

Использование навигационной системы Орто-СУВ в лечении детей с деформациями предплечья

Д.В. Рыжиков, Е.А. Белоусова, А.П. Поздеев, С.В. Виссарионов

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Актуальность. У детей с врожденными диспластическими заболеваниями скелета в процессе роста формируются различные многоплоскостные деформации костей предплечья, наиболее часто это происходит на фоне полиоссальной формы экзостозной хондродисплазии. Основным методом хирургического лечения детей с данной патологией в настоящее время является чрескостный остеосинтез с применением аппаратов внешней фиксации. Для устранения выраженных угловых деформаций костей предплечья целесообразно применение пассивной компьютерной навигационной системы.


Цель исследования — сравнить результаты коррекции многоплоскостных деформаций костей предплечья у детей с использованием навигационной системы Орто-СУВ и без ее применения.

Материал и методы. Исследование основано на анализе результатов обследования и лечения 36 пациентов в возрасте от 4 до 16 лет с деформациями предплечья на фоне экзостозной хондродисплазии. Все пациенты проходили обследование и лечение в период с 2008 по 2022 г. и были разделены на две группы: основную и контрольную. В основную группу вошли 13 пациентов, которым коррекцию угловых деформаций костей предплечья проводили с использованием навигационной системы Орто-СУВ на базе пассивной компьютерной навигации. В контрольную группу вошли 23 пациента, которым деформации костей предплечья устраняли в операционной путем репозиции костных фрагментов аппаратом внешней фиксации без применения навигационной системы Орто-СУВ.

Результаты. Сравнительная оценка анатомо-функциональных результатов исследуемых групп пациентов показала, что в 52,7% случаев ($n = 19$) были получены хорошие результаты, в основном у пациентов основной группы ($n = 13$). Удовлетворительные результаты получены только в контрольной группе — у 17 (47,2%) пациентов.

Заключение. Применение навигационной системы Орто-СУВ для коррекции многоплоскостных деформаций костей предплечья у детей позволяет с высокой точностью дозированно устранять все имеющиеся компоненты искривлений и достигать хороших рентгенологических и функциональных результатов.

Ключевые слова: врожденные деформации предплечья, коррекция деформаций, чрескостный остеосинтез, гексаподы, компьютерная навигация.

 **Для цитирования:** Рыжиков Д.В., Белоусова Е.А., Поздеев А.П., Виссарионов С.В. Использование навигационной системы Орто-СУВ в лечении детей с деформациями предплечья. *Травматология и ортопедия России*. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17481>.

 Рыжиков Дмитрий Владимирович; e-mail: DRyjikov@yahoo.com

Рукопись получена: 26.02.2024. Рукопись одобрена: 03.05.2024. Статья опубликована онлайн: 06.09.2024.

© Рыжиков Д.В., Белоусова Е.А., Поздеев А.П., Виссарионов С.В., 2024

Original article

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17481>

Treatment of Children with Forearm Deformities Using the Ortho-SUV Navigation System

Dmitry V. Ryzhikov, Ekaterina A. Belousova, Alexander P. Pozdeev, Sergey V. Vissarionov

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

Abstract

Background. Children with congenital dysplastic skeletal disorders often develop various multi-axial bone deformities in the forearm during growth, most commonly occurring against the backdrop of polyosseous exostotic chondrodysplasia. The main surgical treatment method for these children is currently external fixation. To correct pronounced angular deformities of the forearm bones, the use of a passive computer navigation system can be advantageous.

The aim of the study is to compare the outcomes of correcting multi-axial deformities of the forearm bones in children using the Ortho-SUV navigation system versus without its use.

Methods. The study is based on the analysis of examination and treatment results of 36 patients aged 4 to 16 years with forearm deformities associated with exostotic chondrodysplasia. All patients were examined and treated between 2008 and 2022 and were divided into two groups: the main group and the control group. The main group consisted of 13 patients who underwent the correction of forearm bone angular deformities using the Ortho-SUV navigation system based on passive computer navigation. The control group included 23 patients who had their forearm bone deformities corrected in the operating room by reducing bone fragments with an external fixator without the use of the Ortho-SUV navigation system.

Results. Comparative assessment of the anatomical and functional outcomes in the studied groups showed that good results were achieved in 52.7% of cases (n = 19), most of them in the main group (n = 13). Satisfactory results were obtained only in the control group, where 17 (47.2%) patients experienced satisfactory outcomes.

Conclusion. The use of the Ortho-SUV navigation system for correcting multi-axial deformities of the forearm bones in children allows for highly precise, dosed correction of all components of the deformities, achieving good radiological and functional outcomes.

Key words: congenital forearm deformities, deformity correction, external fixation, hexapodes, computer navigation.

Cite as: Ryzhikov D.V., Belousova E.A., Pozdeev A.P., Vissarionov S.V. Treatment of Children with Forearm Deformities Using the Ortho-SUV Navigation System. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17481>.

✉ Dmitry V. Ryzhikov; e-mail: DRyzhikov@yahoo.com

Submitted: 26.02.2024. Accepted: 03.05.2024. Published Online: 06.09.2024.

© Ryzhikov D.V., Belousova E.A., Pozdeev A.P., Vissarionov S.V., 2024

ВВЕДЕНИЕ

По данным различных авторов, в 30–80% случаев у детей на фоне ряда врожденных диспластических заболеваний скелета (экзостозной хондродисплазии, дисхондроплазии) в процессе роста формируются деформации предплечья различной степени выраженности, сочетающиеся с функциональными ограничениями пораженного сегмента (снижением амплитуды ротационных движений предплечья) [1, 2, 3, 4].

В процессе роста ребенка происходит укорочение сегмента конечности (предплечья), в большей степени за счет локтевой кости, с формированием локтевой косоруконости, деформаций костей предплечья, сопровождающихся нарушениями соотношений в плечелучевом сочленении в виде децентрации, подвывиха, вывиха головки лучевой кости [2, 5, 6].

