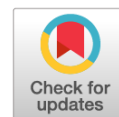


Оригинальное исследование

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS690021>

EDN: YSIHVM



Коррекция сгибательной контрактуры коленного сустава у детей с церебральным параличом методом разгибательной остеотомии бедра: оценка сагиттального профиля

В.А. Новиков, В.В. Умнов, Д.С. Жарков, Д.В. Умнов, А.Р. Мустафаева

Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Сгибательная контрактура коленного сустава — одна из наиболее частых деформаций у детей с церебральным параличом, существенно влияет на походку, энергозатраты, вертикализацию и качество жизни. Коррекцию сгибательной контрактуры коленного сустава можно выполнять как мягкоткаными методами (удлинение сгибателей голени), так и костными вмешательствами (разгибательные остеотомии бедра). Мягкотканые операции признаны менее травматичными и патогенетически обоснованными, однако в ряде исследований отмечено их влияние на сагиттальный баланс, в частности за счет увеличения переднего наклона таза. Разгибательные остеотомии бедра традиционно рассматривают как сагиттально нейтральные, но большинство опубликованных работ включали их в состав комбинированных вмешательств, что не позволяет оценить изолированный эффект самой остеотомии. Это определяет актуальность изучения влияния разгибательных остеотомий бедра на глобальный сагиттальный профиль у детей с церебральным параличом.

Цель исследования. Оценить влияние корригирующей разгибательной остеотомии бедра на сагиттальные спино-тазовые параметры у детей с церебральным параличом и сгибательной контрактурой коленного сустава.

Методы. Проведено исследование с участием 14 пациентов с диагнозом «детский церебральный паралич», проходивших лечение в НМИЦ детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера в 2022–2025 гг. Всем пациентам выполнена корригирующая разгибательная надмыщелковая остеотомия бедра с остеосинтезом пластиной с угловой стабильностью (LCP RHP 90°). Всего проведено 26 остеотомий. В трех случаях использована новая металлоконструкция, разработанная для пациентов с детским церебральным параличом со сниженной костной плотностью. Оценивали клинические показатели (дефицит активного разгибания, степень контрактуры, подколенный угол) и рентгенологические параметры (pelvic incidence, pelvic tilt, sacral slope, lumbar lordosis, thoracic kyphosis и sagittal vertical axis до операции и через 6 мес).

Результаты. Отмечено достоверное устранение контрактуры и улучшение активного разгибания. Среди рентгенологических параметров статистически значимое изменение выявлено только по lumbar lordosis ($+4,3 \pm 13,5^\circ$, $p=0,049$). Остальные показатели существенно не изменились. Корреляционный анализ не выявил связей между динамикой клинических и рентгенологических параметров.

Заключение. Разгибательные остеотомии бедра — эффективный метод устранения сгибательной контрактуры коленного сустава у детей с церебральным параличом и не вызывает нарушения глобального сагиттального профиля. Увеличение lumbar lordosis носит адаптационный характер и не сопровождается признаками декомпенсации. Первичный опыт применения новой металлоконструкции показал техническую состоятельность фиксации и перспективность ее использования в условиях сниженной костной плотности.

Ключевые слова: детский церебральный паралич; сгибательная контрактура коленного сустава; разгибательная остеотомия бедра; сагиттальный баланс.

Как цитировать

В.А. Новиков, В.В. Умнов, Д.С. Жарков, Д.В. Умнов, А.Р. Мустафаева. Коррекция сгибательной контрактуры коленного сустава у детей с церебральным параличом методом разгибательной остеотомии бедра: оценка сагиттального профиля // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2025. Т. 13. № 3. С. 256–265. DOI: 10.17816/PTORS690021 EDN: YSIHVM

Original Study Article

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS690021>

EDN: YSIHVM

Correction of Knee Flexion Contracture in Children With Cerebral Palsy by Femoral Extension Osteotomy: Evaluation of the Sagittal Profile

Vladimir A. Novikov, Valery V. Umnov, Dmitry S. Zharkov, Dmitry V. Umnov, Alina R. Mustafaeva

H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Knee flexion contracture is one of the most common deformities in children with cerebral palsy, significantly affecting the patients' gait, energy expenditure, verticalization, and quality of life. Knee flexion contracture can be corrected using either soft tissue procedures (hamstring lengthening) or bony interventions (femoral extension osteotomies). Soft tissue procedures are considered less invasive and are justified based on the underlying pathology. Some studies have reported their effect on sagittal balance, specifically an increase in anterior pelvic tilt. Femoral extension osteotomies have been regarded as sagittally neutral; however, most studies included them as part of combined interventions, which precludes assessment of the isolated effect of the osteotomy itself. This emphasizes the importance of investigating the impact of femoral extension osteotomies on global sagittal alignment in children with cerebral palsy.

AIM: This study aimed to evaluate the effect of corrective femoral extension osteotomy on sagittal spinopelvic parameters in children with cerebral palsy and knee flexion contracture.

METHODS: The study included 14 patients with cerebral palsy treated at the Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics between 2022 and 2025. The patients underwent corrective supracondylar femoral extension osteotomy with plate fixation with angular stability (LCP PHP 90°). Overall, 26 osteotomies were performed. In three cases, a newly developed implant designed for patients with cerebral palsy with reduced bone density was used. Clinical outcomes (i.e., active extension deficit, contracture degree, and popliteal angle) and radiological parameters (i.e., pelvic incidence, pelvic tilt, sacral slope, lumbar lordosis, thoracic kyphosis, and sagittal vertical axis) were assessed preoperatively and at 6 months post-operatively.

RESULTS: Significant correction of contracture and improvement in active knee extension were observed. Among the radiological parameters, only lumbar lordosis showed a significant change ($+4.3^\circ \pm 13.5^\circ$, $p = 0.049$). Other parameters remained unchanged. No associations were found between the changes in clinical and radiological parameters.

CONCLUSION: Femoral extension osteotomy is an effective method for correcting knee flexion contracture in children with cerebral palsy and does not cause global sagittal alignment disruption. The increase in lumbar lordosis is adaptive in nature and is not associated with signs of decompensation. Initial experience with the newly designed implant demonstrated technical reliability of fixation and promising applicability in patients with reduced bone density.

Keywords: cerebral palsy; knee flexion contracture; femoral extension osteotomy; sagittal balance.

