

© Мингазов Э.Р., Гофман Ф.Ф., Попков А.В., Аранович А.М., Губин А.В., Попков Д.А., 2019

УДК 616.71-007.235-089.227.84-053.2

DOI 10.18019/1028-4427-2019-25-3-297-303

Первый опыт применения титанового телескопического стержня при коррекции деформаций конечностей у детей с несовершенным остеогенезом

Э.Р. Мингазов, Ф.Ф. Гофман, А.В. Попков, А.М. Аранович, А.В. Губин, Д.А. Попков

Федеральное государственное бюджетное учреждение

«Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. акад. Г.А. Илизарова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курган, Россия

First use experience with titanium telescopic rod in pediatric limb deformity correction in osteogenesis imperfecta

E.R. Mingazov, F.F. Gofman, A.V. Popkov, A.M. Aranovich, A.V. Gubin, D.A. Popkov

Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation

Цель. Представление и оценка первых результатов применения отечественного титанового телескопического стержня у детей с несовершенным остеогенезом. **Материалы и методы.** В группу исследования включены 7 пациентов с III и IV типом несовершенного остеогенеза, которым выполнялась коррекция деформаций бедер и голеней комбинированной методикой с применением титанового телескопического стержня и редуцированного аппарата Илизарова. Период наблюдения после операции составил 6-12 месяцев. **Результаты.** Во всех случаях требуемый результат коррекции был достигнут и оставался стабильным в период наблюдения 6-12 месяцев. Средняя длительность внешнего остеосинтеза составила $30,2 \pm 7,5$ дней. Осложнений, связанных с применением аппарата внешней фиксации, не было. Телескопирование стержня присутствовало во всех случаях. Вторичных смещений костных фрагментов, миграции частей телескопического стержня не отмечено. **Заключение.** Применение титанового телескопического стержня в рамках комбинированной технологии при коррекции деформаций длинных костей у детей с тяжелыми формами несовершенного остеогенеза показало высокую воспроизводимость методики и возможность достижения требуемых результатов лечения, отсутствие проблем, связанных с миграцией частей стержня. Во всех случаях происходило телескопирование стержня, без блокирования его частей. Достигнутая коррекция сохранялась на протяжении всего периода наблюдения.

Ключевые слова: несовершенный остеогенез, титановый телескопический стержень, метод Илизарова

Objective Present and evaluate results from the first use of a Russian titanium telescopic rod in children with osteogenesis imperfecta. **Material and methods** A study group included 7 patients with osteogenesis imperfecta types III and IV who underwent femoral and tibial deformity correction with a combined use of titanium telescopic rod and reduced Ilizarov frame. The follow-up period was 6-12 months. **Results** The desired correction was achieved and maintained in all the cases at 6 to 12 months. The mean length of external fixation was 30.2 ± 7.5 days. No complications related to external fixation were observed. Telescoping was present in all cases. No secondary bone displacement, telescopic rod migration were noted. **Conclusion** Titanium telescopic rod applied in combined technology of long bone deformity correction in children with severe osteogenesis imperfecta showed high reproducibility of the technique, the possibility of desired correction and no problems related to rod migration. Telescoping of the rod occurred in all cases with no episodes of blocking. The correction achieved persisted throughout the whole period of observation.

Keywords: osteogenesis imperfecta, titanium telescopic rod, Ilizarov method

ВВЕДЕНИЕ

Трансфизарное телескопическое армирование было предложено для продленного интрамедуллярного остеосинтеза длинных костей у детей с несовершенным остеогенезом (НО) [1, 2, 3, 4]. Наиболее удачными системами считаются телескопические стержни (Fassier-Duval, Bayley-Dubow) [5, 6, 7, 8], имеются также источники, представляющие результаты применения телескопических систем в виде трансфизарно проведенных эластичных стержней [7, 9, 10]. Основной и далекой от разрешения проблемой любой телескопической системы остается первичная ротационная нестабильность [11, 12, 13], которая в сочетании с продольной нестабильностью системы в условиях замедленной костной консолидации и/или значительной тяжести ортопедической патологии может приводить к усугублению ситуации и появлению новых ятрогенных ортопедических проблем [14]. Кроме того, изоли-

рованное применение любой телескопической интрамедуллярной системы не разрешает осевую нагрузку на оперированную конечность в ближайший послеоперационный период [8, 11, 15]. Это способствует вторичному снижению костной массы, усугублению остеопороза и предрасполагает к вторичным переломам у пациентов с несовершенным остеогенезом [2, 12, 13, 16]. Отметим также серьезные затруднения в выполнении магнитно-резонансной томографии при использовании стальных телескопических конструкций [17, 18, 19, 20]. Наконец, стоимость зарубежных телескопических конструкций остается чрезвычайно высокой.

В Центре имени академика Илизарова была показана эффективность применения комбинированной методики, сочетающей интрамедуллярные телескопические системы и редуцированную внешнюю фиксацию, позволяющей избежать недостатков продольной и ротационной

■ Мингазов Э.Р., Гофман Ф.Ф., Попков А.В., Аранович А.М., Губин А.В., Попков Д.А. Первый опыт применения титанового телескопического стержня при коррекции деформаций конечностей у детей с несовершенным остеогенезом // Гений ортопедии. 2019. Т. 25, № 3. С. 297-303. DOI 10.18019/1028-4427-2019-25-3-297-303

нестабильности изолированно применяемых телескопических систем [21, 22]. Данный подход обеспечивает возможность полноценной осевой нагрузки в раннем послеоперационном периоде [23]. С 10 июля 2017 года в нашей стране стал доступен отечественный телескопический стержень, выполненный из сплава титана. В РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова данная телескопическая

конструкция используется с февраля 2018 года в рамках методики комбинированного остеосинтеза.

