Удлинение голени у детей комбинированной методикой с применением высокодвигательной круглосуточной дистракции

А.В. Попков, А.М. Аранович, К.И. Новиков, Э.Р. Мингазов, Д.А. Попков

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» имени академика Г.А. Илизарова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курган

Leg lengthening in children by the combined technique using high-divisional round-the-clock distraction

A.V. Popkov, A.M. Aranovich, K.I. Novikov, E.R. Mingazov, D.A. Popkov

FSBI RISC "RTO" of the RF Ministry of Health, Kurgan, Russia

Введение. Удлинение голени у детей по-прежнему находит свои показания при укорочениях различной этиологии. Для снижения количества осложнений, сокращения длительности внешней фиксации было предложено использование комбинированной методики – удлинение с использованием роботизированного дистрактора, обеспечивающего высокодвигательное удлинение, в сочетании с интрамедуллярным армированием эластичными стержнями с биоактивным покрытием. **Цель.** Оценка особенностей хирургической техники, периода остеосинтеза, встретившихся осложнений и ближайших результатов лечения. **Материал и методы.** Удлинение голени было проведено 17 детям (5-16 лет) с врожденным и приобретенным укорочением данного сегмента. Удлинение производилось роботизированным автодистрактором, смонтированным на аппарате Илизарова. Интрамедуллярный антеградный остеосинтез выполнен эластичными стержнями с биоактивным покрытием. **Результаты.** Средняя величина удлинения составила 4,3 см (для врожденных укорочений) и 4,2 см (для приобретенных). Индекс остеосинтеза – $22,5 \pm 0,86$ дн/см и $23,5 \pm 0,61$ дн/см соответственно. Восстановление амплитуды движений в смежных суставах произошло в течение 6-12 месяцев после снятия аппарата. Среди осложнений были отмечены: локальное воспаление мягких тканей – у 7 пациентов, но потребовавшее замены спицы лишь в одном случае, один случай транзиторного пареза малоберцового нерва. **Заключение.** Главным преимуществом высокодвигательного удлинения роботизированным дистрактором является сокращение периода восстановления движений в смежных с удлиняемым сегментом суставах. Интрамедуллярное армирование эластичными стержнями позволяет сократить длительность внешней фиксации и избежать осложнений, связанных с замедленной регенерацией костной ткани.

Ключевые слова: голень, удлинение, комбинированная методика, роботизированный дистрактор, эластичное армирование.

Introduction. Leg lengthening in children is still indicated for shortenings of different etiology. The combined technique proposed – the procedure of lengthening using a robotic distractor that provided round-the-clock high-divisional lengthening combined with intramedullary reinforcement using elastic rods with bioactive coating, – in order to reduce the number of complications, the duration of external fixation. **Purpose.** To evaluate the details of surgical technique, the period of osteosynthesis, the developed complications and the immediate results of treatment. **Material and methods.** The procedure of leg lengthening performed in 17 children (5-16 years old) with congenital and acquired shortening of the segment. Lengthening performed using the robotic autodistractor assembled on the Ilizarov fixator basis. Intramedullary antegrade osteosynthesis performed using elastic rods with bioactive coating. **Results.** The mean amount of lengthening was 4.3 cm (for congenital shortenings) and 4.2 cm (for acquired ones). The index of osteosynthesis – 22.5 ± 0.86 days/cm and 23.5 ± 0.61 days/cm, respectively. The amplitude of motions of the adjacent joints recovered within 6-12 months after the fixator removal. The following complications developed: local inflammation of soft tissues in 7 patients, but it required wire change only in one case, and the peroneal nerve transitory paresis observed in one case. **Conclusion.** The main advantage of high-divisional lengthening with a robotic distractor consists in reducing the recovery period of the motions of the joints adjacent the segment being lengthened. Intramedullary reinforcement with elastic rods allows to reduce the duration of external fixation, as well as to avoid the complications related to delayed regeneration of bone tissue.

Keywords: leg, lengthening, combined technique, a robotic distractor, elastic reinforcement.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время удлинение по методу Илизарова по-прежнему находит свое место в арсенале способов коррекции неравенства длины конечностей [1-7]. Голень – это сегмент, где наиболее часто удлинение находит свои показания [3, 8-12]. В работах профессора Г.А. Илизарова отражены основные принципы удлинения: стабильный остеосинтез, максимальное сохранение остеогенного потенциала костного мозга и пери- и параоссальных тканей, чрескостное выполнение нарушения целостности кости, оптимальный темп и ритм дистракции, функциональная нагрузка на конечность [4]. Было доказано, что высокодвигательное круглосуточное удлинение благоприятно влияет как на репаративный остеогенез, так и на функциональную реабилитацию после лечения [13-15]. Другим способом, стимулирующим костное сращение при удлинении конечностей, является интрамедуллярное эластичное

армирование, в том числе, с биоактивным покрытием [16-20]. Экспериментальные исследования показали, что интрамедуллярное введение эластичных стержней не нарушает целостности питательной артерии и, таким образом, не противоречит принципам метода Илизарова [14, 21]. Наконец, биоактивное кальций-фосфатное или гидроксипатитное покрытие способно стимулировать костное сращение, препятствует миграции имплантов и уже находит свое применение при лечении деформаций у детей с метаболическими остеопатиями [16, 17].

