

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS110805>

Journal Article

Reconstructive surgery in the treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia in children using microsurgical techniques: Reconstruction or amputation?

Ekaterina A. Zakharian¹, Nikolay G. Chigvariya^{1,2}, Yuriy E. Garkvenko^{1,2}, Alexander P. Pozdeev^{1,2}, Denis Yu. Grankin¹, Konstantin A. Afonichev^{1,2}

¹ H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia;

² North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

BACKGROUND: Numerous methods are available for the treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia, but none of them offers a 100% satisfactory result and does not exclude the development of repeated refractories. One of the treatment methods is vascularized transplantation of a fragment of the fibula into the position of the defect of the tibia. However, the achievement of consolidation of the bone fragments of the lower leg does not stop the series of interventions necessary to restore the function of the affected segment. Therefore, specialists were asked about the advisability of performing amputations as an alternative to long-term and multistage interventions.

AIM: To analyze the results of the use of microsurgical techniques for the treatment of patients with congenital pseudarthrosis of the tibia and, using the example of a patient, to show the way of multistage reconstruction of the lower limb.

MATERIALS AND METHODS: The results of the use of microsurgical techniques in the elimination of a defect in the bones of the leg in five patients with congenital pseudarthrosis of the tibia were analyzed. Age, sex, presence of type 1 neurofibromatosis, bone defect size, autograft size, duration of consolidation, osteosynthesis index, refractory, range of joint motion, and secondary deformities of the segments after consolidation were assessed. The course of the patient when performing severe reconstructive interventions to restore the weight-bearing capacity of the limb was described. Vascularized autograft transplantation was performed by a qualified microsurgical team.

RESULTS: The mean age was 7.8 ± 2.2 years. Boys predominated, and type 1 neurofibromatosis was detected in 60% of the cases. The average defect size was 8.8 ± 1.6 cm, and the autograft size was 10.8 ± 1.6 cm. The duration of fixation was 260 ± 90 days, and the fixation index was 24.6 ± 10.6 days/cm. In two cases, 1 year after the fibula transfer, refractories were noted at the bone-graft interface. In 100% of the cases, patients had fibrous ankylosis at the level of the ankle joint, with a loss of functional range of motion, and in 40% of cases, there were flexion-extension contractures of the knee joints with an extension deficit of up to 20° . For this observation period, 3 of 5 patients underwent additional surgical interventions to correct the deformities of the affected limb.

CONCLUSIONS: The use of VFT in patients with congenital pseudarthrosis of the tibia allows restoring the integrity of the tibia. Multiple interventions performed on the same segment can lead to irreversible secondary changes in adjacent joints and loss of function of this limb.

Keywords: microsurgery; congenital pseudarthrosis of the tibia; amputation; deformity correction; transosseous osteosynthesis; external fixation.

To cite this article:

Zakharian EA, Chigvariya NG, Garkvenko YuE, Pozdeev AP, Grankin DYu, Afonichev KA. Reconstructive surgery in the treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia in children using microsurgical techniques: Reconstruction or amputation? *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2022;10(4):429–439. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS110805>

Received: 06.09.2022

Accepted: 17.11.2022

Published: 23.12.2022

и большеберцовой костей с двух сторон, оценка величины укорочения пораженного сегмента, сроков консолидации фрагментов костей).

В исследовании участвовали 5 пациентов, средний возраст детей составил $7,8 \pm 2,2$ года. Преобладали мальчики, у трех пациентов выявлено генетическое заболевание, отягощающее течение ВЛСКГ, — нейрофиброматоз I типа.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Из анамнеза известно, что всем пациентам диагноз был поставлен в первый год после рождения при обследовании по поводу патологического перелома берцовых костей и псевдоартроза. До микрохирургической пересадки (МКХ) всем пациентам было выполнено не менее двух хирургических вмешательств, направленных на достижение консолидации берцовых костей с применением метода не только чрескостного остеосинтеза, но и интрамедуллярного остеосинтеза.

При клиническом осмотре у всех пациентов (после ранее проведенных многократных вмешательств) выявлены фиброзный анкилоз на уровне голеностопного сустава с потерей функциональной амплитуды движения и в 40 % случаев сгибательно-разгибательные контрактуры коленных суставов с дефицитом разгибания до 20° .

При рентгенологическом исследовании обнаружены укорочение пораженного сегмента на $7,5 \pm 2,2$ см, многоплоскостная деформация пораженной нижней конечности: дистальный латеральный угол бедренной кости (ДЛБУ) — $80 \pm 3,5^\circ$, дистальный задний угол бедренной кости (ДЗБУ) — $65 \pm 2^\circ$, проксимальный медиальный угол большеберцовой кости (ПрМББУ) — $100 \pm 5,5^\circ$, проксимальный задний угол большеберцовой кости (ПрЗББУ) — $95 \pm 3^\circ$, дистальный медиальный угол большеберцовой кости — $120 \pm 5^\circ$ (ДМББУ), дистальный передний большеберцовый угол (ДПББУ) — $60 \pm 2,5^\circ$. Данные показатели соответствовали таким компонентам деформаций, как вальгусно-антекурвационная деформация дистального отдела бедренной кости, вальгусно-рекурвационная деформация проксимального отдела и вальгусно-антекурвационная деформация дистального отдела большеберцовой кости. Средняя величина дефекта составила $8,8 \pm 1,6$ см.

