

Научная статья

УДК 617.58-007.24-001.5-089.227.84:616.71-089.818.3

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-522-532>



Влияние эластичного интрамедуллярного армирования на удлинение нижних конечностей при приобретенных укорочениях: проспективное исследование

Д.В. Тропин, В.И. Тропин, А.А. Чертищев, Н.С. Гвоздев✉, Д.А. Попков

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

Автор ответственный за переписку: Никита Сергеевич Гвоздев, nikitozgzvozdev@mail.ru

Аннотация

Введение. Удлинение и коррекция деформаций конечностей с использованием наружной фиксации по Илизарову является распространенной стандартной операцией. Тем не менее, риск осложнений, связанных с удлинением конечностей, в том числе, поверхностная или глубокая инфекция, контрактуры, вторичная деформация и переломы после удаления аппарата, связанные с замедленной консолидацией кости, остается существенным.

Цель работы — в условиях укорочения нижних конечностей приобретенной этиологии выявить особенности удлинения кости с помощью внешнего фиксатора в сочетании с эластичным интрамедуллярным армированием – титановым или с композитным гидроксипатитным покрытием.

Материалы и методы. В исследование включены 64 пациента, из них 31 пациенту проведено монофокальное удлинение бедренной кости, 33 — монофокальное удлинение большеберцовой кости.

Результаты. Средние индексы внешней фиксации (ИВФ) групп, сравниваемых по схожим типам удлинения (удлинение бедра или большеберцовой кости), существенно не отличались при использовании различных типов интрамедуллярных стержней. При удлинении бедренной кости выявлено значимое влияние на ИВФ типа стержней и соотношения «диаметр стержня / диаметр костномозгового канала». Зависимость ИВФ от типа стержней при удлинении большеберцовой кости связана с соотношением «диаметр стержня / внутренний диаметр в месте остеотомии» ($p = 0,023$). Двусторонний дисперсионный анализ показал, что влияние типа стержня на ИВФ зависит от соотношения «диаметр стержня / внутренний диаметр в месте остеотомии» в группе удлинения большеберцовой кости ($p = 0,034$).

Обсуждение. При приобретенных укорочениях нижних конечностей нет различий в отношении ИВФ при использовании титановых эластичных стержней или интрамедуллярных стержней с композитным гидроксипатитным покрытием. Применение комбинированной методики, в любом случае, имеет преимущества: она обеспечивает хорошие и отличные результаты без серьезных осложнений при удлинении у пациентов с укорочением приобретенной этиологии. Сильная положительная корреляция между соотношением «диаметр кости / внутреннее расстояние между кортикалами в месте остеотомии» в сочетании со значительным влиянием типа стержня и диаметра стержня на ИВФ предполагает, что оба фактора следует рассматривать вместе в будущих исследованиях.

Заключение. В условиях укорочения нижних конечностей приобретенной этиологии использование комбинированной методики удлинения кости с помощью внешнего фиксатора в сочетании с эластичным интрамедуллярным армированием обеспечивает хорошие и отличные результаты без серьезных осложнений.

Ключевые слова: удлинение конечностей, эластичное интрамедуллярное армирование, гидроксипатит

Для цитирования: Тропин Д.В., Тропин В.И., Чертищев А.А., Гвоздев Н.С., Попков Д.А. Влияние эластичного интрамедуллярного армирования на удлинение нижних конечностей при приобретенных укорочениях: проспективное исследование. *Гений ортопедии*. 2024;30(4):522-532. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-522-532. EDN: CNFWFN.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-522-532>



Effect of elastic intramedullary nailing on lower limb lengthening in acquired shortenings: a prospective study

D.V. Tropin, V.I. Tropin, A.A. Chertishchev, N.S. Gvozdev✉, D.A. Popkov

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

Corresponding author: Nikita S. Gvozdev, nikitozgzvozdev@mail.ru

Abstract

Introduction Lengthening and correction of limb deformities using Ilizarov external fixation is a frequent standard operation. However, the risk of complications associated with limb lengthening, including superficial or deep infection, contractures, secondary deformity, and fractures after device removal associated with delayed bone consolidation, remains significant.

The **purpose** of the work was to identify the features of bone lengthening with an external fixator in combination with elastic intramedullary nails, titanium or titanium with a composite hydroxyapatite coating, in the conditions of shortening of the lower extremities of acquired etiology.

Materials and methods The study included 64 patients, of which 31 patients underwent monofocal lengthening of the femur, 33 patients underwent monofocal lengthening of the tibia.

Results The mean external fixation indices (EFIs) of the groups compared for similar lengthening types (femoral or tibial lengthening) did not differ significantly for the types of intramedullary nails implanted. In femoral lengthening, a significant effect on the EFI had the nail type and the ratio of “nail diameter / medullary canal diameter”. The dependence of EFI on the nail type in tibial lengthening was associated with the ratio “nail diameter / internal diameter at the osteotomy site” ($p = 0.023$). Two-way ANOVA showed that the effect of the nail type on EFI depended on the nail diameter/ internal diameter at osteotomy site ratio in the tibial lengthening group ($p = 0.034$).

Discussion In acquired shortening of the lower extremities, there is no difference in EFI by using titanium elastic nails or intramedullary nails coated with composite hydroxyapatite. The use of a combined technique, in any case, has advantages: it provides good and excellent results without serious complications during lengthening in patients with shortening of acquired etiology. The strong positive correlation between the bone diameter/internal cortical distance ratio at the osteotomy site, coupled with the significant influence of the nail type and nail diameter on EFI, suggests that both factors should be considered together in future studies.

Conclusion In shortening of the lower extremities of acquired etiology, the use of a combined bone lengthening technique, comprising an external fixator in combination with elastic intramedullary nailing, provides good and excellent results without serious complications.

Keywords: limb lengthening, Ilizarov apparatus, elastic intramedullary nailing, hydroxyapatite

For citation: Tropin DV, Tropin VI, Chertishchev AA, Gvozdev NS, Popkov DA. Effect of elastic intramedullary nailing on lower limb lengthening in acquired shortenings: a prospective study. *Genij Ortopedii*. 2024;30(4):522-532. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-522-532

ВВЕДЕНИЕ

Частота возникновения разницы в длине ног, требующая хирургического вмешательства, составляет примерно 1 случай на 1000 [1]. Приобретенное неравенство длины нижних конечностей (НДНК) и деформации являются одними из наиболее частых причин для направления к ортопеду [2–6]. Варианты оперативного лечения данной патологии включают использование циркулярных внешних фиксаторов, удлинение с помощью полностью имплантируемого электромагнитного стержня или удлинение на интрамедуллярных стержнях с помощью внешних устройств [2, 7–12].

