

Гений ортопедии. 2022. Т. 28, № 6. С. 817-822.
Genij Ortopedii. 2022. Vol. 28, no. 6. P. 817-822.

Научная статья

УДК 616.718.5-007.235-089.227.84-092.9

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-6-817-822>



Влияние телескопического интрамедуллярного остеосинтеза большеберцовой кости на рост сегмента: пилотное экспериментальное исследование

Н.А. Кононович¹✉, Э.Р. Мингазов¹, Е.Н. Горбач¹, Д.А. Попков^{1,2,3}

¹ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

² Больница Атлас, Белград, Сербия

³ Университет в Крагуевце, факультет медицинских наук, Крагуевац, Сербия

Автор, ответственный за переписку: Наталья Андреевна Кононович, n.a.kononovich@mail.ru

Аннотация

Введение. Телескопический интрамедуллярный остеосинтез (ТИО) применяется у детей при несовершенном остеогенезе и прочих заболеваниях, сопровождающихся частыми переломами и деформациями длинных трубчатых костей вследствие присутствия патологической костной ткани со сниженными прочностными свойствами. **Цель.** В эксперименте на животных изучить особенности роста неповрежденной большеберцовой кости в условиях интрамедуллярного армирования телескопическим стержнем. **Материалы и методы.** Проведено нерандомизированное контролируемое исследование на 4-х животных (щенки, однопометные), которым производили ТИО (телескопический титановый стержень с внешним диаметром 4,2 мм) большеберцовой кости правой тазовой конечности в возрасте 5 месяцев. Исследовали рентгеновские параметры (длина большеберцовой кости, углы наклона суставных поверхностей, величина телескопирования стержня) на сроках – до операции, в день установки стержня и после окончания спонтанного роста сегмента (7 месяцев после операции). Контралатеральная конечность (левая голень) служила контролем, и ее рентгеновские параметры исследовались в те же сроки. **Результаты.** Трансфизарное армирование телескопическим стержнем вызвало замедление роста с потерей длины лишь в одном случае (8 мм или 4,8 % резидуального роста) из четырех. В остальных случаях разницы в длине большеберцовых костей правой и левой тазовых конечностей не было обнаружено. Эксцентричное проведение трансфизарных стержней в заднюю треть дистального эпифиза (в силу естественной анатомии диафиза большеберцовой кости собак) формировало угловую деформацию в процессе роста: достоверное увеличение дистального переднего и латерального большеберцовых углов оперированной конечности по сравнению с интактной конечностью. Величина телескопирования (величина расхождения) частей стержней составила, в среднем, 11,3 мм. Ни в одном случае не наблюдалась миграция интрамедуллярных стержней либо потеря фиксации резьбовых участков в эпифизах. **Заключение.** В условиях эксперимента замедление роста кости в длину не является постоянно наблюдаемым эффектом. Титановые телескопические стержни не показали тенденции к блокированию в процессе роста конечности или потере позиции резьбовых участков в эпифизах. Эксцентричное проведение стержней через зоны роста вызывает угловые деформации в процессе последующего роста сегмента.

Ключевые слова: телескопический интрамедуллярный остеосинтез, несовершенный остеогенез, экспериментальное исследование

Для цитирования: Влияние телескопического интрамедуллярного остеосинтеза большеберцовой кости на рост сегмента: пилотное экспериментальное исследование / Н.А. Кононович, Э.Р. Мингазов, Е.Н. Горбач, Д.А. Попков // Гений ортопедии. 2022. Т. 28, № 6. С. 817-822. DOI: 10.18019/1028-4427-2022-28-6-817-822. EDN TEOMDO.