При оценке состояния голеностопного сустава у всех пациентов отмечена вальгусно-антекурвационная деформация фрагмента большеберцовой кости на уровне дистального метадиафиза кости. Клинически определялось значимое ограничение движений в данном суставе (флексия/экстензия: $5^\circ/0^\circ/5^\circ$). На рентгенограммах наблюдались признаки фиброзного анкилоза области с уменьшением высоты щели голеностопного сустава. Магнитно-резонансную томографию с целью оценки состояния суставного хряща голеностопного сустава не вы-

полняли. Данные изменения возникли в связи с многократными оперативными вмешательствами. При осмотре стопы выявлена ее многоплоскостная деформация с наличием эквино-каво-вальгусного компонента, сформировавшегося также после оперативных вмешательств. Пациенты жаловались на затруднения при ходьбе, трудность подбора обуви, но болевой синдром в стопе и суставе отсутствовал.

Забор аутотрансплантата необходимой длины (величина пересаженного аутотрансплантата — $10,8 \pm 1,6$ см) осуществляли из малоберцовой кости контралатеральной стороны, отступив не менее 7,0 см от вилки голеностопного сустава с целью сохранения стабильности последнего. Однако во всех случаях произошла миграция дистального фрагмента малоберцовой кости донорской стороны краниально с формированием вальгусной деформации голеностопного сустава. Вмешательств по устранению данной вторичной деформации донорской зоны мы не проводили.

При реконструкции пораженного сегмента предварительно устанавливали аппарат внешней фиксации (АВФ) с целью моделирования диастаза между фрагментами большеберцовой кости (создание правильных соотношений между фрагментами большеберцовой кости, исправление грубых деформаций; увеличение диастаза между фрагментами при возможности пересадки более большего по длине трансплантата) и подготовки ложа для аутотрансплантации. АВФ не снимали в течение всего периода достижения консолидации на границе кость – трансплантат пораженного сегмента, что составило в среднем 7,0 мес. При демонтаже АВФ всем пациентам накладывали гипсовую повязку на пораженную нижнюю конечность сроком до 2 мес. с последующим изготовлением ортеза на всю ногу с целью разгрузки пораженного сегмента. Длительность фиксации составила 260 ± 90 дней, а индекс фиксации равнялся $24,6 \pm 10,6$ дня/см.

В 2 случаях (40 % пациентов) из 5 через год после МКХ отмечены рефрактуры на границе кость – трансплантат. Данное осложнение возникло из-за нарушений пациентами режима нагрузок на пораженную нижнюю конечность, но восстановление общей костной массы большеберцовой кости после МКХ позволило выполнить репозицию фрагментов с помощью АВФ и различных видов ауто- и аллопластик и достичь повторной консолидации. В дальнейшем 3 пациентам из 5 (на данный период наблюдения) проводили дополнительные оперативные вмешательства по восстановлению длины и коррекции деформаций пораженной конечности.

КЛИНИЧЕСКИЙ ПРИМЕР

Мы хотим показать длинный и сложный путь, который проходят пациенты с ВЛСКГ и нейрофиброматозом I типа, на примере больного с выраженным дефектом костей

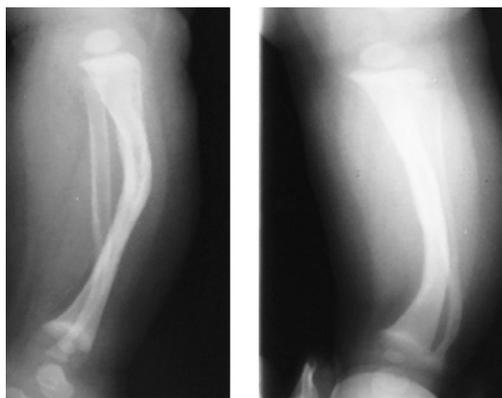


Рис. 1. Рентгенограмма костей правой голени в двух проекциях при латентной форме псевдоартроза

голени, сформировавшимся в результате тяжелой патологии и рефрактур костей голени.

Реконструкцию пораженной конечности осуществляли в два основных этапа: на первом восстанавливали целостность и опороспособность сегмента, на втором корректировали деформацию и восстанавливали длину нижних конечностей.