Целью данного сообщения является представление и оценка первых результатов применения отечественного телескопического стержня у детей с несовершенным остеогенезом, где период наблюдения после операции составил 6–12 месяцев.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данное исследование вошли 7 детей с формами несовершенного остеогенеза III и IV по Sillence [24], которым производилась коррекция деформаций костей бедра (6 сегментов) или голени (2 сегмента) комбинированной методикой с применением отечественного титанового стержня (Стержень интрамедулярный телескопический. Рег. удостоверение № РЗН 2017/6876 от 10.07.17. Разработчик – ООО «Метис», г. Томск; изготовитель – ООО «Остеосинтез», г. Рыбинск). Стержень изготовлен из титанового сплава ВТ-6; ГОСТ 19807-91. Обязательным критерием включения была длительность периода наблюдения после операции не менее 6 месяцев.

Третий тип НО отмечен у двух детей, четвертый тип – у пяти. Средний возраст на момент выполнения операции был $9,4 \pm 1,5$ года.

В двух случаях оперативное лечение производилось по срочным показаниям после перелома бедренной кости при ранее сформированной деформации, как первичное вмешательство. В остальных случаях производилось ревизионное армирование после ранее установленного эластичного армирования (5 сегментов: 3 бедра, 2 голени) или телескопического стального стержня (1 бедро). Показаниями к ревизионному телескопическому армированию были рецидивы деформаций, имевшие клиническое значение (снижение двигательных возможностей ребенка, снижение физического функционирования), отсутствие телескопирования стального стержня и развитие деформаций на метадиафизарном уровне.

Этапами выполнения операции были удаление прежней конструкции (при ревизионном армировании), введение спицы-гига при последовательном выполнении корригирующих остеотомий, рассверливание костномозгового канала, расположение телескопического стержня с фиксацией резьбовых концов в эпифизах (апофизе большого вертела), ушивание ран, остеосинтез редуцированным внешним фиксатором Илизарова (дистальная и проксимальная опора с 2–3 элементами фиксации).

Особенностью техники введения телескопического стержня явилось первоначальное расположение резьбового конца внутренней части на уровне дистального метафиза, затем вводился внешний компонент и ввинчивался в большой вертел (при армировании бедра) или проксиимальный эпифиз большеберцовой кости. И лишь затем внутренний компонент за выстоящую часть вводился путем вкручивания резьбовой части в

дистальный эпифиз, выстоящая его часть скусывалась. Такая последовательность введения полностью исключала протрузию внутреннего компонента в дистальный относительно армируемого сегмента сустав, что описано в рекомендациях при классической технике расположения стержня Fassier-Duval [11].

При анализе результатов оперативного вмешательства оценивались:

1) длительность операции, оценочная величина кровопотери, снижение содержания эритроцитов и гемоглобина в первые 48 часов после операции (наименьшие значения), выполнение гемотрансфузии;

2) длительность внешней фиксации;

3) значения референтных углов [25, 26] до операции, после операции, после снятия аппарата Илизарова, в период 6–12 месяцев после операции (mLPFA – механический латеральный проксиимальный бедренный угол, aMPFA – анатомический медиальный проксиимальный бедренный угол, mL DFA – механический латеральный дистальный бедренный угол, aLDFA – анатомический латеральный дистальный бедренный угол, mMPTA – механический медиальный проксиимальный большеберцовый угол, aMPTA – анатомический медиальный проксиимальный большеберцовый угол, mL DTA – механический латеральный дистальный большеберцовый угол, aLDTA – анатомический латеральный дистальный большеберцовый угол, PDFA – задний дистальный бедренный угол, PPTA – задний проксиимальный большеберцовый угол, ADTA – передний дистальный большеберцовый угол). Особенность исследования анатомических углов в послеоперационном периоде заключалась в их измерении между суставной линией и установленным вдоль анатомической оси телескопическим стержнем. Такой подход отражает возможное изменение ориентации суставных концов относительно оси сегмента в процессе резидуального роста и/или вследствие ремоделирования патологической кости вокруг стержня или миграции последнего;

4) величина телескопирования стержня;

5) нежелательные явления, ошибки и осложнения.

Полученные количественные данные подвергали статистической обработке с использованием программы AtteStat 13.1 (Россия). Статистическое исследование включало в себя описательную статистику: средние значения (M) и стандартное отклонение (SD).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средняя длительность операции, в целом, составила $136,1 \pm 38,7$ минуты, при первичном армировании и внешней фиксации – $130 \pm 35,4$ минуты, при ревизионном армировании в сочетании с наложением редуцированного аппарата Илизарова – $137,9 \pm 42,1$ минуты.

Оценочная кровопотеря составила $143,9 \pm 55,7$ мл, в том числе при операциях на бедре – $163,3 \pm 58,9$ мл, на голени – $41,7 \pm 10,4$ мл. В таблице 1 представлены

показатели содержания эритроцитов и гемоглобина в предоперационном периоде и минимальные значения, отмеченные на протяжении первых 48 часов после операции. Отметим, что гемотрансфузия потребовалась в двух случаях после ревизионных операций на бедре и одном – при первичном армировании бедренной кости, где было затруднено использование турникета.

Таблица 1

Содержание эритроцитов и гемоглобина

Показатель	До операции	Первые 48 часов после операции
Содержание эритроцитов при коррекции деформаций бедра; количество $\times 10^{12}/\text{мл}$	$4,2 \pm 0,5$	$3,1 \pm 0,5$
Содержание гемоглобина при коррекции деформаций бедра; г/мл	$122,3 \pm 13,1$	$90,7 \pm 15,9$
Содержание эритроцитов при коррекции деформаций голени; количество $\times 10^{12}/\text{мл}$	$4,39 \pm 0,29$	$4,12 \pm 0,16$
Содержание гемоглобина при коррекции деформаций голени; г/мл	$118,0 \pm 7,1$	$113,7 \pm 5,5$

Длительность внешней фиксации составила $30,2 \pm 7,55$ дня (для бедра $28,7 \pm 4,03$ дня, для голени $33,4 \pm 12,86$ дня). Все пациенты были вертикализированы с полной осевой нагрузкой на оперированную конечность в течение первой послеоперационной недели с использованием костылей или ходунков. После снятия аппарата гипсовая повязка со свободными тазобедренным и голеностопным суставами накладывалась на 3–4 недели всем пациентам. В гипсовой повязке ходьба с полной нагрузкой продолжалась незамедлительно.

