

Новые технологии

© Борзунов Д.Ю., Моховиков Д.С., Колчин С.Н., 2020

УДК 616.717.4-001.59-089.227.843-031:611.984-032

DOI 10.18019/1028-4427-2020-26-3-408-412

Новая технология реконструкции плеча свободным аутоотрансплантатом из малоберцовой кости при гипотрофическом псевдоартрозе

Д.Ю. Борзунов^{1,2}, Д.С. Моховиков³, С. Н. Колчин³

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Екатеринбург, Россия

²Муниципальное автономное учреждение "Центральная городская клиническая больница № 23", г. Екатеринбург, Россия

³Федеральное государственное бюджетное учреждение

«Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курган, Россия

New technology for humerus reconstruction with a free fibular autologous graft in hypotrophic pseudarthrosis

D.Yu. Borzunov^{1,2}, D.S. Mokhovikov³, S.N. Kolchin³

¹Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russian Federation

²Central City Clinical Hospital, Ekaterinburg, Russian Federation

³Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

Введение. Применение современных технологий лечения пациентов с переломами плечевой кости с использованием металлоконструкций (различных вариантов свободной и несвободной костной аутопластики, динамических пластин DCP, LCP, интрамедуллярного блокируемого остеосинтеза, аппаратов внешней фиксации) не всегда гарантирует восстановление целостности поврежденного сегмента. Достичь адекватного контакта сращиваемых концов отломков, предотвратить вторичное смещение, создать условия для костеобразования возможно с использованием малоберцовой кости пациента в качестве аутологичного костно-пластического материала. **Материалы и методы.** Ретроспективно оценены результаты восстановительного лечения четырех пациентов одного пола, с одной этиологией псевдоартрозов, ранее безуспешно оперированных, которым в одном отделении одного медицинского учреждения для реконструкции плеча использовали свободный аутоотрансплантат из малоберцовой кости. В статье подробно описан новый запатентованный в РФ способ реконструкции плечевой кости при гипотрофическом псевдоартрозе. **Результаты и обсуждение.** Возможности любой динамической погружной системы ограничены по времени и силе воздействия. Аппарат внешней фиксации позволяет создать управляемую фиксацию отломков плечевой кости и поддерживать ее в необходимом режиме до достижения консолидации отломков. Малоберцовая кость, имплантируемая в костномозговую полость отломков, в зоне их стыка и адаптации выполняет роль шины и дополнительно армирует плечевую кость, предотвращая риск вторичного смещения при создании компрессионных усилий аппаратом. Формируемый в межотломковом диастазе и по периферии аутогенный костнопластический материал является субстратом локального костнопластического вмешательства, стимулирующим остеогенез. **Заключение.** Свободный костный аутоотрансплантат в виде цилиндр-фрагмента малоберцовой кости имплантируют в зону активного ангио- и остеогенеза. Зону адаптации отломков плечевой кости внутрикостно на протяжении армируют имплантом, исключая риск вторичного смещения отломков при создании компрессии аппаратом внешней фиксации. Использование аппарата внешней фиксации позволяет создать адекватный контакт в области костной раны и поддерживать компрессию между концами отломков плечевой кости до формирования костного блока.

Ключевые слова: плечевая кость, гипотрофический псевдоартроз, свободная костная пластика, аутоотрансплантат, аппарат Илизарова

Introduction Modern technologies for treating patients with fractures of the humerus using metal structures (various options for free and non-free bone autoplasty, dynamic plates DCP, LCP, intramedullary locked osteosynthesis, external fixation devices) do not always guarantee restoration of the integrity of the segment. Patient's fibula as an autologous osteoplastic material assists in achieving adequate contact of the ends of the fragments, prevents secondary displacement, and creates conditions for bone formation. **Material and methods** We retrospectively evaluated the results of restorative treatment in four patients of the same sex, with the same etiology of pseudoarthrosis, and failure of previous operations in whom a free fibular autograft was used for humerus reconstruction at one medical institution. A new method of humerus reconstruction in hypotrophic pseudoarthrosis patented in the Russian Federation is described in detail. **Results and discussion** Capabilities of any dynamic internal system are limited in time and effects. The external fixation device allows for controlled fixation of the fragments of the humerus and maintains it in the required mode until the consolidation of the fragments. The fibular graft, implanted into the bone marrow cavity in the area of the junction of fragments, plays the role of an interface and additionally reinforces the humerus, preventing secondary displacement that may be caused by compression forces created with the fixator. The autogenous osteoplastic substance formed in interfragmental gap and along the periphery is a substrate for local osteoplastic intervention that stimulates osteogenesis. **Conclusion** A free bone autograft shaped as a cylindrical fibular fragment is implanted into the zone of active angiogenic and osteogenesis. The coaptation zone of fragments of the humerus is reinforced with an implant intraosseously along its length to eliminate the risk of secondary displacement of the fragments by creating compression with an external fixator. The use of an external fixation device provides contact in the area of the bone wound and maintains compression between the ends of the humerus fragments until bony fusion.