To cite this article

Novikov VA, Umnov VV, Zharkov DS, Umnov DV, Mustafaeva AR. Correction of Knee Flexion Contracture in Children With Cerebral Palsy by Femoral Extension Osteotomy: Evaluation of the Sagittal Profile. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2025;13(3):256–265. DOI: 10.17816/PTORS690021
EDN: YSIHVM

Submitted: 01.09.2025

Accepted: 05.09.2025

Published online: 23.09.2025

原创研究

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS690021>

EDN: YSIHVM

采用股骨伸直截骨术矫正脑瘫儿童膝关节屈曲挛缩： 矢状面参数评估

Vladimir A. Novikov, Valery V. Umnov, Dmitry S. Zharkov, Dmitry V. Umnov, Alina R. Mustafaeva

H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopaedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia

摘要

论证。膝关节屈曲挛缩是脑瘫儿童最常见的畸形之一，显著影响步态、能量消耗、直立能力和生活质量。矫正方法包括软组织手术（腓绳肌延长术）和骨性手术（股骨伸直截骨术）。软组织手术创伤较小且病理生理学合理，但部分研究提示其可能因增加骨盆前倾而影响矢状面平衡。股骨伸直截骨术传统上被认为对矢状面参数中性，但多数既往研究将其作为联合手术的一部分，难以单独评估其作用。因此，有必要研究股骨伸直截骨术对脑瘫儿童整体矢状面参数的影响。

目的。评估矫正性股骨伸直截骨术对脑瘫儿童膝关节屈曲挛缩及脊柱-骨盆矢状面参数的影响。

方法。纳入2022–2025年在H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopaedics接受治疗的14例脑瘫患儿。所有患儿均接受股骨髁上伸直截骨术，并采用带角度稳定性的钢板固定（LCP PHP 90°）。共完成26例截骨术。其中3例使用了专为骨密度降低的脑瘫患儿设计的新型内固定装置。术前及术后6个月，评估临床指标（主动伸直缺损、挛缩程度、腓绳肌角）及影像学参数（pelvic incidence、pelvic tilt、sacral slope、lumbar lordosis、thoracic kyphosis、sagittal vertical axis）。

结果。手术显著矫正了膝关节屈曲挛缩并改善了主动伸直。在影像学指标中，仅lumbar lordosis出现统计学显著变化（ $+4.3 \pm 13.5^\circ$ ， $p=0.049$ ）。其余参数无明显差异。相关性分析未发现临床指标与影像学参数变化之间的相关性。

结论。股骨伸直截骨术是治疗脑瘫儿童膝关节屈曲挛缩的有效方法，不会引起整体矢状面失衡。Lumbar lordosis的增加属于适应性改变，并未导致失代偿。新型内固定装置的首次应用显示出固定的技术可行性，并在低骨密度情况下具有应用前景。

关键词：脑瘫；膝关节屈曲挛缩；股骨伸直截骨术；矢状面平衡。

引用本文

Novikov VA, Umnov VV, Zharkov DS, Umnov DV, Mustafaeva AR. 采用股骨伸直截骨术矫正脑瘫儿童膝关节屈曲挛缩：矢状面参数评估. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2025;13(3):256–265. DOI: 10.17816/PTORS690021 EDN: YSIHVM

收到: 01.09.2025

接受: 05.09.2025

发布日期: 23.09.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Детский церебральный паралич (ДЦП) остается одной из ведущих причин двигательных нарушений у детей, с распространенностью 2–3 на 1000 новорожденных и общей численностью пациентов в мире около 17 млн [1–4]. Несмотря на непрогрессирующий характер первичного поражения центральной нервной системы, у пациентов постепенно формируются вторичные ортопедические осложнения: контрактуры или нестабильность в суставах конечностей, костные деформации и нарушения глобального постурального баланса [3, 4]. Среди наиболее частых проблем у данной категории пациентов — сгибательные контрактуры коленных суставов (СККС), которые увеличивают энергозатраты при ходьбе, ограничивают фазу опоры, затрудняют вертикализацию и приводят к формированию crouch gait [5–7]. Эти контрактуры также ассоциированы с ранними дегенеративными изменениями коленного сустава и компенсаторными перестройками опорно-двигательного аппарата, что может приводить к развитию болевого синдрома [5, 6].

Интерес к проблеме СККС сегодня во многом связан с ее влиянием на сагиттальный баланс. Взаимоотношения таза и позвоночника в положении стоя в сагиттальной плоскости описываются системой параметров: углом наклона таза (pelvic incidence, PI), углом отклонения таза (pelvis tilt, PT), углом наклона крестца (sacral slope, SS), а также углом грудного кифоза (thoracic kyphosis, TK), поясничного лордоза (lumbar lordosis, LL) и показателем отклонения вертикальной сагиттальной оси (sagittal vertical axis, SVA), которые формируют гармоничную и наиболее энергетически выгодную позу [8–11]. При ДЦП укорочение двусуставных мышц задней поверхности бедра влияет одновременно на тазобедренный и коленный суставы, вызывая смещение таза и компенсаторные изменения лордоза и кифоза [8–11]. Даже небольшая СККС может приводить к значимым сдвигам этих параметров [8–10].

Хирургическую коррекцию СККС можно выполнять как мягкоткаными, так и костными методами. Классическим и этиопатогенетически обоснованным подходом считается удлинение сгибателей голени (surgical hamstring lengthening, SHL), поскольку контрактура формируется преимущественно за счет гипертонуса и укорочения мышц задней поверхности бедра. Этот способ десятилетиями является стандартом лечения данной контрактуры, накоплена значительная доказательная база, и именно поэтому в литературе представлено наибольшее число клинических серий и аналитических исследований, посвященных именно данному виду коррекции. Вместе с тем ряд авторов указывает, что после SHL у части пациентов развивается стойкое увеличение переднего наклона таза (anterior pelvic tilt, АРТ) — в среднем от 3–5° и более [12–18]. Этот эффект может зависеть от пола и двигательного уровня ребенка, а при повторных мягкотканых вмешательствах быть еще более выраженным [15, 17, 18].

Однако существуют и публикации, в которых не выявлено достоверных изменений АРТ после подобных операций, что подчеркивает неоднородность клинических реакций и возможное влияние исходного состояния постурального профиля пациента [19–21]. Более того, в систематическом исследовании взрослых пациентов с ДЦП P.M. Cirrincione и соавт. [22] показано, что даже спустя десятилетия после SHL сохраняется достоверное увеличение АРТ по сравнению с пациентами без такого вмешательства.

Костные вмешательства, в частности корригирующую разгибательную остеотомию дистального отдела бедра (distal femoral extension osteotomy, DFEO), чаще выполняют в сочетании с пластикой собственной связки надколенника. Эти операции позволяют эффективно устранить СККС, улучшить разгибание и кинематику походки [23–26]. Биомеханические модели подтверждают, что DFEO устраняет именно костно-геометрический компонент контрактуры и не оказывает влияния на мышечный баланс [27]. Тем не менее отдельные работы указывают на риск увеличения АРТ и компенсаторного гиперлордоза при сочетании DFEO с пластикой собственной связки надколенника [28]. Очевидно, что единых стандартов хирургической тактики коррекции СККС нет, что подтверждено Дельфийским консенсусом R.M. Kay и соавт. [29], где отмечена значительная вариабельность в показаниях и выборе техники операции.