Цель данного исследования – выявить особенности удлинения голени у детей комбинированной методикой, объединяющей высокодвигательную дистракцию роботизированным аппаратом внешней фиксации и интрамедуллярное эластичное армирование с биоактивным покрытием.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Данная серия включает 17 детей в возрасте от 5 до 16 лет, которым выполнено удлинение голени при врожденной (10 детей, группа 1) либо приобретенной (7 детей, группа 2) патологии. Врожденное укорочение было представлено малоберцовой гемимелией в 3 случаях, симметричным укорочением костей голени у 6 детей и в одном случае – преимущественным укорочением большеберцовой кости с высоким стоянием головки малоберцовой кости. Приобретенное укорочение было представлено последствиями травмы проксимальной ростковой зоны у трех детей или последствиями перенесенного неонатального остеоартрита коленного сустава у 4 детей. Вальгусная деформация голени присутствовала в 6 случаях, варусная – у 4 детей, торсионный компонент деформации (от 10° до 40°) – у 7 детей. Средний возраст в группе 1 составил $11,7 \pm 0,96$ года, во второй – $10,4 \pm 1,05$ года на начало лечения. Ранее данным детям не проводилось реконструктивное лечение.

Внешний остеосинтез выполнялся по стандартной методике с использованием аппарата Илизарова [4, 13]. Во всех случаях применялся монолокальный дистракционный остеосинтез: чрескожная остеотомия большеберцовой кости производилась на уровне верхней трети или проксимального метафиза. Введение эластичных предварительно изогнутых до 60° стержней диаметром 1,8-2,0 мм с биоактивным хитозан-гидроксипатитным покрытием осуществлялось антеградно через косые каналы, сделанные с обеих сторон в проксимальном метафизе большеберцовой кости. После введения до противоположного метафиза изгибы стержней ориентировались в противоположные стороны, выстоящие части стержней скусывались, загибались и погружались под мягкие ткани. Затем проводились дополнительные спицы и/или стержни-шурупы аппарата Илизарова.

Монтаж дистракционных стержней роботизированного автодистрактора выполнялся через 3-5 дней после операции, эта процедура не требовала дополнительного обезболивания.

Дистракция начиналась на пятый день после операции. В случае равномерного удлинения темп дистракции соответствовал 1 мм/сутки. Автодистрактор делит 1 мм на 60 циклов удлинения и распределяет их на протяжении 24 часов. При коррекции деформации роботизированный дистрактор позволял осуществлять удлинение с опережающими темпами по вогнутой стороне деформации. При этом шарнирные элементы аппарата внешней фиксации располагались с учетом места нахождения CORA и прохождения ACA [22]. Степень коррекции деформации учитывала возрастные особенности анатомии нижней конечности ребенка [23].

Удлинение и коррекция деформаций осуществлялись до достижения запланированных величин. Рентгенологический контроль осуществлялся каждые две недели в период дистракции (рис. 1). Особенностью коррекции торсионных деформаций являлось выполнение данной манипуляции во время перемонтажа аппарата внешней фиксации через, в среднем, 2 недели периода дистракции, одновременно со снятием стержней автодистрактора. Удаление аппарата Илизарова производилось после констатации рентгенологических признаков сращения: исчезновения «зоны роста» регенерата и формирования не менее трех непрерывных кортикальных пластинок, наблюдаемых на рентгенограммах, выполненных в прямой и боковой проекциях. Все пациенты наблюдались на протяжении 9-12 месяцев после лечения. Удаление интрамедуллярных стержней производили через 6-9 месяцев после лечения.

Для оценки результатов лечения использовали следующие показатели: достигнутые величина удлинения и коррекции и соответствие их запланированным, индекс остеосинтеза, встретившиеся осложнения, их лечение и последствия. Интегральная оценка результатов через 9-12 месяцев после снятия аппарата Илизарова проводилась по классификации P. Lascombes [24].

Статистические исследования проводились с использованием программы Microsoft Excel 2016. Для описательной статистики были определены средние значения показателей и их средняя ошибка.

Рис. 1. Рентгенограммы голени в процессе удлинения: а – 7 дней дистракции; б – 15 дней дистракции; в – 30 дней дистракции; г – 30 дней фиксации (плотный оптически равномерный регенерат, исчезновение «зоны роста»); д – после снятия аппарата внешней фиксации

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средняя длительность внешней фиксации в первой группе составила $84,8 \pm 5,1$ дня, во второй – $101,1 \pm 9,3$ дня. Запланированная величина удлинения и коррекции достигнута во всех случаях. Нарушений работы автодистрактора, повлиявших на процесс лечения, не было отмечено.

