

Научная статья

УДК 616.717.41/.43-001.5-089.227.84-089.223-089.168-053.2:001.53

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-4-407-414>

Сравнительный анализ различных модификаций остеосинтеза интрамедуллярными эластичными стержнями при лечении детей с внесуставными переломами проксимального отдела плечевой кости

Д.И. Шабанов^{1,2}, **А.А. Коробейников^{1,2}**¹ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия² Курганская областная детская клиническая больница имени Красного Креста, Курган, Россия**Автор, ответственный за переписку:** Дмитрий Игоревич Шабанов, mitya.schabanov@yandex.ru**Аннотация**

Введение. Актуальность исследований методов и результатов лечения детей с переломами проксимального отдела плечевой кости обусловлена распространенностью переломов данной локализации и отсутствием единого подхода к реабилитации данных пациентов, что создаёт необходимость определения тактики лечения, учитывающей особенности детского организма и специфику различных типов переломов.

Цель работы — сравнить результаты применения двухстержневой и одностержневой модификаций интрамедуллярного остеосинтеза эластичными стержнями при лечении детей с внесуставными переломами проксимального отдела плечевой кости.

Материалы и методы. Пациенты с переломами проксимального отдела плечевой кости разделены на две группы: в основную группу ($n = 39$) включены пациенты, получавшие хирургическое лечение с использованием одного эластичного стержня, в контрольную группу ($n = 32$), — с использованием двухстержневой модификации остеосинтеза эластичными стержнями. Эффективность лечения анализировали в стационарных и амбулаторных условиях с использованием клинических, рентгенологических и социологических методов оценки.

Результаты. Послеоперационные показатели (длительность болевого синдрома, срок госпитализации, возвращение к школе, срок консолидации) сопоставимы в обеих группах, что говорит о равнозначной эффективности методов лечения. Статистически значимые различия наблюдали только в параметрах времени операции ($p < 0,05$), что напрямую связано с особенностями техники выполнения операции в каждой группе. Предложенная одностержневая методика позволяет сократить время операции, не оказывая при этом негативного влияния на ключевые показатели анатомического и функционального восстановления пациентов. Удовлетворенность результатами лечения была высокой и сопоставимой в группах.

Обсуждение. В отличие от общепринятой двухстержневой конфигурации интрамедуллярного остеосинтеза применение одностержневой модификации позволяет значительно сократить время операции, снижая риски, связанные в т.ч. с анестезией, и незначительно сократить длительность болевого синдрома. Исследование имело ограничение по срокам наблюдения пациентов после операции (не более 12 мес. после травмы и 1 мес. после удаления импланта), не учитывало тип перелома (разделение на метафизарные и эпифизарные переломы) и имело ограниченную выборку пациентов.

Заключение. Метод остеосинтеза с использованием одного эластичного стержня обеспечивает сопоставимые с двухстержневой методикой интрамедуллярного остеосинтеза функциональные результаты восстановления поврежденного сегмента и общую активность ребенка, консолидация перелома наступает с корректным положением отломков в обычные сроки.

Ключевые слова: перелом проксимального отдела плечевой кости, дети, остеосинтез, интрамедуллярный остеосинтез

Для цитирования: Шабанов Д.И., Коробейников А.А. Сравнительный анализ различных модификаций остеосинтеза интрамедуллярными эластичными стержнями при лечении детей с внесуставными переломами проксимального отдела плечевой кости. *Гений ортопедии*. 2025;31(4):407-414. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-4-407-414.



Comparative analysis of different modifications of elastic nail osteosynthesis in the treatment of children with extra-articular proximal humeral fractures

D.I. Shabanov^{1,2✉}, A.A. Korobeynikov^{1,2}

¹ Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

² Kurgan Regional Children's Clinical Hospital named after the Red Cross, Kurgan, Russian Federation

Corresponding author: Dmitry I. Shabanov, mitya.schabanov@yandex.ru

Abstract

Introduction The relevance of studying the treatment of proximal humeral fractures in children stems from the high incidence of fractures in this anatomical region and the absence of a standardized treatment approach. This highlights the need for further research to develop treatment protocols that account for the unique characteristics of the pediatric body and the specific features of these fracture types.