Наиболее популярным методом хирургического лечения детей с деформациями предплечья является чрескостный остеосинтез — устранение деформаций при помощи аппарата внешней фиксации (АВФ) [7, 8, 9, 10, 11].

Авторы англоязычных публикаций отмечают недостаточный опыт применения универсальных репозиционных узлов (ортопедических гексаподов) при устранении деформаций верхних конечностей (плеча, предплечья). В информационной базе PubMed нами найдено всего несколько статей, описывающих применение гексаподов для коррекции деформации костей предплечья у детей. Редкое применение гексаподов при коррекции деформаций верхней конечности обусловлено анатомическими особенностями их строения, а также техническими сложностями в процессе монтажа внешнего устройства, связанными с маленькой длиной пораженного сегмента конечности [12, 13, 14, 15, 16].

Цель исследования — сравнительный анализ результатов коррекции многоплоскостных деформаций костей предплечья у детей с использованием навигационной системы Орто-СУВ и без ее применения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В статье использовались неопубликованные материалы диссертационного исследования Белоусовой Е.А.*

Дизайн исследования

Проведен анализ результатов обследования и лечения 36 пациентов в возрасте от 4 до 16 лет с деформациями предплечья на фоне экзостозной хондродисплазии, которые проходили обследова-

ние и лечение в период с 2008 по 2022 г. Пациенты были разделены на две группы: основную и контрольную.

Критерием включения в основную группу считались деформации преимущественно обеих костей предплечья более чем в одной плоскости, превышающие нормальные референтные угловые значения более чем на 10°.

В основную группу исследования вошли 13 пациентов, которым коррекцию угловых деформаций костей предплечья проводили с использованием навигационной системы Орто-СУВ. У 3 (23%) пациентов имели место деформации обеих костей предплечья, сочетающиеся с децентрацией головки лучевой кости; у 5 (38,4%) деформации костей предплечья сочетались с вывихом головки лучевой кости; у 4 (30,7%) пациентов имела место деформация только локтевой кости и у 1 пациента (7,9%) деформация локтевой кости сочеталась с вывихом головки лучевой кости.

Малочисленность данной группы обусловлена тем, что деформации костей предплечья определенной степени выраженности, которые необходимо устранять при помощи вышеупомянутого устройства, встречаются достаточно редко.

В контрольную группу вошли 23 пациента, которым коррекцию деформаций костей предплечья осуществляли только в операционной без использования в послеоперационном периоде навигационной системы Орто-СУВ. Эта часть исследования носила ретроспективный характер. Оценка результатов производилась по данным историй болезни и архивных рентгенограмм.

У 8 (34,8%) пациентов данной группы имелись деформации обеих костей предплечья, сочетающиеся с децентрацией головки лучевой кости; у 9 (39,1%) — деформации костей предплечья сочетались с вывихом головки лучевой кости; у 4 (17,4%) пациентов имела место деформация только локтевой кости и у 2 (8,7%) пациентов деформация локтевой кости сочеталась с вывихом головки лучевой кости.

Основными методами обследования пациентов являлись клинический и лучевой. Сравнительный анализ рентгенологических и функциональных результатов обследования групп пациентов проводился в трех временных точках: до операции, после операции и в отдаленном периоде (через 1–2 года).

При объективном клиническом обследовании пациентов оценивалась амплитуда ротационных движений предплечья. В результате нами были выделены три типа выраженности ротационной контрактуры: умеренно выраженное ограничение

* Белоусова Е.А. Хирургическое лечение детей с деформациями предплечья, сформировавшимися на фоне экзостозной хондродисплазии : дис. ./ канд. мед. наук. СПб., 2023. 191 с.

амплитуды ротационных движений (1–60°) ($n = 7$); выраженное ограничение амплитуды (61–120°) ($n = 25$); резко выраженное ограничение амплитуды ротационных движений предплечья (более чем на 120°, вплоть до их полного отсутствия) ($n = 4$) [1].

В контрольной группе у 17 (74%) пациентов до операции наблюдалось выраженное ограничение амплитуды ротационных движений (преимущественно пронации), у 3 (13%) — умеренно выраженные ограничения и у 3 (13%) наблюдались резко выраженные ограничения. У пациентов основной группы умеренно выраженное ограничение амплитуды ротационных движений отмечалось в 60% случаев ($n = 8$) (в большей степени пронации), в 21% случаев ($n = 3$) имели место выраженные ограничения, в 19% случаев ($n = 2$) — резко выраженные.

При лучевом обследовании всем пациентам выполняли цифровые рентгенограммы предплечий в двух стандартных проекциях (переднезадняя и боковая). Оценку полученных данных цифровой рентгенографии осуществляли до, после операции и в отдаленном периоде наблюдения с учетом общепринятых референтных линий и углов для костей предплечья [17] (рис. 1).

В 72% случаев ($n = 26$) у пациентов имели место выраженные многоплоскостные деформации обеих костей предплечья, в 27% случаев ($n = 10$) — деформации только локтевой кости. У всех пациентов имела место варусная и рекурвационная деформации локтевой кости на границе верхней и средней трети различной степени выраженности, в 70% случаев ($n = 25$) отмечалась варусная деформация лучевой кости в средней трети.

Навигационная система Орто-СУВ применялась для коррекции деформаций только одной из костей предплечья: в 8 случаях — локтевой, в 5 случаях — лучевой. При поражении обеих кос-

тей предплечья коррекция менее выраженной угловой деформации производилась в операционной одномоментно.

Для повышения эффективности проводимого лечения предложен способ остеосинтеза при деформации костей предплечья, позволяющий повысить точность коррекции, уменьшить размеры и вес внешнего устройства в процессе лечения, на этапе выполнения рентгенограмм и расчетов величины коррекции деформаций костей предплечья (патент РФ № 2734139).

