплитуды движений [46, 47]. При корригирующих остеотомиях, реконструктивных операциях на костях, артродезах стоп необходимо использовать импланты и элементы фиксации из титановых сплавов, обеспечивающих первичную стабильность костным фрагментам, необходимую для ранней прогрессирующей функциональной нагрузки на конечности и быстрого перехода от временной иммобилизации гипсовой повязкой к съемным ортезам [48–54].

Снижение кровопотери за счет использования отжимающих и кровоостанавливающих жгутов, сокращение времени операции (операция двумя бригадами), точное протоколирование достигнутых углов пассивной амплитуды движений, ранняя послеоперационная реабилитация и мероприятия по предотвращению тро-

фических нарушений в мягких тканях являются обязательными [16, 18].

Ранняя реабилитация после SEMLS

Общепризнанными принципами реабилитации после многоуровневых вмешательств являются ранняя пассивная и активная мобилизация суставов, вертикализация пациентов с полной осевой нагрузкой, смена с третьей-четвертой послеоперационной недели гипсовых повязок на съемные ортезные изделия [11, 47, 55–58]. Болевой синдром – достаточно частое явление в раннем послеоперационном периоде и после снятия средств иммобилизации [59]. Ботулинотерапия имеет показания в послеоперационном периоде для снижения болевого синдрома в мобилизуемых мышцах [60]. Реабилитация подразумевает включение в повседневную активность и школьные занятия с первых послеоперационных месяцев [61]. Отмечено, что только через 1 год после операции пациенты возвращаются к исходным пространственно-временным параметрам ходьбы или немного выше [61]. Но улучшение общих двигательных функций и, в целом, качества жизни отмечается на протяжении второго года после операции [62].

Результаты SEMLS в отдаленном периоде

Оценка эффективности многоуровневых вмешательств в отдаленном периоде остается важным вопросом. Оценка результата через 1–2 года после операции и 3–5 лет после операции дает сбалансированное представление об исходе лечения в краткосрочном и среднесрочном периоде [10]. Harvey et al. [63] указывают, что SEMLS не меняет уровень GMFCS, но стабильно улучшает показатели Functional Mobility Scale.

В работах, где период наблюдения был 10 лет и более, показано, что результат лечения в виде сохранения улучшенных кинематических и пространственно-временных параметров сохранялся. Прекращалась типичная постепенная деградация двигательных нарушений в сторону паттерна crouch gait, но при этом на протяжении 10 лет наблюдения в 61,5 % случаев потребовались отдельные дополнительные вмешательства, чтобы сохранить достигнутый результат [34].

На примере выборки из 97 пациентов со спастической диплегией с паттерном походки flexed-knee gait (паттерн crouch gait или его дебют) Naumont et al. [64] отметили сохранение стойкости результатов многоуровневых вмешательств на протяжении 10 лет наблюдения. Но при этом 69 % пациентов были однократно или двукратно прооперированы, включая первоначальную операцию, а 31 % пациентов оперировались 3 и более раз в течение 10-летнего периода наблюдения. При том, что 68 % этих пациентов к возрасту 18 лет имели относительные показания к дополнительной ортопедической операции.

В многоцентровом исследовании Dreher T. et al. [65], включавшем 331 ребенка со спастической диплегией, в отдаленном периоде (в среднем 9,1 года) 177 (76,6 %) детей сохраняли улучшение в GPS (Gait Profile Score). Но 39 % пациентов потребовали дополнительных вмешательств с целью сохранения достигнутого результата на протяжении лечения.

Все авторы вышеперечисленных исследований с периодом наблюдения 9 и более лет сходятся во мнении, что термин SEMLS должен быть заменен на MLS (Multi Level Surgery), учитывая, что более чем в трети случа-

ев на протяжении длительного периода после операции требуются повторные вмешательства для поддержания достигнутого результата. Как критерий успешности планирования и реализации хирургического лечения ставится выполнение не более двух реконструктивных вмешательств у пациента в период роста [64].