Рентгенанатомические показатели для оперирован-

ного сегмента (бедра или голени) представлены в таблицах 2 и 3.

Отметим, что на протяжении периода наблюдения достигнутые средние значения референтных углов оставались нормальными или близкими к нормальным (рис. 1, 2). При этом немного сниженные значения mLFA, обусловленные умеренной варусной деформацией шейки бедра, сопровождались амплитудой отведения бедра не менее 40° . А повышенные относительно нормы показатели ADTA сочетались с тыльной флекссией стопы не менее 20° , что исключало функциональные ограничения.

Таблица 2

Рентгенанатомические показатели для бедра, значения референтных углов ($^\circ$)

Период	mLFA	aMPFA	mLDFA	alDFA	PDFA
До операции	$100,5 \pm 13,4$	$80,7 \pm 8,4$	$101,8 \pm 7,3$	$87,5 \pm 11,3$	$70,3 \pm 11,1$
После операции	$85,7 \pm 14,8$	$89,3 \pm 12,97$	$89,3 \pm 4,4$	$85,8 \pm 6,2$	$81,5 \pm 6,5$
После снятия аппарата	$86,2 \pm 15,4$	$88,3 \pm 16,2$	$91,3 \pm 4,6$	$85,2 \pm 4,5$	$81,8 \pm 7,5$
Через 6–12 месяцев	$85 \pm 15,2$	$89,3 \pm 15,9$	$92,8 \pm 6,2$	$86,2 \pm 5,2$	$82,3 \pm 6,3$

Таблица 3

Рентгенанатомические показатели для голени, значения референтных углов ($^\circ$)

Период	mMPTA	aMPTA	mLDTA	alDTA	PPTA	ADTA
До операции	$92 \pm 4,2$	$87 \pm 3,7$	$82 \pm 7,1$	$84,7 \pm 2,5$	$76 \pm 8,5$	$121 \pm 12,7$
После операции	$88,5 \pm 2,1$	$88,5 \pm 2,1$	$82 \pm 8,5$	$82 \pm 8,5$	$85 \pm 0,7$	$104,5 \pm 6,4$
После снятия аппарата	$89,5 \pm 0,7$	$89 \pm 0,5$	$86,5 \pm 0,71$	$85 \pm 1,4$	$80,5 \pm 0,7$	$104 \pm 5,7$
Через 6–12 месяцев	$89 \pm 1,4$	$90,5 \pm 0,7$	$86,5 \pm 0,71$	$84,5 \pm 0,7$	$81,5 \pm 0,7$	$103,5 \pm 4,9$

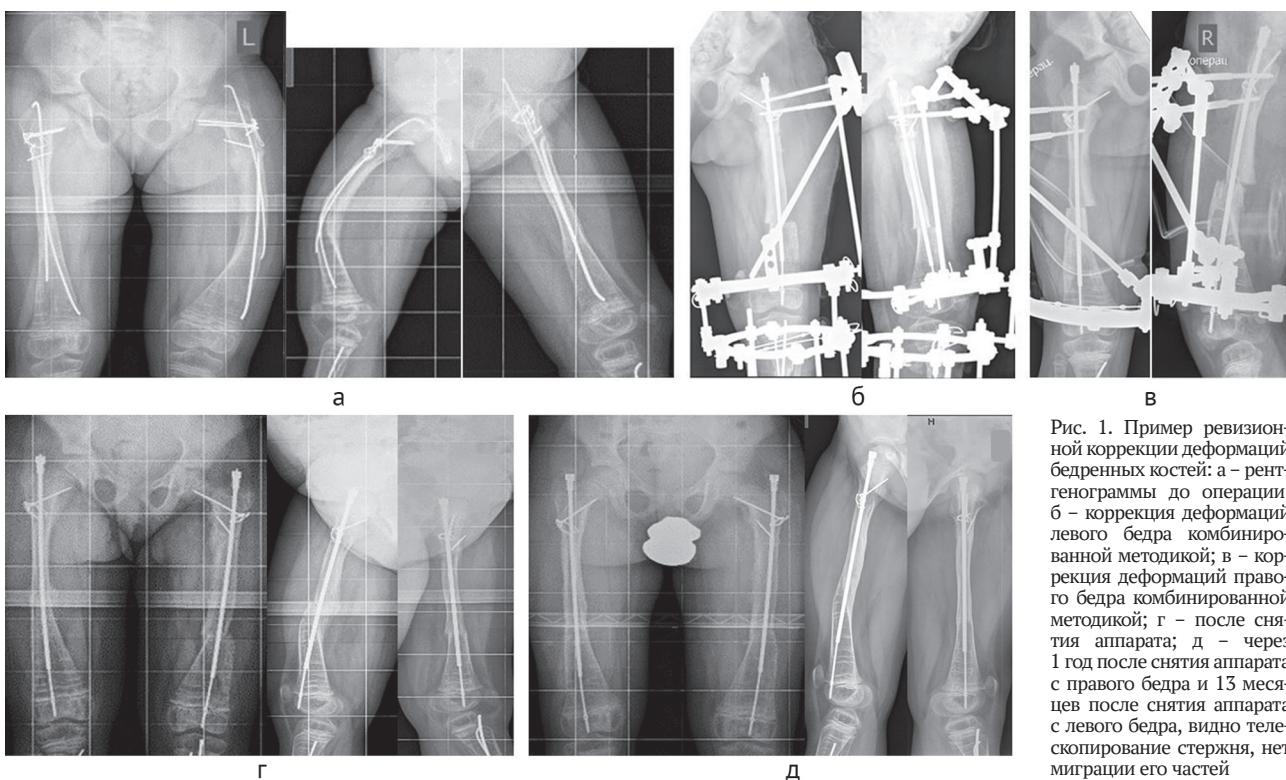


Рис. 1. Пример ревизионной коррекции деформаций бедренных костей: а – рентгенограммы до операции; б – коррекция деформации левого бедра комбинированной методикой; в – коррекция деформаций правого бедра комбинированной методикой; г – после снятия аппарата; д – через 1 год после снятия аппарата с правого бедра и 15 месяцев после снятия аппарата с левого бедра, видно телескопирование стержня, нет миграции его частей