Достигнутая величина удлинения у пациентов с врожденным укорочением составила $4,3 \pm 0,4$ см ($20,7 \pm 2,4\%$), во второй группе – $4,2 \pm 0,61$ см ($19,9 \pm 3,2\%$). При этом средний индекс остеосинтеза (ИО) в первой группе был $22,5 \pm 0,86$ дн./см, а во второй – $23,5$ дн./см (рис. 2).

Рис. 2. Пример удлинения голени у пациентки К., 5 лет, с врожденным укорочением правой нижней конечности: а – фото пациентки и рентгенограммы голени до лечения; б – фото пациентки и рентгенограммы голени в процессе удлинения; в – фото пациентки, иллюстрирующие функциональное восстановление через 4,5 месяца после снятия аппарата внешней фиксации; г – рентгенограммы голени до и после удаления интрамедуллярных эластичных стержней

Среди встретившихся осложнений следует отметить воспаление мягких тканей возле спиц у семи пациентов, при этом удаление спиц потребовалось выполнить в трех случаях без использования общей анестезии. Удаление этих спиц было произведено во второй половине периода фиксации и не повлияло на лечение. В одном случае спица была заменена в конце периода дистракции под общей анестезией.

Транзиторный парез малоберцового нерва наблюдался у одного пациента и был обусловлен повышенным темпом дистракции, выполнявшимся с целью предотвращения преждевременной консолидации.

Наконец, еще в одном случае в процессе удаления интрамедуллярных стержней один из них не был удален ввиду технических сложностей в связи с плотным сращением с костной тканью. В данной ситуации вы-

ступающая его часть была скушена на уровне кости без какого-либо последующего негативного эффекта для функциональных возможностей.

Следует отметить, что мы совершенно не наблюдали в данной серии такие осложнения как стойкие контрактуры смежных суставов, несращение или замедленную консолидацию, вторичные смещения костных фрагментов в процессе дистракции или после устранения торсионной деформации, костные инфекционные осложнения.

Таким образом, результаты лечения, оцененные через 9-12 месяцев, распределились следующим образом (по Lascombes [24]): категория I – 15 случаев, Па – 1 пациент (перепроведение спицы до снятия аппарата Илизарова), Пб – 1 пациент (неудача при удалении интрамедуллярного эластичного стержня, но без функциональных последствий).

ДИСКУССИЯ

В настоящее время развитие способов удлинения конечностей происходит по нескольким направлениям. Продолжается совершенствование или предлагаются новые модели гексаподальных аппаратов внешней фикс-

сации с пассивной компьютерной навигацией, основным преимуществами которых является оптимальное манипулирование костными фрагментами и возможность устранять все компоненты деформации одновре-

менно [2, 6, 9, 25-27]. Однако увеличение дробности distraction в предлагаемых моделях невозможно, и точная величина удлинения по отдельному стержню достигается за один прием, что не является оптимальным с точки зрения костной регенерации и адаптации мягких тканей удлиняемого сегмента [4, 18, 26, 28].

Получило свое распространение и удлинение аппаратами внешней фиксации в сочетании с эластичным интрамедуллярным армированием, особенно у детей [18, 20, 29, 30]. Авторы отмечают как сокращение длительности внешней фиксации, так и снижение количества осложнений, обусловленных продолжительным периодом нахождения аппарата внешней фиксации на конечности. Важно отличать комбинированную методику удлинения, когда внешний остеосинтез и интрамедуллярное армирование выполняются одновременно, обеспечивая механические и биологические преимущества данной методики [14, 18, 21], от удлинения с последующим армированием в момент снятия аппарата внешней фиксации (lengthening then rodding), когда интрамедуллярный остеосинтез является лишь внутренним тьютором уже удлиненной кости с целью профилактики переломов и деформаций [31].

Другим направлением distractionного остеосинтеза является использование интрамедуллярных телескопических стержней, полностью имплантируемых [2, 6, 32-34]. Именно интрамедуллярный характер расположения устройства весьма существенно снижает риски инфекционных осложнений или развития контрактур, обусловленных диафиксацией мягких тканей спицами или стержнями-шурупами. К сожалению, применение таких устройств ограничено размерами костномозгового канала, а также наличием зон роста длинных костей у детей.

Таким образом, удлинение с использованием внешней фиксации по-прежнему находит свои показания, особенно в детской ортопедии. Создание оптимальных условий для регенерации костной ткани и мягких тканей удлиняемого сегмента обеспечивает высокостепенную distraction [4, 13, 15, 35]. Внесение в конструкцию имплантируемых биоактивных интрамедуллярных стержней, обладающих стимулирующим эффектом для регенерации костной ткани, позволило у пациентов в

нашей серии получить ряд положительных эффектов.