Из анамнеза известно, что ребенок болен с рождения. Деформация конечности была выявлена в возрасте 5 мес. — латентная форма ложного сустава (рис. 1). В возрасте 1 года произошел патологический перелом (рис. 2). Пациент был многократно оперирован по месту жительства. В возрасте 1,5 года выполнена аутопластика области ложного сустава трансплантатом из гребня подвздошной кости с фиксацией металлоконструкцией. Через месяц после вмешательства отмечена миграция данной конструкции, по поводу которой выполнена повторная пластика с использованием трансплантата из гребня подвздошной кости спицей, также с повторной миграцией металлоконструкции. Ввиду отсутствия консолидации фрагментов большеберцовой кости фрагменты фиксированы интрамедуллярным стержнем с использованием аутопластики дефекта трансплантатом из большеберцовой кости контралатеральной конечности. В последующем стержень был удален, сращение не было достигнуто, обнаружен значимый лизис костной ткани.

В клинике центра пациент наблюдается с возраста 6 лет, с целью уменьшения выраженности системного остеопороза первично получал инфузионную терапию лекарственной группой бисфосфонатов.

После комплексного обследования определены основные проблемы, которые следовало решить:

- 1) задний вывих костей левой голени с формированием сгибательной контрактуры правого коленного сустава (сгибание в коленном суставе до 20°), фиброзный анкилоз с наличием только качательных движений в голеностопном суставе;
- 2) значительное истончение фрагментов костей голени, их нежизнеспособность с формированием дефекта;

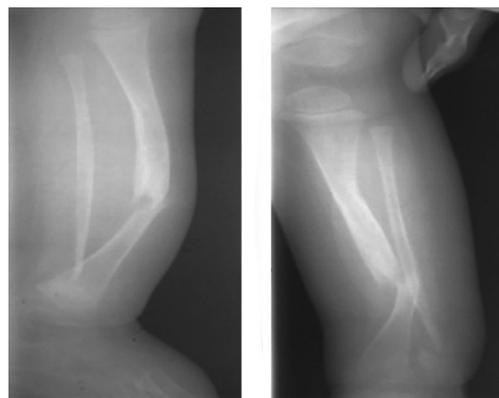


Рис. 2. Рентгенограмма костей правой голени при патологическом переломе

- 3) укорочение конечности около 13 см;
- 4) нарушение опороспособности конечности (рис. 3).

На первом этапе был устранен подвывих голени и создано необходимое пространство между отломками большеберцовой кости. Для адаптации фрагментов костей в правильном положении использовали компрессионно-дистракционный аппарат (КДА) по типу Илизарова и ортопедический гексапод (репозиционный узел Орто-СУВ). Последний первично был установлен между чрескостными кольцевыми опорами дистального отдела бедренной кости и проксимального метадиафиза большеберцовой кости. Задний подвывих был устранен путем построения модели траектории движения в коленном суставе и перемещения фрагментов в ортопедическом гексапode.

Затем была выполнена перемонтировка АВФ, репозиционный узел теперь был установлен между проксимальной и дистальной кольцевыми опорами большеберцовой кости. Произведены программирование и новый расчет с целью создания пространства между фрагментами большеберцовой кости (адаптировали фрагменты большеберцовой кости в правильном положении согласно значениям референтных углов) и устранения грубых деформаций перед пересадкой васкуляризованного фрагмента



Рис. 3. Рентгенограмма костей правой голени в двух проекциях перед микрохирургической аутопересадкой



Рис. 4. Этапы программирования устранения подвывиха костей голени репозиционным узлом Орто-СУВ

малоберцовой кости контралатеральной конечности в позицию дефекта (рис. 4). В данный период (34 дня) происходила коррекция деформаций костей голени.

По достижении коррекции всех компонентов деформации (устранение заднего вывиха костей голени, адаптация фрагментов большеберцовой кости в приемлемом положении), после перемонтировки КДА совместно с коллегами клиники хирургии кисти и реконструктивной микрохирургии была произведена пересадка васкуляризованного фрагмента малоберцовой кости контралатеральной конечности в позицию дефекта большеберцовой кости пораженной конечности. Длина диастаза составила 10 см, длина трансплантата — 12 см. Интраоперационные технические сложности и осложнения в послеоперационном периоде отсутствовали (рис. 5).

В связи с тем что пациент является гражданином другого государства и у него возникли сложности с предоставлением рентгенограмм, период фиксации составил практически 12 мес. Перед демонтажом, с целью восстановления амплитуды движения в правом коленном суставе и в связи с длительной фиксацией в КДА, проведен курс восстановительного лечения: индивиду-

альные занятия с инструктором лечебной физкультуры и занятия на аппарате АРТРОМОТ. При разблокировке АВФ на уровне коленного сустава движения в данном суставе были качательные ($0^\circ/0^\circ/5^\circ$). При достижении пассивного сгибания в правом коленном суставе до 70° ($0^\circ/0^\circ/70^\circ$) были установлены показания для демонтажа. После снятия АВФ, при рентгенологическом обследовании, разница в длине нижних конечностей составила 8,3 см (рис. 6).