Original article

Impact of telescopic intramedullary rodding on the growing tibia: an experimental study

N.A. Kononovich¹✉, E.R. Mingazov¹, E.N. Gorbach¹, D.A. Popkov^{1,2,3}

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

² Atlas Hospital, Belgrade, Serbia

³ University of Kragujevac, Faculty of Medical Sciences, Kragujevac, Serbia

Corresponding author: Natalia A. Kononovich, n.a.kononovich@mail.ru

Abstract

Introduction Telescopic intramedullary osteosynthesis (TIO) is used in children with osteogenesis imperfecta and other diseases accompanied by frequent fractures and deformities of long bones due to pathological bone tissue featuring reduced strength properties. **Purpose** In an animal experiment to study the growth characteristics of an intact tibia under conditions of intramedullary reinforcement with a telescopic rod. **Material and methods** A non-randomized controlled study was conducted on 4 animals (puppies, littermates) that underwent TIO of the right limb tibia with a telescopic titanium rod (outer diameter of 4.2 mm) at the age of 5 months. X-ray parameters (length of the tibia, angles of inclination of the articular surfaces, telescoping magnitude) were studied before surgery, on the day of rod placement, and after the end of spontaneous growth of the segment (7 months after surgery). The contralateral left tibia served as a control, and its X-ray parameters were studied at the same time-points. **Results** Transphyseal reinforcement with a telescopic rod caused growth retardation with loss of length in only one case out of four (8 mm or 4.8 % of residual growth). In other cases, no difference in the length of the tibias of the right and left lower extremities was found. Eccentric insertion of the transphyseal rods into the posterior third of the distal epiphysis (due to the natural anatomy of the canine tibial shaft) formed an angular deformity during growth: a significant increase in the distal anterior and lateral tibial angles of the operated limb compared to the intact limb. The amount of divergence of the parts of the rods was, on average, 11.3 mm. There were no cases of migration of intramedullary rods or loss of fixation of threaded sections in the epiphyses. **Conclusion** Under experimental conditions, the slowing down of longitudinal bone growth is not a constantly observed effect. Titanium telescopic rods are not prone to blocking during the limb growth or to losing the position of the threaded parts in the epiphyses. The eccentric passage of the rods through the growth zones causes angular deformities in the course of growth of the segment.

Keywords: telescopic intramedullary osteosynthesis, osteogenesis imperfecta, experimental study

For citation: Kononovich N.A., Mingazov E.R., Gorbach E.N., Popkov D.A. Impact of telescopic intramedullary rodding on the growing tibia: an experimental study. *Genij Ortopedii*, 2022, vol. 28, no. 6, pp. 817-822. DOI: 10.18019/1028-4427-2022-28-6-817-822.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема выбора методик совершенным остеогенезом и другими системными коррекции деформаций конечностей у детей с не- заболеваниями, сопровождающимися сниженными

прочностными свойствами костной ткани, сохраняет свою актуальность как в России, так и за рубежом. Для устранения подобного рода патологических состояний нередко используются различные варианты трансфизарного интрамедуллярного остеосинтеза [1-3]. Эффективность таких технологий связана с тем, что интрамедуллярный армирующий фиксатор выполняет роль внутреннего тьютора в течение всего периода роста и предотвращает формирование новых деформаций [4-6].

Предложенное Metaizeau эластичное трансфизарное армирование [3] не является ведущим методом для применения у детей с несовершенным остеогенезом. Однако данная методика сохраняет показания при малых поперечных диаметрах костей, при полной облитерации костномозговой полости и малых диаметрах, когда стержни проводятся поднадкостнично, а также при коррекции деформаций предплечья [5, 7, 8].

Проведенное нами экспериментальное исследование влияния данного метода на рост сегмента в усло-

виях имитации превентивного армирования выявило потерю величины резидуального роста от 1 до 5,4 %, а также нарушение формирования рентгеновских суставных углов при эксцентричном проведении эластичных стержней через зоны роста [9]. Наиболее распространенным и показывающим лучшие результаты в клинических условиях является телескопический интрамедуллярный остеосинтез (ТИО), где происходит скольжение одной части стержня внутри другой в процессе естественного роста конечности [10-12]. Однако экспериментальных исследований влияния телескопического стержня на рост армированного сегмента до настоящего времени не проводилось. В этих условиях требуют изучения особенности формирования эпифизов армированных сегментов, рост конечности в длину и оценка рисков развития угловых деформаций.