Поддержание пространственно-временных и кинематических параметров ходьбы в отдаленном периоде сопровождается более высокими оценками качества жизни, коррелирующими, в свою очередь, с уровнем GMFCS [64, 66].

Ятрогенные осложнения, нерекомендуемые процедуры

Помимо естественного развития паттерна crouch gait выделяют ятрогенный паттерн crouch gait после проведенных в раннем возрасте и необоснованных фибромиотомий и изолированных удлинений ахиллова сухожилия [67, 68]. Последующее неизбежное ослабление трицепса голени приводит к потере функции камбаловидной мышцы, эксцентричному ее сокращению, поглощению кинетической энергии опорной конечности и патологическому сгибанию коленного сустава в опорную фазу [25, 69–72]. Как было указано ранее, только апоневротомия икроножной мышцы позволяет сохранить силу толчка при подошвенном сгибании стопы и предотвращает развитие слабости трицепса [46]. Гатамов О.И. с соавт. показали [73], что в группе ятрогенного нарушения походки данное осложнение наступает в более раннем возрасте, чем в группе естественно развившейся патологии ходьбы. При этом при ятрогенном 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 [73]. Кроме того, негативный эффект от выполнения ранних вмешательств на подошвенных флексорах (фибромиотомии по методу Ульзибат, открытое удлинение ахиллова сухожилия у детей со спастической диплегией [67, 72, 74, 75]) очевиден и проявляется в раннем развитии патологического паттерна походки crouch gait у детей с ДЦП уровнями I–II GMFCS и без торсионных деформаций.

При низведении надколенника и мобилизации его связки (изолированно или с фрагментом подлежащей кости) и применении травматичных методов фиксации к периосту, включая серкляж и спицы Киршнера, существуют риски травматизации и преждевременного закрытия переднего отдела проксимальной зоны роста большеберцовой кости, ведущие к развитию рекурвационной деформации [76].

При удлинении m. gracilis в паховой области Nachache et al. [77] указывают на риски повреждения окружающих структур, включая переднюю ветвь запирательного нерва, а также на кровотечение и формирование гематомы, учитывая глубокое нахождение проксимального сухожилия тонкой мышцы в мягких тканях. При удлинении медиальных сгибателей чрескожные апоневротомии, удлинения сухожилий приводили к большей травматизации собственно мышечной ткани, чем удлинения открытым способом [78]. Таким образом, чрескожное удлинение ретрагированных мышц в вышеуказанных областях крайне не рекомендуется.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многоуровневые вмешательства для коррекции вторичных ортопедических осложнений у пациентов с ДЦП являются стандартом оказания хирургической помощи. Их осуществление ведет к улучшению двигательных возможностей ребенка и повышению качества жизни. Успех данного вида хирургии зависит от правильности определения показаний и количественных значений коррекции, основывающихся на 3D-анализе походки, от соблюдения