Keywords: humerus, hypotrophic pseudoarthrosis, free bone grafting, autograft, Ilizarov apparatus

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы лечения пациентов с переломами плечевой кости связана с высоким риском развития несращений [1]. При консервативном лечении ложные суставы формируются у 2–10 % пострадавших, псевдоартрозы выявляют у 30 % оперированных больных [2].

Неоднократные и безуспешные оперативные вмешательства приводят к созданию сложного для дальнейшего восстановительного лечения патологического симптомокомплекса поврежденной верхней конечности, включающего собственно несращение, межотломковый диа-

Борзунов Д.Ю., Моховиков Д.С., Колчин С.Н. Новая технология реконструкции плеча свободным аутоотрансплантатом из малоберцовой кости при гипотрофическом псевдоартрозе // Гений ортопедии. 2020. Т. 26, № 3. С. 408–412. DOI 10.18019/1028-4427-2020-26-3-408-412

Borzunov D.Yu., Mokhovikov D.S., Kolchin S.N. New technology for humerus reconstruction with a free fibular autologous graft in hypotrophic pseudarthrosis. *Genij Ortopedii*, 2020, vol. 26, no 3, pp. 408–412. DOI 10.18019/1028-4427-2020-26-3-408-412

стаз, изменение формы и архитектоники костной ткани отломков, их эбурнеацию, атрофию, сочетание склероза и остеопороза, рубцовые изменения мягких тканей, неврологические нарушения, контрактуры смежных суставов. Особую группу составляют асептические псевдоартрозы с атрофическими отломками. По предлагаемым хирургическим протоколам обязательным условием для восстановления целостности плечевой кости является тщательная обработка концов отломков с созданием между ними адекватного контакта, вскрытие костномозговых каналов с резекцией эбурнированных концов и использование свободных алло- и ауто трансплантатов [1, 3]. Для костной пластики предпочтение отдают трансплантатам из крыла подвздошной кости, в качестве металлоконструкции используют пластины LCP [3]. Дополнительно протоколы лечения пациентов с ложными суставами плечевой кости включают проведение клеточной терапии с применением остеопотентных клеток, факторов роста и скаффолдов. Признавая эффективность применения BMP- и PRP-терапии, авторы, однако, не рассматривают ее как самостоятельный вариант или протокол лечения [1, 4]. В этих условиях для восстановления анатомо-функциональной целостности плечевой кости необходимо выполнить качественный, стабильный и управляемый остеосинтез с адекватной адаптацией концов отломков. Применение современных технологий лечения и металлоконструкций для различных вариантов свободной и несвободной костной аутопластики, динамических пластин DCP, LCP, ин-

трамедуллярного блокируемого остеосинтеза, аппаратов внешней фиксации не всегда гарантирует восстановление целостности поврежденного сегмента.

Достичь адекватного контакта сращиваемых концов отломков, предотвратить вторичное смещение, создать условия для костеобразования с помощью аутологичного костно-пластического материала возможно с использованием малоберцовой кости пациента. Идея использования малоберцовой кости для реконструкции плечевой кости не нова, она была описана Wright et al. в клиническом и биомеханическом исследовании [5]. Ранее мы имели скромный опыт успешного использования свободного массивного трансплантата малоберцовой кости в условиях чрескостного остеосинтеза для возмещения пострезекционных дефектов плечевой кости, сформированных у пациентов с саркомой Юинга и поражением плечевой кости в результате эхинококкоза [6, 7]. В литературе имеются данные о достаточно широком клиническом применении свободных трансплантатов малоберцовой кости у пациентов с ложными суставами плечевой кости. Для остеосинтеза отломков плечевой кости коллеги использовали пластины DCP, LCP [2, 3, 8].