Данный комбинированный способ обеспечил благоприятные условия для быстрого функционального восстановления после лечения. Амплитуда движений в смежных суставах восстановилась не позднее, чем через 9 месяцев после снятия аппарата. По данным других серий, функциональное восстановление происходит гораздо медленнее после удлинения в обычном режиме distraction [13, 15, 36].

Сроки консолидации (индекс остеосинтеза) у наших пациентов сопоставимы с результатами удлинения комбинированной методикой, где в качестве интрамедуллярных имплантов использовались титановые стержни, и средний индекс при монолокальном удлинении голени был $26,1 \pm 1,74$ дн./см при врожденных укорочениях и $22,7 \pm 1,55$ дн./см при приобретенных укорочениях [19]. Другие авторы, использующие комбинированную методику, также отмечают сокращение индекса остеосинтеза ниже 30 дней на 1 см удлинения. Следует отметить, при удлинении голени у детей только аппаратом внешней фиксации средний ИО колеблется от 35 до 45 дн./см в ряде публикаций [5, 11, 37, 38].

Наконец, биоактивный характер покрытия интрамедуллярных стержней позволил избежать такого осложнения как миграция интрамедуллярных имплантов в процессе удлинения и после снятия аппарата Илизарова. Надо отметить, что в нашей серии с обычными титановыми стержнями было отмечено 8 случаев такого осложнения [19]. С другой стороны, стабилизирующий эффект биоактивного покрытия мы наблюдали и при коррекции деформаций у детей с фосфат-диабетом [16].

Таким образом, в данной серии удлинения голени у детей роботизированным автодистрактором в сочетании с интрамедуллярным биоактивным армированием мы наблюдали как сокращение длительности внешней фиксации за счет стимуляции репаративного остеогенеза, так и быструю функциональную реабилитацию и исключение осложнений, обусловленных миграцией интрамедуллярных стержней.

Мы полагаем, что такая методика удлинения голени у детей показана с точки зрения скорейшего достижения максимально возможного анатомо-функционального результата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tibial lengthening: extraarticular calcaneotibial screw to prevent ankle equinus / M.V. Belthur, D. Paley, G. Jindal, R.D. Burghardt, S.C. Specht, J.E. Herzenberg // Clin. Orthop. Relat. Res. 2008. Vol. 466, N 12. P. 3003-3010.
2. Lengthening in Congenital Femoral Deficiency: A Comparison of Circular External Fixation and a Motorized Intramedullary Nail / S.R. Black, M.S. Kwon, A.M. Cherkashin, M.L. Samchukov, J.G. Birch, C.H. Jo // J. Bone Joint Surg. Am. 2015. Vol. 97, N 17. P. 1432-1440.
3. El-Mowafi H., Mohsen M. The effect of low-intensity pulsed ultrasound on callus maturation in tibial distraction osteogenesis // Int. Orthop. 2005. Vol. 29, N 2. P. 121-124.
4. Ilizarov G.A. Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening // Clin. Orthop. Relat. Res. 1990. N 250. P. 8-26.
5. Paediatric lower limb deformity correction using the Ilizarov technique: a statistical analysis of factors affecting the complication rate / H.J. Oostenbroek, R. Brand, P.M. van Roermund, R.M. Castelein // J. Pediatr. Orthop. B. 2014. Vol. 23, N 1. P. 26-31.
6. What is the Utility of a Limb Lengthening and Reconstruction Service in an Academic Department of Orthopaedic Surgery? / S.R. Rozbruch, E.S. Rozbruch, S. Zonshayn, E.W. Borst, A.T. Fragomen // Clin. Orthop. Relat. Res. 2015. Vol. 473, N 10. P. 3124-3132.
7. Sabharwal S., Nelson S.C., Sontich J.K. What's New in Limb Lengthening and Deformity Correction // J. Bone Joint Surg. Am. 2015. Vol. 97, N 16. P. 1375-1384.
8. Tibial lengthening over intramedullary nails: A matched case comparison with Ilizarov tibial lengthening / R.D. Burghardt, A. Manzotti, A. Bhav, D. Paley, J.E. Herzenberg // Bone Joint Res. 2016. Vol. 5, N 1. P. 1-10.
9. Deformity correction and lengthening of lower legs with an external fixator / H. Matsubara, H. Tsuchiya, K. Sakurakichi, K. Watanabe, K. Tomita // Int. Orthop. 2006. Vol. 30, N 6. P. 550-554.
10. McAndrew A.R., Saleh M. Limb lengthening by Vilarrubias method: the Sheffield Children's Hospital experience // J. Pediatr. Orthop. B. 2007. Vol. 233-235.
11. Results of tibial lengthening with the Ilizarov technique / D.F. Stanitski, H. Shahcheraghi, D.A. Nicker, P.F. Armstrong // Pediatr. Orthop. 1996. Vol. 16, N 2. P. 168-172.
12. Аранович А.М. Лечение больных с врожденной эктромелией малоберцовой кости (обзор литературы) // Гений ортопедии. 1998. № 2. С. 58-65.