Для достижения технического результата перед выполнением рентгенограмм опорные кольца соединялись резьбовыми стержнями аппарата Илизарова, телескопические стойки аппарата Орто-СУВ отсоединялись от опорных колец в местах их соединения с платиками, длину телескопических стоек сохраняли неизменной. К платикам в позицию телескопических стоек крепились рентгенопозитивные маркеры, которые использовались для навигации чрескостного аппарата на рентгенограммах при расчете коррекции деформации в компьютерной программе. За счет этого была повышена точность коррекции угловых деформаций костей предплечья ввиду улучшения визуализации костных фрагментов на рентгенограммах, а также уменьшен вес и размеры внешнего устройства (на этапе выполнения рентгенограмм). После расчета коррекции деформации маркеры демонтировались, а телескопические стойки аппарата Орто-СУВ крепились к платикам в исходное положение. Когда коррекция деформации была выполнена, опорные кольца соединялись между собой шарнирными соединениями из деталей аппарата Илизарова, а телескопические стойки аппарата Орто-СУВ демонтировались (рис. 2).

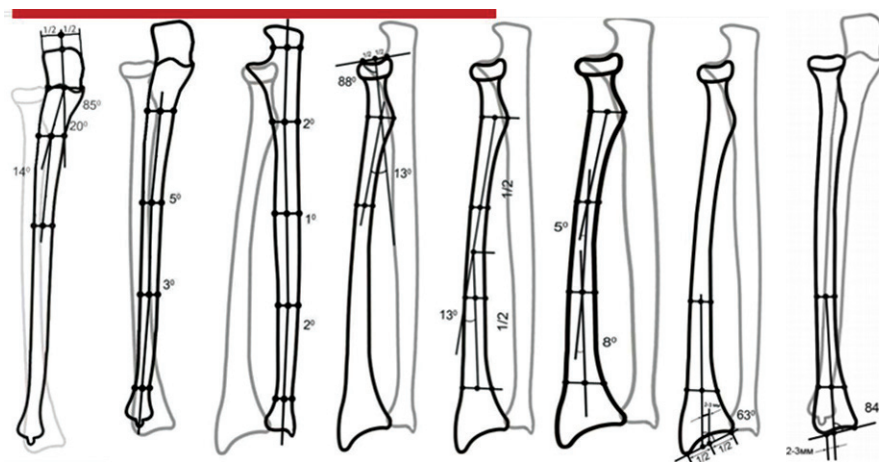


Рис. 1. Референтные линии и углы для костей предплечья [17]

Figure 1. Reference lines and angles for the forearm bones [17]

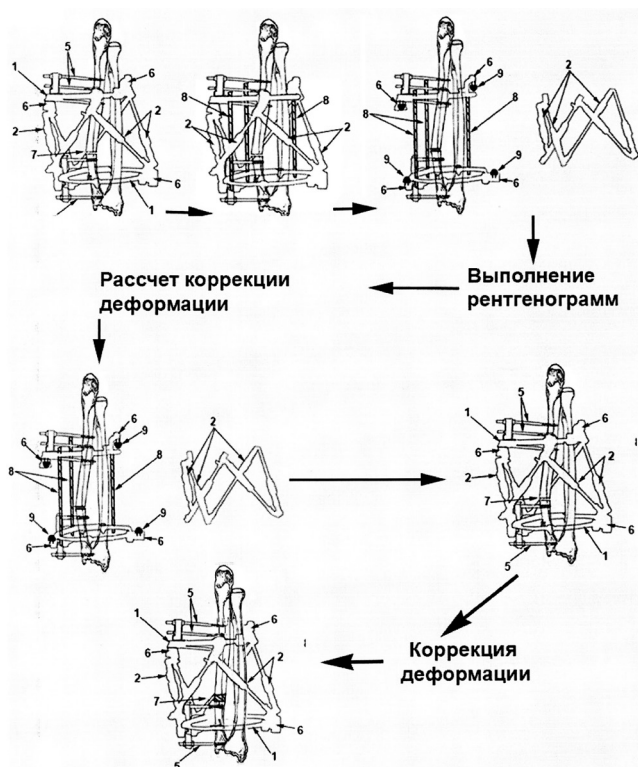


Рис. 2. Алгоритм достижения технического результата предложенного способа остеосинтеза:

1 — опорные кольца; 2 — телескопические стойки аппарата Орто-СУВ; 5 — стержни Шанца; 6 — пластики; 7 — место остеотомии; 8 — резьбовые стержни; 9 — рентгенопозитивные маркеры

Figure 2. Algorithm for achieving the technical result of the proposed method of osteosynthesis:

1 — supportive rings; 2 — telescopic racks of the Ortho-SUV frame; 5 — Shanz screws; 6 — mounts; 7 — osteotomy site; 8 — threaded rods; 9 — X-ray positive markers

С применением данного способа остеосинтеза в основной группе было пролечено 3 пациента, у которых имело место выраженное укорочение сегмента конечности и деформация обеих костей предплечья. С помощью навигационной системы были устранены деформации локтевой кости, деформация лучевой кости была устранена одновременно в операционной.

Статистический анализ

Так как большинство собранных признаков были количественными, но имели несимметричное распределение, далекое от нормального, то данные в таблицах представлены в виде медианы [Q1; Q3]. Для поперечного сравнения всех показателей применен критерий Манна–Уитни. Для сравнения показателей в динамике применен критерий Вилкоксона к первой и третьей временным точкам исследования (до операции и в отдаленном периоде).