Цель исследования: в эксперименте на животных изучить особенности роста неповрежденной большеберцовой кости в условиях интрамедуллярного армирования телескопическим стержнем.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено нерандомизированное контролируемое исследование на 4-х здоровых беспородных однопометных собаках. Эксперименты были начаты в период достижения животными возраста 5 месяцев, вес щенков составлял $9,6 \pm 0,8$ кг.

Все хирургические манипуляции были выполнены в условиях операционной одной хирургической бригадой. Общая анестезия проводилась путем внутривенного введения тиопентала натрия в рекомендуемых дозах.

В данном эксперименте выполняли ТИО правой большеберцовой кости (опытная конечность) титановым стержнем (Стержень интрамедуллярный телескопический; рег. удостоверение № РЗН2017/6876 от 10.07.17, разработчик ООО «Метис», г. Томск, изготовитель – ООО «Остеосинтез», г. Рыбинск; стержень изготовлен из титанового сплава ВТ-6; ГОСТ 19807-91). Обе части стержня (внутренняя и внешняя) вводились через проксимальный метафиз парапателлярным доступом под рентгеновским контролем. Диаметр стержня подбирался заранее, но так как во всех случаях минимальный диаметр костномозгового канала на протяжении эпифиза составлял 5-6 мм, то у всех животных использовали стержни с диаметром 4,2 мм. Рассверливание канала не выполнялось ни в одном случае. Высота резбовой части внутреннего и внешнего компонента сопоставлялась заранее (по рентгеновским снимкам) с высотой соответствующих эпифизов большеберцовой кости. При необходимости резбовая часть укорачивалась до стерилизации стержня. Также заранее укорачивали внешнюю часть стержня. Остеоперфорация в проксимальном эпифизе выполнялась шилом диаметром 4,5 мм. После введения и вкручивания внутренней части в дистальный эпифиз выполняли введение и вкручивание внешней части в проксимальный эпифиз. Затем, после рентгеновского контроля, выступающий над тибиальным плато избыток внутренней части скусывался. Ушивание мягких тканей осуществляли послойно. В послеоперационном

периоде животные начинали передвигаться с опорой на оперированную конечность в течение 2-3 дней.

Период наблюдения составил 210 суток после выполнения оперативного вмешательства. По окончании эксперимента биологический возраст животных соответствовал 12-ти месяцам.

Для достижения поставленной цели осуществляли рентгенографию правых и левых голеней в прямой и боковой проекции с использованием рентгеновского аппарата VEP X Technology Premium VET (Испания) с последующим рентгенограмметрическим анализом на этапах: непосредственно перед выполнением экспериментов (контрольная точка Д0, соответствующая предоперационному периоду), сразу после операции (Д1) и через 210 суток после начала опыта (Д210). При выполнении рентгенографии технические условия съемки были однотипными и составляли: напряжение на трубке – 44-46 kV, сила тока – 2,5-3,2 mA, фокусное расстояние – 97 см.

Для изучения исходов эксперимента измеряли (рис. 1):

- длину большеберцовых костей в боковой проекции;
- величину суперпозиции частей стержня (внутренней во внешней части, в см и %);
- механический медиальный проксимальный угол большеберцовой кости (mechanical Medial Proximal Tibial Angle, mMPTA) [13];
- механический латеральный дистальный угол большеберцовой кости (mechanical Lateral Distal Tibial Angle m, LDTA) [13];
- механический задний проксимальный большеберцовый угол (mechanical Posterior Proximal Tibial Angle, mPPTA)
- механический передний дистальный большеберцовый угол (mechanical Anterior Distal Tibial Angle, mADTA)
- расположение стержней на уровне физисов относительно их срединных осей в сагиттальной и фронтальной плоскостях.