Objective of the study was to analyze and compare the outcomes of treating children with extra-articular proximal humeral fractures using double-nail versus single-nail modifications of intramedullary osteosynthesis with elastic nails.

Materials and Methods Patients were divided into two groups. The study group ($n = 39$) patients underwent surgical treatment with a single elastic rod while patients in the control group ($n = 32$) received treatment using a double-nail modification of osteosynthesis. Treatment efficacy was analyzed in both inpatient and outpatient settings with clinical, radiological, and sociological assessment methods.

Results Postoperative parameters (duration of pain syndrome, hospitalization period, return to school, and fracture consolidation time) were comparable in both groups, indicating similar efficacy of the treatment methods in these studied parameters. Statistically significant differences were observed only in operative time, directly linked to the specific surgical techniques employed in each group. The proposed method in the main study group allowed for faster surgery and did not significantly affect other key parameters of anatomical and functional recovery. Patients in both groups were satisfied with the treatment outcomes.

Discussion Unlike the conventional two-nail configuration, the single-rod approach significantly reduces operative time, thereby lowering the risks associated with anesthesia, and slightly reduces the duration of pain syndrome. The study had limitations, including a short follow-up period (no more than 12 months post-injury and 1 month post-implant removal) and a lack of differentiation between fracture configurations (metaphyseal vs. epiphyseal fractures).

Conclusion The single elastic nail osteosynthesis method provides functional recovery of the injured segment and restoration of the child's overall activity comparable to the double-nail technique. Fracture consolidation occurs with correct fragment alignment within standard timeframes.

Keywords: proximal humeral fracture, children, osteosynthesis, intramedullary osteosynthesis

For citation: Shabanov DI, Korobeynikov AA. Comparative analysis of different modifications of elastic nail osteosynthesis in the treatment of children with extra-articular proximal humeral fractures. *Genij Ortopedii*. 2025;31(4):407-414. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-4-407-414.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы лечения детей с переломами проксимального отдела плечевой кости связана не только с высокой распространенностью травмы данной локализации, на которую приходится 14 % травм верхней конечности и 1,45–2 % всей скелетной травмы [1, 2], но и длительному нарушению функции верхней конечности после проведенного лечения, в особенности у детей старшего возраста [3].

Увеличение частоты травм опорно-двигательного аппарата, включая множественные и сочетанные повреждения, а также растущие требования со стороны пациентов к качеству жизни обуславливают необходимость внедрения современных малоинвазивных хирургических методов при лечении детей с переломами проксимального отдела плечевой кости. Малоинвазивные технологии позволяют обеспечить раннюю реабилитацию и максимально восстановить функциональные возможности верхней конечности [4].

Лечение детей с переломами проксимального отдела плечевой кости сопряжено с рядом сложностей, связанных с анатомо-биомеханическими характеристиками этого сегмента. Основные факторы, затрудняющие лечение: малый размер проксимального отломка, что усложняет его стабилизацию и фиксацию; высокая подвижность костных фрагментов из-за мышечного воздействия и биомеханической нагрузки на плечевой сустав; локализация перелома в области эпифизарных пластинок, повышающая риск нарушений дальнейшего развития кости [5]. Данные особенности требуют применения специализированных методик для минимизации осложнений и восстановления функциональной активности конечности.

Среди хирургических методов лечения переломов плечевой кости наиболее предпочтительными являются малоинвазивные технологии, минимизирующие риск осложнений. Одним из таких методов является FIN (*англ.*: Flexible Intramedullary Nailing), который обеспечивает стабильную фиксацию отломков за счет гибких внутрикостных стержней, позволяет сократить сроки реабилитации, обеспечить раннюю активизацию пациентов и возвращение к повседневной активности [6–8].