Доверительный интервал (ДИ) для доли высокой точности репозиции костных фрагментов и коррекции угловых деформаций костей был вычислен точным методом Клоппера–Пирсона. Для сравнения групп пациентов по полученным бинарным индексам использован точный критерий Фишера. При статистической обработке были использованы статистические пакеты программ STATISTICA 10 (StatSoft, Inc.) и IBM SPSS Statistics v. 26. Критический уровень значимости всегда считался равным 0,05 (для поправок на множественность сравнений применен метод Бонферрони), а доверительный уровень — 95%.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При оценке выраженности ограничения амплитуды ротационных движений предплечья в основной и контрольной группах до операции в основной и контрольной группах выявлены статистически значимые отличия (табл. 1).

В результате проведенной статистической оценки основных рентгенометрических показателей деформаций костей предплечья до операции, было выявлено, исследуемые группы статистически значимо не отличались (табл. 2).

Таблица 1

Оценка амплитуды ротационных движений у пациентов основной и контрольной групп до операции

Группа	Амплитуда ротационных движений, град.	
	Пронация	Супинация
Основная	65 [50; 80]	80 [65; 85]
Контрольная	50 [30; 60]	60 [45; 70]
<i>p</i> *	0,027	0,038

* По критерию Манна–Уитни.

Таблица 2

Оценка рентгенометрических показателей деформаций костей предплечья до операции

Группа	Величина угловой деформации, град. средние значения		
	Варусная деформация локтевой кости	Рекурвационная деформация локтевой кости	Варусная деформация лучевой кости
Основная	12 [10; 15]	11 [10; 14]	7 [2; 9]
Сравнения	11 [10; 14]	11 [10; 15]	10 [7; 14]
<i>p</i> *	0,908	0,895	0,090

* По критерию Манна–Уитни.

Было выявлено, что существенное увеличение амплитуды ротационных движений предплечья в отдаленном периоде по сравнению с дооперационными значениями отмечалось только у 9 (69,2%) пациентов основной группы, преимущественно пронации – в среднем на 10° (табл. 3, рис. 3, 4).

Таблица 3

Оценка амплитуды ротационных движений пораженного предплечья у пациентов после проведенного лечения

Признак	Основная группа	Контрольная группа	<i>p</i> *
Пронация (после снятия АВФ)	50 [40; 60]	35 [25; 50]	0,078
Супинация (после снятия АВФ)	65 [45; 75]	40 [30; 65]	0,084
Пронация (отдаленный период)	75 [70; 75]	45 [35; 60]	0,000
Супинация (отдаленный период)	80 [75; 85]	55 [50; 70]	0,008

* По критерию Манна – Уитни.

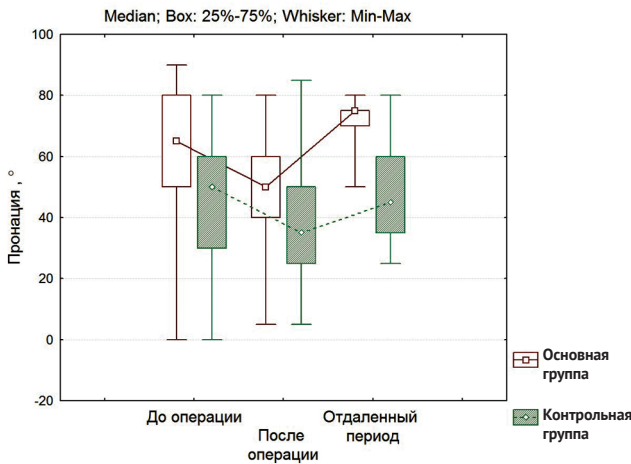


Рис. 3. Диаграмма размаха значений по показателю пронации в трех точках наблюдения (до, после операции и в отдаленном периоде наблюдения) в основной и контрольной группах

Figure 3. Box-and-whisker plot of the pronation values at three observation points (before, after surgery and in the long-term follow-up period) in the main and control groups

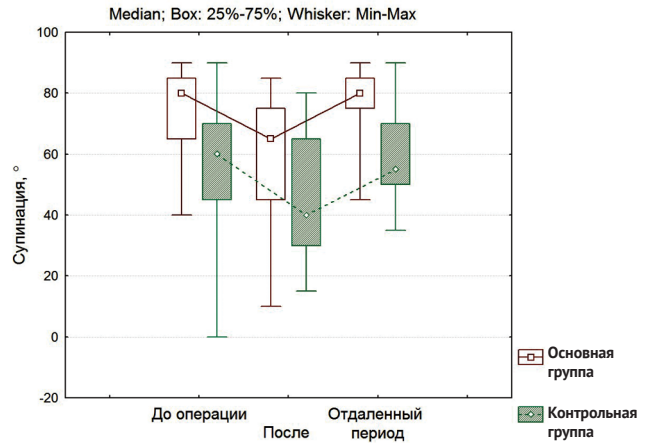


Рис. 4. Диаграмма размаха значений по показателю супинации в трех точках наблюдения (до, после операции и в отдаленном периоде наблюдения) в основной и контрольной группах

Figure 4. Box-and-whisker plot of the supination values at three observation points (before, after surgery and in the long-term follow-up period) in the main and control groups

В отдаленном периоде наблюдения отмечалось увеличение амплитуды как пронации, так и супинации предплечья в среднем на 6°, статистически незначимое (тест Вилкоксона; $p = 0,145$ и $p = 0,117$ соответственно). После операции в обеих группах наблюдалось статистически незначимое снижение обоих показателей при том, что в отдаленном периоде наблюдался значимый рост (тест Вилкоксона; $p < 0,003$ для всех групп и амплитуд движений). В итоговом сравнении медианы общего прироста за все время наблюдения оказались равны: пронация +10°, супинация 0° в основной группе и пронация -5°, супинация -5° — в контрольной группе, что отражает лучшее восстановление пациентов основной группы после операции.