Период восстановления целостности голени составил около полутора лет. После восстановления целостности большеберцовой кости пораженной конечности пациент смог вернуться к ходьбе в ортезе на всю нижнюю конечность, но без дополнительных средств опоры, вести активный образ жизни с некоторыми ограничениями, посещать образовательные учреждения. Укорочение конечности компенсировали за счет увеличения высоты подошвы ортопедической обуви.

Через 1,5 года после аутотрансплантации у пациента были выявлены многоплоскостная деформация бедренной и восстановленной большеберцовой костей на стороне поражения, сгибательно-разгибательная контрактура

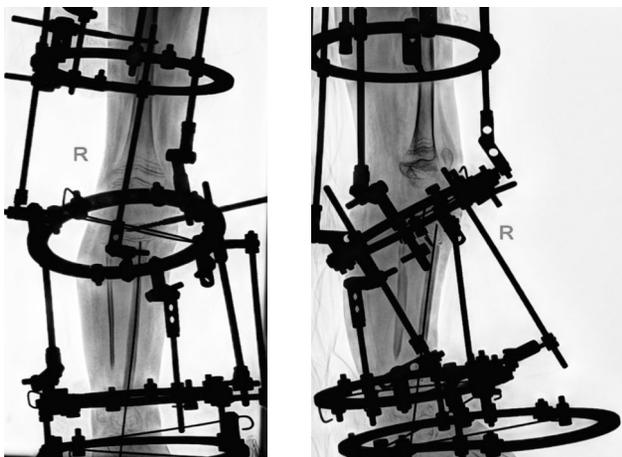


Рис. 5. Интраоперационные рентгенограммы костей правой голени в двух проекциях после микрохирургической пересадки

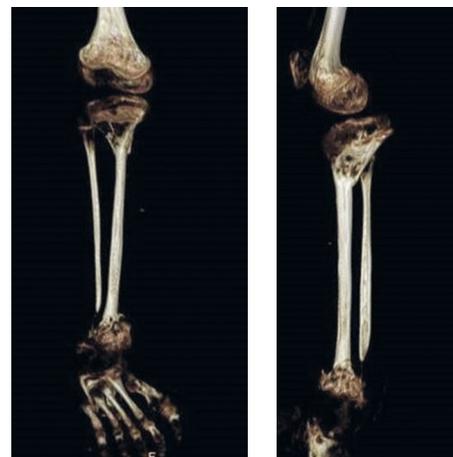


Рис. 6. Трехмерное моделирование срезов компьютерной томографии после микрохирургической пересадки при устранении дефекта костей правой голени

правого коленного сустава, вальгусная деформация дистального метадиафиза большеберцовой кости донорской стороны и разновеликость нижних конечностей. Были сформулированы показания для второго этапа реконструкции конечности.

При анализе панорамных рентгенограмм нижних конечностей были выявлены следующие компоненты деформаций: антекурвационный (ДЛБУ — 77° , ДЗБУ — 72°) в дистальном метадиафизе бедренной кости, вальгусно-рекурвационный (ПрМББУ — 99° , ДМББУ — 70° , ПрЗББУ — 107° , ДПББУ — 84°) в проксимальном и дистальном метадиафизах большеберцовой кости. Данные деформации являлись одним из компонентов формирования сгибательно-разгибательной контрактуры коленного сустава (сгибание/разгибание: $10^\circ/0^\circ/10^\circ$), что значительно затрудняло функцию пораженной конечности. Движения в голеностопном суставе были «качательными». Укорочение пораженной нижней конечности составило 11,7 см. Наблюдались множественные рубцы кожи и мягких тканей после ранее проведенных хирургических вмешательств (рис. 7).

Для устранения деформаций было принято решение о коррекции деформаций с использованием метода чрескостного остеосинтеза. Был установлен КДА бедро – голень – стопа, выполнены остеотомия дистального метадиафиза бедренной кости и проксимального метадиафиза большеберцовой кости, тенотомия илиотибиального тракта.

Конечность была увеличена на 8 см за счет двух сегментов, деформации были скорректированы с помощью репозиционного узла Орто-СУВ (ДЛБУ — 90° , ДЗБУ — 84° , ПрМББУ — 90° , ДМББУ — 102° , ПрЗББУ — 84° , ДПББУ — 84°). Ввиду громоздкости КДА коррекцию проводили в два этапа: для бедра и для голени. Период коррекции суммарно составил 21 день, период фиксации — 240 дней, индекс фиксации — 30 дней/см (рис. 8, 9).