Цель работы — сравнить результаты применения двухстержневой и одностержневой модификаций интрамедуллярного остеосинтеза эластичными стержнями при лечении детей с внесуставными переломами проксимального отдела плечевой кости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен анализ хирургического лечения детей ($n = 71$) с переломами проксимального отдела плечевой кости, получивших хирургическое лечение на базе ОДКБ им. Красного креста (Курган) с 2016 по 2023 гг. В контрольную группу включены пациенты ($n = 32$), оперированные с использованием технологии двухстержневой конфигурации, истории болезни анализировали ретроспективно. В основную группу включены пациенты проспективного исследования ($n = 39$), оперированные с использованием технологии одностержневого интрамедуллярного остеосинтеза.

Критерии не включения для обеих групп: пациенты с тяжелой черепно-мозговой травмой (ЧМТ), ангионеврологические осложнения перелома, патологические переломы плечевой кости, отказ пациента / законного представителя пациента принимать участие в исследовании.

Настоящее исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с учетом поправок 2000 г.

У всех пациентов анализировали данные по следующим параметрам: возраст, пол, локализация травмы, механизм повреждения, тип перелома в соответствии с классификацией АО PCCF (*англ.*: Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures) [9], наличие сопутствующих травм, состояние периферических нервов и сосудов, послеоперационные осложнения, сроки госпитализации и сроки удаления имплантата. Продолжительность болевых ощущений оценивали по потребности в анальгетиках. Расположение костных фрагментов, фиксирующих устройств и стадии сращения перелома, анализировали с помощью исследования рентгенограмм в стандартных проекциях.

Осмотр пациентов на амбулаторном этапе производили не реже одного раза в месяц. Для оценки функционального восстановления и удовлетворенности пациентов полученным лечением использовали опросник QuickDASH [10], данный опросник валидирован для детей в возрасте от 8 до 18 лет и является сокращённой версией оригинальной анкеты «Нарушения функций руки, плеча и кисти» (DASH).

Средний возраст пациентов на момент получения травмы составил ($11,28 \pm 2,78$) лет (от 7 до 15) в основной группе и ($11,15 \pm 2,45$) лет (от 6 до 16) в контрольной группе. Давность травмы на момент хирургического пособия — от 16 час. до 7 сут. в основной группе и от 14 час. до 11 сут. в контрольной группе. В представленных группах не было достоверного различия по возрасту и половому распределению.

Наиболее частым механизмом травмы было падение с высоты собственного роста в бытовых условиях, зарегистрированное в 22 (69 %) случаях контрольной группы и 26 (67 %) случаях основной группы. Прочие механизмы включали падение с велосипеда или самоката (четыре пациента в обеих группах), травмы во время занятий спортом, включая единоборства, (три случая в обеих группах), высокоэнергетические повреждения (три пациента в контрольной группе и шесть пациентов в основной группе).

У трех детей контрольной группы и пяти детей основной группы перелом плечевой кости сопровождался закрытой ЧМТ по типу сотрясения головного мозга. В одном случае у семилетнего пациента контрольной группы, получившего травму в результате дорожно-транспортного происшествия, диагностировали сочетание перелома плечевой кости, ЧМТ и перелома бедра.

Во всех наблюдаемых случаях в обеих группах переломы были закрытыми. Распределение переломов по классификации АО PCCF представлено в таблице 1.

Таблица 1

Распределение пациентов по типам переломов по классификации АО PCCF

Тип перелома	Контрольная группа (n = 32)		Основная группа (n = 39)	
	абс.	%	абс.	%
11E/1.1	9	28,1	9	23,1
11E/2.1	12	37,5	12	30,8
11M/3.1	11	34,4	18	46,2

Статистический анализ данных исследования выполняли с использованием программного обеспечения Statistica 12.0 (StatSoft Inc.) на персональном компьютере. Результаты представлены в формате среднего арифметического (M) и стандартной ошибки среднего ($\pm m$) для количественных показателей. Для сравнения средних значений между группами применяли t-критерий Стьюдента, эффективный при работе с выборками, соответствующими нормальному распределению. Для проверки соответствия распределения качественных признаков ожидаемому при нулевой гипотезе использовали критерий Пирсона (χ^2). Статистически значимыми считали различия $p \leq 0,05$.

Хирургическая техника

В случае применения одностержневой конфигурации интрамедуллярного остеосинтеза операцию проводят под общим наркозом. Пациента укладывают на операционный стол в положение на спине с возможностью придания «позы приветствия», — отведение плечевого сустава до прямого угла со сгибанием локтевого сустава 90°.