При статистической оценке анатомо-рентгенологических показателей (величин угловых деформаций) основополагающим являлось определение величины углового отклонения анатомических осей костей предплечья от нормальных (референтных) значений. По всем рентгенометрическим показателям после операции в основной группе остаточная деформация в среднем не превышала 1°. В отдаленном периоде наблюдения в основной группе по всем показателям угловых деформаций костей предплечья превышение нормальных референтных угловых значений было не более 5° (табл. 4).

Таблица 4
Оценка рентгенометрических показателей деформаций костей предплечья у пациентов после проведенного лечения

Признак	Основная группа	Контрольная группа	<i>p</i> *
<i>После операции</i>			
Варусная деформация локтевой кости	0 [0; 0]	3 [2; 6]	0,000
Рекурвационная деформация локтевой кости	0 [0; 0]	2 [0; 5]	0,001
Варусная деформация лучевой кости	0 [0; 1]	2 [0; 3]	0,177
<i>Отдаленный период</i>			
Варусная деформация локтевой кости	1 [0; 2]	5 [3; 7]	0,001
Рекурвационная деформация локтевой кости	0 [0; 1]	6 [3; 8]	0,000
Варусная деформация лучевой кости	0 [0; 0]	4 [2; 6]	0,000

* По критерию Манна – Уитни.

В основной группе можно отметить статистически незначимые увеличение варусной и рекурвационной деформаций локтевой кости и уменьшение (в среднем) варусной деформации лучевой кости в отдаленном периоде. В контрольной группе значимых изменений по рентгенометрическим показателям деформаций костей предплечья в послеоперационном и отдаленном периодах выявлено не было (рис. 5, 6, 7).

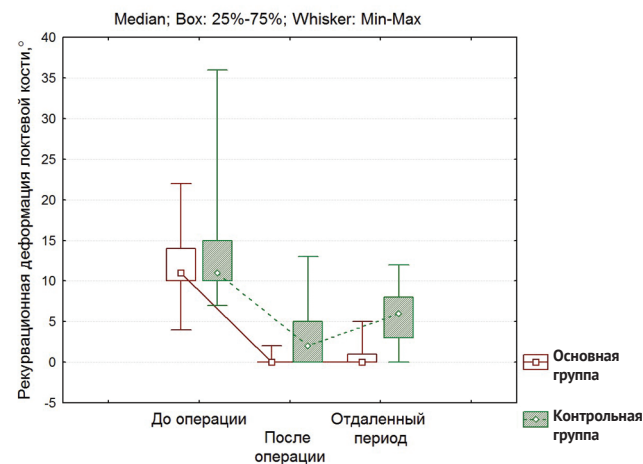
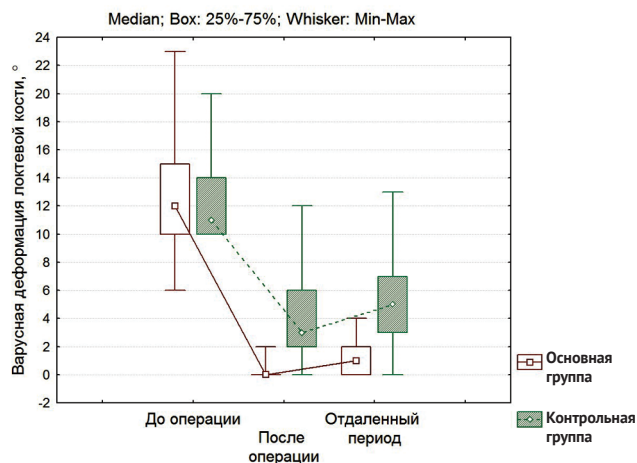


Рис. 6. Диаграмма размаха значений рекурвационной деформации локтевой кости в трех точках наблюдения в основной и контрольной группах

Figure 6. Box-and-whisker plot of values of ulnar recurve deformity at three observation points in the main and control groups

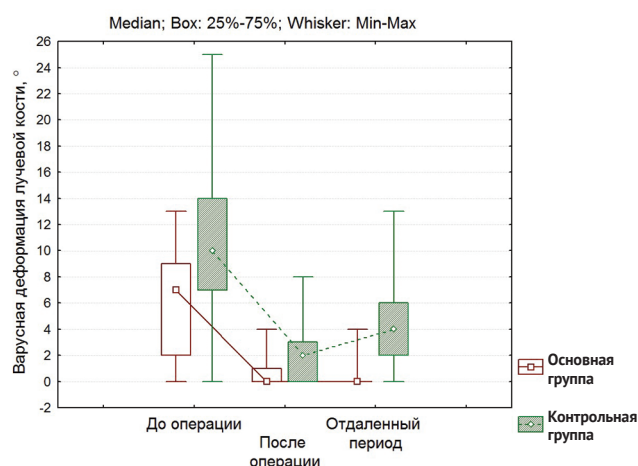


Рис. 7. Диаграмма размаха значений варусной деформации лучевой кости в трех точках наблюдения в основной и контрольной группах

Figure 7. Box-and-whisker plot of values of varus radius deformity at three observation points in the main and control groups

Рис. 5. Диаграмма размаха значений варусной деформации локтевой кости в трех точках наблюдения в основной и контрольной группах

Figure 5. Box-and-whisker plot of values of ulnar varus deformity at three observation points in the main and control groups

По показателю варусной деформации лучевой кости сравнительная оценка дооперационных и послеоперационных значений не показала статистически значимых результатов. В отдаленном периоде по этому показателю были выявлены статистически значимые различия в исследуемых группах (табл. 4, табл. 5, рис. 7).

Исследование показало, что в основной группе при применении навигационной системы ОртоСУВ высокая точность репозиции костных фрагментов и коррекции угловых деформаций костей предплечья с полным устранением всех угловых деформаций была достигнута в 92% случаев ($n = 12$; 95% ДИ для доли (64%; 100%), то есть от 8 до 13 пациентов). У одного пациента коррекция деформаций была достигнута неполностью ввиду наличия выраженной длительно существующей сложной многоплоскостной деформации костей предплечья. У данного пациента имела место остаточная деформация лучевой кости 4° .