тальной плоскости (на рентгенограммах каждой проекции эпифизы делили на три части и определяли расположение соответственно в срединной, латеральной или медиальной трети или в срединной, передней или задней трети эпифиза).

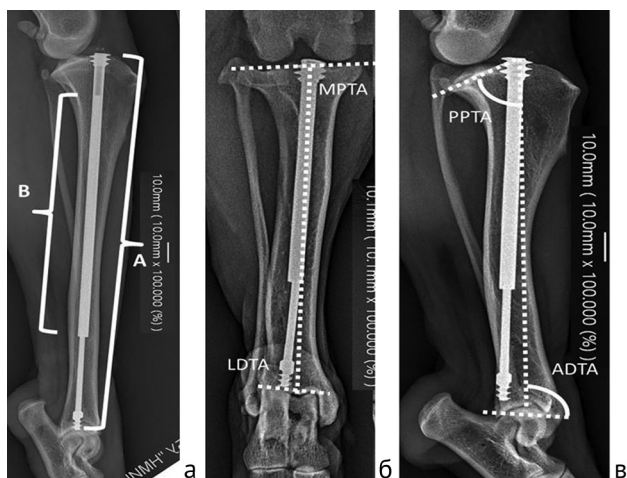


Рис. 1. Схема измерений: а – длины голени и величины суперпозиции частей стержня: А – общая длина голени, длина стержня, В – величина суперпозиции (SP), $B \times 100 \% / A = SP \%$; б – суставные углы на рентгенограмме в прямой проекции, в – суставные углы на рентгенограмме в боковой проекции

Вторичным рассчитываемым показателем была величина потери спонтанного роста оперированной ко-

нечности в сравнении с контралатеральной (контрольной конечностью).

Полученные количественные данные подвергали статистическому анализу при помощи надстройки AtteStat версии 13.1 к электронным таблицам Excel (2016, 16.0.5278.1000). Размер выборки предварительно не рассчитывали. Использовали методы описательной статистики: средние значения (М) и стандартное отклонение (SD). Сравнительные исследования проводили с применением критерия Вилкоксона для независимых выборок. Разницу измерений значений между исследователями оценивали с помощью коэффициента вариации. Различия показателей считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

При выполнении экспериментов соблюдали принципы гуманного отношения к животным в соответствии с требованиями Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей, и директивой 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза от 22 сентября 2010 г. по охране животных, используемых в научных целях. На проведение экспериментов по изучению влияния интрамедуллярных раздвижных конструкций на рост костей конечностей было получено положительное решение локального этического комитета (протокол № 2 (57) заседания Комитета по этике РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова от 17 мая 2018 года).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ни у одного животного не наблюдали инфекционных или неврологических осложнений. Не было зарегистрировано блокировки стержней, телескопирование внутренней части относительно наружной отмечалось во всех случаях. Также ни в одном наблюдении не выявляли миграции частей стержней (протрузия в коленный или голеностопный суставы или боковая миграция), а также потери фиксации резьбовых отделов стержней в эпифизарных отделах.

Расположение проксимальной резьбовой части во всех случаях было в средней трети как на рентгенограммах в прямой проекции, так и в боковой. Однако дистальная резьбовая часть во всех случаях располагалась в заднем отделе (задняя треть) дистального эпифиза большеберцовой кости, что обусловлено естественным анатомическим рекурвационным изгибом в средней трети диафиза большеберцовой кости собак.

При выполнении рентгенограмметрических исследований разница в измерениях изучаемых показателей между данными разных исследователей не превышала 2,4 %, что указывает на точность и воспроизводимость количественных измерений изучаемых параметров.