Удлинение и коррекция деформаций конечностей с использованием наружной фиксации, основанной на принципах метода Илизарова, является распространенной стандартной операцией [9, 13, 14]. Тем не менее, риск осложнений, связанных с удлинением конечностей, в том числе, поверхностная или глубокая инфекция, контрактуры [15–17], вторичная деформация и переломы после удаления аппарата, связанные с замедленной консолидацией кости [16, 18, 19], остается существенным. Необходимо принимать во внимание и негативную длительную психологическую нагрузку, связанную с ограничениями в повседневной жизни, у данных пациентов [20].

В литературе описано удлинение конечностей с использованием эластичных интрамедуллярных стержней [21–24]. Данный комбинированный метод обеспечивает ряд преимуществ: дополнительная стабильность позиции костных фрагментов, профилактика вторичных смещений, особенно по ширине, и переломов после снятия аппарата, сокращение длительности внешней фиксации. Учитывая эластичный характер имплантов, возможна постепенная коррекция оси конечности при тяжелой деформации, малый диаметр стержней дает им возможность применения при узком костномозговом канале, установка стержней через метафиз исключает повреждение зон роста [21–24]. Исследования на животных показали, что данный метод также щадяще воздействует на интрамедуллярное кровоснабжение [25].

Экспериментальные исследования показали стимулирующий характер для костного сращения при использовании эластичных стержней с комбинированным гидроксиапатитным покрытием [7, 8, 26, 27]. Но остается невыясненной роль таких композитных покрытий при удлинении здоровой костной ткани в клинических условиях [28].

Цель работы — в условиях укорочения нижних конечностей приобретенной этиологии выявить особенности удлинения кости с помощью внешнего фиксатора в сочетании с эластичным интрамедуллярным армированием — титановым или с композитным гидроксиапатитным покрытием.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено нерандомизированное проспективное исследование результатов лечения пациентов с приобретенными укорочениями и деформациями нижних конечностей. У всех пациентов, включенных в исследование, диагностировано приобретенное неравенство длины нижних конечностей (посттравматическое, последствия неонатального остеомиелита, последствия полиомиелита или спастического гемипареза, классифицированного по системе GMFCS как уровень I–II). Всем пациентам произведено моносегментарное удлинение с использованием комбинированной методики наружной фиксации и эластичного интрамедуллярного остеосинтеза. Период наблюдения после демонтажа аппарата внешней фиксации составил 10–12 месяцев. В исследование не включены пациенты, которым осуществляли одномоментную коррекцию, полисегментарное удлинение, пациенты с врожденным укорочением или системной патологией, а также те, кому производили удлинение без эластичного армирования.

Результаты проанализированы по двум группам: монофокальное удлинение бедренной кости (группа Б, $n = 31$) и монофокальное удлинение костей голени (группа Г, $n = 33$). Данные группы разделены на подгруппы: с удлинением титановым эластичными стержнями (Б-Ті и Г-Ті) и с титановым стержнями с гидроксиапатитным (ГА) покрытием (Б-ГА и Г-ГА).

Хирургическая методика

Под общей анестезией в положении на спине пациенту устанавливали спице-стержневой аппарат внешней фиксации (бедренной или большеберцовой кости) с учетом деформации и выполняли чрескожную кортикотомию. Затем производили эластичное интрамедуллярное армирование: ретроградное — для бедренной кости и антеградное — для большеберцовой. Выбор диаметра используемых эластичных стержней хирург определял произвольно, ориентируясь на диаметр костномозгового канала. Титановые стержни без ГА покрытия применены у 29 пациентов (интрамедуллярные эластичные педиатрические стержни фирмы MEDIN, Нове-Место-на-Мораве, Чехия). Титановые стержни с ГА покрытием (стержни фирмы Orthopediatrics, модифицированные ООО «Метис», Томск, Россия) использовали в ходе 24 операций по удлинению конечности. Рассверливания длинных трубчатых костей не проводили. Аппарат Илизарова использовали в 51 случае, а CORA и ASA использовали при установке шарниров (рис. 1). У трех пациентов лечение проводили с использованием аппарата Taylor (TSF) (Smith & Nephew, Мемфис, Теннесси, США), в котором CORA была интегрирована в программу distraction и коррекции как референтная точка (рис. 2). До операции, после консультации с лечащим врачом, пациентам была предоставлена возможность выбрать интрамедуллярные стержни с титановым или ГА покрытием.

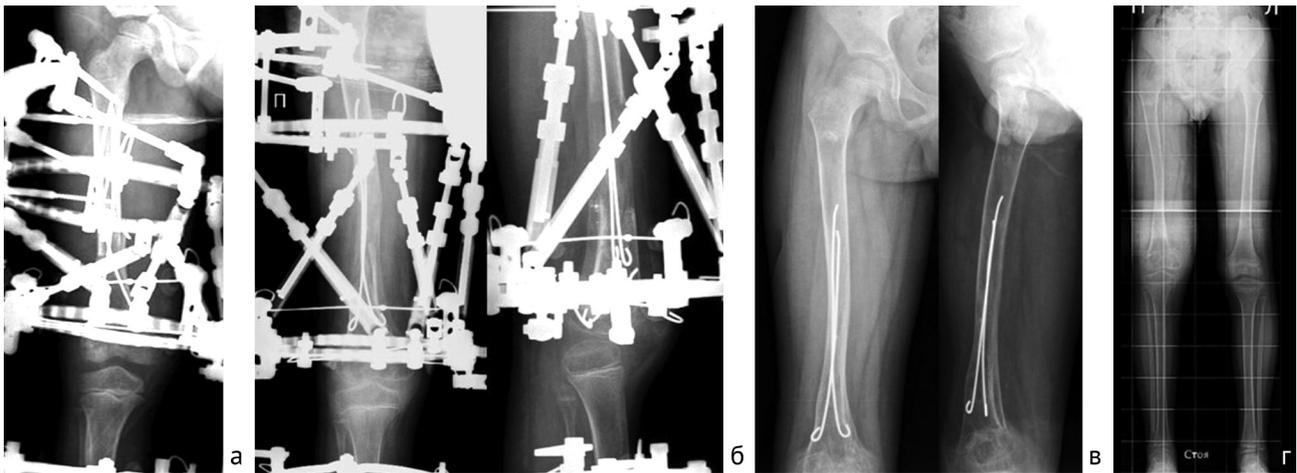


Рис. 1. Рентгенограммы бедра пациента подгруппы Б-ГА: а — остеотомия бедра, исходное положение интрамедуллярных эластичных стержней; б — в конце периода дистракции; в — после снятия аппарата внешней фиксации; г — после удаления интрамедуллярных стержней, ремоделирование дистракционного регенерата