специфических технических требований к выполнению операции и проведения ранней реабилитационной программы. Стратегия и философия многоуровневых вмешательств подразумевает максимально возможное снижение количества ортопедических операций и может быть признана успешной, если на протяжении детского периода жизни пациенту выполнялось не более двух многоуровневых реконструктивных вмешательств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Damiano D.L., Alter K.E., Chambers H. New Clinical and Research Trends in Lower Extremity Management for Ambulatory Children with cerebral Palsy // *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* 2009. Vol. 20, No 3. P. 469-491. DOI: 10.1016/j.pmr.2009.04.005.
2. Westbom L., Hagglund G., Nordmark E. Cerebral palsy in a total population of 4-11 year olds in southern Sweden. Prevalence and distribution according to different CP classification systems // *BMC Pediatr.* 2007. Vol. 7. P. 41. DOI: 10.1186/1471-2431-7-41.
3. Measuring quality of life in cerebral palsy children / E. Viehweger, S. Robitail, M.A. Rohon, M. Jacquemier, J.L. Jouve, G. Bollini, M.C. Simeoni // *Ann. Readapt. Med. Phys.* 2008. Vol. 51, No 2. P. 119-137. DOI: 10.1016/j.annrmp.2007.12.002.
4. Krägeloh-Mann I. Klassifikation, Epidemiologie, Pathogenese und Klinik. In: Heinen F., Bartens W. Das Kind und die Spastik. Erkenntnisse der Evidenced-based Medicine zur Cerebralparese. Bern: Verlag Hans Huber. 2001. P. 37-48.
5. Hagberg B., Hagberg G. The origins of cerebral palsy. In: Recent advances in Paediatrics. David T.J., editor. XI Ed. Edinburgh: Churchill Livingstone. 1993. P. 67-83.
6. Muscle-tendon surgery in diplegic cerebral palsy: functional and mechanical changes / M.F. Abel, D.L. Damiano, M. Pannunzio, J. Bush // *J. Pediatr. Orthop.* 1999. Vol. 19, No 3. P. 366-375.
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. 79-85. DOI: 10.1097/00004694-200501000-00018.
8. Rectus femoris surgery in children with cerebral palsy. Part I: The effect of rectus femoris transfer location on the knee motion / S. Ounpuu, E. Muik, R.B. Davis 3rd, J.R. Gage, P.A. DeLuca // *J. Pediatr. Orthop.* 1993. Vol. 13, No 3. P. 325-330. DOI: 10.1097/01241398-199305000-00010.
9. Multilevel surgery in spastic diplegia: evaluation by physical examination and gait analysis in 25 children / V. Saraph, E.B. Zwick, G. Zwick, C. Steinwender, G. Steinwender, W. Linhart // *J. Pediatr. Orthop.* 2002. Vol. 22, No 2. P. 150-157.
10. 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. e0164686. DOI: 10.1371/journal.pone.0164686.
11. 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.
12. Understanding in Children with Cerebral Palsy: Orthopedic Problems. Popkov D., editor. Nova Medicine and Health. 2020.
13. Distal femoral extension osteotomy and patellar tendon advancement to treat persistent crouch gait in cerebral palsy / J.L. Stout, J.R. Gage, M.H. Schwartz, T.F. Novacheck // *J. Bone Joint Surg. Am.* 2008. Vol. 90, No 11. P. 2470-2484. DOI: 10.2106/JBJS.G.00327.
14. 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.
15. Экономические аспекты многоуровневых ортопедических операций у пациентов с детским церебральным параличом / А.В. Губин, Е.Н. Овчинников, Э.В. Гончарук, Н.И. Васильева, Д.А. Попков // *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины.* 2020. Т. 28, Спец. вып. С. 716-722.
16. L'infirmite motrice cerebrale marchant; de l'annonce du handicap a la prise en charge de l'adulte. Monographie de la SoFOP / J. Cottalorda, S. Bourelle, F. Chotel, B. Dohin, G.-F. Penneçot. Montpellier: Sauramps Médical. 2005. 252 p.