На сегодняшний день ортопедам хорошо известны способы устранения СККС, и сам факт коррекции контрактуры не вызывает вопросов. Главный фокус исследований смещается к другому — каким образом выбранный метод коррекции отражается на функциональных состояниях пациента: параметрах походки, постуральном равновесии, сагиттальном балансе и на качестве жизни. При этом большинство публикаций оценивают преимущественно только кинематику походки, тогда как полноценные радиографические данные по PI, PT, SS, LL, TK и SVA представлены крайне ограниченно [23–27]. Таким образом, в современной литературе сохраняется дискуссия относительно выбора оптимальной тактики устранения СККС. С одной стороны, SHL — патогенетически обоснованное вмешательство, но может вызывать изменения сагиттального профиля. С другой стороны, DFEO признан более радикальным и технически сложным методом, однако данные о его влиянии на глобальный баланс противоречивы, особенно при сочетании с другими процедурами. В этой связи актуальная задача — изучение изолированного эффекта DFEO на сагиттальные параметры, что и определило цель настоящего исследования.

Цель исследования

Оценить влияние корригирующей разгибательной остеотомии бедра на сагиттальные спинопельвические параметры у детей с ДЦП со сгибательной контрактурой коленного сустава за счет сравнительного анализа предоперационных и послеоперационных рентгенологических показателей.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено продольное проспективное одноцентровое исследование серии случаев.

Условия проведения исследования

Исследование выполнено на базе ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Минздрава России (Санкт-Петербург, Россия). Набор участников, хирургическое лечение и сбор клинично-рентгенологических

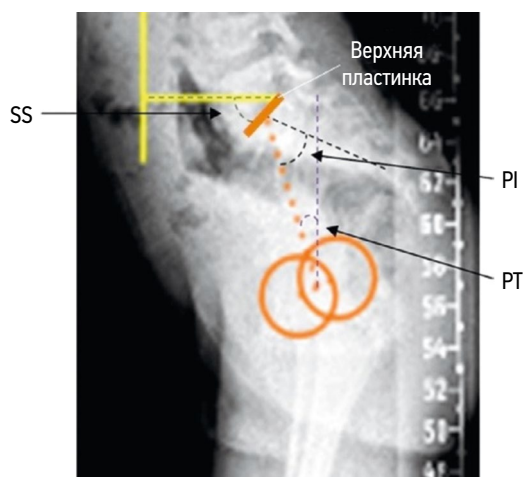


Рис. 1. Схематическое изображение ключевых угловых показателей таза, определяемых по стандартной боковой рентгенограмме. PI, Pelvic incidence — угол между перпендикуляром к верхней замыкательной пластинке S_1 и линией, идущей к центру головки бедренной кости; PT, Pelvic tilt — угол между вертикалью и линией, соединяющей центр верхней пластинки S_1 с центром головки бедра; SS, Sacral slope — угол между горизонталью и верхней замыкательной пластинкой S_1 .

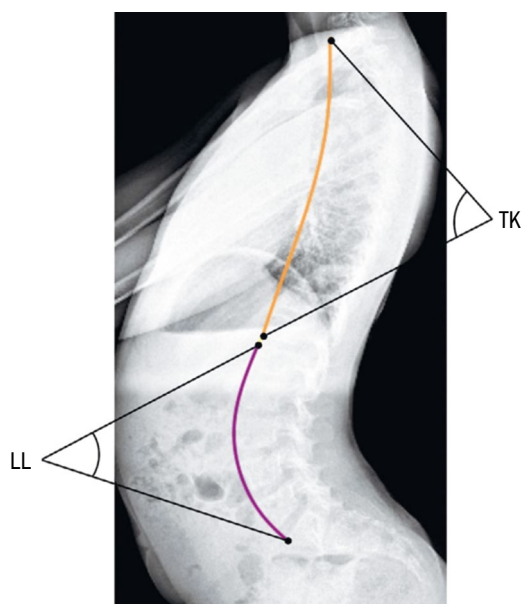


Рис. 2. Схема измерения сагиттальных параметров позвоночника по боковой рентгенограмме. TK, Thoracic kyphosis и LL, Lumbar lordosis определяют по углам между точками, соответствующими границам и вершинам дуг грудного и поясничного отделов позвоночника.

данных проведены в условиях отделения детского церебрального паралича.

Запланированный период исследования — с 2023 по 2025 г. Период включения пациентов соответствовал всему сроку исследования. Проспективное отслеживание целевых показателей для каждого участника составило 6 мес. после хирургического вмешательства, с однократной повторной оценкой в конце данного периода. Смещение запланированных временных точек не зафиксировано.

Критерии соответствия (отбора)

Критерии включения:

- наличие сгибательного положения коленных суставов, определяемого при наблюдательном анализе походки в фазах цикла, не соответствующих физиологической кинематике коленного сустава;
- сгибательная контрактура коленного сустава более 10° ;
- способность самостоятельно стоять или с опорой на вспомогательные средства передвижения (уровни GMFCS II–III);
- возраст от 12 до 18 лет на момент хирургического лечения.

Критерии не включения:

- наличие в анамнезе хирургических вмешательств на нижних конечностях с целью устранения контрактур и деформаций;
- нестабильность тазобедренных суставов, определяемая на переднезадней рентгенограмме тазобедренных суставов;
- наличие врожденных и приобретенных деформаций позвоночника;
- отказ пациента или его законного представителя от участия в исследовании.

Критерии исключения не были запланированы.

Описание критериев соответствия

Возрастной диапазон от 12 до 18 лет был выбран исходя из необходимости включения пациентов, находящихся в периоде, близком к скелетной зрелости, что позволяет минимизировать влияние продолжающегося роста на результаты коррекции деформации и стабильность полученного эффекта. Функциональный уровень по GMFCS определен лечащим врачом-ортопедом на основании стандартных критериев, приведенных в классификации Gross Motor Function Classification System (R. Palisano и соавт., 1997). Величину сгибательной контрактуры коленного сустава измеряли при стандартном клиническом обследовании с использованием универсального гониометра в положении лежа.

Критерии не включения, связанные с сопутствующей ортопедической патологией, оценивали рентгенологически: нестабильность тазобедренных суставов диагностировалась при индексе миграции Reimers $>30\%$, а наличие клинически значимой деформации позвоночника — при величине основной дуги по Cobb $>20^\circ$.