Перед демонтажом АВФ с целью увеличения амплитуды движения в правом коленном суставе пациенту

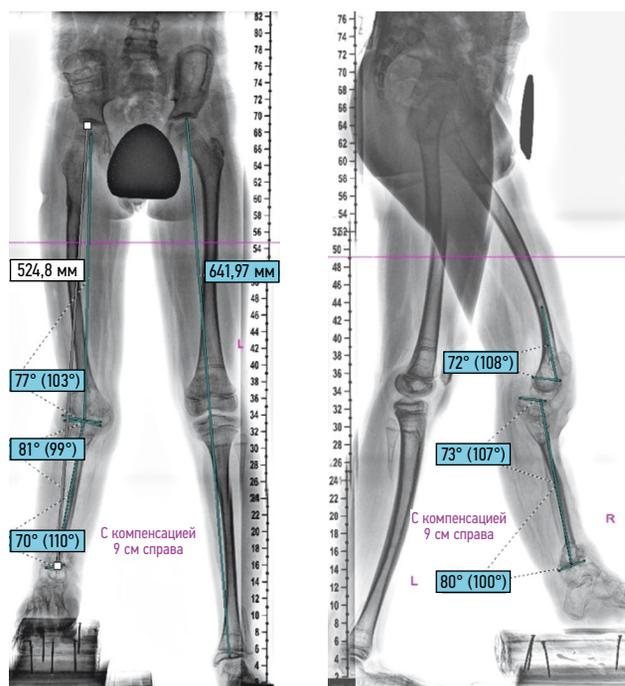


Рис. 7. Телерентгенограммы нижних конечностей в двух проекциях перед устранением вторичных деформаций

повторно был проведен курс восстановительного лечения: индивидуальные занятия лечебной физкультурой и занятия на аппарате АРТРОМОТ. При достижении пассивного сгибания в правом коленном суставе до 50° (разгибание/сгибание — $0^\circ/0^\circ/50^\circ$, амплитуду движения ограничивали чрескостные кольцевые опоры) были определены показания для демонтажа АВФ. Конечность была фиксирована в задней гипсовой повязке на всем протяжении (нижней конечности) и рекомендовано изготовление ортеза на всю нижнюю конечность для ходьбы с шарниром на уровне коленного сустава.

На контрольной рентгенограмме костей голени, выполненной через месяц после оперативного вмешательства, отмечалось формирование костной мозоли

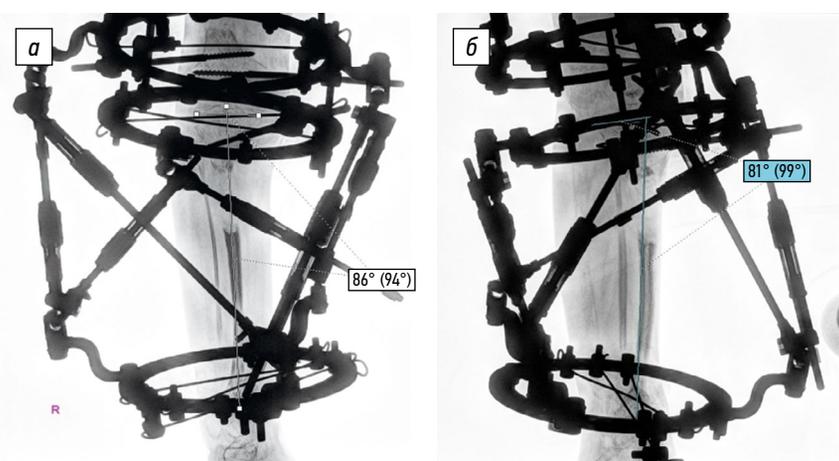


Рис. 8. Результат коррекции деформаций костей голени в условиях репозиционного узла Орто-СУВ по окончании дистракции: а — прямая проекция; б — боковая проекция

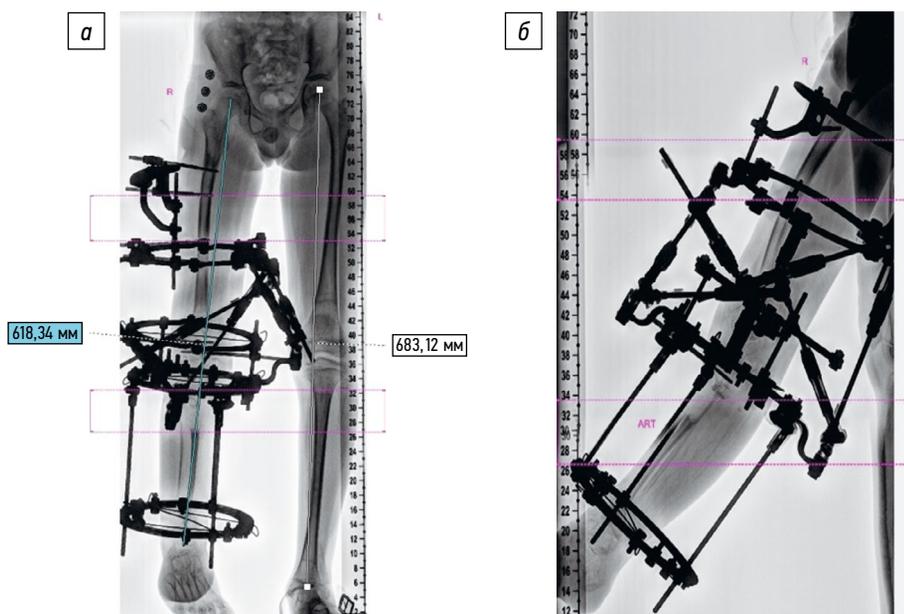


Рис. 9. Результат коррекции деформаций правой бедренной кости в условиях репозиционного узла Орто-СУВ по окончании дистракции: *а* — прямая проекция; *б* — боковая проекция



Рис. 10. Рентгенограммы костей правой голени в двух проекциях через месяц после демонтажа аппарата внешней фиксации

в проксимальном отделе правой большеберцовой кости, у пациента произошел перелом большеберцовой кости на уровне сформированного регенерата (рис. 10).