17. Damiano D.L., Alter K.E., Chambers H. New clinical and research trends in lower extremity management for ambulatory children with cerebral palsy // *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* 2009. Vol. 20, No 3. P. 469-491. DOI: 10.1016/j.pmr.2009.04.005.
18. Lebarbier P., Penneçot G.-F. L'infirmite motrice d'origine cerebrale (IMOC) // *Rev. Chir. Orthop. Traumatol.* 2006. Vol. 92, No 4. P. 393-395.
19. Grogan D.P., Lundy M.S., Ogden J.A. A method for early postoperative mobilization of the cerebral palsy patient using a removable abduction bar // *J. Pediatr. Orthop.* 1987. Vol. 7, No 3. P. 338-340. DOI: 10.1097/01241398-198705000-00019.
20. Nene A.V., Evans G.A., Patrick J.H. Simultaneous multiple operations for spastic diplegia. Outcome and functional assessment of walking in 18 patients // *J. Bone Joint Surg. Br.* 1993. Vol. 75, No 3. P. 488-494. DOI: 10.1302/0301-620X.75B3.8496229.
21. DeLuca P.A. The musculoskeletal management of children with cerebral palsy // *Pediatr. Clin. North Am.* 1996. Vol. 43, No 5. P. 1135-1150. DOI: 10.1016/s0031-3955(05)70454-5.
22. Fabry G., Liu X.C., Molenaers G. Gait pattern in patients with spastic diplegic cerebral palsy who underwent staged operations // *J. Pediatr. Orthop.* 1999. Vol. 8, No 1. P. 33-38.
23. 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.
24. Gage J.R., DeLuca P.A., Renshaw T.S. Gait analysis: principle and applications with emphasis on its use in cerebral palsy // *Instr. Course Lect.* 1996. Vol. 45. P. 491-507.
25. 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.
26. Identification of joint patterns during gait in children with cerebral palsy: a Delphi consensus study / A. Nieuwenhuys, S. Ounpuu, A. van Campenhout, T. Theologis, J. de Cat, J. Stout, G. Molenaers, T. de Laet, K. Desloovere // *Dev. Med. Child. Neurol.* 2016. Vol. 58, No 3. P. 306-313. DOI: 10.1111/dmcn.12892.
27. The reliability and validity of assessment of sagittal plane deviations in children who have spastic diplegia / N.S. Stott, W.G. Atherton, A.H. Mackey, I.J. Galley, R.O. Nicol, S.J. Walsh // *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2005. Vol. 86, No 12. P. 2337-2341. DOI: 10.1016/j.apmr.2005.06.021.
28. Clinician agreement on gait pattern ratings in children with spastic hemiplegia / F. Dobson, M.E. Morris, R. Baker, R. Wolfe, H. Graham // *Dev. Med. Child. Neurol.* 2006. Vol. 48, No 6. P. 429-435. DOI: 10.1017/S0012162206000946.
29. Inter- and intrarater clinician agreement on joint motion patterns during gait in children with cerebral palsy / A. Nieuwenhuys, E. Papageorgiou, G. Molenaers, D. Monari, T. de Laet, K. Desloovere // *Dev. Med. Child. Neurol.* 2017. Vol. 59, No 7. P. 750-755. DOI: 10.1111/dmcn.13404.
30. Анализ причин патологических паттернов кинематического локомоторного профиля по данным компьютерного анализа походки у детей со спастическими формами ДЦП / Г.М. Чибиров, Т.И. Долганова, Д.В. Долганов, Д.А. Попков // *Гений ортопедии.* 2019. Т. 25, № 4. С. 493-500.
31. Moissenet F., Armand S. Qualitative and quantitative methods of assessing gait disorders. In: Orthopedic management of children with cerebral palsy: A comprehensive approach. Canavese F., Deslandes J. New York: Nova Science Publishers. 2015. P. 215-239. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:81178>.
32. Long-term outcomes after multilevel surgery including rectus femoris, hamstring and gastrocnemius procedures in children with cerebral palsy / S. Ounpuu, M. Solomito, K. Bell, P. DeLuca, K. Pierz // *Gait Posture.* 2015. Vol. 42, No 3. P. 365-372. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2015.07.003.