В таблице 1 представлены параметры длины большеберцовых костей и измерения суперпозиции частей стержней. Анализ результатов показал, что при достоверно значимом увеличении продольного роста опытной и контрольной конечности, достоверно значимой разницы в длине между ними в конце эксперимента не было обнаружено. Более того, только в одном случае голень с установленным стержнем оказалась короче на 8 мм. В остальных случаях разница в длине большеберцовых

костей между правой и левой тазовыми конечностями не превышала 1 мм, что входит в границы ошибки измерения. То есть мы не получили достоверного влияния телескопического стержня на рост оперированного сегмента.

Таблица 1

Средние параметры длины большеберцовой кости в процессе эксперимента, телескопирование интрамедуллярных стержней

Длина большеберцовой кости, мм	правая	D_0	$119 \pm 26,2$
	левая		$119,3 \pm 27,5$
	правая	D_{210}	$133 \pm 24,02^*$
	левая		$135,7 \pm 28,7^*$
Суперпозиция частей стержней, мм (%)		D_1	$84,7 \pm 11,5 (77,3 \pm 8,7)$
		D_{210}	$73,4 \pm 8,1 (60,3 \pm 3,7)$
Потеря роста, мм (%)			$2,7 \pm 4,8 (1,6 \pm 2,9)$

* – обнаружена достоверная разница в длине большеберцовой кости в начале и конце эксперимента ($p < 0,05$).

В таблице 2 представлены средние значения рентгеновских углов ориентации суставных поверхностей конечностей у экспериментальных животных.

Таблица 2

Средние значения MPTA, LDТА, PPTA, ADТА в ходе эксперимента (°)

Угол	D_0		D_{210}	
	правая конечность	левая конечность	правая конечность	левая конечность
MPTA	$90 \pm 0,0$	$90,3 \pm 0,58$	$94,3 \pm 1,5$	$93,7 \pm 2,5$
LDТА	$85,7 \pm 2,08$	$85,7 \pm 2,08$	$84,3 \pm 0,6$	$80,7 \pm 1,2^*$
PPTA	$68,0 \pm 2,0$	$68,7 \pm 0,58$	$70,7 \pm 1,2$	$69,3 \pm 2,1$
ADТА	$84,3 \pm 1,5$	$84,7 \pm 1,2$	$85,7 \pm 6,5$	$74,4 \pm 1,2^*$

* – достоверная разница между правой и левой конечностями по окончании эксперимента ($p < 0,05$).

По данным, представленным в таблице 2, отчетливо видно, что смещение резьбовой части внутреннего стержня кзади от центра дистальной ростковой зоны повлияло на ориентацию суставной поверхности опытного сегмента, что достоверно значимо отразилось на значениях ADTA и LDТА в сравнении с контрольной конечностью (рис. 2).

Интрамедуллярный остеосинтез неповрежденной большеберцовой кости собаки отечественным теле-

скопическим стержнем не вызывал патологического замедления роста кости в длину. Расположение резьбовой части стержня в центре зоны роста проксимального эпифиза не оказывало негативного влияния на формирование угла наклона суставной поверхности. При эксцентричной локализации резьбовой части стержня в дистальном эпифизе происходило формирование угловой деформации.



Рис. 2. Рентгенограммы правой и левой голени в процессе эксперимента: а – до операции; б – в день вмешательства; в – через 7 месяцев после операции

ДИСКУССИЯ

Телескопическое армирование является ключевым звеном в хирургии несовершенного остеогенеза у детей [1, 6, 10]. Успех использования раздвижных конструкций зависит от многих факторов: непосредственно дизайна самих изделий и материала, из которого они изготовлены, особенностей хирургических техник при их установке, выраженности клинических проявлений заболевания, морфофункционального состояния костной ткани и даже от физической активности самих пациентов [14-17]. Среди прочих аспектов реконструктивной ортопедии внимание уделяется и вопросу влияния трансфизарного прохождения конструкций на процесс резидуального роста армированного сегмента [18].