Подбор участников в группы

Подбор участников в группы (matching) в данном исследовании не проводили, так как его дизайн (проспективное исследование серии случаев) не предполагал формирования контрольной или сравнительной группы. Все пациенты были включены в исследование сплошным методом при соответствии критериям отбора, что обеспечивало однородность выборки по ключевым клиническим и демографическим характеристикам.

Описание хирургического вмешательства

Всем пациентам с целью коррекции СККС выполнена корригирующая разгибательная надмыщелковая остеотомия бедренной кости с последующим остеосинтезом пластиной с угловой стабильностью (тип LCP PHP 90°, модифицированная для фиксации дистального отдела бедра). Помимо стандартных пластин LCP PHP 90° в исследовании была апробирована новая металлоконструкция, созданная в ходе российско-белорусского научного проекта. Пластина обладает геометрией, адаптированной к анатомической форме мыщелков дистального отдела бедра, и снабжена стяжным элементом для формирования компрессии в зоне остеотомии [30]. На момент подготовки статьи конструкция была применена у трех пациентов. Всего проведено 26 остеотомий, при этом 12 пациентам выполнена двусторонняя остеотомия и двоим — с одной стороны.

Целевые показатели исследования

Основной показатель исследования — изменение сагиттальных позвоночно-тазовых параметров в положении стоя, оцененное через 6 мес. после разгибательной надмыщелковой остеотомии бедренной кости по сравнению с дооперационными значениями.

Оценка включала следующие показатели: Pelvic tilt (PT), Sacral slope (SS), Pelvic incidence (PI), Lumbar lordosis (LL), Thoracic kyphosis (TK), Sagittal vertical axis (SVA) (рис. 1 и 2). Эти параметры отражают позвоночно-тазовые соотношения, изменение которых позволяет оценить влияние хирургической коррекции СККС на сагиттальный баланс у пациентов с ДЦП.

Дополнительные показатели исследования:

- 1) изменение клинических параметров коленного сустава — величина СККС, дефицит активного разгибания коленного сустава, подколенный угол;
- 2) бедренно-большеберцовый угол и индекс Insall–Salvati.

Методы измерения целевых показателей

Оценку всех целевых показателей проводили дважды: до хирургического вмешательства и через 6 мес. после него. Все измерения выполнены проспективно по единому стандартизированному протоколу.

Оценка основных показателей

Для оценки сагиттальных позвоночно-тазовых параметров (PT, SS, PI, TK, LL, SVA) была выполнена цифровая

панорамная рентгенография скелета. Исследование проводили в положении пациента стоя в боковой проекции с захватом области от седьмого шейного позвонка (C_{VII}) до коленных суставов. Анализ и измерение параметров осуществляли при помощи специализированного программного обеспечения Surgimap v. 2.3.2.1 согласно валидированной методике, описанной J.M. Mac-Thiong и соавт. [31].

Оценка дополнительных показателей

Клинические параметры коленного сустава. Измерения проводили с использованием стандартного универсального гониометра:

- сгибательная контрактура — оценивали в положении пациента лежа на спине при максимальном пассивном разгибании голени;
- дефицит активного разгибания — измеряли в положении пациента стоя при максимальном самостоятельном разгибании коленного сустава;
- подколенный угол — определяли в положении пациента лежа на спине при согнутом под углом 90° тазобедренном суставе и последующем максимальном пассивном разгибании голени.

Рентгенологические параметры коленного сустава. Выполнена рентгенография коленного сустава в боковой проекции в положении лежа при максимальном пассивном разгибании. На основании полученных снимков оценивали: бедренно-большеберцовый угол и индекс Insall–Salvati, рассчитанный согласно оригинальной методике [32].

Анализ чувствительности

Анализ чувствительности в рамках настоящего исследования не проводили.

Статистические процедуры

Запланированный размер выборки

Предварительный расчет размера выборки не проводили, что обусловлено дизайном исследования (серия клинических случаев) и применением метода сплошной выборки для набора пациентов из ограниченной популяции. В исследование включены все участники, последовательно поступившие на лечение в клинику в запланированный период (2023–2025 гг.) и соответствовавшие критериям отбора. Условия досрочной остановки исследования не запланированы.

Статистические методы

Статистический анализ и визуализация данных осуществлены с помощью программы SPSS Statistics v.23.0 (IBM, США). Были использованы методы описательной статистики и корреляционный анализ. Для количественных данных проведена оценка нормальности распределения с помощью критерия Шапиро–Уилка и визуализация Q-Q plots. Для сравнения данных использовали парный

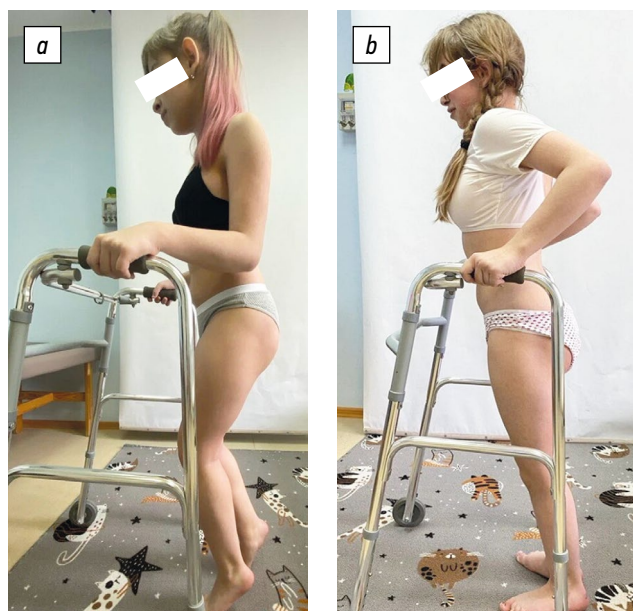


Рис. 3. Общий вид пациента сбоку: *a* — до хирургического лечения; *b* — после хирургического лечения.

критерий Вилкоксона (для связанных выборок), корреляционный анализ с использованием коэффициента корреляции Спирмена. Интерпретация данных корреляционного анализа: $r > 0,7$ — сильная корреляционная связь, $r = 0,7-0,3$ — умеренная корреляционная связь, $r < 0,3$ — слабая корреляционная связь. Статистически значимым считали уровень вероятности ошибки первого рода менее 5% ($p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Хирургическое вмешательство во всех наблюдениях позволило устранить СККС (рис. 3).