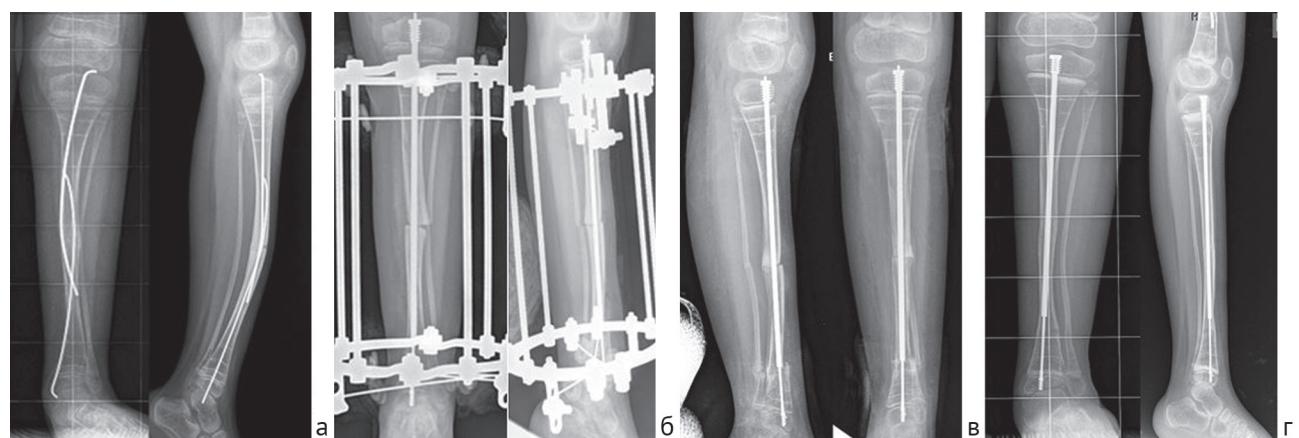


Рис. 2. Пример ревизионной коррекции деформации голени: а – рентгенограммы до операции; б – комбинированный остеосинтез аппаратом Илизарова и титановым стержнем; в – после снятия аппарата; г – через 1 год после операции, видно телескопирование стержня, нет миграции его частей

Величина телескопирования стержня, измеренная только у пациентов со сроком наблюдения не менее 12 месяцев, составила $13,5 \pm 2,8$ мм на голени и $15 \pm 1,4$ мм на бедре.

Из нежелательных событий, осложнений были отмечены: один случай перелома на уровне дистального метафиза бедра, без смещения костных отломков, произошедший в момент укладки пациента на операционном столе. Данное осложнение не потребовало дополнительных вмешательств, не изменило план операции и не повлияло на окончательный результат. Еще у одного пациента произошел частичный рецидив варусной деформации на уровне коррекции бедра, наблюдавшийся при создании умеренных компрессионных усилий между опорами аппарата в раннем послеоперационном периоде (рис. 3). Причиной мы посчитали недостаточный

диаметр установленного стержня относительно широкого диаметра костномозгового канала. Учитывая двухуровневый характер коррекции, позволивший достичь нормальных параметров механических референтных углов бедра и полноценную коррекцию общей оси конечности, данное осложнение не повлияло на достижение требуемого результата.

За период наблюдения мы не встретили воспалительных явлений возле элементов аппарата Илизарова. Во всех случаях происходило телескопирование стержней. Не было отмечено ни потери фиксации резьбовых концов в эпифизах бедренной и большеберцовой костей или апофизе большого вертела, ни миграции стержней в коленный или голеностопный сустав. Естественно, что не было отмечено ни одного случая вторичного ротационного или продольного смещения костных фрагментов.



Рис. 3. Пример частичной потери коррекции деформации на уровне проксимальной остеотомии: а – рентгенограмма бедра до операции; б – интраоперационный рентгеновский снимок; в – возникновение угловой деформации 7° на уровне проксимальной остеотомии после создания компрессионных усилий между опорами аппарата; г – рентгенограмма бедра после снятия аппарата

ДИСКУССИЯ

Телескопический стержень в настоящее время считается наиболее удачным решением в создании интрамедуллярной трансфизарной телескопической системы, применяемой при коррекции деформаций длинных трубчатых костей у детей с несовершенным остеогенезом. Однако осложнения при изолированном применении телескопических систем встречаются в 35–55 % случаев [8].

Среди встретившихся осложнений отмечают [9, 27, 28] в 10,5–23,7 % случаев миграцию стержней или

частей конструкции, деформации телескопического стержня – до 18,8 % случаев, нерасхождение частей стержней – до 2,1 % случаев, переломы стержней – до 6,9 %, замедленное сращение или несращение на уровне ранее выполненной остеотомии в условиях интрамедуллярного телескопического остеосинтеза телескопическим стержнем – в 20–25 %.

Важно отметить, что изолированное применение интрамедуллярных конструкций предполагает период

до 4–6 недель, когда необходимо избегать существенных нагрузок на конечность с целью предотвращения вторичных деформаций. Данный аспект является неблагоприятным, так как способствует дополнительному снижению плотности костной ткани вследствие иммобилизации ортезами или гипсовыми повязками и по причине отсутствия осевой нагрузки [6, 7, 9, 29, 30].

Кроме того, прямые телескопические стержни и эластичное интрамедуллярное армирование совершенство не предотвращают возникновение вторичных торсионных деформаций (разворот фрагментов на уровне остеотомий) или потерю коррекции торсионных деформаций в послеоперационном периоде [5, 30, 31].