При анализе ситуации: рефрактура могла произойти из-за изменившегося давления на кость после демонтажа АВФ, а также при снятии слепков при изготовлении ортеза.

ОБСУЖДЕНИЕ

В литературе встречаются указания на применение микрохирургической техники с целью замещения дефектов берцовых костей у пациентов с ВЛСКГ, но чаще всего в научных публикациях описывается серия случаев ввиду сложности методики и необходимости специализированного оборудования в клинике. Наибольшие

серии исследований представили Т.А. El-Gammal — 39 случаев в условиях одного стационара [5], Европейское общество детских ортопедов сообщило о 31 пациенте, которые были пролечены в 14 клиниках [2], Ohnishi описал 73 случая из 32 больниц в Японии, включая 25 случаев, когда сочетали МКХ и фиксацию в аппарате Илизарова [3].

В большинстве публикаций хирургическое вмешательство проводили в возрасте 5 лет [8–10]. Этот возраст считается предпочтительным для применения АВФ, так как дети более склонны к сотрудничеству. Авторы также считали, что болезнь более активна у детей в период младенчества и резорбция кости может препятствовать заживлению в области псевдоартроза [8]. Напротив, некоторые авторы сообщают об успешных результатах применения различных методов лечения в более младшем возрасте: 3 года или меньше. Серия исследования, представленная Т.А. El-Gammal, включает наибольшее зарегистрированное число случаев — 21 пациента с ВЛСКГ, перенесшего МКХ в возрасте до 3 лет [5]. Было выявлено, что оперативные вмешательства, проведенные в возрасте до 3 лет, ассоциированы с более коротким сроком первичного сращения фрагментов, а также с меньшей разницей в длине нижних конечностей в отдаленном периоде. Gilbert и Brockman [2] заметили, что наилучший возраст для быстрого заживления большеберцовой кости после МКХ — между 3,5 и 7,5 годами. Более длительный период заживления у детей в возрасте до 3,5 года они объясняли трудностью получения удовлетворительной фиксации костных отломков. Средний возраст наших пациентов составил $7,8 \pm 2,2$ года. Более старший возраст проведения хирургического лечения был обусловлен многократными вмешательствами, предшествующими выполнению МКХ.

Вклад авторов. Е.А. Захарьян — разработка дизайна исследования, написание текста статьи; Н.Г. Чигвария — написание текста статьи, литературный поиск; Ю.Е. Гаркавенко, А.П. Поздеев — разработка дизайна исследования, редактирование текста статьи; Д.Ю. Гранкин — разработка дизайна исследования,

литературный поиск; К.А. Афоничев — поиск литературы, анализ материала.

Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Romanus B., Bollini G., Dungal P., et al. Free vascular fibular transfer in congenital pseudoarthrosis of the tibia: results of the EPOS multicenter study. *European Paediatric Orthopaedic Society (EPOS) // J. Pediatr. Orthop. B.* 2000. Vol. 9. No. 2. P. 90–93. DOI: 10.1097/01202412-200004000-00003
2. Ohnishi I., Sato W., Matsuyama J., et al. Treatment of congenital pseudoarthrosis of the tibia: a multicenter study in Japan // *J. Pediatr. Orthop.* 2005. Vol. 25. No. 2. P. 219–224. DOI: 10.1097/01.bpo.0000151054.54732.0b
3. Gilbert A., Brockman R. Congenital pseudoarthrosis of the tibia. Long-term followup of 29 cases treated by microvascular bone transfer // *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1995. No. 314. P. 37–44.
4. El-Gammal T.A., El-Sayed A., Kotb M.M., et al. Crawford type IV congenital pseudoarthrosis of the tibia: treatment with vascularized fibular grafting and outcome at skeletal maturity // *J. Pediatr. Orthop.* 2021. Vol. 41. No. 3. P. 164–170. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001751
5. Westberry D.E., Carpenter A.M., Tisch J., et al. Amputation outcomes in congenital pseudoarthrosis of the tibia // *J. Pediatr. Orthop.* 2018. Vol. 38, No. 8. P. 475–481. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001211
6. Van Den Heuvel S.C.M., Winters H.A.H., Ultee K.H., et al. Combined massive allograft and intramedullary vascularized fibula transfer: the Capanna technique for treatment of congenital pseudoarthrosis of the tibia // *Acta Orthop.* 2020. Vol. 91. No. 5. P. 605–610. DOI: 10.1080/17453674.2020.1773670
7. Kesireddy N., Kheireldin R.K., Lu A., et al. Current treatment of congenital pseudoarthrosis of the tibia: a systematic review and meta-analysis // *J. Pediatr. Orthop. B.* 2018. Vol. 27. No. 6. P. 541–550. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000524
8. Shah H., Rousset M., Canavese F. Congenital pseudoarthrosis of the tibia: management and complications // *Indian J. Orthop.* 2012. Vol. 46. No. 6. P. 616–626. DOI: 10.4103/0019-5413.104184
9. Bauer A.S., Singh A.K., Amanatullah D., et al. Free vascularized fibular transfer with langenskiöld procedure for the treatment of