До операции средний дефицит активного разгибания (ДАР) в положении стоя составлял $18,5 \pm 7,9^\circ$, после DFEO он снизился до 0° ($p < 0,001$). Положительная динамика отмечена при тесте подколенного угла: показатель увеличился с $107,1 \pm 7,5^\circ$ до $164,2 \pm 4,3^\circ$ ($p < 0,001$). Таким образом, достигнута значимая клиническая коррекция контрактуры и восстановление разгибания коленного сустава (табл. 1).

Таблица 1. Клинико-рентгенологические показатели, характеризующие величину сгибательных контрактур коленных суставов до хирургического лечения и через 6 мес. после хирургического лечения

Параметр	До хирургического лечения ($n=26$)	Через 6 мес. после хирургического лечения ($n=26$)	Разница	p
Сгибательная контрактура коленного сустава, град.	$13,9 \pm 5,9$ (10–25)	0 (–5–5)	–13,9	$< 0,001^*$
Тест подколенного угла, град.	$107,1 \pm 7,5$ (90–120)	$164,2 \pm 4,3$ (160–170)	+57,1	$< 0,001^*$
Дефицит активного разгибания коленного сустава, град.	$18,5 \pm 7,9$ (5–35)	0 (–5–5)	–18,5	$< 0,001^*$
Индекс Insall–Salvati	$1,5 \pm 0,1$ (1,4–1,8)	$1,4 \pm 0,1$ (1,1–1,7)	–0,1	$< 0,001^*$
Бедренно-большеберцовый угол, град.	$163,2 \pm 8,6$ (147–178)	$176,6 \pm 3,2$ (171–180)	+13,4	$< 0,001^*$

Примечание. *Статистически значимый показатель ($p < 0,05$).

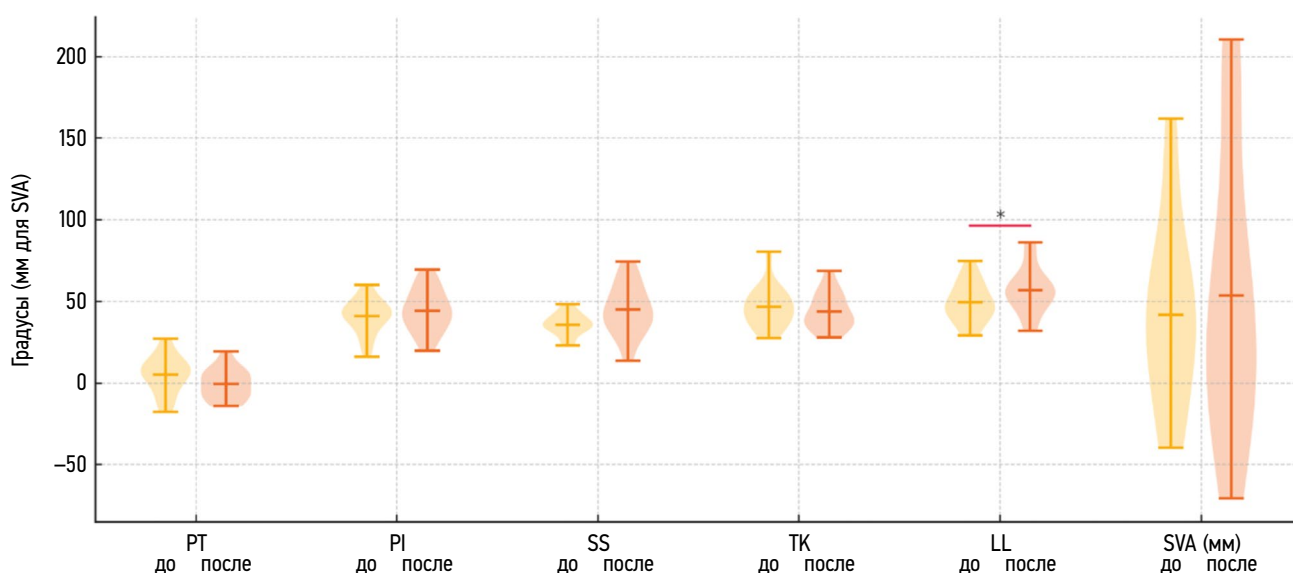


Рис. 4. Скрипичная диаграмма показывает распределение, средние значения (пунктирные линии) и стандартные отклонения сагиттальных параметров позвоночника и таза (PT — pelvis tilt, PI — pelvic incidence, SS — sacral slope, TK — thoracic kyphosis, LL — lumbar lordosis, SVA — sagittal vertical axis) до и через 6 мес. после хирургического лечения. * $p < 0,05$.

Рентгенологические данные подтвердили клинические результаты. Бедренно-большеберцовый угол увеличился с $163,2 \pm 8,6^\circ$ до $176,6 \pm 3,2^\circ$ ($p < 0,001$), что указывает на полное устранение деформации. Индекс Insall–Salvati оставался стабильным ($1,5 \pm 0,1$ до и $1,4 \pm 0,1$ после операции; $p < 0,001$), что свидетельствует об отсутствии патологических изменений в положении надколенника.

При оценке сагиттальных параметров позвоночника и таза выявлено статистически значимое увеличение поясничного лордоза (LL) с $39,2 \pm 6,3^\circ$ до $45,8 \pm 5,9^\circ$ ($p = 0,018$). Остальные показатели глобального сагиттального профиля (PI, PT, SS, TK и SVA) значимых изменений не продемонстрировали ($p > 0,05$, рис. 1).

Для оценки клинической значимости изменений был проведен анализ дельт параметров. Средняя динамика составила: $\Delta PT = -1,6 \pm 9,7^\circ$ ($p = 0,650$), $\Delta PI = +3,9 \pm 11,3^\circ$ ($p = 0,209$), $\Delta SS = +5,7 \pm 14,8^\circ$ ($p = 0,103$), $\Delta TK = -0,9 \pm 12,2^\circ$ ($p = 0,330$), $\Delta LL = +4,3 \pm 13,5^\circ$ ($p = 0,049$), $\Delta SVA = +7,2 \pm 76,9$ мм ($p = 0,802$). Значимые изменения наблюдали только для LL, что подтверждает умеренное увеличение поясничного лордоза после операции (рис. 4).

Результаты корреляционного анализа по Спирмену до операции показали значимые умеренные положительные связи между SS и PI ($p = 0,612$), PI и SVA ($p = 0,538$), SS и LL ($p = 0,661$), а также отрицательные связи между SS и TK ($p = -0,629$) и TK и SVA ($p = -0,788$) ($p < 0,05$). Через 6 мес. после вмешательства сохранялись умеренные положительные корреляции между SS и PI ($p = 0,726$) и между SS и LL ($p = 0,547$) ($p < 0,05$).