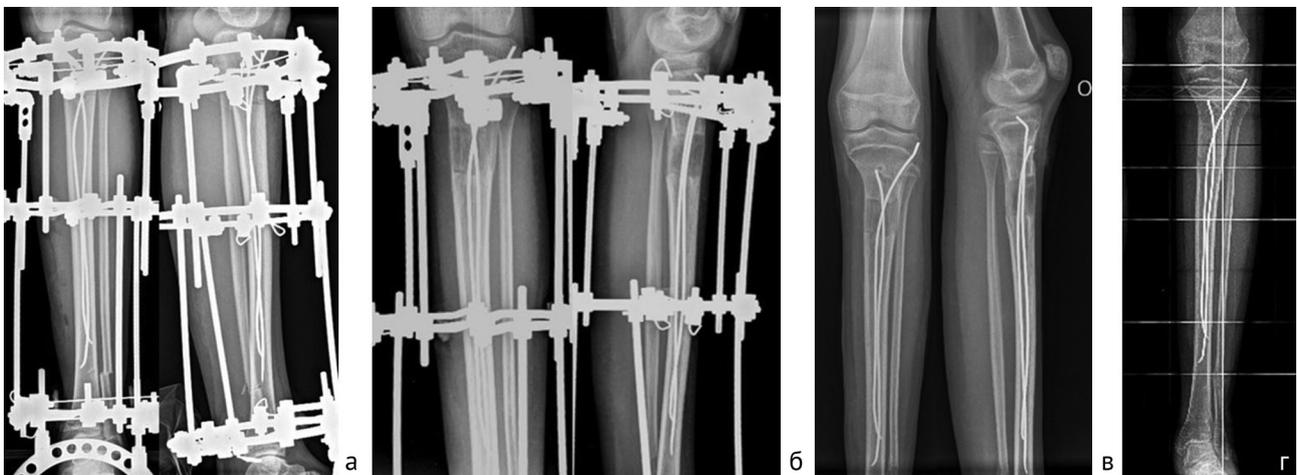


Рис. 2. Рентгенограммы пациента подгруппы Г-Ті: а — проксимальная остеотомия большеберцовой кости, исходная позиция стержней эластичного армирования; б — в конце периода фиксации, костное сращение; в — после удаления аппарата внешней фиксации; г — через 14 мес. после снятия аппарата внешней фиксации, ремоделирование костной мозоли

У всех пациентов удлинение и коррекция деформации носили прогрессирующий характер и начались на 5–7 сут. после операции. Сопутствующие деформации корректировали постепенно. По достижении консолидации (рентгеновская картина и клиническая проба) аппарат снимали и накладывали гипсовую повязку на 3–4 нед. Все осложнения и исходы лечения классифицировали по системе Lascombes [29]. Результаты лечения классифицировали ретроспективно, через 10–12 мес. после снятия аппарата, в зависимости от полученной величины удлинения и возникших осложнений, проведенного лечения и их влияния на конечный результат. В каждой группе и подгруппах анализировали факторы, которые могли повлиять на ИВФ (количество дней внешней фиксации, отнесенное к величине удлинения в см), возникновение осложнений и исход лечения:

- возраст;
- величину удлинения (в см и % от исходной длины сегмента);
- отношение диаметра стержня к диаметру самой узкой части костномозгового канала;
- отношение диаметра стержня к внутреннему расстоянию между кортикальными пластинками на уровне остеотомии;
- тип использованных эластичных интрамедуллярных стержней (ГА-покрытие или без него).

Данные подгрупп сравнивали по ИВФ, рискам осложнений и исходам лечения.

Статистический анализ проводили с помощью программного обеспечения AtteStat 12.0.5. Для описания непрерывных переменных использовались средние значения, стандартные отклонения и диапа-

зоны. Непараметрический критерий Манна – Уитни применяли для сравнения параметров возраста, величины удлинения, соотношения «диаметр стержня / интрамедуллярный канал или диаметр места остеотомии» в подгруппах. Различия по частоте встречаемости полов пациентов оценивали между подгруппами с помощью критерия хи-квадрат. Тест Post-hoc Conover использовали для сравнений в подгруппах (стержни из Ti и стержни с ГА покрытием) на предмет различий в средних значениях ИВФ как зависимой переменной. Двусторонний дисперсионный анализ использовали для оценки одновременного влияния типов стержней (первый детерминирующий фактор) и одного из количественных параметров (вторая детерминирующая переменная: возраст, величина удлинения, соотношение стержня / костномозгового канала, соотношение стержня / внутреннего диаметра в месте остеотомии), классифицируемого в порядковых категориях ИВФ. Для оценки корреляции между непрерывными показателями в каждой подгруппе использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Значимость была установлена на уровне $p < 0,05$ для всех сравнительных статистических данных.

Исследования проведены в соответствии с этическими стандартами Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г., «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 года № 266. Пациенты или родители пациентов, уполномоченные сотрудники социальных учреждений подтвердили согласие на проведение исследования и публикацию результатов без идентификации личности.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Демографические данные (возраст, пол), оперированный сегмент и тип оперативного вмешательства, величина удлинения, соотношение между диаметром стержня и рентгенографическими показателями костномозгового канала, а также величина ИВФ отражены в табл. 1, 2 (значения приведены как среднее и стандартное отклонение, в скобках указан диапазон). Внутри групп мы не обнаружили статистически значимой разницы между удлинением с использованием Ti-стержней или стержней с ГА-покрытием с учетом среднего возраста, пола, величины удлинения, соотношения между диаметром стержней и костномозгового канала в самом узком месте или месте остеотомии. Кроме того, средние значения ИВФ в подгруппах Ti-стержни и стержни с ГА-покрытием по сравнению с аналогичными типами удлинения (Б-группа или Г-группа) существенно не отличались.