13. Мурадисинов М.О. Удлинение голени по Илизарову с использованием автодистрактора : дис. ... канд. мед. наук / М.О. Мурадисинов; РНЦ "ВТО" им. акад. Г.А. Илизарова. Курган, [б. и.], 1999. 138 с.
14. Попков Д.А., Ерофеев С.А., Чиркова А.М. Удлинение голени с использованием интрамедуллярного напряженного армирования (экспериментальное исследование) // Гений ортопедии. 2005. № 4. С. 81-89.
15. Удлинение нижних конечностей в автоматическом режиме / В.И. Шевцов, А.В. Попков, Д.А. Попков, С.О. Мурадисинов // Гений ортопедии. 1999. № 3. С. 20-24.
16. Popkov A., Aranovich A., Popkov D. Results of deformity correction in children with X-linked hereditary hypophosphatemic rickets by external fixation or combined technique // Int. Orthop. 2015. Vol. 39, N 12. P. 2423-2431.
17. Bone healing by using Ilizarov external fixation combined with flexible intramedullary nailing versus Ilizarov external fixation alone in the repair of tibial shaft fractures: experimental study / A.V. Popkov, N.A. Kononovich, E.N. Gorbach, S.I. Tverdokhlebov, Y.M. Irianov, D.A. Popkov // Scientific World Journal. 2014. Vol. 2014. P. 239791. doi: 10.1155/2014/239791.
18. Попков Д.А. Применение интрамедуллярного армирования при удлинении конечности // Вестн. травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2005. № 2. С. 65-69.
19. Flexible intramedullary nail use in limb lengthening / D. Popkov, A. Popkov, T. Haumont, P. Journeau, P. Lascombes // J. Pediatr. Orthop. 2010. Vol. 30, N 8. С. 910-918.
20. Complications in leg lengthening using an Ilizarov external fixator and intramedullary alignment in children: comparative study during a fourteen-year period / B. Bukva, G. Vrgoč, I. Rakovac, S. Dučić, J. Sindik, M. Čoklo, M. Marinović, B. Bakota // Injury. 2015. Vol. 46, Suppl. 6. P. S48-S51.
21. Experimental study of progressive tibial lengthening in dogs using the Ilizarov technique. Comparison with and without associated intramedullary K-wires / D.A. Popkov, A.V. Popkov, N.A. Kononovich, D. Barbier, D. Ceroni, P. Journeau, P. Lascombes // Orthop. Traumatol. Surg. Res. 2014. Vol. 100, N 7. P. 809-814.
22. Paley D., Tetsworth K. Mechanical axis deviation of the lower limbs. Preoperative planning of uniapical angular deformities of the tibia or femur // Clin. Orthop. Relat. Res. 1992. N 280. P. 48-64.
23. 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, N 2. P. 197-206.
24. Classification of complications after progressive long bone lengthening: proposal for a new classification / P. Lascombes, D. Popkov, H. Huber, T. Haumont, P. Journeau // Orthop. Traumatol. Surg. Res. 2012. Vol. 98, N 6. P. 629-637.
25. Correction of simple and complex pediatric deformities using the Taylor-Spatial Frame / S.Z. Naqui, W. Thiryayi, A. Foster, G. Tselentakis, M. Evans, J.B. Day // J. Pediatr. Orthop. 2008. Vol. 28, N 6. P. 640-647.
26. Lower limb deformities in children: two-stage correction using the Taylor spatial frame / M. Sluga, M. Pfeiffer, R. Kotz, S. Nehrer // J. Pediatr. Orthop. B. 2003. Vol. 12, N 2. P. 123-128.
27. A comparative study of the correction of femoral deformity between the Ilizarov apparatus and Ortho-SUV Frame / L.N. Solomin, D. Paley, E.A. Shchepkina, V.A. Vilensky, P.V. Skomoroshko // Int. Orthop. 2014. Vol. 38, N 4. P. 865-872.
28. Shevtsov V.I., Popkov A.V. Limb lengthening in automatic mode // Ortop. Traumatol. Rehabil. 2002. Vol. 4, N 4. P. 403-412.
29. Femoral lengthening over elastic stable intramedullary nailing in children using the monolateral external fixator / M. Lampasi, F. Launay, J.L. Jouve, G. Bollini // Chir. Organi Mov. 2009. Vol. 93, N 2. P. 57-64.
30. Tibial lengthening over nails in children using modified Ender nails: preliminary results of a new treatment / V. Saraph, A. Roposch, E.B. Zwick, W.E. Linhart // J. Pediatr. Orthop. B. 2004. Vol. 13, N 6. P. 383-388.
31. Prophylactic titanium elastic nailing (TEN) following femoral lengthening (Lengthening then rodding) with one or two nails reduces the risk for secondary interventions after regenerate fractures: a cohort study in monolateral vs. bilateral lengthening procedures / F. Schiedel, U. Elsner, G. Gosheger, B. Vogt, R. Rödl // BMC Musculoskelet. Disord. 2013. Vol. 14. P. 302.
32. Preliminary experience with motorized distraction for tibial lengthening / A.S. Bright, J.E. Herzenberg, D. Paley, I. Weiner, R.D. Burghardt // Strategies Trauma Limb Reconstr. 2014. Vol. 9, N 2. P. 97-100.
33. Patient Satisfaction After Limb Lengthening With Internal and External Devices / V. Landge, L. Shabtai, M. Gesheff, S.C. Specht, J.E. Herzenberg // J. Surg. Orthop. Adv. 2015. Vol. 24, N 3. P. 174-179.
34. Paley D. PRECICE intramedullary limb lengthening system // Expert. Rev. Med. Devices. 2015. Vol. 12, N 3. P. 231-249.
35. Korzinek K., Tepic S., Perren S.M. Limb lengthening and three-dimensional deformity corrections. A retrospective clinical study // Arch. Orthop. Trauma Surg. 1990. Vol. 109, N 6. P. 334-340.
36. Dal Monte A., Donzelli O. Tibial lengthening according to Ilizarov in congenital hypoplasia of the leg // J. Pediatr. Orthop. 1987. Vol. 7, N 2. P. 135-138.
37. Donnan L.T., Saleh M., Rigby A.S. Acute correction of lower limb deformity and simultaneous lengthening with a monolateral fixator // J. Bone Joint Surg. B. 2003. Vol. 85, N 2. P. 254-260.
38. A comparison of two osteotomy techniques for tibial lengthening / L. Eralp, M. Kocaoğlu, K. Ozkan, M. Türker // Arch. Orthop. Trauma Surg. 2004. Vol. 124, N 5. P. 298-300.