В недавно опубликованной обзорной статье [32] по проблеме несовершенного остеогенеза, где одним из авторов является F. Fassier, признается, что отношение к применению обычных, включая эластичные, телескопических стержней в мире остается противоречивым, учитывая крайнюю техническую сложность и высокую стоимость последних. В том же обзоре указано, что частота повторных вмешательств для достижения запланированного результата при применении телескопических стержней достигает 50 %, а обычных – 58–87 %.

Разработанная в Центре им. академика Г.А. Илизарова комбинированная методика коррекции деформации конечностей у детей с использованием трансфизарного армирования и редуцированной внешней фиксации позволила преодолеть недостатки изолированного применения телескопических конструкций. Данная система полностью исключила риски вторичной ротационной нестабильности костных фрагментов, а также обеспечила возможность ранней полноценной осевой нагрузки на оперированную конечность, что, согласно принципам метода Илизарова, является важным элементом в развитии систем [23, 33]. Однако трансфизарное эластичное армирование не лишено недостат-

ков и обеспечивает достижение требуемых результатов лечения ценой более высокого процента реопераций в сравнении с системой телескопического остеосинтеза стержнем Fassier-Duval: 87,5 % при эластичных стержнях [23] и 50 % при телескопических стержнях [32].

Именно поэтому разработанный отечественный титановый телескопический стержень с дизайном, близким к лучшим зарубежным стальным аналогам, является более перспективным имплантом, чем эластичные стержни.

Первый опыт применения отечественного титанового телескопического стержня в рамках комбинированной методики при коррекции деформаций у детей с тяжелыми формами несовершенного остеогенеза показал высокую воспроизводимость методики, возможность достижения требуемых результатов лечения, отсутствие проблем, связанных с миграцией частей стержня. Во всех случаях происходило телескопирование стержня без блокирования его частей. Достигнутая коррекция сохранялась на протяжении всего периода наблюдения. Применение данной конструкции требует соблюдения размерного соотношения диаметров стержня и костномозгового канала на уровне остеотомии с целью исключения вторичных угловых деформаций.

Отметим еще два преимущества применения титанового стержня. Ряд публикаций отмечает состояния при несовершенном остеогенезе, когда требуется выполнение магнитно-резонансной томографии для нейровизуализации [17, 18, 19, 20]. Материал, из которого выполнено изделие (титановый сплав), позволяет безопасно выполнять МРТ с крайне низким уровнем помех в получении изображений.

Немаловажным преимуществом является и низкая стоимость изделия, в настоящий момент цена отечественного телескопического стержня ниже цены стержня Fassier-Duval в 6,25 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение титанового телескопического стержня в рамках комбинированной методики при коррекции деформаций длинных костей у детей с тяжелыми формами несовершенного остеогенеза показало высокую воспроизводимость методики и возможность достижения требуемых результатов лечения, отсутствие проблем, связанных с миграцией частей стержня. Во всех случаях происходило телескопирование стержня без блокирова-

ния его частей. Достигнутая коррекция сохранялась на протяжении всего периода наблюдения. Осложнений, связанных с особенностями применения титанового телескопического стержня, не выявлено ни в момент его установки, ни в период наблюдения 6–12 месяцев после операции. Для более точной оценки возможностей, преимуществ и недостатков данной системы требуется дальнейшее наблюдение и оценка результатов лечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Interlocking telescopic rod for patients with osteogenesis imperfecta / T.J. Cho, I.H. Choi, C.Y. Chung, W.J. Yoo, K.S. Lee, D.Y. Lee // J. Bone Joint Surg. Am. 2007. Vol. 89, No 5. P. 1028-1035. DOI: 10.2106/JBJS.F.00814.
2. Surgical treatment in Osteogenesis Imperfecta – 10 years experience / I. Georgescu, C. Vlad, T.Ş. Gavriliu, S. Dan, A.A. Pârvan // J. Med. Life. 2013. Vol. 6, No 2. P. 205-213.
3. Metaizeau J.P. Sliding centro-medullary nailing. Application to the treatment of severe forms of osteogenesis imperfecta // Chir. Pediatr. 1987. Vol. 28, No 4-5. P. 240-243.
4. Violas P., Mary P. Imperfecta osteogenesis: interest of surgical treatment // Arch. Pediatr. 2008. Vol. 15, No 5. P. 794-796. DOI: 10.1016/S0929-693X(08)71914-6.
5. Bailey R.W., Dubow H.I. Evolution of the concept of an extensible nail accommodating to normal longitudinal bone growth: clinical considerations and implications // Clin. Orthop. Relat. Res. 1981. No 159. P. 157-170.
6. Bilsel N., Beyzadeoglu T., Kafadar A. Application of Bailey-Dubow rods in the treatment of Osteogenesis Imperfecta // Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol. 2000. Vol. 10, No 3. P. 183-187.
7. Esposito P., Plotkin H. Surgical treatment of osteogenesis imperfecta: current concepts // Curr. Opin. Pediatr. 2008. Vol. 20, No 1. P. 52-57. DOI: 10.1097/MOP.0b013e3282f35f03.
8. Fassier-Duval femoral rodding in children with osteogenesis imperfecta receiving bisphosphonates: functional outcomes at one year / J. Ruck, N. Dahan-Oliel, K. Montpetit, F. Rauch, F. Fassier // J. Child. Orthop. 2011. Vol. 5, No 3. P. 217-224. DOI: 10.1007/s11832-011-0341-7.
9. Boutaud B., Laville J.M. Elastic sliding central medullary nailing with osteogenesis imperfecta. Fourteen cases at eight years follow-up // Rev. Chir. Orthop. Reparatrice Appar. Mot. 2004. Vol. 90, No 4. P. 304-311.
10. Lascombes P. Flexible Intramedullary Nailing in Children. The Nancy University Manual. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2010.

DOI: 10.1007/978-3-642-03031-4.