Таблица 1

Демографические, клинические и рентгеновские данные группы удлинения бедра

Параметр	Подгруппа Б-Ti (n = 16)	Подгруппа Б-ГА (n = 15)	p-value
Возраст; лет	16,7 ± 5,8 (7,6 – 32,6)	16,1 ± 7,3 (7,3 – 24,2)	0,916 ^{mw}
Соотношение полов: Ж/М	8/8	7/8	0,928*
Удлинение; см	4,5 ± 1,7 (3,0 – 7,1)	4,7 ± 1,8 (2,5 – 6,5)	0,820 ^{mw}
Удлинение; %	11,4 ± 4,1 (6,9 – 21,4)	12,6 ± 4,9 (6,2 – 23,6)	0,661 ^{mw}
Отношение диаметра стержня к диаметру самой узкой части костномозгового канала	0,18 ± 0,08 (0,11 – 0,26)	0,18 ± 0,06 (0,07 – 0,25)	0,547 ^{mw}
Отношение между диаметром стержня и внутренним расстоянием между кортикальными пластинками на уровне остеотомии	0,11 ± 0,04 (0,05–0,22)	0,10 ± 0,04 (0,06–0,13)	0,822 ^{mw}
ИВФ (дн/см)	26,5 ± 9,2 (19,1 – 42,9)	28,1 ± 6,2 (20,4 – 39,3)	0,713 ^{mw}

Примечание: ^{mw} – Mann – Whitney тест; * – критерий хи-квадрат.

Таблица 2

Демографические, клинические и рентгеновские данные группы удлинения голени

Параметр	Подгруппа Т-Ti (n = 17)	Подгруппа Т-ГА (n = 16)	p-value
Возраст; лет	15,7 ± 7,9 (6,1 – 31,8)	16,3 ± 3,4 (10,7 – 24,5)	0,34 ^{mw}
Соотношение полов: Ж/М	8/9	7/9	0,67*
Удлинение; см	3,5 ± 0,91 (2,0 – 5,5)	4,0 ± 1,3 (2,5 – 6,0)	0,058 ^{mw}
Удлинение; %	12,9 ± 3,23 (6,7 – 14,6)	14,7 ± 4,45 (6,0 – 21,7)	0,188 ^{mw}
Отношение диаметра стержня к диаметру самой узкой части костномозгового канала	0,21 ± 0,044 (0,15 – 0,28)	0,21 ± 0,08 (0,11 – 0,30)	0,565 ^{mw}
Отношение между диаметром стержня и внутренним расстоянием между кортикальными пластинками на уровне остеотомии	0,11 ± 0,03 (0,08 – 0,19)	0,1 ± 0,03 (0,05 – 0,13)	0,472 ^{mw}
ИВФ (дн/см)	34,9 ± 9,6 (23,2 – 48,8)	32,7 ± 7,65 (23 – 44,3)	0,285 ^{mw}

Примечание: ^{mw} – Mann – Whitney тест; * – критерий хи-квадрат.

Тест Conover не выявил в подгруппах статистически значимого влияния типа интрамедуллярных стержней на ИВФ. F-статистика составила 0,363 при $p = 0,342$ при удлинении бедра и 1,063 при удлинении костей голени при $p = 0,157$. Однако двусторонний дисперсионный анализ выявил значительное одновременное влияние типа стержней и соотношение «диаметр стержня / диаметр костномозгового канала» при удлинении бедренной кости ($p = 0,029$) на ИВФ. Влияние типа стержня на ИВФ при удлинении костей голени было связано с соотношением «диаметр стержня / внутренний диаметр в месте остеотомии» ($p = 0,021$). Кроме того, этот тест показал, что влияние типа стержня (Ti против GA) на ИВФ зависит от соотношения «стержень / внутренний диаметр в месте остеотомии» в Г-группе ($p = 0,029$).

Соотношение параметров лечения и ИВФ определяет значительную отрицательную корреляцию величины удлинения (как абсолютной, так и выраженной в %) с ИВФ как для эластичного армирования с GA-покрытием при удлинении бедра, так и для эластичных титановых стержней при удлинении костей голени (табл. 3). Кроме того, коэффициент ранговой корреляции Спирмена продемонстрировал статистически значимую положительную корреляцию между соотношением «диаметр стержня / внутренний диаметр на уровне остеотомии» и ИВФ при удлинении голени (подгруппа GA-Г) и значимую положительную корреляцию между возрастом и ИВФ в подгруппе GA-Б.

Таблица 3

Значимые корреляции между изучаемыми параметрами и ИВФ (коэффициент Spearman)

Параметр		Значение коэффициента	p-value
Удлинение бедра (подгруппа Б-GA)	см	-0,509	0,031
	%	-0,558	0,018
Удлинение голени (подгруппа Г-Ti)	см	-0,589	0,017
	%	-0,565	0,022
Отношение между диаметром стержня и внутренним расстоянием между кортикальными пластинками на уровне остеотомии (подгруппа Г-GA)		0,776	0,008
Возраст (подгруппа Б-GA)		0,549	0,025

Тяжесть и частота встретившихся осложнений отражена в табл. 4. У одного пациента наблюдали сопутствующие осложнения: перелом спицы и последующее вторичное смещение, потребовавшие перемонтажа аппарата под общим наркозом. Был случай преждевременного сращения кости, потребовавший реостеотомии. Еще в одном случае наблюдали внешнюю миграцию интрамедуллярного стержня, не покрытого GA, что потребовало его преждевременного удаления. У 48 пациентов интрамедуллярные стержни были удалены через 4–13 мес. после снятия аппарата.

Таблица 4

Осложнения

Вид осложнения	Удлинение бедра				Удлинение голени			
	Б-Ti		Б-GA		Г-Ti		Г-GA	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Поверхностная инфекция	2	12,6	3	20,1	3	17,7	2	12,6
Спицевой остеомиелит	–		1	6,7	–		–	
Парестезия, транзитный парез	–		–		1	5,9	1	6,3
Перелом спиц	1	6,3	1	6,7	–		–	
Вторичное смещение костных фрагментов	–		1	6,7	1	5,9	–	
Внешняя миграция интрамедуллярного эластичного стержня	1	6,3	–		–		–	
Преждевременное костное сращение	–		1	6,7	–		–	
Перелом после снятия аппарата внешней фиксации	1	6,3	–		–		–	
Стойкая контрактура коленного сустава	–		1	6,7	–		–	

Осложнение в виде деформации в зоне удлинения, потребовавшей внепланового хирургического вмешательства после снятия аппарата, наблюдали в одном случае в Б-группе (подгруппа Б-Ti). В двух случаях вторичного смещения были вынужденно проведены внеплановые операции перемонтажа аппарата с установкой дополнительных спиц или стержней-шурупов. В одном случае это осложнение связано с переломом спицы (Б-GA подгруппа), во втором случае — с нестабильностью проксимальной опоры на голени (Г-Ti подгруппа).