REFERENCES

1. Tibial lengthening: extraarticular calcaneotibial screw to prevent ankle equinus / M.V. Belthur, D. Paley, G. Jindal, R.D. Burghardt, S.C. Specht, J.E. Herzenberg // Clin. Orthop. Relat. Res. 2008. Vol. 466, N 12. P. 3003-3010.
2. Lengthening in Congenital Femoral Deficiency: A Comparison of Circular External Fixation and a Motorized Intramedullary Nail / S.R. Black, M.S. Kwon, A.M. Cherkashin, M.L. Samchukov, J.G. Birch, C.H. Jo // J. Bone Joint Surg. Am. 2015. Vol. 97, N 17. P. 1432-1440.
3. El-Mowafi H., Mohsen M. The effect of low-intensity pulsed ultrasound on callus maturation in tibial distraction osteogenesis // Int. Orthop. 2005. Vol. 29, N 2. P. 121-124.
4. Ilizarov G.A. Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening // Clin. Orthop. Relat. Res. 1990. N 250. P. 8-26.
5. Paediatric lower limb deformity correction using the Ilizarov technique: a statistical analysis of factors affecting the complication rate / H.J. Oostenbroek, R. Brand, P.M. van Roermund, R.M. Castelein // J. Pediatr. Orthop. B. 2014. Vol. 23, N 1. P. 26-31.
6. What is the Utility of a Limb Lengthening and Reconstruction Service in an Academic Department of Orthopaedic Surgery? / S.R. Rozbruch, E.S. Rozbruch, S. Zonshayn, E.W. Borst, A.T. Fragomen // Clin. Orthop. Relat. Res. 2015. Vol. 473, N 10. P. 3124-3132.
7. Sabharwal S., Nelson S.C., Sontich J.K. What's New in Limb Lengthening and Deformity Correction // J. Bone Joint Surg. Am. 2015. Vol. 97, N 16. P. 1375-1384.
8. Tibial lengthening over intramedullary nails: A matched case comparison with Ilizarov tibial lengthening / R.D. Burghardt, A. Manzotti, A. Bhave, D. Paley, J.E. Herzenberg // Bone Joint Res. 2016. Vol. 5, N 1. P. 1-10.
9. Deformity correction and lengthening of lower legs with an external fixator / H. Matsubara, H. Tsuchiya, K. Sakurakichi, K. Watanabe, K. Tomita // Int. Orthop. 2006. Vol. 30, N 6. P. 550-554.
10. McAndrew A.R., Saleh M. Limb lengthening by Vilarrubias method: the Sheffield Children's Hospital experience // J. Pediatr. Orthop. B. 2007. Vol. 233-235.
11. Results of tibial lengthening with the Ilizarov technique / D.F. Stanitski, H. Shahcheraghi, D.A. Nicker, P.F. Armstrong // Pediatr. Orthop. 1996. Vol. 16, N 2. P. 168-172.
12. Aranovich A.M. Lechenie bol'nykh s vrozhdennoi ektromeliei malobertsovoi kosti (obzor literatury) [Treatment of patients with congenital fibular ectromelia] // Genij Ortop. 1998. N 2. S. 58-65.
13. Muradisinov M.O. Udlinenie goleni po Ilizarovu s ispol'zovaniem avtodistraktora [Leg lengthening according to Ilizarov using an autodistractor]: [dis. ... kand. med. nauk]. RNTs "VTO" im. akad. G.A. Ilizarova. Kurgan, 1999. 138 s.