33. Long-term follow-up after patellar tendon shortening for flexed knee gait in bilateral spastic cerebral palsy / D.B. Kuchen, P. Eichelberger, H. Baur, E. Rutz // *Gait Posture*. 2020. Vol. 81. P. 85-90. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2020.07.003.
34. Long-term follow-up after multilevel surgery in cerebral palsy / R. Visscher, N. Hasler, M. Freslier, N.B. Singh, W.R. Taylor, R. Brunner, E. Rutz // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2021. DOI: 10.1007/s00402-021-03797-0. Online ahead of print.
35. Theologis T. Lever arm dysfunction in cerebral palsy gait // *J. Child. Orthop.* 2013. Vol. 7, No 5. P. 379-382. DOI: 10.1007/s11832-013-0510-y.
36. Ławniczak D., Jóźwiak M., Manikowska F. Ocena całkowitej predkości liniowej i katowej stawu kolanowego u chorych z postacią spastyczną mózgowego porażenia po operacyjnym leczeniu tzw. "deformacji dźwigniowo zależnych" kończyn dolnych – badanie prospektywne // *Chir. Narządów Ruchu Ortop. Pol.* 2010. Vol. 75, No 2. P. 92-97.
37. Walking abilities of young adults with cerebral palsy: changes after multilevel surgery and adolescence / M.E. Gannotti, G.E. Gorton 3rd, M.T. Nahorniak, P.D. Masso // *Gait Posture*. 2010. Vol. 32, No 1. P. 46-52. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2010.03.002.
38. Walking deterioration and gait analysis in adults with spastic bilateral cerebral palsy / A. Opheim, J.L. McGinley, E. Olsson, J.K. Stanghelle, R. Jahnsen // *Gait Posture*. 2013. Vol. 37, No 2. P. 165-171. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2012.06.032.
39. Stability of the Gross Motor Function Classification System after single-event multilevel surgery in children with cerebral palsy / E. Rutz, O. Tirosh, P. Thomason, A. Barg, H.K. Graham // *Dev. Med. Child. Neurol.* 2012. Vol. 54, No 12. P. 1109-1113. DOI: 10.1111/dmcn.12011.
40. Rectus femoris transfer in cerebral palsy patients with stiff knee gait / S.Y. Lee, S.S. Kwon, C.Y. Chung, K.M. Lee, Y. Choi, T.G. Kim, W.C. Shin, I.H. Choi, T.J. Cho, W.J. Yoo, M.S. Park // *Gait Posture*. 2014. Vol. 40, No 1. P. 76-81. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2014.02.013.
41. 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. Vol. 41, No 2. P. 448-453. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2014.11.005.
42. Lopez D., Martel D., Renolleau M. La rééducation et les soins infirmiers postopératoires immédiats (après chirurgie orthopédique multisite). In: Penneçot C.F. *Marche pathologique de l'enfant paralysé cérébral*. Montpellier: Sauramps Medica. 2009.
43. Kinematic and kinetic outcomes after identical multilevel soft tissue surgery in children with cerebral palsy / S.E. Adolfsen, S. Ounpuu, K.J. Bell, P.A. DeLuca // *J. Pediatr. Orthop.* 2007. Vol. 27, No 6. P. 658-667. DOI: 10.1097/BPO.0b013e3180dca114.
44. Static and dynamic gait parameters before and after multilevel soft tissue surgery in ambulating children with cerebral palsy / N.M. Bernthal, S.C. Gamradt, R.M. Kay, T.A. Wren, A.V. Cuomo, J. Reid, J. Bales, N.Y. Otsuka // *J. Pediatr. Orthop.* 2010. Vol. 30, No 2. P. 174-179. DOI: 10.1097/BPO.0b013e3181d04fb5.
45. Chibirov G.M., Pliev M.K., Popkov D.A. A new technique of flexor carpi ulnaris transfer in multilevel surgery for upper extremity deformities in spastic cerebral palsy // *Med. Glas. (Zenica)*. 2021. Vol. 18, No 1. P. 202-207. DOI: 10.17392/1313-21.
46. Kinematic and kinetic evaluation of the ankle after lengthening of the gastrocnemius 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 6. P. 727-732. DOI: 10.1097/01241398-199311000-00007.
47. Recovery of muscle strength following multi-level orthopaedic surgery in diplegic cerebral palsy / M. Seniorou, N. Thompson, M. Harrington, T. Theologis // *Gait Posture*. 2007. Vol. 26, No 4. P. 475-481. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2007.07.008.
48. Talonavicular arthrodesis for the treatment of neurological flat foot deformity in pediatric patients: clinical and radiographic evaluation of 29 feet / G. de Coulon, K. Turcot, F. Canavese, R. Dayer, A. Kaelin, D. Ceroni // *J. Pediatr. Orthop.* 2011. Vol. 31, No 5. P. 557-563. DOI: 10.1097/BPO.0b013e3181d04fb5.
49. Popkov D.A., Journeau P., Popkov A.V. Comparative study on results of reconstructive surgery in 45 hip joints of 25 children with cerebral palsy // *Eur. Orthop. Traumatol.* 2014. Vol. 5, No 1. P. 57-63.