Мы не отмечали случаев блокирования интрамедуллярных эластичных стержней спицами или стержнями-шурупами наружного фиксатора на этапе дистракции. В 10 случаях околоспицевая инфекция была успешно купирована пероральными антибиотиками. Только в одном случае спицевой инфекции осложнение связано с термическим некрозом кости и потребовало кюретажа через 2 мес. после снятия

аппарата. Исходная амплитуда движений в коленном или голеностопном суставе была восстановлена у 63 пациентов при обследовании на последнем контрольном осмотре. Временный паралич малоберцовой группы отмечен в двух случаях. В дальнейшем функция нерва после проведенного консервативного лечения полностью восстановилась.

Оценка результатов по классификации Lascombes (табл. 5) через год показала, что триада условий планируемой величины удлинения, продолжительности наружной фиксации и функционального восстановления отмечена у 60 пациентов (93,8 % случаев). В трех случаях ИВФ составлял более 45 дн/см (46,3, 46,4 и 48,8 дн/см).

Рентгенологический анализ показал, что индекс консолидации в этих случаях был ниже 45 дн/см. Поскольку у этих пациентов не отмечено замедленной консолидации, повышенное значение ИВФ следует объяснять задержанным снятием аппарата внешней фиксации, вызванным другими проблемами, не связанными с процессом удлинения. Тем не менее, эти три исхода мы классифицировали как степень IIIa. Также к категории результатов III мы отнесли один случай стойкой разгибательной контрактуры коленного сустава после удлинения бедра, что потребовало выполнения операции релиза четырехглавой мышцы в сочетании с артротомией коленного сустава в отдаленном периоде.

Таблица 5

Результаты удлинения

Категория	Удлинение бедра		Удлинение голени	
	Б-Тi	Б-ГА	Г-Тi	Г-ГА
I	14	11	14	16
IIa	–	2	1	–
IIb	2	1	–	–
III	–	1	3	–

ОБСУЖДЕНИЕ

Укорочение одной из нижних конечностей, в том числе приобретенной этиологии, даже кажущееся незначительным, влияет на развитие вторичной патологии. Неравенство длины более 1 см может вызвать изменение биомеханики движений, приводящее к сколиотической деформации позвоночника, нарушениям походки и раннему развитию деформирующего артроза крупных суставов [30–33]. Эта разница в длине ног, влияющая на осанку в положении стоя, сбалансированность походки и баланс таза, подлежит коррекции [34]. Разработка нового поколения моторизованных интрамедуллярных удлиняющих стержней позволяет удлинять конечность, обеспечивая точный контроль режима distraction, и избегать неудобств наружной фиксации [1, 10, 12, 13]. Но открытые зоны роста, тяжесть деформации, инфекционные поражения кости в анамнезе и малый диаметр костномозгового канала в значительной степени ограничивают использование данных устройств [13, 35, 36]. В литературе рекомендуют применять метод наружной фиксации при удлинении конечностей и коррекции тяжелых деформаций приобретенной этиологии [11, 13, 37–40].

Удлинение аппаратами внешней фиксации представляет собой сложную задачу с длительным сроком лечения, присутствует значительный риск осложнений, включая септические осложнения, увеличение индекса консолидации, замедленные сроки сращения костей и переломы после удаления аппарата [16, 19, 22, 29, 41–43]. За последние двадцать лет прогресс в удлинении конечностей аппаратами наружной фиксации направлен на сокращение сроков фиксации аппаратом наружной фиксации и снижение количества осложнений. Так, стимуляция регенерата импульсным ультразвуком низкой интенсивности снижала индекс консолидации с 45 дн/см до 33 дн/см по результатам исследования К.Н. Salem et al. [8] и с 48 дн/см до 30 дн/см по результатам исследования Н. El-Mowafi et al. [7]. Эти небольшие по объему выборки представляют результаты удлинения конечностей у пациентов с приобретенным укорочением.

Многие авторы отмечают, что средний индекс наружной фиксации ниже при удлинении конечностей у пациентов с приобретенной патологией, чем таковой у пациентов с врожденным укорочением. R. Ganger et al. [3] отметили, что ИВФ составляет 2,1 мес/см при удлинении бедра и 2,8 мес/см при удлинении голени. В исследовании V. Antoci et al. [14] средний показатель составил 32 дн/см, достоверной разницы с результатами удлинения при врожденных укорочениях замечено не было. T. Nakase et al. [44] отмечали индекс, равный 1,45 мес/см, у пациентов при удлинении не менее 2 см, а J. Horn et al. [11] сообщили об индексе 2,0 мес/см (диапазон 0,8–6,0 мес/см) у пациентов с приобретенной разницей в длине конечностей. Наше исследование показало, что средние значения ИВФ при комбинации с интрамедуллярным армированием ниже, чем в вышеуказанных исследованиях.

В предыдущем исследовании мы указывали, что индекс консолидации был значительно ниже при использовании интрамедуллярных эластичных стержней, в среднем 7 дн/см, по сравнению с традиционным методом Илизарова [45]. V. Saraph et al. [46] использовали два изогнутых стержня Эндера для удлинения костей голени и выявили преимущества стабильного остеосинтеза, меньший процент инфекционных осложнений по сравнению с традиционной методикой, а также возможность предотвращения переломов и деформации удлинённых костей голени. M. Lampasi et al. [24] не встретили

ни вторичных смещений в период distraction, ни развития инфекции и переломов после удаления стержня при удлинении бедренной кости с помощью моноклатерального фиксатора и эластичного интрамедуллярного армирования. Кроме того, они сообщали о двух случаях преждевременной консолидации вследствие интенсивного формирования distractionных регенератов. В. Vukva et al. [22] и F. Launey et al. [19] также показали эффективность применения эластичного интрамедуллярного армирования для снижения индекса консолидации при удлинении конечностей, снижения риска осложнений и переломов после удаления аппарата. F. Launey et al. [21] подчеркивают преимущества использования интрамедуллярных стержней для профилактики вторичного смещения по ширине при удлинении костей малого диаметра, в частности, на предплечье.