14. Popkov D.A., Yerofeyev S.A., Chirkova A.M. Udlinienie goleni s ispol'zovaniem intramedullarnogo napriazhennogo armirovaniia (eksperimental'noe issledovanie) [Leg lengthening using intramedullary stressed reinforcement (experimental study)] // *Genij Ortop.* 2005. N 4. S. 81-89.
15. Udlinienie nizhnikh konechnostei v avtomaticheskom rezhime [Elongation of lower limbs by an automatic mode] / V.I. Shevtsov, A.V. Popkov, D.A. Popkov, S.O. Muradisinov // *Genij Ortop.* 1999. N 3. S. 20-24.
16. Popkov A., Aranovich A., Popkov D. Results of deformity correction in children with X-linked hereditary hypophosphatemic rickets by external fixation or combined technique // *Int. Orthop.* 2015. Vol. 39, N 12. P. 2423-2431.
17. Bone healing by using Ilizarov external fixation combined with flexible intramedullary nailing versus Ilizarov external fixation alone in the repair of tibial shaft fractures: experimental study / A.V. Popkov, N.A. Kononovich, E.N. Gorbach, S.I. Tverdokhlebov, Y.M. Irianov, D.A. Popkov // *Scientific World Journal.* 2014. Vol. 2014. P. 239791. doi: 10.1155/2014/239791.
18. Popkov D.A. Primenenie intramedullarnogo armirovaniia pri udlinenii konechnosti [The use of intramedullary reinforcement for limb lengthening] // *Vestn. Travmatologii i Ortopedii im. N.N. Priorova.* 2005. N 2. S. 65-69.
19. Flexible intramedullary nail use in limb lengthening / D. Popkov, A. Popkov, T. Haumont, P. Journeau, P. Lascombes // *J. Pediatr. Orthop.* 2010. Vol. 30, N 8. C. 910-918.
20. Complications in leg lengthening using an Ilizarov external fixator and intramedullary alignment in children: comparative study during a fourteen-year period / B. Bukva, G. Vrgoč, I. Rakovac, S. Dučić, J. Sindik, M. Čoklo, M. Marinović, B. Bakota // *Injury.* 2015. Vol. 46, Suppl. 6. P. S48-S51.
21. Experimental study of progressive tibial lengthening in dogs using the Ilizarov technique. Comparison with and without associated intramedullary K-wires / D.A. Popkov, A.V. Popkov, N.A. Kononovich, D. Barbier, D. Ceroni, P. Journeau, P. Lascombes // *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* 2014. Vol. 100, N 7. P. 809-814.
22. Paley D., Tetsworth K. Mechanical axis deviation of the lower limbs. Preoperative planning of uniapical angular deformities of the tibia or femur // *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1992. N 280. P. 48-64.
23. 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, N 2. P. 197-206.
24. Classification of complications after progressive long bone lengthening: proposal for a new classification / P. Lascombes, D. Popkov, H. Huber, T. Haumont, P. Journeau // *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* 2012. Vol. 98, N 6. P. 629-637.
25. Correction of simple and complex pediatric deformities using the Taylor-Spatial Frame / S.Z. Naqui, W. Thiryayi, A. Foster, G. Tselentakis, M. Evans, J.B. Day // *J. Pediatr. Orthop.* 2008. Vol. 28, N 6. P. 640-647.
26. Lower limb deformities in children: two-stage correction using the Taylor spatial frame / M. Sluga, M. Pfeiffer, R. Kotz, S. Nehrer // *J. Pediatr. Orthop. B.* 2003. Vol. 12, N 2. P. 123-128.
27. A comparative study of the correction of femoral deformity between the Ilizarov apparatus and Ortho-SUV Frame / L.N. Solomin, D. Paley, E.A. Shchepkina, V.A. Vilensky, P.V. Skomoroshko // *Int. Orthop.* 2014. Vol. 38, N 4. P. 865-872.
28. Shevtsov V.I., Popkov A.V. Limb lengthening in automatic mode // *Ortop. Traumatol. Rehabil.* 2002. Vol. 4, N 4. P. 403-412.
29. Femoral lengthening over elastic stable intramedullary nailing in children using the monolateral external fixator / M. Lampasi, F. Launay, J.L. Jouve, G. Bollini // *Chir. Organi Mov.* 2009. Vol. 93, N 2. P. 57-64.
30. Tibial lengthening over nails in children using modified Ender nails: preliminary results of a new treatment / V. Saraph, A. Roposch, E.B. Zwick, W.E. Linhart // *J. Pediatr. Orthop. B.* 2004. Vol. 13, N 6. P. 383-388.
31. Prophylactic titanium elastic nailing (TEN) following femoral lengthening (Lengthening then rodding) with one or two nails reduces the risk for secondary interventions after regenerate fractures: a cohort study in monolateral vs. bilateral lengthening procedures / F. Schiedel, U. Elsner, G. Gosheger, B. Vogt, R. Rödl // *BMC Musculoskelet. Disord.* 2013. Vol. 14. P. 302.
32. Preliminary experience with motorized distraction for tibial lengthening / A.S. Bright, J.E. Herzenberg, D. Paley, I. Weiner, R.D. Burghardt // *Strategies Trauma Limb Reconstr.* 2014. Vol. 9, N 2. P. 97-100.
33. Patient Satisfaction After Limb Lengthening With Internal and External Devices / V. Landge, L. Shabtai, M. Gesheff, S.C. Specht, J.E. Herzenberg // *J. Surg. Orthop. Adv.* 2015. Vol. 24, N 3. P. 174-179.
34. Paley D. PRECICE intramedullary limb lengthening system // *Expert. Rev. Med. Devices.* 2015. Vol. 12, N 3. P. 231-249.
35. Korzinek K., Tepic S., Perren S.M. Limb lengthening and three-dimensional deformity corrections. A retrospective clinical study // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 1990. Vol. 109, N 6. P. 334-340.
36. Dal Monte A., Donzelli O. Tibial lengthening according to Ilizarov in congenital hypoplasia of the leg // *J. Pediatr. Orthop.* 1987. Vol. 7, N 2. P. 135-138.
37. Donnan L.T., Saleh M., Rigby A.S. Acute correction of lower limb deformity and simultaneous lengthening with a monolateral fixator // *J. Bone Joint Surg. B.* 2003. Vol. 85, N 2. P. 254-260.
38. A comparison of two osteotomy techniques for tibial lengthening / L. Erallp, M. Kocaoğlu, K. Ozkan, M. Türker // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2004. Vol. 124, N 5. P. 298-300.