Корреляционный анализ дельт клинических показателей (Δ СККС, Δ ДАР, Δ подколенного угла) и дельт сагиттальных параметров не выявил значимых связей (все $p > 0,05$; коэффициенты ρ от $-0,43$ до $0,33$). Например, Δ ДАР коррелировал с ΔPT ($p = -0,28$, $p = 0,335$) и ΔSVA ($p = -0,31$, $p = 0,281$) слабо и недостоверно. Аналогично, Δ СККС и ΔSVA показали слабую отрицательную корреляцию ($p = -0,31$, $p = 0,281$).

Таким образом, DFEO не оказала значимого влияния на структуру корреляционных связей между показателями сагиттального профиля. Полученные данные согласуются с результатами, ранее описанными у пациентов с ДЦП и СККС (рис. 5) [33, 34].

Отдельно следует отметить три клинических случая, в которых остеосинтез был выполнен с использованием новой металлоконструкции. На ближайших этапах послеоперационного наблюдения фиксация оставалась стабильной, смещения отломков и несостоятельности остеосинтеза не отмечено. Пациенты пока не достигли этапа вертикализации, поэтому функциональные исходы не могут быть оценены; накопление клинического опыта позволит дать более полную характеристику результатам.

ОБСУЖДЕНИЕ

В литературе хирургическая коррекция СККС у пациентов с ДЦП традиционно представлена двумя



Рис. 5. Рентгенограммы скелета в боковой проекции: *а* — до хирургического лечения; *б* — после хирургического лечения.

стратегиями: мягкотканые операции (SHL) и костные вмешательства (DFEO). SHL рассматривают как этиопатогенетически обоснованный и менее травматичный метод, однако его влияние на сагиттальный баланс остается спорным. Некоторые авторы показали, что после SHL средний передний наклон таза увеличивается на $3\text{--}5^\circ$ и более, особенно у пациентов с GMFCS III и при повторных вмешательствах [17, 18, 35]. Другие исследователи не выявили значимых изменений [12, 19]. Таким образом, вопрос о влиянии SHL на глобальный сагиттальный профиль остается открытым.

Эти наблюдения согласуются с результатами работы Н. Böhm и соавт. [28], где у трети пациентов после многоуровневых вмешательств, включающих в себя DFEO с укорочением связки надколенника, отмечено клинически значимое увеличение переднего наклона таза ($>5^\circ$), сопровождающееся компенсаторным усилением поясничного лордоза. Авторы выявили, что факторами риска служили повышенный тонус *m. rectus femoris* и ограничение разгибания в тазобедренных суставах до операции. Таким образом, даже при сочетанных костных вмешательствах мягкотканый компонент может приводить к изменению

тазо-позвоночного звена, что подчеркивает важность дифференцированного отбора пациентов.

Результаты настоящего исследования показывают, что изолированные DFEO, выполненные без сопутствующих мягкотканых вмешательств или низведения надколенника, не приводят к значимым изменениям большинства сагиттальных параметров (PT, SS, PI, TK, SVA). Единственным достоверным изменением было умеренное увеличение поясничного лордоза (LL).

Изменение LL следует трактовать как адаптационный феномен. После устранения СККС пациенты начинают стоять на полностью разогнутых ногах, уменьшается потребность в компенсаторном наклоне туловища вперед, что приводит к увеличению поясничного лордоза. При этом LL оставался в пределах физиологической нормы и не сопровождался изменениями PT и SVA, то есть признаков глобальной декомпенсации сагиттального профиля выявлено не было. Хотя в краткосрочной перспективе это не сопровождалось отрицательными эффектами, долгосрочное значение данного изменения требует дальнейшего наблюдения, учитывая, что стойкое увеличение лордоза вне нормы может повышать нагрузку на задние структуры позвоночника.

Отдельная методологическая особенность, которую необходимо учитывать, — это то, что большинство работ оценивает положение таза по кинематическим данным походки (угол наклона таза), без анализа радиографических спино-тазовых параметров (PI, PT, SS, LL, SVA). Это существенно ограничивает возможность сопоставления с данными настоящего исследования. В авторском протоколе рентгенометрическая оценка включала весь спектр показателей, что позволило заключить: изолированные костные разгибательные остеотомии обеспечивают локальную динамику LL без дестабилизации остальных параметров глобального сагиттального баланса.

Данные настоящего исследования расходятся с наблюдениями Н. Park и соавт. [36], сообщивших о значимой тенденции к смещению сагиттального баланса после многоуровневых вмешательств. Различия, вероятно, можно объяснить неоднородностью вмешательств и отсутствием группы с изолированными коррекциями на костном уровне в их выборке. Следует отметить, что в большинстве публикаций DFEO анализировали в сочетании с другими вмешательствами (удлинение сгибателей, пластика собственной связки надколенника, операции на стопе), что затрудняет интерпретацию влияния самой остеотомии на сагиттальный профиль. Так, в исследовании А. Geisbüsч и соавт. [26], наряду с DFEO, у части пациентов выполняли SHL и PTA, что авторы признают ограничением работы. В настоящем исследовании удалось выделить группу пациентов, перенесших изолированные костные коррекции без сопутствующих мягкотканых процедур, что позволяет говорить о «чистом» эффекте разгибательных остеотомий на сагиттальный профиль.

Отдельного упоминания заслуживает новая металлоконструкция, разработанная для остеосинтеза дистального отдела бедра в условиях сниженной костной плотности. Пластина обладает формой, адаптированной к анатомии мышечков, и снабжена стяжным элементом, позволяющим создавать компрессию в зоне остеотомии. В отличие от стандартных конструкций, ее применение потенциально позволяет отказаться от гипсовой иммобилизации. Первичное использование у трех пациентов продемонстрировало техническую состоятельность и стабильность фиксации. Хотя пациенты на момент подготовки статьи еще не достигли вертикализации, авторы видят в данной технологии потенциал для повышения надежности остеосинтеза и ускорения реабилитации.