Доказано, что эластичные интрамедуллярные стержни, покрытые гидроксиапатитом, способствуют костеобразованию и обеспечивают остеоинтеграцию, стимулируя остеогенную активность в костномозговом канале [28, 47]. Целью данного исследования было не только продемонстрировать особенности комбинированной техники для удлинения костей голени и бедра у пациентов с приобретенной разницей в длине конечностей, но и сравнить влияние биоактивных и титановых эластичных интрамедуллярных стержней на результаты лечения. А также оценить влияние демографических и отдельных механических факторов на костное сращение при distractionном остеосинтезе и, соответственно, на результат лечения.

Что касается влияния возраста и величины удлинения, наши результаты согласуются с результатами, опубликованными J. Fischgrund et al. [48] и P. Koczewski et al. [42]. Возраст оказывает существенное влияние на сроки консолидации: у детей сращение костей происходит быстрее, чем у взрослых пациентов. В нашем исследовании корреляция «возраст–ИВФ» была статистически положительной в подгруппе с удлинением бедренной кости с помощью стержней с ГА-покрытием. В отличие от возраста, по величине удлинения (в см или %) мы определили отрицательную значимую корреляцию с ИВФ (в подгруппе удлинения бедренной кости с использованием стержней с ГА-покрытием и в подгруппе удлинения костей голени с использованием титановых интрамедуллярных стержней). Эти данные позволяют предположить, что факторы, оказывающие влияние на время костной консолидации при удлинении с использованием комбинированной техники, аналогичны факторам, выявленным при использовании традиционной методики удлинения по Илизарову. Поскольку эти корреляции присутствуют при комбинированном удлинении, можно сделать заключение о сохранении биологических условий метода Илизарова для консолидации кости при использовании эластичного интрамедуллярного армирования.

Что касается ИВФ при использовании разных типов (титановые vs. с композитным гидроксиапатитным покрытием) интрамедуллярных стержней, то статистически значимых различий нами обнаружено не было. Мы предполагаем, что у включенных в исследование пациентов с приобретенным укорочением, без аномальной регенерации костной ткани, достаточно механической стимуляции костеобразования, обеспечивающей консолидацию удлиняемых костей в течение сходного по длительности периода. На практике не выявлено очевидных преимуществ применения интрамедуллярных стержней с остеоиндуктивным гидроксиапатитным покрытием в сравнении с титановыми стержнями для регенерации костной ткани без компрометированного гистогенеза. С другой стороны, влияние диаметра интрамедуллярного стержня на биологические свойства регенерации кости при удлинении конечностей раскрыто лишь отчасти. В нашем исследовании выявлена положительная достоверная корреляция между отношением «Диаметр стержня / внутреннее расстояние между кортикальными слоями в месте остеотомии» в Т-ГА подгруппе. Данный результат в сравнении со значительным влиянием типа стержней и соотношения «диаметр стержня / диаметр костномозгового канала или внутренний диаметр в месте остеотомии» на ИВФ, выявленный с помощью двустороннего дисперсионного анализа, означает, что оба фактора (и диаметр, и тип эластичного стержня) следует рассматривать вместе в будущих клинических и экспериментальных исследованиях.

В нашем исследовании ни в одном случае мы не наблюдали замедленного формирования и созревания distractionного регенерата. Что касается осложнений, только в одном случае после снятия аппарата произошел перелом в месте удлинения. M.B. Danzinger et al. отмечали два случая переломов после снятия аппарата у пяти пациентов с посттравматическими деформациями [49]. D.F. Stanitski et al. описывали развитие деформации в месте удлинения после снятия аппарата в шести случаях у 62 пациентов, которым удлиняли голень с использованием аппарата Илизарова [50]. R. Ganger et al. [3] описывали появление деформации в месте удлинения после снятия аппарата у одного пациента (4,5%). В отличие от этих данных, J. Horn et al. [11] не выявили переломов или других серьезных осложнений при удлинении ног у пациентов с приобретенными укорочениями конечностей.

Следует подчеркнуть, что существуют специфические осложнения удлинения, связанные с применением интрамедуллярного эластичного армирования: миграция интрамедуллярных стержней (1 случай) и преждевременное сращение кости (1 случай). В данной серии больных они были пролечены хирургическим путем без последствий (рис. 3).



Рис. 3. Рентгенограммы при удлинении бедра, осложненном преждевременной консолидацией, пациент подгруппы Б-ГА: а — дистальная остеотомия бедренной кости, ретроградное армирование; б — преждевременная консолидация (рентгенография на 21-ый послеоперационный день), потребовавшая реостеотомии; в — в конце периода фиксации, костное сращение, аппарат снят; г — 40 дней после снятия аппарата внешней фиксации