В контрольной группе лишь в 6 случаях удалось одномоментно (в операционной) устранить все компоненты деформаций костей предплечья, восстановить анатомические оси и взаимоотношения в смежных суставах. У 17 пациентов контрольной группы после операции имели место остаточные угловые деформации костей предплечья, превышающие нормальные референтные значения в среднем на $3,1^\circ$ — после операции и на $7,4^\circ$ — в отдаленном периоде наблюдения (см. табл. 3, рис. 5, 6, 7).

Все полученные нами результаты были разделены на две группы: хорошие и удовлетворительные с выделением в каждой из групп характерных критериев. Критериями (признаками), определя-

ющими распределение результатов по группам были: изменение амплитуды ротационных движений, величина угловой деформации после операции и в отдаленном периоде наблюдения, состояние плечелучевого сочленения.

В группу хороших результатов вошли пациенты, у которых:

- ограничение амплитуды ротационных движений предплечья не превышало дооперационные значения или отмечалось ее увеличение в отдаленном периоде наблюдения;

- угловые деформации костей предплечья отсутствовали или их величина не превышала 5° (от нормальных референтных значений) (рис. 8);

- отсутствовали нарушения соотношений в плечелучевом сочленении (подвывих, вывих головки лучевой кости).

В группу удовлетворительных результатов вошли пациенты, у которых:

- ограничение амплитуды ротационных движений предплечья превышало дооперационные значения не более чем на 15° ;

- имели место деформации костей предплечья более 5° , не превышающие дооперационные значения;

- отсутствовали нарушения соотношений в плечелучевом сочленении (подвывих, вывих головки лучевой кости).

Хорошие результаты лечения были получены у 19 пациентов (52,7%), причем у всех пациентов основной группы ($n = 13$). Удовлетворительные результаты получены у 17 (47,2%) пациентов, только у пациентов контрольной группы. Различного рода осложнений в результате проведенного хирургического лечения нами получено не было.

Таблица 5

Уровень значимости p по критерию Вилкоксона для сравнений рентгенометрических показателей деформаций костей предплечья пациентов до операции, после операции и в отдаленном периоде

Признак	Основная группа			Контрольная группа		
	ДО/ПО влияние операции	ПО/ОП влияние отдаленного периода	ДО/ОП суммарный промежуток	ДО/ПО влияние операции	ПО/ОП влияние отдаленного периода	ДО/ОП суммарный промежуток
Варусная деформация локтевой кости	0,001	0,008	0,001	0,0001	0,056	0,0001
Рекурвационная деформация локтевой кости	0,001	0,068	0,001	0,0004	0,0001	0,0005
Варусная деформация лучевой кости	0,008	0,068	0,003	0,0001	0,003	0,001

ДО — до операции; ПО — после операции; ОП — отдаленный период. Жирным шрифтом отмечены статистически значимые различия с учетом поправок на множественность сравнения.

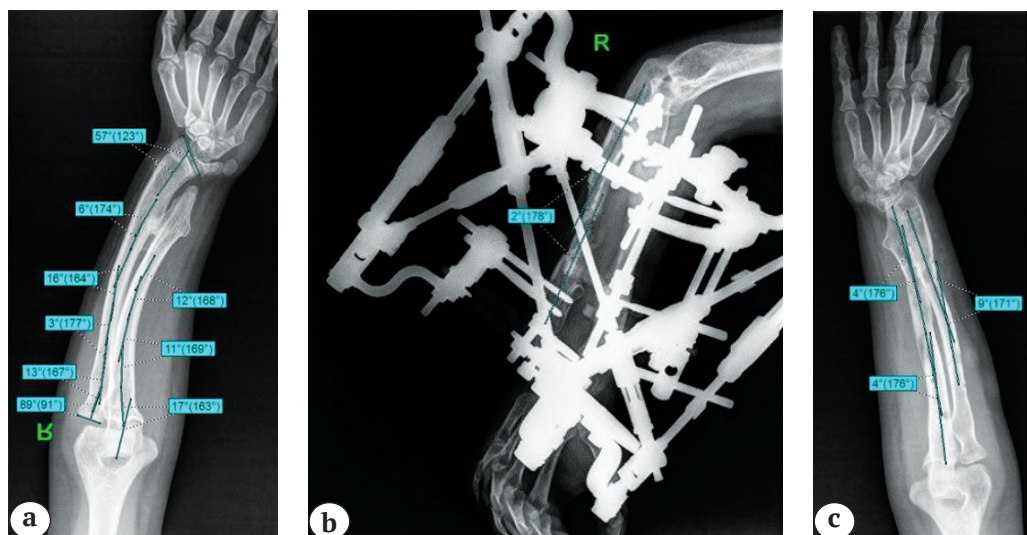


Рис. 8. Рентгенограммы правого предплечья:

а — до операции; б — после выполненной коррекции деформаций локтевой кости (с наложенной навигационной системой Орто-СУВ); с — после снятия АВФ (через 9 мес. после операции)

Figure 8. X-rays of the right forearm:

а — before surgery; б — after correction of ulnar deformities (with the Ortho-SUV navigation system applied); с — after removal of the external fixation device (9 months after surgery)

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ литературных источников по данной проблематике указывает на метод компрессионно-дистракционного остеосинтеза как на основной в лечении детей с деформациями предплечья.