Входное отверстие в дистальной части латеральной колонны формируют с помощью костного шила на 10–20 мм проксимальнее латерального надмыщелка с предварительным кожным разрезом. В костномозговой канал вводят титановый стержень с предварительно изогнутым концом, используя Т-образную рукоятку. Репозиция достигается за счет аккуратной тракции и, как правило, требует отведения и внутренней ротации для устранения смещения. Важно помнить, что центр вращения плечевой кости при переломах проксимального отдела, капсулопериостальный лоскут, располагается заднедиагностически. Качество репозиции проверяют с помощью рентгеноскопии в переднезадней, боковой проекциях и проекции по С. Neer [11].

Если репозиция удовлетворительная, стержень вбивают в проксимальный эпифиз. В случаях неудовлетворительной репозиции из-за интерпоната мягких тканей в зоне перелома рекомендуется усиление деформации в обеих плоскостях, продвижение стержня до достижения зоны перелома и его вращение в области перелома с одновременной тракцией для освобождения зажатых тканей. Затем предварительно изогнутым стержнем фиксируют проксимальный фрагмент и поворачивают для устранения остаточного смещения. После достижения удовлетворительной репозиции стержень импактируют в субхондральную кость через зону роста, чтобы обеспечить максимальную стабильность фиксации и предотвратить миграцию стержня. Стабильность фиксации перелома проверяют под рентгеноскопическим контролем, осуществляя ротацию плечевой кости.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Группы сопоставимы по всем предоперационным характеристикам. При операциях в обеих группах для оптимизации репозиции стержень предварительно изгибали на 10°. Диаметр стержня подбирали на основании предоперационной рентгенографии с учетом соотношения диаметра стержня к диаметру костномозгового канала в его наиболее узкой части. Для двухстержневой конфигурации данный коэффициент составил 0,3, для одностержневой конфигурации — 0,4 (с целью повышения стабильности фиксации). Диаметр стержней составил от 2,0 до 3,5 мм. В контрольной группе в восьми случаях

использовали титановый стержень 2,0 мм, в 17 случаях — 2,5 мм, в семи случаях — 3,0 мм. Для пациентов основной группы применяли стержни 2,0 мм в четырех случаях, 2,5 мм в девяти случаях, 3,0 мм в 21 случае, 3,5 мм в пяти случаях (табл. 2).

Таблица 2

Распределение пациентов по диаметрам используемых стержней

Диаметр стержня, мм	Контрольная группа (<i>n</i> = 32)		Основная группа (<i>n</i> = 39)	
	абс.	%	абс.	%
2,0	8	25,0	4	10,3
2,5	17	53,1	9	23,1
3,0	7	21,9	21	53,8
3,5	0	0	5	12,8

В раннем послеоперационном периоде все пациенты использовали косыночный бандаж до купирования болевого синдрома, срок не превышал семи суток. В период иммобилизации проводили занятия пассивной ЛФК, после окончания иммобилизации переходили к активной ЛФК. Средняя продолжительность госпитализации составила ($5,8 \pm 2,6$) суток в контрольной группе и ($5,3 \pm 2,1$) суток в основной группе ($p > 0,05$). Это было обусловлено длительностью болевого синдрома и желанием пациента находиться в стационарных условиях.

Время оперативного пособия статистически значимо отличалось в группах (табл. 3). Сокращение времени операции связано не только с меньшим количеством имплантатов и, следовательно, вдвое меньшим временем, необходимым для их постановки, но и техническим упрощением процедуры установки и удаления за счет отсутствия перекреста стержней.

Таблица 3

Время хирургического пособия

Процедуры	Время, мин		<i>P</i> -критерий
	Основная группа	Контрольная группа	
Установка импланта	$31,0 \pm 9,4$ (18–65)	$41,0 \pm 11,4$ (24–70)	$< 0,05$
Удаление импланта	$18,0 \pm 7,8$ (14–35)	$25,0 \pm 9,2$ (19–38)	$< 0,05$
Общее время	$51,0 \pm 17,2$ (32–100)	$64,0 \pm 20,6$ (43–108)	$< 0,05$

Продолжительность болевого синдрома (оценка потребности в анальгетических препаратах и по шкале ВАШ) составила ($3,7 \pm 2,0$) сут. для основной группы и ($3,8 \pm 2,1$) сут. для контрольной. Дети обеих групп возобновили занятие в образовательных или дошкольных учреждениях в срок от шести до 15 дней.