50. Surgical technique: Medial column arthrodesis in rigid spastic planovalgus feet / P.M. de Moraes Barros Fucs, C. Svartman, R.M. de Assumpção, H.H. Yamada, S.D. Simis // *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2012. Vol. 470, No 5. P. 1334-1343. DOI: 10.1007/s11999-011-2185-3.
51. 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.
52. Rotational osteotomy with submuscular plating in skeletally immature patients with cerebral palsy / H.J. Lee, C.W. Oh, K.S. Song, J.W. Kim, J.W. Jung, B.C. Park, J.Y. Kim // *J. Orthop. Sci.* 2013. Vol. 18, No 4. P. 557-562. DOI: 10.1007/s00776-013-0384-3.
53. Winkelstabile Implantate zur Osteosynthese nach Korrekturosteotomien in der Kinder- und Neuroorthopädie / J.F. Funk, T. Seidl, C. Perka, N.P. Haas, R. Placzek // *Z. Orthop. Unfall.* 2011. Vol. 149, No 4. P. 428-435. DOI: 10.1055/s-0030-1270964.
54. Distal femoral osteotomy using the LCP pediatric condylar 90-degree plate in patients with neuromuscular disorders / E. Rutz, M.S. Gaston, C. Camathias, R. Brunner // *J. Pediatr. Orthop.* 2012. Vol. 32, No 3. P. 295-300. DOI: 10.1097/BPO.0b013e31824b29d7.
55. Kondratek M., McCollum H., Garland A. Long-term physical therapy management following a single-event multiple level surgery // *Pediatr. Phys. Ther.* 2010. Vol. 22, No 4. P. 427-438. DOI: 10.1097/PEP.0b013e3181f93cae.
56. Evaluation of single event multilevel surgery and rehabilitation in children and youth with cerebral palsy – A 2-year follow-up study / A. Akerstedt, O. Risto, P. Odman, B. Oberg // *Disabil. Rehabil.* 2010. Vol. 32, No 7. P. 530-539. DOI: 10.3109/09638280903180171.
57. Effects of a postoperative strength-training program on the walking ability of children with cerebral palsy: a randomized controlled trial / D. Patikas, S.I. Wolf, K. Mund, P. Armbrust, W. Schuster, L. Döderlein // *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2006. Vol. 87, No 5. P. 619-626. DOI: 10.1016/j.apmr.2006.01.023.
58. Effects of a postoperative resistive exercise program on the knee extension and flexion torque in children with cerebral palsy: a randomized clinical trial / D. Patikas, S.I. Wolf, P. Armbrust, K. Mund, W. Schuster, T. Dreher, L. Döderlein // *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2006. Vol. 87, No 9. P. 1161-1169. DOI: 10.1016/j.apmr.2006.05.014.
59. Høiness P.R., Capjon H., Lofterød B. Pain and rehabilitation problems after single-event multilevel surgery including bony foot surgery in cerebral palsy. A series of 7 children // *Acta Orthop.* 2014. Vol. 85, No 6. P. 646-651. DOI: 10.3109/17453674.2014.960141.
60. 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.
61. Early Mobilization Rehabilitation Program for Children with Cerebral Palsy Undergoing Single-Event Multilevel Surgery / M. Howard, C. Bickley, J. Linton, L. Northcutt, M. Lux, A. Scott, L. Stephenson, D. Barnes // *Pediatr. Phys. Ther.* 2020. Vol. 32, No 3. P. 218-224. DOI: 10.1097/PEP.0000000000000709.
62. Single-event multilevel surgery in children with spastic diplegia: a pilot randomized controlled trial / P. Thomason, R. Baker, K. Dodd, N. Taylor, P. Selber, R. Wolfe, H.K. Graham // *J. Bone Joint Surg. Am.* 2011. Vol. 93, No 5. P. 451-460. DOI: 10.2106/JBJS.J.00410.
63. Longitudinal changes in mobility following single-event multilevel surgery in ambulatory children with cerebral palsy / A. Harvey, P. Rosenbaum, S. Hanna, R. Yousefi-Nooraie, K.H. Graham // *J. Rehabil. Med.* 2012. Vol. 44, No 2. P. 137-143. DOI: 10.2340/16501977-0916.
64. 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. Niiler, F. Miller // *J. Child. Orthop.* 2013. Vol. 7, No 5. P. 435-443. DOI: 10.1007/s11832-013-0505-8.
65. 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.
66. What is the functional mobility and quality of life in patients with cerebral palsy following single-event multilevel surgery? / T.A. Edwards, R.J. Prescott, J. Stebbins, J. Wright, T. Theologis // *J. Child. Orthop.* 2020. Vol. 14, No 2. P. 139-144. DOI: 10.1302/1863-2548.14.190148.
67. Use of 3D gait analysis as predictor of Achilles tendon lengthening surgery outcomes in children with cerebral palsy / G. Pilloni, 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.
68. Single-event multilevel surgery for crouching cerebral palsy children: Correlations with quality of life and functional mobility / J. Amen, M. El-Gebeily, D.M. El-Mikkawy, A.H. Yousry, T.A. El-Sobky // *J. Musculoskelet. Surg. Res.* 2018. Vol. 2. P. 148-155.