11. Experience with the Fassier-Duval telescopic rod: first 24 consecutive cases with a minimum of 1-year follow-up / O. Birke, N. Davies, M. Latimer, D.G. Little, M. Bellemore // J. Pediatr. Orthop. 2011. Vol. 31, No 4. P. 458-464. DOI: 10.1097/BPO.0b013e31821bfb50.
12. Early telescopic rod osteosynthesis for Osteogenesis Imperfecta patients / A. Sterian, R. Balanescu, A. Barbilian, I. Tevanov, M. Carp, C. Nahoi, M. Barbu, A. Ulici // J. Med. Life. 2015. Vol. 8, No 4. P. 544-547.
13. Osteosynthesis in Osteogenesis Imperfecta, telescopic versus non-telescopic nailing / A. Sterian, R. Balanescu, A. Barbilian, A. Ulici // J. Med. Life. 2015. Vol. 8, No 4. P. 563-565.
14. Popkov D. Use of flexible intramedullary nailing in combination with an external fixator for a postoperative defect and pseudarthrosis of femur in a girl with osteogenesis imperfecta type VIII: a case report // Strategies Trauma Limb Reconstr. 2018. Vol. 13, No 3. P. 191-197. DOI: 10.1007/s11751-018-0320-3.
15. Delayed osteotomy but not fracture healing in pediatric osteogenesis imperfecta patients receiving pamidronate / C.F. Munns, F. Rauch, L. Zeitlin, F. Fassier, F.H. Glorieux // J. Bone Miner. Res. 2004. Vol. 19, No 11. P. 1779-1786. DOI: 10.1359/JBMR.040814.
16. Severe osteogenesis imperfecta Type-III and its challenging treatment in newborn and preschool children. A systematic review / J.J. Sinikumpu, M. Ojaniemi, P. Lehenkari, W. Serlo // Injury. 2015. Vol. 46, No 8. P. 1440-1446. DOI: 10.1016/j.injury.2015.04.021.
17. Charnas L.R., Marini J.C. Neurologic profile in osteogenesis imperfecta // Connect. Tissue Res. 1995. Vol. 31, No 4. P. S23-S26.
18. Charnas L.R., Marini J.C. Communicating hydrocephalus, basilar invagination, and other neurologic features in osteogenesis imperfecta // Neurology. 1993. Vol. 43, No 12. P. 2603-2608.
19. Neurosurgical Implications of Osteogenesis Imperfecta in a Child after Fall: Case Illustration / L.R. Moscote-Salazar, O. Koller, S. Valenzuela, A. Narvaez-Rojas, G.D. Satyarthee, J. Mo-Carrascal, J. Maraby // J. Pediatr. Neurosci. 2018. Vol. 13, No 4. P. 459-461. DOI: 10.4103/JPN.JPN_9_18.
20. Neurosurgical implications of osteogenesis imperfecta in children. Report of 4 cases / D. Sasaki-Adams, A. Kulkarni, J. Rutka, P. Dirks, M. Taylor, J.M. Drake // J. Neurosurg. Pediatr. 2008. Vol. 1, No 3. P. 229-236. DOI: 10.3171/PED/2008/1/3/229.
21. Результаты применения интрамедуллярного трансфизиарного эластичного армирования у пациентов с тяжелыми формами несовершенного остеогенеза / Э.Р. Мингазов, А.В. Попков, Н.А. Кононович, А.М. Аранович, Д.А. Попков // Гений ортопедии. 2016. № 4. С. 6-16.
22. Мингазов Э.Р., Чибиров Г.М., Попков Д.А. Ортопедические осложнения и ятрогенез при коррекции деформаций нижних конечностей у пациентов, страдающих тяжелыми формами несовершенного остеогенеза // Гений ортопедии. 2018. Т. 24, № 2. С. 168-176.
23. Popkov D., Popkov A., Mingazov E. Use of sliding transphyseal flexible intramedullary nailing in pediatric osteogenesis imperfecta patients // Acta Orthop. Belg. 2019. Vol. 85, No 1. P. 1-11.
24. Silence D.O., Senn A., Danks D.M. Genetic heterogeneity in osteogenesis imperfecta // J. Med. Genet. 1979. Vol. 16, No 2. P. 101-116. DOI: 10.1136/jmg.16.2.101.
25. Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies / D. Paley, J.E. Herzenberg, K. Tetsworth, J. McKie, A. Bhave // Orthop. Clin. North Am. 1994. Vol. 25, No 3. P. 425-465.
26. The normal radiological anteroposterior alignment of the lower limb in children / D. Popkov, P. Lascombes, N. Berte, L. Hetzel, B.R. Baptista, A. Popkov, P. Journeau // Skeletal Radiol. 2015. Vol. 44, No 2. P. 197-206. DOI: 10.1007/s00256-014-1953-z.
27. Zions L.E., Ebraimzadeh E., Stott N.S. Complications in the use of the Bailey-Dubow extensible nail // Clin. Orthop. Relat. Res. 1998. No 348. P. 186-195.
28. Larson T., Brighton B., Esposito P. High reoperation rate and failed expansion in lower extremity expandable rods in osteogenesis imperfecta // Proceedings of the Annual Meeting of the Pediatric Orthopaedic Society of North America (POSNA). Waikoloa, Hawaii, 2010.
29. Sulko J., Radlo W. Limb lengthening in children with osteogenesis imperfecta // Chir. Narzadow Ruchu Ortop. Pol. 2005. Vol. 70, No 4. P. 243-247.
30. Zeitlin L., Fassier F., Glorieux F.H. Modern approach to children with osteogenesis imperfecta // J. Pediatr. Orthop. B. 2003. Vol. 12, No 2. P. 77-87. DOI: 10.1097/01.bpb.0000049567.52224.fa.
31. Results and complications of a surgical technique for correction of coxa vara in children with osteopenic bones / F. Fassier, Z. Sardar, M. Aarabi, T. Odent, T. Haque, R. Hamdy // J. Pediatr. Orthop. 2008. Vol. 28, No 8. P. 799-805. DOI: 10.1097/BPO.0b013e31818e19b7.
32. Osteogenesis imperfecta / J.C. Marini, A. Forlino, H.P. Bächinger, N.J. Bishop, P.H. Byers, A. Paeppe, F. Fassier, N. Fratzl-Zelman, K.M. Kozloff, D. Krakow, K. Montpetit, O. Semler // Nat. Rev. Dis. Primers. 2017. Vol. 3. P. 17052. DOI: 10.1038/nrdp.2017.52.
33. Gubin A.V., Borzunov D.Y., Malkova T.A. The Ilizarov paradigm: thirty years with the Ilizarov method, current concerns and future research // Int. Orthop. 2013. Vol. 37, No 8. P. 1533-1539. DOI: 10.1007/s00264-013-1935-0.