На амбулаторном этапе детей осматривали с периодичностью 4–5 недель. На каждом приеме проводили клиническую оценку консолидации, включая пальпацию области перелома для исключения патологической подвижности и болевых ощущений при осевой нагрузке, а также оценку восстановления функции конечности. Функциональная оценка включала определение объема активных и пассивных движений в суставах верхней конечности, оценку мышечного тонуса и трофики. Особое внимание уделяли оценке отведения и ротации в плечевом суставе. Кроме того, проводили рентгенологическую оценку степени консолидации: исчезновение межотломковой щели, формирование костной мозоли однородной плотности, пересекающей линию перелома, полное восстановление кортикального слоя кости.

Клинические признаки сращения перелома отмечены у всех пациентов обеих групп в период от одного до двух месяцев. Решение об удалении имплантов принимали на основании комплексной клинико-рентгенологической оценки. В основной группе срок до удаления металлоконструкции составил ($5,8 \pm 1,2$) мес., в контрольной группе — ($5,9 \pm 1,4$) мес.

Оценку результатов оперативного лечения проводили с использованием шкалы J.M. Flynn [12]. Критерии оценки результатов включали несколько ключевых параметров, позволяющих оценить как клинические, так и функциональные результаты лечения. Согласно шкале отличные результаты получены в 37 (95 %) случаях в основной группе и в 31 (97 %) случае в контрольной группе, удовлетворительные результаты получены в двух (5 %) и одном (3 %) наблюдениях соответственно. Во всех случаях в обеих группах удовлетворительный результат связан с остаточной угловой деформацией менее 10° . Неудовлетворительных результатов среди исследуемых больных не зарегистрировано.

В связи с валидацией опросника QuickDASH для детей в возрасте от восьми лет, при прохождении опроса из основной группы исключен один ребенок, из контрольной группы — три ребенка в возрасте младше восьми лет. Через семь дней после операции у пациентов основной группы получен результат

($20,16 \pm 1,98$) баллов, контрольной группы — ($20,74 \pm 2,21$) баллов; после удаления стержня в основной группе — ($0,81 \pm 0,28$) балла, в группе контроля — ($0,74 \pm 0,32$) балла. Полученные после удаления стержней значения свидетельствуют о минимальных функциональных ограничениях, что соответствует отличным результатам лечения по шкале QuickDASH.

В контрольной группе зафиксировано четыре случая локального раздражения кожи в зоне введения стержней, осложнённого бурситом, и пять таких случаев выявлены в основной группе. Данное состояние не потребовало досрочного удаления имплантата, было успешно купировано после планового извлечения фиксатора в предусмотренные сроки и не повлияло на результат лечения.

Клинический пример

Пациент 12 лет поступил в приемный покой ОДКБ им. Красного креста 17.03.2022 с переломом плечевой кости 11E/2.1. Анамнез травмы: упал с лестницы в школе в день обращения. Выполнено хирургическое лечение по технологии одностержневой модификации интрамедуллярного остеосинтеза (рис. 1).



Рис. 1. Рентгенограммы пациента: а — при поступлении; б — через 1 мес. после операции; в — через 12 мес. после операции

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время большую часть пострадавших детского возраста с переломами проксимального отдела плечевой кости лечат консервативно. Высокий потенциал ремоделирования данного сегмента допускает значительное остаточное смещение [13]. Консервативное лечение, несмотря на свою популярность и эффективность, в большинстве случаев, особенно при сложных переломах или при переломах у детей старшего возраста, имеет ряд ограничений и рисков: вторичное смещение, длительная иммобилизация, сложность в соблюдении ограничительного режима [14, 15]. Высокий уровень запроса на качество жизни, необходимость быстрой социальной реинтеграции, желание избежать иммобилизации увеличивают количество сторонников хирургического метода лечения [16, 17].