В клинической практике имеются противоречивые сведения о влиянии трансфизарного расположения интрамедуллярных спиц на функцию ростковых хрящей. J. Horn с соавторами в своей работе отмечают форми-

рование частичного эпифизиодеза и, как следствие, развитие угловой деформации при лечении переломов у детей подобными методиками [19]. В свою очередь, R. Langenhan, а также P.S. Yung с соавторами, утверждают, что трансфизарное проведение прямых спиц Киршнера не оказывает негативного влияния на рост оперированной конечности [20, 21].

В выполненном ранее экспериментальном исследовании трансфизарного эластичного армирования неповрежденных длинных костей мы не выявили значимого влияния подобного остеосинтеза на продольный рост. Потеря величины остаточного роста не превышала 2,5 % [9]. Вместе с тем отмечали изменение угла наклона дистальной суставной поверхности большеберцовой кости. Эксцентричное прохождение интрамедуллярных элементов через внутреннюю лодыжку стало причиной варизации голеностопного су-

става. Результаты настоящего исследования абсолютно конкордантны предыдущему в той части, что трансфизарно проведенные телескопические конструкции не вызвали преждевременное закрытие зон роста и не сказались значимо на замедлении продольного роста в условиях отсутствия дополнительной травматизации кости (имитация перелома остеотомией).

Важным является вопрос топографии прохождения конструкции через ростковую зону. R. Seil с соавторами в эксперименте на 18 ягнятах после проведения центрально локализованного канала в процессе последующего роста сегмента не наблюдали угловой девиации [22]. В нашем исследовании центральное расположение стержня в проксимальном эпифизе не изменило формирование проксимального суставного конца большеберцовой кости в сравнении с неоперированной. Тем не менее, эксцентричное проведение в дистальном эпифизе привело к значимым отличиям в параметрах ориентации дистального суставного конца большеберцовой кости в сравнении с интактной костью к концу спонтанного роста.

На важность центрального расположения соответствующих резбовых отделов стержней указывает и K. Holmes et al. [23]. Однако в этой работе речь идет о корреляции центрального расположения стержней с большей выживаемостью конструкции в отдаленном периоде с меньшим количеством миграций частей телескопического стержня, случаев нетелескопирования

и других осложнений. Тем не менее, наше исследование конкордантно с вышеуказанным с точки зрения необходимости точного центрального расположения стержней в эпифизах.

Несмотря на то, что для достижения корректного телескопирования очевидна значимость центрального положения концов интрамедуллярных раздвижных конструкций в центре эпифизарных отделов, обеспечить данное условие в ряде случаев представляется затруднительным. Причинами могут являться деформации, плохое качество кости, наличие каналов, расщепленных при ранее выполненных оперативных вмешательствах, и другие обстоятельства.

В нашем исследовании эксцентричное расположение стержня в дистальном эпифизе, достигнутое во время выполнения оперативного вмешательства, объясняется естественным S-образным изгибом большеберцовой кости собаки. При этом следует отметить, что мы не наблюдали нарушений расхождения частей стержня в процессе роста. Эти данные демонстрируют отсутствие проблем телескопирования отечественного стержня, выполненного из сплава титана.

Отмечается, что наиболее часто встречающимся сопутствующим осложнением является проксимальная миграция стержня в разные периоды после его установки [16, 24]. В выполненном экспериментальном исследовании случаев продольной миграции частей конструкции не выявляли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влияние телескопических титановых стержней на продольный рост несущественно при изолированном интрамедуллярном остеосинтезе, имитирующем превентивное армирование. Титановые телескопические стержни не показали тенденции к блокированию в процессе роста конечности или потере позиции резбовых участков в эпифизах. Эксцентричное проведение стержней через ростковую пластинку эпифизов явля-

ется причиной формирования угловых деформаций в процессе последующего физиологического роста сегмента.