REFERENCES

1. Cho T.J., Choi I.H., Chung C.Y., Yoo W.J., Lee K.S., Lee D.Y. Interlocking telescopic rod for patients with osteogenesis imperfecta. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 2007, vol. 89, no. 5, pp. 1028-1035. DOI: 10.2106/JBJS.F.00814.
2. Georgescu I., Vlad C., Gavrilu T.Ş., Dan S., Părvan A.A. Surgical treatment in Osteogenesis Imperfecta – 10 years experience. *J. Med. Life*, 2013, vol. 6, no. 2, pp. 205-213.
3. Metaizeau J.P. Sliding centro-medullary nailing. Application to the treatment of severe forms of osteogenesis imperfecta. *Chir. Pediatr.*, 1987, vol. 28, no. 4-5, pp. 240-243.
4. Violas P., Mary P. Imperfecta osteogenesis: interest of surgical treatment. *Arch. Pediatr.*, 2008, vol. 15, no. 5, pp. 794-796. DOI: 10.1016/S0929-693X(08)71914-6.
5. Bailey R.W., Dubow H.I. Evolution of the concept of an extensible nail accommodating to normal longitudinal bone growth: clinical considerations and implications. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 1981, no. 159, pp. 157-170.
6. Bilsel N., Beyzaoglu T., Kafadar A. Application of Bailey-Dubow rods in the treatment of Osteogenesis Imperfecta. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.*, 2000, vol. 10, no. 3, pp. 183-187.
7. Esposito P., Plotkin H. Surgical treatment of osteogenesis imperfecta: current concepts. *Curr. Opin. Pediatr.*, 2008, vol. 20, no. 1, pp. 52-57. DOI: 10.1097/MOP.0b013e3282f35f03.
8. Ruck J., Dahan-Oliel N., Montpetit K., Rauch F., Fassier F. Fassier-Duval femoral rodding in children with osteogenesis imperfecta receiving bisphosphonates: functional outcomes at one year. *J. Child. Orthop.*, 2011, vol. 5, no. 3, pp. 217-224. DOI: 10.1007/s11832-011-0341-7.
9. Boutaud B., Laville J.M. Elastic sliding central medullary nailing with osteogenesis imperfecta. Fourteen cases at eight years follow-up. *Rev. Chir. Orthop. Reparatrice Appar. Mot.*, 2004, vol. 90, no. 4, pp. 304-311.
10. Lascombes P. *Flexible Intramedullary Nailing in Children. The Nancy University Manual*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2010. DOI: 10.1007/978-3-642-03031-4.
11. Birke O., Davies N., Latimer M., Little D.G., Bellemore M. Experience with the Fassier-Duval telescopic rod: first 24 consecutive cases with a minimum of 1-year follow-up. *J. Pediatr. Orthop.*, 2011, vol. 31, no. 4, pp. 458-464. DOI: 10.1097/BPO.0b013e31821bfb50.
12. Sterian A., Balanescu R., Barbilian A., Tevanov I., Carp M., Nahoi C., Barbu M., Ulici A. Early telescopic rod osteosynthesis for Osteogenesis Imperfecta patients. *J. Med. Life*, 2015, vol. 8, no. 4, pp. 544-547.
13. Sterian A., Balanescu R., Barbilian A., Ulici A. Osteosynthesis in Osteogenesis Imperfecta, telescopic versus non-telescopic nailing. *J. Med. Life*, 2015, vol. 8, no. 4, pp. 563-565.
14. Popkov D. Use of flexible intramedullary nailing in combination with an external fixator for a postoperative defect and pseudarthrosis of femur in a girl with osteogenesis imperfecta type VIII: a case report. *Strategies Trauma Limb Reconstr.*, 2018, vol. 13, no. 3, pp. 191-197. DOI: 10.1007/s11751-018-0320-3.
15. Munns C.F., Rauch F., Zeitlin L., Fassier F., Glorieux F.H. Delayed osteotomy but not fracture healing in pediatric osteogenesis imperfecta patients receiving pamidronate. *J. Bone Miner. Res.*, 2004, vol. 19, no. 11, pp. 1779-1786. DOI: 10.1359/JBMR.040814.