Таким образом, полученные данные подтверждают: DFEO — эффективный метод устранения СККС у пациентов с ДЦП и сохраняет глобальный сагиттальный баланс, что выгодно отличает его от части мягкотканых методик. Увеличение LL носит адаптационный характер и не сопровождается декомпенсацией. Использование новых металлоконструкций открывает дополнительные перспективы для оптимизации фиксации и снижения частоты послеоперационных осложнений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные, полученные в настоящей работе, свидетельствуют о том, что корригирующая разгибательная остеотомия бедра (DFEO) у пациентов с ДЦП — эффективный метод устранения фиксированной сгибательной контрактуры коленного сустава (СККС). В проведенном исследовании выполнение DFEO не приводило к значимым изменениям глобального сагиттального профиля (PT, SS, PI, TK, SVA), что подтверждает ее относительную «сагиттальную нейтральность». Единственным статистически значимым изменением сагиттального баланса стало умеренное увеличение поясничного лордоза (LL), которое можно рассматривать как адаптационный механизм после восстановления разгибания коленных суставов. Полученные результаты согласуются с рядом литературных данных, но, в отличие от большинства опубликованных исследований, демонстрируют изолированный эффект DFEO, без влияния сопутствующих мягкотканых вмешательств.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. В.А. Новиков — разработка дизайна исследования, написание всех разделов статьи, сбор данных, обзор литературы; В.В. Умнов — этапное и заключительное редактирование текста статьи; Д.С. Жарков — сбор данных, статистический анализ данных, участие в написании раздела статьи «Результаты»; Д.В. Умнов — сбор данных, поиск и обзор литературных данных; А.Р. Мустафаева — сбор данных, обзор литературы, участие в написании статьи. Все авторы одобрили версию для публикации, а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой ее части.

Этическая экспертиза. Протокол обследования и лечения детей одобрен локальным этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Минздрава России (№ 23-3-4 от 10.11.2023). Исследование и его протокол не регистрировали.

Согласие на публикацию. Авторы получили письменное информированное добровольное согласие законных представителей пациентов на публикацию персональных данных, в том числе фотографий (с закрытием лица), в научном журнале, включая его электронную версию. Объем публикуемых данных с законными представителями пациентов согласован.

Источники финансирования. Финансирование научных и научно-технических проектов образовательных и научных организаций, расположенных на территории Санкт-Петербурга, выполняемых совместно с организациями Республики Беларусь на основании заключенного договора от 20.12.2023 № 23-РБ-05-31 по проекту «Разработка устройства для металлоостеосинтеза бедренной кости после корригирующей надмыщелковой остеотомии бедренной кости в условиях снижения костной плотности».

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы были использованы фрагменты собственного текста, опубликованного ранее: Новиков В.А., Умнов В.В., Умнов Д.В., Звозиль А.В., Жарков Д.С., Мустафаева А.Р., Виссарионов С.В. Взаимосвязь фронтальных рентгенологических показателей тазобедренного сустава и сагиттального позвоночно-тазового профиля у пациентов с детским церебральным параличом // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2023. Т. 11. № 2. С. 149–158. doi: 10.17816/PTORS321909

Доступ к данным. Все данные, полученные в настоящем исследовании, доступны в статье.

Генеративный искусственный интеллект. При подготовке рукописи использовали инструмент искусственного интеллекта ChatGPT (GPT-5, OpenAI, <https://chat.openai.com>) со вспомогательной целью — редактирование стиля текста, структурирование разделов «Обоснование» и «Методы». Авторы подтвердили корректность и соответствие всех итоговых материалов, проверив результаты вручную.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали внешний и внутренний рецензенты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- 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.
- Palisano RJ, Rosenbaum P, Bartlett D, Livingston MH. Content validity of the expanded and revised Gross Motor Function Classification System. *Dev Med Child Neurol.* 2008;50(10):744–750. doi: 10.1111/j.1469-8749.2008.03089.x
- Graham HK, Rosenbaum P, Paneth N, et al. Cerebral palsy. *Nat Rev Dis Primers.* 2016;2:15082. doi: 10.1038/nrdp.2015.82
- 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.2019.09.08
- Rodda JM, Graham HK, Carson L, et al. Sagittal gait patterns in spastic diplegia. *J Bone Joint Surg Br.* 2004;86(2):251–258. doi: 10.1302/0301-620X.86B2.14034
- Novacheck TF, Gage JR. Orthopedic management of spasticity in cerebral palsy. *Childs Nerv Syst.* 2007;23(9):1015–1031. doi: 10.1007/s00381-007-0371-1 EDN: WZCTOK
- Yngve DA. Recurvatum of the knee in cerebral palsy: a review. *Cureus.* 2021;13(4):e14408. doi: 10.7759/cureus.14408 EDN: DZJWHO
- Le Huec JC, Saddiki R, Franke J, et al. Equilibrium of the human body and the gravity line: the basics. *Eur Spine J.* 2011;20(Suppl 5):558–563. doi: 10.1007/s00586-011-1939-7 EDN: JPBPD
- Suh SW, Suh DH, Kim JW, et al. Analysis of sagittal spinopelvic parameters in cerebral palsy. *Spine J.* 2013;13(8):882–888. doi: 10.1016/j.spinee.2013.02.011
- Deceuninck J, Bernard JC, Combey A, et al. Sagittal X-ray parameters in walking or ambulating children with cerebral palsy. *Ann Phys Rehabil Med.* 2013;56(2):123–133. doi: 10.1016/j.rehab.2012.11.004
- Suh DH, Hong JY, Suh SW, et al. Analysis of hip dysplasia and spinopelvic alignment in cerebral palsy. *Spine J.* 2014;14(11):2716–2723. doi: 10.1016/j.spinee.2014.03.025
- DeLuca PA, Ounpuu S, Davis RB, Walsh JH. Effect of hamstring and psoas lengthening on pelvic tilt in patients with spastic diplegic cerebral palsy. *J Pediatr Orthop.* 1998;18(6):712–718. doi: 10.1097/01241398-199811000-00003
- Chang WN, Tsirikos AI, Miller F, et al. Distal hamstring lengthening in ambulatory children with cerebral palsy: primary versus revision procedures. *Gait Posture.* 2004;19(3):298–304. doi: 10.1016/S0966-6362(03)00070-5
- Gordon AB, Baird GO, McMullin ML, et al. Gait analysis outcomes of percutaneous medial hamstring tenotomies in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop.* 2008;28(3):324–329. doi: 10.1097/BPO.0b013e31816b11d3
- Rethlefsen SA, Yasmeh S, Wren TAL, Kay RM. Repeat hamstring lengthening for crouch gait in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop.* 2013;33(5):501–504. doi: 10.1097/BPO.0b013e318288b3e7
- Nazareth A, Rethlefsen S, Sousa TC, et al. Percutaneous hamstring lengthening surgery is as effective as open lengthening in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop.* 2019;39(7):366–371. doi: 10.1097/BPO.0000000000000924
- White H, Wallace J, Walker J, et al. Hamstring lengthening in females with cerebral palsy have greater effect than in males. *J Pediatr Orthop B.* 2019;28(4):337–344. doi: 10.1097/BPB.0000000000000633
- Wijesekera MPC, Wilson NC, Trinca D, et al. Pelvic tilt changes after hamstring lengthening in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop.* 2019;39(5):e380–e385. doi: 10.1097/BPO.0000000000001326
- Zwick EB, Saraph V, Zwick G, et al. Medial hamstring lengthening in the presence of hip flexor tightness in spastic diplegia. *Gait Posture.* 2002;16(3):288–296. doi: 10.1016/S0966-6362(02)00022-X
- Mansour T, Derienne J, Daher M, et al. Is percutaneous medial hamstring myofascial lengthening as anatomically effective and safe as the open procedure? *J Child Orthop.* 2017;11(1):15–19. doi: 10.1302/1863-2548-11-160175
- Osborne M, Mueske NM, Rethlefsen SA, et al. Pre-operative hamstring length and velocity do not explain the reduced effectiveness of repeat hamstring lengthening in children with cerebral palsy and crouch gait. *Gait Posture.* 2019;68:323–328. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2018.11.033
- Cirincione PM, Nichols ET, Zucker CP, et al. Pelvic tilt in adults with cerebral palsy and its relationship with prior hamstrings lengthening. *Orthopedics.* 2024;47(5):270–275. doi: 10.3928/01477447-20240619-01
- Stout JL, Gage JR, Schwartz MH, Novacheck TF. Distal femoral extension osteotomy and patellar tendon advancement to treat persistent crouch gait in cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90(11):2470–2484. doi: 10.2106/JBJS.G.00811
- Healy MT, Schwartz MH, Stout JL, et al. Is simultaneous hamstring lengthening necessary when performing distal femoral extension osteotomy and patellar tendon advancement? *Gait Posture.* 2011;33(1):1–5. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.08.014
- Boyer ER, Novacheck TF, Rozumalski A, et al. Long-term outcomes of distal femoral extension osteotomy and patellar tendon advancement in individuals with cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Am.* 2018;100(1):31–41. doi: 10.2106/JBJS.17.00480 EDN: VIRNFV
- Geisbüsch A, Klotz MCM, Putz C, et al. Mid-term results of distal femoral extension and shortening osteotomy in treating flexed knee gait in children with cerebral palsy. *Children (Basel).* 2022;9(10):1427. doi: 10.3390/children9101427 EDN: EKTCYJ
- Lenhart RL, Smith CR, Schwartz MH, et al. The effect of distal femoral extension osteotomy on muscle lengths after surgery. *J Child Orthop.* 2017;11(6):472–478. doi: 10.1302/1863-2548.11.170087