Дальнейшее исследование в данном направлении необходимо проводить в отношении изменения поверхности резбовых частей имплантатов. Также требует изучения влияние стержня на рост конечности в условиях экспериментального перелома (остеотомии).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Laron D., Pandya N.K. Advances in the orthopedic management of osteogenesis imperfecta // *Orthop. Clin. North Am.* 2013. Vol. 44, No 4. P. 565-573. DOI: 10.1016/j.ocl.2013.06.010.
2. 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.
3. Metaizeau J.P. L'embrochage centro-médullaire coulissant. Application au traitement des formes graves d'ostéogénèse imparfaite // *Chir. Pediatr.* 1987. Vol. 28, No 4-5. P. 240-243.
4. 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.
5. Boutaud B., Laville J.M. L'embrochage centro-médullaire coulissant dans l'ostéogénèse imparfaite: Quatorze cas avec un recul moyen de 8 ans // *Rev. Chir. Orthop. Réparatrice Appar. Mot.* 2004. Vol. 90, No 4. P. 304-311. DOI: 10.1016/s0035-1040(04)70125-7.
6. Telescoping versus non-telescoping rods in the treatment of osteogenesis imperfecta / G. El-Adl, M.A. Khalil, A. Enan, M.F. Mostafa, M.R. El-Lakkany // *Acta Orthop. Belg.* 2009. Vol. 75, No 2. P. 200-208.
7. Результаты применения интрамедуллярного трансфизарного 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. DOI: 10.18019/1028-4427-2016-4-6-16.
8. 'In-Out-In' K-wires sliding in severe tibial deformities of osteogenesis imperfecta: a technical note / T. Langlais, S. Pannier, M. De Tienda, R. Dukan, G. Finidori, C. Glorion, Z. Péjin // *J. Pediatr. Orthop. B.* 2021. Vol. 30, No 3. P. 257-263. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000785.
9. Интрамедуллярный эластичный трансфизарный остеосинтез большеберцовой кости и его влияние на рост сегмента / Д.А. Попков, Н.А. Кононович, Э.Р. Мингазов, Р.Б. Шутов, Д. Барбье // *Вестник Российской Академии Медицинских Наук.* 2015. № 4. С. 441-449.
10. Fassier F.R. Osteogenesis Imperfecta – Who Needs Rodding Surgery? // *Curr. Osteoporos. Rep.* 2021. Vol. 19, No 3. P. 264-270. DOI: 10.1007/s11914-021-00665-z.
11. Combined technique of titanium telescopic rods and external fixation in osteogenesis imperfecta patients: First 12 consecutive cases / D. Popkov, T. Dolganova, E. Mingazov, D. Dolganov, A. Kobzyev // *J. Orthop.* 2020. Vol. 22. P. 316-325. DOI: 10.1016/j.jor.2020.05.017.
12. Fassier A. Telescopic rodding in children: Technical progression from Dubow-Bailey to Fassier-Duval™ // *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* 2021. Vol. 107, No 1S. P. 102759. DOI: 10.1016/j.otsr.2020.102759.

13. Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies / D. Paley, J.E. Herzenberg, K. Tetsworth, J. McKie, A. Bhavé // *Orthop. Clin. North Am.* 1994. Vol. 25, No 3. P. 425-465.
14. Mechanical analysis of explanted telescopic rods in the management of osteogenesis imperfecta: a multicenter Study / N. Nicolaou, Q. Luo, S.N. Giles, K. Maruthainar, M.P. Kitchen, S. Thomas, J.A. Fernandes, A. Roposch // *J. Pediatr. Orthop.* 2021. Vol. 41, No 6. P. e448-e456. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001796.
15. Dislodgement of telescopic nail from the epiphysis: a case report with an analysis of probable mechanism / P. Behera, J.A. Santoshi, N.M. Geevarughese, U.K.K. Meena, R. Selvanayagam // *Cureus.* 2020. Vol. 12, No 2. P. e7130. DOI: 10.7759/cureus.7130.
16. Using a corkscrew-tipped telescopic nail in the treatment of osteogenesis imperfecta: a biomechanical study and preliminary results of 17 consecutive cases / I. Sarikaya, A. Seker, O.A. Erdal, H. Gunay, M. Inan, B. Guler // *J. Pediatr. Orthop. B.* 2019. Vol. 28, No 2. P. 173-178. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000537.
17. Use of the Sheffield telescopic intramedullary rod system for the management of osteogenesis imperfecta: clinical outcomes at an average follow-up of nineteen years / N. Nicolaou, J.D. Bowe, J.M. Wilkinson, J.A. Fernandes, M.J. Bell // *J. Bone Joint Surg. Am.* 2011. Vol. 93, No 21. P. 1994-2000. DOI: 10.2106/JBJS.J.01893.
18. Osteogenesis imperfecta // J.C. Marini, A. Forlino, H.P. Bächinger, N.J. Bishop, P.H. Byers, A. Paepe, 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.
19. Horn J., Kristiansen L.P., Steen H. Partial physeal arrest after temporary transphyseal pinning – a case report // *Acta Orthop.* 2008. Vol. 79, No 6. P. 867-869. DOI: 10.1080/17453670810016975.
20. Arthroscopically assisted reduction and internal fixation of a femoral anterior cruciate ligament osteochondral avulsion fracture in a 14-year-old girl via transphyseal inside-out technique / R. Langenhan, M. Baumann, B. Hohendorff, A. Probst, P. Trobisch // *Strategies Trauma Limb Reconstr.* 2013. Vol. 8, No 3. P. 193-197. DOI: 10.1007/s11751-013-0175-6.
21. Percutaneous transphyseal intramedullary Kirschner wire pinning: a safe and effective procedure for treatment of displaced diaphyseal forearm fracture in children / P.S. Yung, C.Y. Lam, B.K. Ng, T.P. Lam, J.C. Cheng // *J. Pediatr. Orthop.* 2004. Vol. 24, No 1. P. 7-12. DOI: 10.1097/00004694-200401000-00002.
22. Seil R., Pape D., Kohn D. The risk of growth changes during transphyseal drilling in sheep with open physes // *Arthroscopy.* 2008. Vol. 24, No 7. P. 824-833. DOI: 10.1016/j.arthro.2008.02.007.
23. Fassier-Duval rod failure: is it related to positioning in the distal epiphysis? / K. Holmes, J. Gralla, C. Brazell, P. Carry, S. Tong, N.H. Miller, G. Georgopoulos // *J. Pediatr. Orthop.* 2020. Vol. 40, No 8. P. 448-452. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001513.
24. Proximal migration of femoral telescopic rod in children with osteogenesis imperfecta / K. Lee, M.S. Park, W.J. Yoo, C.Y. Chung, I.H. Choi, T.J. Cho // *J. Pediatr. Orthop.* 2015. Vol. 35, No 2. P. 178-184. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000228.

Статья поступила в редакцию 20.06.2022; одобрена после рецензирования 01.07.2022; принята к публикации 19.10.2022.

The article was submitted 20.06.2022; approved after reviewing 01.07.2022; accepted for publication 19.10.2022.

Информация об авторах:

1. Наталья Андреевна Кононович – кандидат ветеринарных наук, n.a.kononovich@mail.ru;
2. Эдуард Рифович Мингазов – кандидат медицинских наук;
3. Елена Николаевна Горбач – кандидат биологических наук, gorbach.e@mail.ru;
4. Дмитрий Арнольдович Попков – доктор медицинских наук, профессор РАН, член-корр. Французской Академии медицинских наук, dpopkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8996-867X>.

Information about the authors:

1. Natalia A. Kononovich – Candidate of Veterinary Sciences, n.a.kononovich@mail.ru;
2. Eduard R. Mingazov – Candidate of Medical Sciences;
3. Elena N. Gorbach – Candidate of Biological Sciences, gorbach.e@mail.ru;
4. Dmitry A. Popkov – Doctor of Medical Sciences, Professor of RAS, correspondent member French Academy of Medical Sciences, dpopkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8996-867X>.