Переломы проксимального отдела плечевой кости нередко отличаются нестабильностью, что делает выбор метода фиксации критически важным и во многом определяется квалификацией хирурга. Для фиксации переломов проксимального отдела плечевой кости у детей, требующих оперативного лечения, применяют различные методы, включая использование винтов, пластин, внешних фиксаторов, чрескожную фиксацию спицами или эластичный интрамедуллярный остеосинтез [18–20]. Наибольшее распространение получили чрескожная фиксация спицами Киршнера и интрамедуллярный остеосинтез, демонстрирующие схожую эффективность и удовлетворительные клинические исходы. Спицы Киршнера устанавливают перкутанно, они требуют послеоперационной иммобилизации конечности. Выступающие концы спиц способны вызывать раздражение мышц и мягких тканей, а также подвержены риску миграции [21]. При переломах со смещением интрамедуллярный стержневой остеосинтез является методом выбора по причине отличных функциональных исходов, низкой частоты осложнений и возможности ранней мобилизации [22], но и он не лишен недостатков. Интрамедуллярные методы, как правило, отличаются большей длительностью хирургического вмешательства, сопряжены с повышенной интраоперационной кровопотерей и необходимостью последующего удаления фиксирующих элементов [23, 24].

С целью минимизации длительности хирургического пособия предложена одностержневая модификация интрамедуллярного стержневого остеосинтеза. Первое упоминание данной методики принадлежит Y. Chee et al. [25], подтвердившим её эффективность на 11 клинических случаях. E. Samara et al. при оценке эффективности одного ретроградного эластичного стержня у 19 пациентов отметил стабильную фиксацию и отсутствие серьезных осложнений [26]. Техника рекомендована, в том числе и для детей старше 11 лет с низким потенциалом ремоделирования. Наши данные, полученные на расширенной выборке, согласуются с этими выводами.

Во всех случаях нашего исследования репозицию выполняли закрытым путем, что расходится с данными литературы, где описаны случаи интерпозиции мягких тканей и нерепонируемых переломов [27]. Препятствием к выполнению закрытой репозиции может быть интерпозиция надкостницы, дельтовидной мышцы или сухожилия длинной головки бицепса [28].

Применение второго стержня, по нашему мнению, не является обязательным, хотя и обеспечивает более равномерное распределение биомеханических нагрузок за счёт расходящегося воздействия на зоны растяжения и компрессии. Один стержень, создавая направленное компрессионное усилие вдоль вогнутости дуги, выполняет функцию внутренней шины, фиксируя фрагменты до консолидации перелома, а остаточный потенциал ремоделирования проксимального отдела плечевой кости может скорректировать допустимые рентгенологические деформации [29]. Отказ от использования второго стержня для предотвращения ротации проксимального сегмента обоснован потенциалом ремоделирования и адаптивными возможностями плечевого сустава, многоплоскостная подвижность которого нивелирует риски биомеханических нарушений [30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведённого исследования свидетельствуют о клинической эффективности методики хирургического лечения детей с проксимальными переломами плечевой кости посредством ретроградного интрамедуллярного остеосинтеза в одностержневой конфигурации. У всех пациентов достигнуто рентгенологическое сращение с восстановлением полного безболезненного объема движений после удаления имплантата.

Методика одностержневого интрамедуллярного остеосинтеза обеспечивает сопоставимое с двухстержневой методикой функциональное восстановление поврежденного сегмента и общей активности ребенка, консолидация перелома наступает в обычные сроки. Использование одного стержня сокращает время операции, снижает затраты, упрощает установку и удаление имплантата по сравнению с двухстержневой техникой. Отсутствует необходимость в длительной иммобилизации. Отмечена высокая удовлетворённость результатами лечения среди детей и их родителей.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Не заявлен.