В итоге, у наших пациентов требуемые результаты лечения были достигнуты без ухудшения функции удлинённой конечности в 63 из 64 случаев. Результаты лечения расценены как хорошие или отличные во всех случаях. Ограничения данного исследования связаны с небольшим числом пациентов, неоднородностью серии, в исследование включены пациенты с разницей в длине конечностей только умеренной. Однако следует отметить, что и в других сериях удлинения при приобретенных патологиях нижних конечностей популяции пациентов обычно гетерогенны [7, 11, 14, 22].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наше проспективное исследование показало, что удлинение конечностей, как с помощью эластичных титановых стержней, так и стержней с композитным ГА-покрытием, обеспечивает хорошие и отличные результаты при удлинении костей бедра и голени у пациентов с приобретенной разницей в длине нижних конечностей. Применение данной методики способствует снижению ИВФ и меньшему риску осложнений, в т.ч. тяжелых, в сравнении с традиционными методиками без использования интрамедуллярных эластичных стержней. При приобретенных укорочениях конечностей, не связанных с патологически измененной костной тканью, не отмечено различий в ИВФ при использовании титановых стержней в сравнении с интрамедуллярными стержнями с ГА-покрытием. Положительная достоверная высокая корреляция отношения «Диаметр стержня / внутреннее расстояние между кортикальными слоями в месте остеотомии» и ИВФ, а также значительное влияние типа стержня и его диаметра на ИВФ означает, что оба фактора (диаметр и тип применяемого эластичного интрамедуллярного стержня) следует рассматривать вместе в будущих исследованиях.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Не заявлен.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Paley D. PRECICE intramedullary limb lengthening system. *Expert Rev Med Devices*. 2015;12(3):231-249. doi: 10.1586/17434440.2015.1005604
2. Friend L, Widmann RF. Advances in management of limb length discrepancy and lower limb deformity. *Curr Opin Pediatr*. 2008;20(1):46-51. doi: 10.1097/MOP.0b013e3282f35eeb
3. Ganger R, Radler C, Speigner B, Grill F. Correction of post-traumatic lower limb deformities using the Taylor spatial frame. *Int Orthop*. 2010;34(5):723-730. doi: 10.1007/s00264-009-0839-5
4. Maffulli N, Lombardi C, Matarazzo L, et al. A review of 240 patients undergoing distraction osteogenesis for congenital post-traumatic or postinfective lower limb length discrepancy. *J Am Coll Surg*. 1996;182(5):394-402.
5. Massard-Combe P, Verscheure D, Jayet J, et al. Lower Limb Discrepancy Secondary to Post-traumatic Femoral Lesion: A Case Report. *Ann Vasc Surg*. 2020;68:571.e5-571.e7. doi: 10.1016/j.avsg.2020.04.048
6. Emara KM, Khames A. Functional outcome after lengthening with and without deformity correction in polio patients. *Int Orthop*. 2008;32(3):403-407. doi: 10.1007/s00264-007-0322-0
7. El-Mowafi H, Mohsen M. The effect of low-intensity pulsed ultrasound on callus maturation in tibial distraction osteogenesis. *Int Orthop*. 2005;29(2):121-124. doi: 10.1007/s00264-004-0625-3
8. Salem KH, Schmelz A. Low-intensity pulsed ultrasound shortens the treatment time in tibial distraction osteogenesis. *Int Orthop*. 2014;38(7):1477-1482. doi: 10.1007/s00264-013-2254-1
9. Kristiansen LP, Steen H, Reikerås O. No difference in tibial lengthening index by use of Taylor spatial frame or Ilizarov external fixator. *Acta Orthop*. 2006;77(5):772-777. doi: 10.1080/17453670610012971
10. Hammouda AI, Jauregui JJ, Gesheff MG, et al. Treatment of Post-Traumatic Femoral Discrepancy With PRECICE Magnetic-Powered Intramedullary Lengthening Nails. *J Orthop Trauma*. 2017;31(7):369-374. doi: 10.1097/BOT.0000000000000828
11. Horn J, Steen H, Huhnstock S, et al. Limb lengthening and deformity correction of congenital and acquired deformities in children using the Taylor Spatial Frame. *Acta Orthop*. 2017;88(3):334-340. doi: 10.1080/17453674.2017.1295706
12. Horn J, Hvid I, Huhnstock S, et al. Limb lengthening and deformity correction with externally controlled motorized intramedullary nails: evaluation of 50 consecutive lengthenings. *Acta Orthop*. 2019;90(1):81-87. doi: 10.1080/17453674.2018.1534321
13. Calder PR, Laubscher M, Goodier WD. The role of the intramedullary implant in limb lengthening. *Injury*. 2017;48 Suppl 1:S52-S58. doi: 10.1016/j.injury.2017.04.028
14. Antoci V, Ono CM, Antoci V Jr, Raney EM. Comparison of distraction osteogenesis for congenital and acquired limb-length discrepancy in children. *Orthopedics*. 2008;31(2):129. doi: 10.3928/01477447-20080201-04
15. Ceroni D, Grumetz C, Desvachez O, et al. From prevention of pin-tract infection to treatment of osteomyelitis during paediatric external fixation. *J Child Orthop*. 2016;10(6):605-612. doi: 10.1007/s11832-016-0787-8
16. Antoci V, Ono CM, Antoci V Jr, Raney EM. Bone lengthening in children: how to predict the complications rate and complexity? *J Pediatr Orthop*. 2006;26(5):634-640. doi: 10.1097/01.bpo.0000229977.31931.69
17. Аранович А., Стогов М., Киреева Е., Менщикова Т. Прогнозирование и контроль течения дистракционного остеогенеза. Аналитический обзор. *Гений ортопедии*. 2019;25(3):400-406. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-3-400-406
18. Matsubara H, Tsuchiya H, Sakurakichi K, et al. Deformity correction and lengthening of lower legs with an external fixator. *Int Orthop*. 2006;30(6):550-554. doi: 10.1007/s00264-006-0133-8
19. Launay F, Younsi R, Pithioux M, et al. Fracture following lower limb lengthening in children: a series of 58 patients. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2013;99(1):72-79. doi: 10.1016/j.otsr.2012.08.005
20. Moraal JM, Elzinga-Plomp A, Jongmans MJ, et al. Long-term psychosocial functioning after Ilizarov limb lengthening during childhood. *Acta Orthop*. 2009;80(6):704-710. doi: 10.3109/17453670903473024
21. Launay F, Jouve JL, Guillaume JM, et al. Progressive forearm lengthening in children: 14 cases. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 2001;87(8):786-795. (In French)
22. Bukva B, Vrgoč G, Rakovac I, et al. Complications in leg lengthening using an Ilizarov external fixator and intramedullary alignment in children: comparative study during a fourteen-year period. *Injury*. 2015;46 Suppl 6:S48-51. doi: 10.1016/j.injury.2015.10.058
23. Pejin Z. Femoral lengthening in children and adolescents. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2017;103(1S):S143-S149. doi: 10.1016/j.otsr.2016.05.020
24. Lampasi M, Launay F, Jouve JL, Bollini G. Femoral lengthening over elastic stable intramedullary nailing in children using the monolateral external fixator. *Chir Organi Mov*. 2009;93(2):57-64. doi: 10.1007/s12306-009-0032-4
25. Popkov DA, Popkov AV, Kononovich NA, et al. Experimental study of progressive tibial lengthening in dogs using the Ilizarov technique. Comparison with and without associated intramedullary K-wires. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2014;100(7):809-814. doi: 10.1016/j.otsr.2014.06.021
26. Morcos MW, Al-Jallad H, Hamdy R. Comprehensive Review of Adipose Stem Cells and Their Implication in Distraction Osteogenesis and Bone Regeneration. *Biomed Res Int*. 2015;2015:842975. doi: 10.1155/2015/842975
27. Shevtsov VI, Popkov AV, Popkov DA, et al. Elastic stable intramedullary nailing in Ilizarov bone lengthening. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 2004;90(5):399-410. (In French). doi: 10.1016/s0035-1040(04)70166-x
28. Bolbasov EN, Popkov AV, Popkov DA, et al. Osteoinductive composite coatings for flexible intramedullary nails. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2017;75:207-220. doi: 10.1016/j.msec.2017.02.073
29. Lascombes P, Popkov D, Huber H, et al. Classification of complications after progressive long bone lengthening: proposal for a new classification. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2012;98(6):629-637. doi: 10.1016/j.otsr.2012.05.010
30. Shailam R, Jaramillo D, Kan JH. Growth arrest and leg-length discrepancy. *Pediatr Radiol*. 2013;43(Suppl 1):S155-S65. doi: 10.1007/s00247-012-2598-5
31. Ceroni D, Valaikaite R, Grumetz C, et al. Corrective surgery for lower limb length discrepancy and malalignment in paediatric orthopaedics. *Rev Med Suisse*. 2017;13(550):427-432. (In French)
32. McClure PK, Herzenberg JE. The Natural History of Lower Extremity Malalignment. *J Pediatr Orthop*. 2019;39(Issue 6, Supplement 1 Suppl 1):S14-S19. doi: 10.1097/BPO.0000000000001361