- congenital pseudoarthrosis of the forearm // *Tech. Hand Up Extrem. Surg.* 2013. Vol. 17. No. 3. P. 144–150. DOI: 10.1097/BTH.0b013e318295238b
10. Meselhy M.A., Elhammady A.S., Singer M.S. Outcome of induced membrane technique in treatment of failed previously operated congenital pseudoarthrosis of the tibia // *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* 2020. Vol. 106. No. 5. P. 813–818. DOI: 10.1016/j.otsr.2019.11.033
11. Siebert M.J., Makarewicz C.A. Anterolateral tibial bowing and congenital pseudoarthrosis of the tibia: current concept review and future directions // *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.* 2022. DOI: 10.1007/s12178-022-09779-y
12. Iamaguchi R.B., de Moraes M.A., Silva G.B., et al. Is obesity a risk factor for free vascularized fibular flap complications? // *Acta Ortop. Bras.* 2019. Vol. 27. No. 4. P. 192–196. DOI: 10.1590/1413-785220192704217444
13. Захарьян Е.А., Поздеев А.П., Виленский В.А. Лечение деформаций костей голени у пациентов с консолидированным врожденным ложным суставом // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2018. Т. 6. № 4. С. 27–36. DOI: 10.17816/PTORS6427-36
14. Weiland A.J., Weiss A.P., Moore J.R., et al. Vascularized fibular grafts in the treatment of congenital pseudoarthrosis of the tibia // *J. Bone Joint. Surg. Am.* 1990. Vol. 72. P. 654–662.
15. Rastogi A., Agarwal A. Surgical treatment options for congenital pseudoarthrosis of tibia in children: cross-union versus other options: a systematic review // *J. Pediatr. Orthop. B.* 2022. Vol. 31. No. 2. P. 139–149. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000924
16. Taylor G.I., Corlett R.J., Ashton M.W. The Evolution of free vascularized bone transfer: A 40-Year Experience // *Plast. Reconstr. Surg.* 2016. Vol. 137. No. 4. P. 1292–1305. DOI: 10.1097/PRS.0000000000002040
17. Laufer A., Frommer A., Gosheger G., et al. Reconstructive approaches in surgical management of congenital pseudoarthrosis of the tibia // *J. Clin. Med.* 2020. Vol. 9. No. 12. P. 4132. DOI: 10.3390/jcm9124132

REFERENCES

1. Romanus B, Bollini G, Dungal P, et al. Free vascular fibular transfer in congenital pseudoarthrosis of the tibia: results of the EPOS multicenter study. *European Paediatric Orthopaedic Society (EPOS). J Pediatr Orthop B.* 2000;9(2):90–93. DOI: 10.1097/01202412-200004000-00003
2. Ohnishi I, Sato W, Matsuyama J, et al. Treatment of congenital pseudoarthrosis of the tibia: a multicenter study in Japan. *J Pediatr Orthop.* 2005;25(2):219–224. DOI: 10.1097/01.bpo.0000151054.54732.0b
3. Gilbert A, Brockman R. Congenital pseudoarthrosis of the tibia. Long-term followup of 29 cases treated by microvascular bone transfer. *Clin Orthop Relat Res.* 1995;(314):37–44.
4. El-Gammal TA, El-Sayed A, Kotb MM, et al. Crawford type IV congenital pseudoarthrosis of the tibia: treatment with vascularized fibular grafting and outcome at skeletal maturity. *J Pediatr Orthop.* 2021;41(3):164–170. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001751
5. Westberry DE, Carpenter AM, Tisch J, et al. Amputation outcomes in congenital pseudoarthrosis of the tibia. *J Pediatr Orthop.* 2018;38(8):e475–e481. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001211
6. Van Den Heuvel SCM, Winters HAH, Ultee KH, et al. Combined massive allograft and intramedullary vascularized fibula transfer: the Capanna technique for treatment of congenital pseudoarthrosis of the tibia. *Acta Orthop.* 2020;91(5):605–610. DOI: 10.1080/17453674.2020.1773670
7. Kesireddy N, Kheireldin RK, Lu A, et al. Current treatment of congenital pseudoarthrosis of the tibia: a systematic review and meta-analysis. *J Pediatr Orthop B.* 2018;27(6):541–550. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000524
8. Shah H, Rousset M, Canavese F. Congenital pseudoarthrosis of the tibia: Management and complications. *Indian J Orthop.* 2012;46(6):616–626. DOI: 10.4103/0019-5413.104184
9. Bauer AS, Singh AK, Amanatullah D, et al. Free vascularized fibular transfer with langenskiöld procedure for the treatment of

congenital pseudarthrosis of the forearm. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2013;17(3):144–150. DOI: 10.1097/BTH.0b013e318295238b