Этические нормы. Исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с учетом поправок 2000 г.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Наттуветти Р.Р. Лечение переломов плечевой кости и их последствий на основе биомеханической концепции фиксации отломков. В кн: Наттуветти Р.Р., Чернышов А.А. *Диагностика и лечение политравм*. М.; 1999:169-170.
2. Shore BJ, Hedequist DJ, Miller PE, et al. Surgical management for displaced pediatric proximal humeral fractures: a cost analysis. *J Child Orthop*. 2015;9(1):55-64. doi: 10.1007/s11832-015-0643-2.
3. Ломтатидзе Е.Ш., Ломтатидзе В.Е., Поцелуйко С.В., Торопов Е.А. Анализ функциональных результатов внутреннего остеосинтеза при переломах проксимального отдела плечевой кости. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2003;10(3):62-66. doi: 10.17816/vto200310362-66.
4. Гаврилов И.И., Брысук Г.П., Гайдук М.В. и др. Остеосинтез переломов проксимального отдела плечевой кости пластинами с угловой стабильностью. *Травма*. 2011;12(3):30-33.
5. Bahrs C, Zipplies S, Ochs BG, et al, Weise K. Proximal humeral fractures in children and adolescents. *J Pediatr Orthop*. 2009;29(3):238-242. doi: 10.1097/BPO.0b013e31819bd9a7.
6. Lascombes P, Nespola A, Poiricuitte JM, et al. Early complications with flexible intramedullary nailing in childhood fracture: 100 cases managed with precurved tip and shaft nails. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2012;98(4):369-375. doi: 10.1016/j.otsr.2011.11.011.
7. Flynn JM, Hresko T, Reynolds RA, et al. Titanium elastic nails for pediatric femur fractures: a multicenter study of early results with analysis of complications. *J Pediatr Orthop*. 2001;21(1):4-8. doi: 10.1097/00004694-200101000-00003.
8. Andreacchio A., Alberghina F., Canavese F. Применение эластичных стабильных интрамедуллярных стержней для лечения переломов длинных костей у пациентов с незрелым скелетом. *Гений ортопедии*. 2021;27(4):406-412. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-4-406-412.
9. Joeris A, Lutz N, Blumenthal A, et al. The AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures (PCCF). *Acta Orthop*. 2017;88(2):129-132. doi: 10.1080/17453674.2016.1258533.
10. Kennedy CA, Beaton DE, Smith P, et al. Measurement properties of the QuickDASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) outcome measure and cross-cultural adaptations of the QuickDASH: a systematic review. *Qual Life Res*. 2013;22(9):2509-2547. doi: 10.1007/s11136-013-0362-4.