Согласно проведенному нами исследованию на основании ретроспективного анализа источников мировой литературы, применение метода компрессионно-дистракционного остеосинтеза в лечении деформаций предплечья позволило из 649 проведенных вмешательств в 5,5% случаев получить отличные результаты; в 33,5% случаев ($n = 223$) получить хорошие результаты; в 23% ($n = 153$) — удовлетворительные; в 38% ($n = 253$) — неудовлетворительные. В группу неудовлетворительных результатов вошли все рецидивы деформаций или неустраненные искривления костей предплечья, отсутствие увеличения амплитуды движений в смежных суставах, наличие длительного болевого синдрома в послеоперационном периоде [12].

При коррекции сложных многокомпонентных многоплоскостных деформаций сегментов конечностей целесообразно применение гексаподов, работа которых основана на базе пассивной компьютерной навигации. Зарубежные авторы широко применяют для коррекции деформаций конечностей гексапод TSF (Taylor Spatial Frame) [13, 14, 15, 16].

Л.Н. Соломин с соавторами для коррекции сложных многокомпонентных многоплоскост-

ных деформаций костей конечностей разработали собственный унифицированный репозиционный узел, работа которого основана на базе пассивной компьютерной навигации (т.н. гексаподы). Авторы представляют результаты лечения 93 пациентов (109 случаев наложений аппарата) с деформациями костей нижних конечностей. Во всех случаях коррекция деформации (репозиция перелома) была достигнута одноэтапно [17].

L.E. Wessel с соавторами сообщают о результатах применения гексапода при коррекции деформации костей предплечья. Согласно полученным данным, во всех случаях ($n = 5$) была постепенно устранена деформация костей предплечья, в одном случае низведена головка лучевой кости при помощи гексапода без дальнейших нейроциркуляторных расстройств [18].

S. Farr с соавторами представляют опыт применения гексапода в коррекции осевых деформаций и удлинении костей предплечья (локтевой кости) на примере группы из 9 пациентов. Во всех случаях авторами были получены хорошие анатомофункциональные результаты [19].

По данным проведенного ретроспективного обзора ряда научных статей, можно сделать вывод, что у большинства авторов, демонстрирующих результаты применения ортопедических гексаподов в лечении детей с деформациями костей предплечья, как и в нашем исследовании, имеют место достаточно малые по объему группы пациентов.

Ограничения исследования

Существенным ограничением исследования является крайне малая по объему выборка в основной группе пациентов ($n = 13$), что позволило сделать выводы на грани статистической значимости. Многие важные сравнения получили бы статистическую значимость, а выводы были бы контрастнее при большем объеме выборки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на крайне малую численность основной группы пациентов, лечение которых проходило с применением навигационной системы Орто-

СУВ, удалось увидеть и статистически подтвердить преимущество этого метода по сравнению со стандартными методиками коррекции деформаций костей предплечья (одномоментно при помощи аппарата Илизарова) по трем основным рентгенометрическим показателям деформаций костей предплечья. Применение навигационной системы Орто-СУВ для коррекции многоплоскостных деформаций костей предплечья у детей позволяет с высокой точностью устранить все имеющиеся компоненты деформаций, тем самым достигнуть хороших рентгенологических и функциональных результатов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Рыжиков Дмитрий Владимирович — концепция и дизайн исследования, написание текста рукописи.

Белуосова Екатерина Анатольевна — сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи.

Поздеев Александр Павлович — концепция и дизайн исследования, редактирование текста рукописи.

Виссарионов Сергей Валентинович — научное руководство.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России (протокол № 2023/6 от 28.11.2023).

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие законных представителей пациентов на публикацию медицинских данных и изображений.

DISCLAIMERS

Author contribution

Ryzhikov D.V. — study concept and design, drafting the manuscript

Belousova E.A. — data acquisition, analysis and interpretation, drafting the manuscript

Pozdeev A.P. — study concept and design, editing the manuscript

Vissarionov S.V. — scientific management.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. The study was approved by the local ethics committee of H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery (protocol N 2023/6, 28.11.2023).

Consent for publication. Written consent was obtained from the legal representatives of children for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Захарьян Е.А., Белуосова Е.А., Поздеев А. П. Клинико-рентгенологическая характеристика деформаций костей предплечья у детей с множественной экзостозной хондродисплазией. *Гений ортопедии*. 2019;25(4):487-492. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-487-492. Zakharyan E.A., Belousova E.A., Pozdeev A.P. Clinical and radiological characteristics of forearm deformities in children with multiple hereditary exostoses. *Genij Ortopedii*. 2019;25(4):487-492. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-487-492.
2. Поздеев А.П., Белуосова Е.А., Сосненко О.Н. Современное представление о деформациях костей предплечья у детей на фоне экзостозной хондродисплазии (обзор литературы). *Гений ортопедии*. 2020;26(2):248-253. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-2-248-253. Pozdeev A., Belousova E., Sosnenko O. Forearm deformities in children with hereditary multiple exostosis (review of literature). *Genij Ortopedii*. 2020;26(2):248-253. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-2-248-253.
3. Clement N.D., Porter D.E. Forearm deformity in patients with hereditary multiple exostoses: factors associated with range of motion and radial head dislocation. *J Bone Joint Surg Am*. 2013;95(17):1586-92. doi: 10.2106/JBJS.L.00736.