33. Grivas TB, Angouris K, Chandrinou M, Kechagias V. Truncal changes in children with mild limb length inequality: a surface topography study. *Scoliosis Spinal Disord.* 2018;13:27. doi: 10.1186/s13013-018-0173-z
34. Попков А.В., Аранович А.М., Новиков К.И. и др. Комбинированный высокочастотный дистракционный остеосинтез бедра у детей. *Гений ортопедии.* 2016;(2):57-63. doi: 10.18019/1028-4427-2016-2-57-63
35. Black SR, Kwon MS, Cherkashin AM, et al. Lengthening in Congenital Femoral Deficiency: A Comparison of Circular External Fixation and a Motorized Intramedullary Nail. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(17):1432-1440. doi: 10.2106/JBJS.N.00932
36. Iobst C. Limb lengthening combined with deformity correction in children with the Taylor Spatial Frame. *J Pediatr Orthop B.* 2010;19(6):529-534. doi: 10.1097/BPB.0b013e32833dec43
37. Küçükaya M, Karakoyun Ö, Sökücü S, Soydan R. Femoral lengthening and deformity correction using the Fitbone motorized lengthening nail. *J Orthop Sci.* 2015;20(1):149-154. doi: 10.1007/s00776-014-0659-3
38. Hosny GA. Limb lengthening history, evolution, complications and current concepts. *J Orthop Traumatol.* 2020;21(1):3. doi: 10.1186/s10195-019-0541-3
39. Попков А.В., Аранович А.М., Новиков К.И. и др. Удлинение голени у детей комбинированной методикой с применением высокочастотной круглосуточной дистракции. *Гений ортопедии.* 2016;(2):51-56. doi: 10.18019/1028-4427-2016-2-51-56
40. Qin S., Zang J., Guo B. Технология Илизарова и китайская философия (к 100-летию со дня рождения профессора Илизарова). *Гений ортопедии.* 2021;27(3):291-295. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-3-291-295
41. Oostenbroek HJ, Brand R, van Roermund PM, Castelein RM. Paediatric lower limb deformity correction using the Ilizarov technique: a statistical analysis of factors affecting the complication rate. *J Pediatr Orthop B.* 2014;23(1):26-31. doi: 10.1097/BPB.0b013e32836422ba
42. Koczewski P, Shadi M. Factors influencing bone regenerate healing in distraction osteogenesis. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2013;15(6):591-599. doi: 10.5604/15093492.1091515
43. Gordon JE, Manske MC, Lewis TR, et al. Femoral lengthening over a pediatric femoral nail: results and complications. *J Pediatr Orthop.* 2013;33(7):730-736. doi: 10.1097/BPO.0b013e3182a122a1
44. Nakase T, Kitano M, Kawai H, et al. Distraction osteogenesis for correction of three-dimensional deformities with shortening of lower limbs by Taylor Spatial Frame. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2009;129(9):1197-1201. doi: 10.1007/s00402-008-0702-y
45. Popkov D, Popkov A, Haumont T, et al. Flexible intramedullary nail use in limb lengthening. *J Pediatr Orthop.* 2010;30(8):910-918. doi: 10.1097/BPO.0b013e3181f0eaf9
46. Saraph V, Roposch A, Zwick EB, Linhart WE. Tibial lengthening over nails in children using modified Ender nails: preliminary results of a new treatment. *J Pediatr Orthop B.* 2004;13(6):383-388. doi: 10.1097/01202412-200411000-00007
47. Popkov AV, Gorbach EN, Kononovich NA, et al. Bioactivity and osteointegration of hydroxyapatite-coated stainless steel and titanium wires used for intramedullary osteosynthesis. *Strategies Trauma Limb Reconstr.* 2017;12(2):107-113. doi: 10.1007/s11751-017-0282-x
48. Fischgrund J, Paley D, Suter C. Variables affecting time to bone healing during limb lengthening. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;(301):31-37.
49. Danziger MB, Kumar A, DeWeese J. Fractures after femoral lengthening using the Ilizarov method. *J Pediatr Orthop.* 1995;15(2):220-223.
50. Stanitski DF, Shahcheraghi H, Nicker DA, Armstrong PF. Results of tibial lengthening with the Ilizarov technique. *J Pediatr Orthop.* 1996;16(2):168-172. doi: 10.1097/00004694-199603000-00006

Статья поступила 29.02.2024; одобрена после рецензирования 17.05.2024; принята к публикации 18.06.2024.

The article was submitted 29.02.2024; approved after reviewing 17.05.2024; accepted for publication 18.06.2024.

Информация об авторах:

Денис Васильевич Тропин — врач травматолог-ортопед, I@tropin-1.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6719-0959>;

Василий Иванович Тропин — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, заведующий отделением, vasilytropin@yahoo.com, <https://orcid.org/0009-0006-2082-8341>;

Александр Александрович Чертищев — врач травматолог-ортопед;

Никита Сергеевич Гвоздев — врач травматолог-ортопед, gvozdev_n.s@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3428-3742>;

Дмитрий Арнольдович Попков — доктор медицинских наук, травматолог-ортопед, руководитель клиники, профессор Российской академии наук, член-корр. Французской академии медицинских наук, dpopkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8996-867X>.

Information about the authors:

Denis V. Tropin — orthopaedic surgeon, I@tropin-1.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6719-0959>;

Vasily I. Tropin — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, Head of Department, vasilytropin@yahoo.com, <https://orcid.org/0009-0006-2082-8341>;

Aleksandr A. Chertishev — orthopaedic surgeon;

Nikita S. Gvozdev — orthopaedic surgeon, gvozdev_n.s@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3428-3742>;

Dmitry A. Popkov — Doctor of Medical Sciences, Head of the Clinic, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the French Academy of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, dpopkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8996-867X>.