10. Meselhy MA, Elhammady AS, Singer MS. Outcome of induced membrane technique in treatment of failed previously operated congenital pseudarthrosis of the tibia. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2020;106(5):813–818. DOI: 10.1016/j.otsr.2019.11.033

11. Siebert MJ, Makarewich CA. Anterolateral tibial bowing and congenital pseudoarthrosis of the tibia: current concept review and future directions. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2022. DOI: 10.1007/s12178-022-09779-y

12. Iamaguchi RB, de Moraes MA, Silva GB, et al. Is obesity a risk factor for free vascularized fibular flap complications? *Acta Ortop Bras.* 2019;27(4):192–196. DOI: 10.1590/1413-785220192704217444

13. Zakharyan EA, Pozdeev AP, Vilensky VA. Treatment of deformities in patients with healed congenital pseudarthrosis of the tibia.

Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery. 2018;6(4):27–36. (In Russ.). DOI: 10.17816/PTORS6427-36

14. Weiland AJ, Weiss AP, Moore JR, et al. Vascularized fibular grafts in the treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia. *J Bone Joint Surg Am.* 1990;72(5):654–662.

15. Rastogi A, Agarwal A. Surgical treatment options for congenital pseudarthrosis of tibia in children: cross-union versus other options: a systematic review. *J Pediatr Orthop B.* 2022;31(2):139–149. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000924

16. Taylor GI, Corlett RJ, Ashton MW. The Evolution of free vascularized bone transfer: A 40-Year Experience. *Plast Reconstr Surg.* 2016;137(4):1292–1305. DOI: 10.1097/PRS.0000000000002040

17. Laufer A, Frommer A, Gosheger G., et al. Reconstructive approaches in surgical management of congenital pseudarthrosis of the tibia. *J Clin Med.* 2020;9(12):4132. DOI: 10.3390/jcm9124132

ОБ АВТОРАХ

* **Екатерина Анатольевна Захарьян**, канд. мед. наук;
адрес: Россия, 196603, Санкт-Петербург, Пушкин,
ул. Парковая, д. 64–68;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6544-1657>;
Scopus Author ID: 57193277539;
eLibrary SPIN: 4851-9908;
e-mail: zax-2008@mail.ru

Николай Георгиевич Чигвариya, канд. мед. наук;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4842-7639>;
Scopus Author ID: 57193277539;
eLibrary SPIN: 4042-7092;
e-mail: chigvariya72@mail.ru

Юрий Евгеньевич Гаркавенко, д-р мед. наук;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9661-8718>;
Scopus Author ID: 57193271892;
eLibrary SPIN: 7546-3080;
e-mail: yurijgarkavenko@mail.ru

Александр Павлович Поздеev, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5665-6111>;
ResearcherID: T-6146-2018;
Scopus Author ID: 6701438186;
eLibrary SPIN: 3408-8570;
e-mail: prof.pozdeev@mail.ru

Денис Юрьевич Гранкин, научный сотрудник;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8948-9225>;
e-mail: grankin.md@gmail.com

Константин Александрович Афоничев, д-р мед. наук;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6460-2567>;
eLibrary SPIN: 5965-6506;
e-mail: afonichev@list.ru

AUTHOR INFORMATION

* **Ekaterina A. Zakharyan**, MD, PhD, Cand. Sci. (Med.);
address: 64–68 Parkovaya str., Pushkin,
Saint Petersburg, 196603, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6544-1657>;
Scopus Author ID: 57193277539;
eLibrary SPIN: 4851-9908;
e-mail: zax-2008@mail.ru

Nikolay G. Chigvariya, MD, PhD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4842-7639>;
Scopus Author ID: 57193277539;
eLibrary SPIN: 4042-7092;
e-mail: chigvariya72@mail.ru

Yuriy E. Garkavenko, MD, PhD, Dr. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9661-8718>;
Scopus Author ID: 57193271892;
eLibrary SPIN: 7546-3080;
e-mail: yurijgarkavenko@mail.ru

Alexander P. Pozdeev, MD, PhD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5665-6111>;
ResearcherID: T-6146-2018;
Scopus Author ID: 6701438186;
eLibrary SPIN: 3408-8570;
e-mail: prof.pozdeev@mail.ru

Denis Yu. Grankin, MD, Research Associate;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8948-9225>;
e-mail: grankin.md@gmail.com

Konstantin A. Afonichev, MD, PhD, Dr. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6460-2567>;
eLibrary SPIN: 5965-6506;
e-mail: afonichev@list.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author