4. Beutel B.G., Klifto C.S., Chu A. Timing of forearm deformity correction in a child with multiple hereditary exostosis. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*. 2014;43(9):422-425.
5. Ahmed A.A.R.Y. Gradual ulnar lengthening by an Ilizarov ring fixator for correction of Masada IIB forearm deformity without tumor excision in hereditary multiple exostosis: preliminary results. *J Pediatr Orthop B*. 2019;28(1):67-72. doi: 10.1097/BPB.0000000000000514.
6. Tang Z.W., Cao Y.L., Liu T., Chen T., Zhang X.S. Management of forearm deformities with ulnar shortening more than 15 mm caused by hereditary multiple osteochondromas. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2013;23(5):611-618. doi: 10.1007/s00590-012-1033-9.
7. Refsland S., Kozin S.H., Zlotolow D.A. Ulnar Distraction Osteogenesis in the Treatment of Forearm Deformities in Children With Multiple Hereditary Exostoses. *J Hand Surg Am*. 2016;41(9):888-895. doi: 10.1016/j.jhsa.2016.06.008.
8. Song S.H., Lee H., Youssef H., Oh S.M., Park J.H., Song H.R. Modified Ilizarov technique for the treatment of forearm deformities in multiple cartilaginous exostoses: case series and literature review. *J Hand Surg Eur Vol*. 2013;38(3):288-296. doi: 10.1177/1753193412450651.
9. Vogt B., Tretow H.L., Daniilidis K., Wacker S., Buller T.C., Henrichs M.P. et al. Reconstruction of forearm deformity by distraction osteogenesis in children with relative shortening of the ulna due to multiple cartilaginous exostosis. *J Pediatr Orthop*. 2011;31(4):393-401. doi: 10.1097/BPO.0b013e31821a5e27.
10. Li Y., Han B., Tang J., Chen M., Wang Z. Identification of risk factors affecting bone formation in gradual ulnar lengthening in children with hereditary multiple exostoses: A retrospective study. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(5):e14280. doi: 10.1097/MD.00000000000014280.
11. Поздеев А.П., Белоусова Е.А., Сосненко О.Н. Опыт хирургического лечения деформаций предплечья у детей с экзостозной хондродисплазией. *Современные проблемы науки и образования*. 2020;(5). Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30235DOI> 10.17513/spno.30235. Pozdeev A.P., Belousova E.A., Sosnenko O.N. Experience in surgical management of forearm deformities in children with hereditary multiple exostoses. *Modern problems of science and education*. 2020;(5). Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30235DOI> 10.17513/spno.30235.
12. Eidelman M., Chezar A. Principles of deformity correction using the Taylor Spatial Frame. *Harefuah*. 2005;144(2):115-118, 149. (In Hebrew).
13. Keshet D., Eidelman M. Clinical utility of the Taylor spatial frame for limb deformities. *Orthop Res Rev*. 2017;9:51-61. doi: 10.2147/ORR.S113420.
14. Al-Sayyad M.J. Taylor Spatial Frame in the treatment of pediatric and adolescent tibial shaft fractures. *J Pediatr Orthop*. 2006;26(2):164-170. doi: 10.1097/01.bpo.0000218522.05868.f9.
15. Belthur M.V., Iobst C.A., Bor N., Segev E., Eidelman M., Standard S.C. et al. Correction of Cubitus Varus After Pediatric Supracondylar Elbow Fracture: Alternative Method Using the Taylor Spatial Frame. *J Pediatr Orthop*. 2016;36(6):608-617. doi: 10.1097/BPO.0000000000000500.
16. Соломин Л.Н., Утехин А.И., Виленский В.А. Орто-СУВ аппарат: чрескостный аппарат, работа которого основана на компьютерной навигации. *Гений ортопедии*. 2011;(2):148-156. Solomin L.N., Utekhin A.I., Vilenskii V.A. Orto-SUV apparat: chreskostnyy apparat, rabota kotorogo osnovana na komp'yuternoj navigatsii. *Genij Ortopedii*. 2011;(2):148-156. (In Russian).
17. Соломин Л.Н., Щепкина Е.А., Кулеш П.Н., Виленский В.А., Корчагин К.Л., Скоморошко П.В. Определение референтных линий и углов длинных трубчатых костей: пособие для врачей. СПб: РНИИТО им. П.П. Вредена; 2012. 48 с. Available from: https://library.rniito.org/download/manuals/Opredelenie_referentnykh_linii.pdf. Solomin L.N., Shchepkina E.A., Kulesh P.N., Vilensky V.A., Korchagin K.L., Skomoroshko P.V. Determination of reference lines and angles of long tubular bones: a manual for doctors. SPb; 2012. 48 p. Available from: https://library.rniito.org/download/manuals/Opredelenie_referentnykh_linii.pdf.
18. Wessel L., Sacks H., Fufa D., Fragomen A., Rozbruch Sr. Use of hexapod frame to gradually correct congenital and acquired forearm deformity. *J Limb Length & Reconstr*. 2019;5(1):11-16. doi: 10.4103/jllr.jllr_22_18.
19. Farr S., Mindler G., Ganger R., Girsch W. Bone Lengthening in the Pediatric Upper Extremity. *J Bone Joint Surg Am*. 2016;98(17):1490-1503. doi: 10.2106/JBJS.16.00007.

Сведения об авторах

✉ Рызжиков Дмитрий Владимирович — канд. мед. наук
Адрес: Россия, 196603, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин,
ул. Парковая, д. 64–68

<https://orcid.org/0000-0002-7824-7412>

e-mail: DRyzhikov@yahoo.com

Белоусова Екатерина Анатольевна — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-5458-8706>

e-mail: qeen18@mail.ru

Поздеев Александр Павлович — д-р мед. наук, профессор

<https://orcid.org/0000-0001-5665-6111>

e-mail: prof.pozdeev@mail.ru

Виссарионов Сергей Валентинович — д-р мед. наук,
профессор

<https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>

e-mail: vissarionovs@gmail.com

Authors' information

✉ Dmitry V. Ryzhikov — Cand. Sci. (Med.)
Address: 64-68, Parkovaya st., St. Petersburg, Pushkin,
196603, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-7824-7412>

e-mail: DRyzhikov@yahoo.com

Ekaterina A. Belousova — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-5458-8706>

e-mail: qeen18@mail.ru

Alexander P. Pozdeev — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0001-5665-6111>

e-mail: prof.pozdeev@mail.ru

Sergey V. Vissarionov — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>

e-mail: vissarionovs@gmail.com