69. 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.
70. Isolated 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.
71. 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.
72. 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.
73. 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.
74. 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. Martin-Gonzalo, J. López-López, I. Martinez-Caballero, E. Gómez-Barrena, E. Rausell // Rev. Neurol. 2014. Vol. 58, No 6. P. 247-254.
75. Шишов С.В., Ившин В.Г. Минимально инвазивные операции на мышцах у детей с ДЦП. Опыт пятилетнего применения // Вестник новых медицинских технологий. Электронный журнал. 2016. № 2. С. 137-141.
76. The effects of patellar tendon advancement on the immature proximal tibia / C. Patthanacharoenphon, D.L. Maples, C. Saad, M.J. Forness, M.A. Halanski // J. Child. Orthop. 2013. Vol. 7, No 2. P. 139-146. DOI: 10.1007/s11832-012-0480-5.
77. Is percutaneous proximal gracilis tenotomy as effective and safe as the open procedure? / B. Hachache, T. Eid, E. Ghosn, A. Sebaaly, K. Kharat, I. Ghanem // J. Child. Orthop. 2015. Vol. 9, No 6. P. 477-481. DOI: 10.1007/s11832-015-0699-z.
78. Is percutaneous medial hamstring myofascial lengthening as anatomically effective and safe as the open procedure? / T. Mansour, J. Derienne, M. Daher, D. Sarraf, Y. Zoghbi, I. Ghanem // J. Child. Orthop. 2017. Vol. 11, No 1. P. 15-19. DOI: 10.1302/1863-2548-11-160175.

Рукопись поступила 15.04.2021

Сведения об авторах

1. Попков Дмитрий Арнольдович, д. м. н., профессор РАН, член-корр. Французской Академии медицинских наук, ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, ORCID: 0000-0002-8996-867X, Email: dpopkov@mail.ru
2. Чибиров Георгий Мирабович, к. м. н., ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, Email: georgii_chibirov@mail.ru
3. Кожевников Вадим Витальевич, к. м. н., ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России, г. Барнаул, Россия
4. Гвоздев Никита Сергеевич, ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, Email: gvozdev_n.s@mail.ru

Information about the authors:

1. 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, ORCID: 0000-0002-8996-867X, Email: dpopkov@mail.ru
2. Georgy M. Chibirov, M.D., Ph.D., Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation, Email: georgii_chibirov@mail.ru
3. Vadim V. Kozhevnikov, M.D., Ph.D., Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis, Barnaul, , Russian Federation
4. Nikita S. Gvozdev, Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation, Email: gvozdev_n.s@mail.ru