16. Sinikumpu J.J., Ojaniemi M., Lehenkari P., Serlo W. Severe osteogenesis imperfecta Type-III and its challenging treatment in newborn and preschool children. A systematic review. *Injury*, 2015, vol. 46, no. 8, pp. 1440-1446. DOI: 10.1016/j.injury.2015.04.021.
17. Charnas L.R., Marini J.C. Neurologic profile in osteogenesis imperfecta. *Connect. Tissue Res.*, 1995, vol. 31, no. 4, pp. S23-S26.
18. Charnas L.R., Marini J.C. Communicating hydrocephalus, basilar invagination, and other neurologic features in osteogenesis imperfecta. *Neurology*, 1993, vol. 43, no. 12, pp. 2603-2608.
19. Moscote-Salazar L.R., Koller O., Valenzuela S., Narvaez-Rojas A., Satyarthee G.D., Mo-Carrascal J., Maraby J. Neurosurgical Implications of Osteogenesis Imperfecta in a Child after Fall: Case Illustration. *J. Pediatr. Neurosci.*, 2018, vol. 13, no. 4, pp. 459-461. DOI: 10.4103/JPN.JPN_9_18.
20. Sasaki-Adams D., Kulkarni A., Rutka J., Dirks P., Taylor M., Drake J.M. Neurosurgical implications of osteogenesis imperfecta in children. Report of 4 cases. *J. Neurosurg. Pediatr.*, 2008, vol. 1, no. 3, pp. 229-236. DOI: 10.3171/PED/2008/1/3/229.
21. Mingazov E.R., Popkov A.V., Kononovich N.A., Aranovich A.M., Popkov D.A. Rezul'taty primeneniia intramedulliarnogo transfizarnogo elastichnogo armirovaniia u patsientov s tiazhelyimi formami nesovershennogo osteogeneza [Results of using transphyseal elastic intramedullary nailing in patients with severe types of osteogenesis imperfecta]. *Genij Ortopedii*, 2016, no. 4, pp. 6-16. (in Russian)
22. Mingazov E.R., Chibirov G.M., Popkov D.A. Ortopedicheskie oslozhneniya i iatrogenii pri korrektii deformatsii nizhnikh konechnostei u patsientov, stradaushchikh tiazhelyimi formami nesovershennogo osteogeneza [Orthopaedic complications and iatrogenies during deformity correction of lower limbs in patients with severe osteogenesis imperfecta]. *Genij Ortopedii*, 2018, vol. 24, no. 2, pp. 168-176. (in Russian)
23. Popkov D., Popkov A., Mingazov E. Use of sliding transphyseal flexible intramedullary nailing in pediatric osteogenesis imperfecta patients. *Acta Orthop. Belg.*, 2019, vol. 85, no. 1, pp. 1-11.
24. Sillence D.O., Senn A., Danks D.M. Genetic heterogeneity in osteogenesis imperfecta. *J. Med. Genet.*, 1979, vol. 16, no. 2, pp. 101-116. DOI: 10.1136/jmg.16.2.101.
25. Paley D., Herzenberg J.E., Tetsworth K., McKie J., Bhave A. Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies. *Orthop. Clin. North Am.*, 1994, vol. 25, no. 3, pp. 425-465.
26. Popkov D., Lascombes P., Berte N., Hetzel L., Baptista B.R., Popkov A., Journeau P. The normal radiological anteroposterior alignment of the lower limb in children. *Skeletal Radiol.*, 2015, vol. 44, no. 2, pp. 197-206. DOI: 10.1007/s00256-014-1953-z.
27. Zions L.E., Ebramzadeh E., Stott N.S. Complications in the use of the Bailey-Dubow extensible nail. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 1998, no. 348, pp. 186-195.
28. Larson T., Brighton B., Esposito P. High reoperation rate and failed expansion in lower extremity expandable rods in osteogenesis imperfecta. *Proceedings of the Annual Meeting of the Pediatric Orthopaedic Society of North America (POSNA)*. Waikoloa, Hawaii, 2010.
29. Sułko J., Radło W. Limb lengthening in children with osteogenesis imperfecta. *Chir. Narządu Ruchu Ortop. Pol.*, 2005, vol. 70, no. 4, pp. 243-247.
30. Zeitlin L., Fassier F., Glorieux F.H. Modern approach to children with osteogenesis imperfecta. *J. Pediatr. Orthop. B*, 2003, vol. 12, no. 2, pp. 77-87. DOI: 10.1097/01.bpb.0000049567.52224.fa.
31. Fassier F., Sardar Z., Aarabi M., Odent T., Haque T., Hamdy R. Results and complications of a surgical technique for correction of coxa vara in children with osteopenic bones. *J. Pediatr. Orthop.*, 2008, vol. 28, no. 8, pp. 799-805. DOI: 10.1097/BPO.0b013e31818e19b7.
32. Marini J.C., Forlino A., Bächinger H.P., Bishop N.J., Byers P.H., Paepe A., Fassier F., Fratzl-Zelman N., Kozloff K.M., Krakow D., Montpetit K., Semler O. Osteogenesis imperfecta. *Nat. Rev. Dis. Primers*, 2017, vol. 3, pp. 17052. DOI: 10.1038/nrdp.2017.52.
33. Gubin A.V., Borzunov D.Y., Malkova T.A. The Ilizarov paradigm: thirty years with the Ilizarov method, current concerns and future research. *Int. Orthop.*, 2013, vol. 37, no. 8, pp. 1533-1539. DOI: 10.1007/s00264-013-1935-0.

Рукопись поступила 20.06.2019

Сведения об авторах:

1. Мингазов Эдуард Рифович,
ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г. А. Илизарова» Минздрава
России, г. Курган, Россия
2. Гофман Федор Федорович,
ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г. А. Илизарова» Минздрава
России, г. Курган, Россия
3. Попков Арнольд Васильевич, д. м. н., профессор,
ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г. А. Илизарова» Минздрава
России, г. Курган, Россия,
Email: apopkov.46@mail.ru
4. Аранович Анна Майоровна, д. м. н., профессор,
ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г. А. Илизарова» Минздрава
России, г. Курган, Россия
5. Губин Александр Вадимович, д. м. н.,
ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г. А. Илизарова» Минздрава
России, г. Курган, Россия,
Email: shugu19@gubin.spb.ru
6. Попков Дмитрий Арнольдович, д. м. н., профессор РАН, член-
корр. Французской Академии медицинских наук,
ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г. А. Илизарова» Минздрава
России, г. Курган, Россия,
Email: dpopkov@mail.ru

Information about the authors:

1. Eduard R. Mingazov, M.D.,
Russian Ilizarov Scientific Centre for Restorative Traumatology and
Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation
2. Fedor F. Gofman, M.D.,
Russian Ilizarov Scientific Centre for Restorative Traumatology and
Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation
3. Arnold V. Popkov, M.D., Ph.D., Professor,
Russian Ilizarov Scientific Centre for Restorative Traumatology and
Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation,
Email: apopkov.46@mail.ru
4. Anna M. Aranovich, M.D., Ph.D., Professor,
Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and
Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation
5. Alexander V. Gubin, M.D., Ph.D.,
Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and
Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation,
Email: shugu19@gubin.spb.ru
6. Dmitry A. Popkov, M.D., Ph.D., Professor of RAS, correspondent
member French Academy of Medical Sciences,
Russian Ilizarov Scientific Centre for Restorative Traumatology and
Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation,
Email: dpopkov@mail.ru