11. Neer CS 2nd, Horwitz BS. Fractures of the proximal humeral epiphysial plate. *Clin Orthop Relat Res*. 1965;41:24-31.
12. Flynn JM, Hresko T, Reynolds RA, et al. Titanium elastic nails for pediatric femur fractures: a multicenter study of early results with analysis of complications. *J Pediatr Orthop*. 2001;21(1):4-8. doi: 10.1097/00004694-200101000-00003.
13. de Cort BA, Ten Duis K, Govaert GAM, Ijma FFA. Proximal humeral fractures in children: large remodeling capacity, conservative treatment. *Ned Tijdschr Geneesk*. 2021;165:D5420. (In Dutch).
14. Bishop JY, Flatow EL. Pediatric shoulder trauma. *Clin Orthop Relat Res*. 2005;(432):41-48. doi: 10.1097/01.blo.0000156005.01503.43.
15. Dameron TB Jr, Reibel DB. Fractures involving the proximal humeral epiphyseal plate. *J Bone Joint Surg Am*. 1969;51(2):289-297.
16. Cruz AI Jr, Kleiner JE, Gil JA, et al. Inpatient surgical treatment of paediatric proximal humerus fractures between 2000 and 2012. *J Child Orthop*. 2018;12(2):111-116. doi: 10.1302/1863-2548.12.170220.
17. Chaus GW, Carry PM, Pishkenari AK, Hadley-Miller N. Operative versus nonoperative treatment of displaced proximal humeral physeal fractures: a matched cohort. *J Pediatr Orthop*. 2015;35(3):234-239. doi: 10.1097/BPO.0000000000000265.
18. Fernandez FF, Eberhardt O, Langendörfer M, Wirth T. Treatment of severely displaced proximal humeral fractures in children with retrograde elastic stable intramedullary nailing. *Injury*. 2008;39(12):1453-1459. doi: 10.1016/j.injury.2008.04.001.
19. Rowles DJ, McGrory JE. Percutaneous pinning of the proximal part of the humerus. An anatomic study. *J Bone Joint Surg Am*. 2001;83(11):1695-1699. doi: 10.2106/00004623-200111000-00012.
20. Wang Y, Wang Q, Yao W, et al. Kirschner wire versus external fixation in the treatment of proximal humeral fractures in older children and adolescents: a comparative study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2023;24(1):899. doi: 10.1186/s12891-023-07037-x.
21. Swarup I, Hughes MS, Bram JT, et al. Percutaneous Pinning of Pediatric Proximal Humeral Fractures. *JBJS Essent Surg Tech*. 2019;9(4):e33.1-6. doi: 10.2106/JBJS.ST.19.00002.
22. Hohloch L, Eberbach H, Wagner FC, et al. Age- and severity-adjusted treatment of proximal humerus fractures in children and adolescents-A systematical review and meta-analysis. *PLoS One*. 2017;12(8):e0183157. doi: 10.1371/journal.pone.0183157.
23. Hutchinson PH, Bae DS, Waters PM. Intramedullary nailing versus percutaneous pin fixation of pediatric proximal humerus fractures: a comparison of complications and early radiographic results. *J Pediatr Orthop*. 2011;31(6):617-622. doi: 10.1097/BPO.0b013e3182210903.
24. Freisleder F, Bensler S, Specht T, et al. Plate Fixation for Irreducible Proximal Humeral Fractures in Children and Adolescents — A Single-Center Case Series of Six Patients. *Children (Basel)*. 2021;8(8):635. doi: 10.3390/children8080635.
25. Chee Y, Agorastides I, Garg N, et al. Treatment of severely displaced proximal humeral fractures in children with elastic stable intramedullary nailing. *J Pediatr Orthop B*. 2006;15(1):45-50. doi: 10.1097/01202412-200601000-00010.
26. Samara E, Tschopp B, Kwiatkowski B, et al. A Single Retrograde Intramedullary Nail Technique for Treatment of Displaced Proximal Humeral Fractures in Children: Case Series and Review of the Literature. *JB JS Open Access*. 2021;6(1):e20.00119. doi: 10.2106/JBJS.OA.20.00119.
27. Rajan RA, Hawkins KJ, Metcalfe J, et al. Elastic stable intramedullary nailing for displaced proximal humeral fractures in older children. *J Child Orthop*. 2008;2(1):15-19. doi: 10.1007/s11832-007-0070-0.
28. Bahrs C, Zipplies S, Ochs BG, et al. Proximal humeral fractures in children and adolescents. *J Pediatr Orthop*. 2009;29(3):238-242. doi: 10.1097/BPO.0b013e31819bd9a7.
29. Haering D, Raison M, Begon M. Measurement and description of three-dimensional shoulder range of motion with degrees of freedom interactions. *J Biomech Eng*. 2014;136(8). doi: 10.1115/1.4027665.
30. Bourgain M, Hybois S, Thoreux P, et al. Effect of shoulder model complexity in upper-body kinematics analysis of the golf swing. *J Biomech*. 2018;75:154-158. doi: 10.1016/j.jbiomech.2018.04.025.

Статья поступила 04.04.2025; одобрена после рецензирования 05.05.2025; принята к публикации 05.06.2025.

The article was submitted 04.04.2025; approved after reviewing 05.05.2025; accepted for publication 05.06.2025.

Информация об авторах:

Дмитрий Игоревич Шабанов — врач — травматолог-ортопед, аспирант,
mitya.schabanov@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9364-1959>;

Анатолий Анатольевич Коробейников — кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией,
koroban@list.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0326-8285>.

Information about the authors:

Dmitry I. Shabanov — orthopaedic surgeon, post-graduate fellow,
mitya.schabanov@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9364-1959>;

Anatoly A. Korobeynikov — Candidate of Medical Sciences, Head of the Laboratory,
koroban@list.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0326-8285>.