Рукопись поступила 03.02.2016.

Сведения об авторах:

1. Попков Арнольд Васильевич – ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, главный научный сотрудник лаборатории коррекции деформаций и удлинения конечностей, д. м. н., профессор.
2. Аранович Анна Майоровна – ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, главный научный сотрудник лаборатории коррекции деформаций и удлинения конечностей, заведующая травматолого-ортопедическим отделением № 17, д. м. н., профессор.
3. Новиков Константин Игоревич – ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, ведущий научный сотрудник лаборатории коррекции деформаций и удлинения конечностей, врач травматолог-ортопед высшей категории, д. м. н.
4. Мингазов Эдуард Рифович – ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, клиническая лаборатория коррекции деформаций и удлинения конечностей, аспирант.
5. Попков Дмитрий Арнольдович – ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, заведующий клинической лабораторией коррекции деформаций и удлинения конечностей, д. м. н.; e-mail: dpopkov@mail.ru.

Information about the authors:

1. Popkov Arnol'd Vasil'evich – FSBI RISC “RTO” of the RF Ministry of Health, Kurgan, Laboratory of Limb Deformity Correction and Limb Lengthening, a chief researcher, Doctor of Medical Sciences, Professor; e-mail: apopkov.46@mail.ru.
2. Aranovich Anna Maiorovna – FSBI RISC “RTO” of the RF Ministry of Health, Kurgan, Laboratory of Limb Deformity Correction and Limb Lengthening, a chief researcher, Head of Department of Traumatology and Orthopaedics No 17, Doctor of Medical Sciences, Professor.
3. Novikov Konstantin Igorevich – FSBI RISC “RTO” of the RF Ministry of Health, Kurgan, Laboratory of Limb Deformity Correction and Limb Lengthening, a leading researcher, a traumatologist-orthopedist, Physician of the Highest Category, Doctor of Medical Sciences.
4. Mingazov Eduard Rifovich – FSBI RISC “RTO” of the RF Ministry of Health, Kurgan, Laboratory of Limb Deformity Correction and Limb Lengthening, a postgraduate student.
5. Popkov Dmitrii Arnol'dovich – FSBI RISC “RTO” of the RF Ministry of Health, Kurgan, Head of the Laboratory of Limb Deformity Correction and Limb Lengthening, Doctor of Medical Sciences; e-mail: dpopkov@mail.ru.