28. Böhm H, Hösl M, Döderlein L. Predictors for anterior pelvic tilt following surgical correction of flexed knee gait including patellar tendon shortening in children with cerebral palsy. *Gait Posture*. 2017;54:8–14. doi: 10.1016/j.gaitpost.2017.02.015
29. Kay RM, McCarthy J, Narayanan U, et al. Finding consensus for hamstring surgery in ambulatory children with cerebral palsy using the Delphi method. *J Child Orthop*. 2022;16(1):55–64. doi: 10.1177/18632521221080474 EDN: KLYGRT
30. Patent RU No. 2810888C1/29.12.2023. Novikov VA, Umnov VV, Mustafaeva AR. Device for osteosynthesis of the femur after corrective supracondylar osteotomy. Available from: <https://patents.google.com/patent/RU2810888C1/ru> (In Russ.)
31. Mac-Thiong JM, Labelle H, Berthodnaud E, et al. Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents. *Eur Spine J*. 2007;16(2):227–234. doi: 10.1007/s00586-005-0013-8 EDN: TPHSDF
32. Verhulst FV, van Sambeek JDP, Olthuis GS, et al. Patellar height measurements: Insall-Salvati ratio is most reliable method. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2020;28(3):869–875. doi: 10.1007/s00167-019-05531-1 EDN: KFNTP
33. Novikov VA, Umnov VV, Umnov DV, et al. The relationship between knee flexion contracture and sagittal spinopelvic profile in patients with cerebral palsy. *Modern Problems of Science and Education*. 2023;(6):90. doi: 10.17513/spno.33056 EDN: FGKVL
34. Novikov VA, Umnov VV, Umnov DV, et al. Correlation between frontal x-ray parameters of the hip joint and sagittal vertebral-pelvic profile in patients with cerebral palsy. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2023;11(2):149–158. doi: 10.17816/PTORS321909 EDN: GNFBYL
35. Hanson AM, Wren TAL, Rethlefsen SA, et al. Persistent increase in anterior pelvic tilt after hamstring lengthening in children with cerebral palsy. *Gait Posture*. 2023;103:184–189. doi: 10.1016/j.gaitpost.2023.05.016 EDN: RDAFJK
36. Park H, Park BK, Park KB, et al. Distal femoral shortening osteotomy for severe knee flexion contracture and crouch gait in cerebral palsy. *J Clin Med*. 2019;8(9):1354. doi: 10.3390/jcm8091354

ОБ АВТОРАХ

*** Новиков Владимир Александрович**, канд. мед. наук;
адрес: Россия, 196603, Санкт-Петербург,
г. Пушкин, ул. Парковая, д. 64–68;
ORCID: 0000-0002-3754-4090;
eLibrary SPIN: 2773-1027;
e-mail: novikov.turner@gmail.com

Умнов Валерий Владимирович, д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0002-5721-8575;
eLibrary SPIN: 6824-5853;
e-mail: umnovvv@gmail.com

Дмитрий Сергеевич Жарков;
ORCID: 0000-0002-8027-1593;
eLibrary SPIN: 5908-7774;
e-mail: striker5621@gmail.com

Умнов Дмитрий Валерьевич, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0003-4293-1607;
eLibrary SPIN: 1376-7998;
e-mail: dmitry.umnov@gmail.com

Мустафаева Алина Романовна;
ORCID: 0009-0003-4108-7317;
eLibrary SPIN: 1099-7340;
e-mail: alina.mys23@yandex.ru

AUTHORS INFO

*** Vladimir A. Novikov**, MD, Cand. Sci. (Medicine);
address: 64–68 Parkovaya st, Pushkin,
Saint Petersburg, 196603, Russia;
ORCID: 0000-0002-3754-4090;
eLibrary SPIN: 2773-1027;
e-mail: novikov.turner@gmail.com

Valery V. Umnov, MD, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-5721-8575;
eLibrary SPIN: 6824-5853;
e-mail: umnovvv@gmail.com

Dmitry S. Zharkov, MD;
ORCID: 0000-0002-8027-1593;
eLibrary SPIN: 5908-7774;
e-mail: striker5621@gmail.com

Dmitry V. Umnov, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0003-4293-1607;
eLibrary SPIN: 1376-7998;
e-mail: dmitry.umnov@gmail.com

Alina R. Mustafaeva, MD;
ORCID: 0009-0003-4108-7317;
eLibrary SPIN: 1099-7340;
e-mail: alina.mys23@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author