Цель работы – представить новую технологию использования свободного трансплантата малоберцовой кости в условиях чрескостного остеосинтеза для восстановления целостности плечевой кости у пациентов с гипотрофическими ложными суставами при отсутствии активной гнойной инфекции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ретроспективно мы оценили результаты восстановительного лечения четырех пациентов, у которых для реконструкции плеча использовали свободный ауто-трансплантат малоберцовой кости.

Все пациенты были пролечены в одном отделении РНЦ "ВТО" им. акад. Г.А. Илизарова в период с 2016 по 2018 год. Все пациенты были женского пола в возрасте от 23 до 67 лет, имели посттравматическую этиологию псевдоартрозов, травму в результате ДТП получили две пострадавшие, бытовой характер травмы также был у двух пациенток. Все пациентки были ранее безуспешно оперированы один-два раза.

Пациентки поступили на лечение с имплантированными интрамедуллярными блокируемыми стержнями, у одной больной был динамизирован дистальный павильон стержня. Металлоконструкции были нестабильны. У двух пациенток кроме БИОС был безуспешно применен накостный остеосинтез. По данным анамнеза продолжительность несращения составила от года до семи лет.

Сформированные несращения были классифицированы как атрофические (нежизнеспособные) по классификации Weber T.W., Cech O. [9]. По классификации В.И. Шевцова с соавт. [10] выявленные несращения плечевой кости были характерными для дефект-псевдоартрозов с анатомическим укорочением (у двух пациенток) и без анатомического укорочения сегмента (также у двух больных). Анатомические укорочения плечевой кости величиной соответственно 2 и 5 см были выявлены у двух пациенток. Две пациентки имели стойкие комбинированные контрактуры плечевых и локтевых суставов с резким ограничением объема движений и функции верхней конечности.

Для реконструкции плеча использовали свободный ауто трансплантат малоберцовой кости величиной от 8 (n = 3) до 10 см (n = 1). Для рассверливания костномозгового канала и зоны псевдоартроза использовали примеры диаметром 10 и 11 мм.

Фиксацию плечевой кости аппаратом Илизарова продолжали в течение трех-четырех месяцев до достижения консолидации отломков.

Техническое исполнение (Патент РФ «Способ реконструкции плечевой кости при гипотрофическом псевдоартрозе» [11]). Интрамедуллярный гвоздь удаляли по стандартному протоколу, после чего с использованием разверток (римеров) формировали канал, диаметр которого превышал диаметр трансплантата на 1,0 мм. Забор ауто трансплантата осуществляли из диафиза малоберцовой кости проксимальнее уровня голеностопного сустава на 9 см. Ауто трансплантат формировали длиной 8–10 см. При наличии накостной металлоконструкции ее удаляли. После гемостаза рану послойно ушивали. Пальпировали большой бугорок, определяли m. supraspinatus и разделяли среднюю порцию сухожилия вдоль его волокон. Шилом с Т-образной рукояткой вскрывали костномозговой канал плечевой кости. Измеряли наибольший поперечный размер ауто трансплантата. Разверткой, равной по диаметру наибольшему поперечному размеру ауто трансплантата, проходили в костномозговой канал и расширяли его. Закрыто вскрывали зону псевдоартроза, разрушали сформированные замыкательные пластинки на концах отломков плечевой кости, адаптировали концы отломков. Под рентгенологическим контролем ЭОП осуществляли сопоставление дистального и проксимального отломков плечевой кости с восстановлением оси сегмента так, чтобы костномозговой канал проксимального отломка был продолжением костномозгового канала дистального отломка. Для манипуляции отломками использовали аппарат внешней фиксации. Удерживая отломки в достигнутом положении, разверткой проходили по костномозговому каналу дистального отломка на глубину не менее 10 мм и не более чем до уровня метафиза. Имплантировали ауто трансплантат закрыто и антеградно в костномозговой канал плечевой кости, перекрывая интрамедуллярно

зону псевдоартроза. В сформированном канале аутоотрансплантат размещали так, что один его конец располагался в проксимальном отломке, а другой – в дистальном отломке. Аутоотрансплантат вводили в костномозговой канал плотно, при необходимости вколачивали, не выполняя вращательных движений. При этом создавали противоупор за контралатеральный локтевой сустав, чтобы избежать диастаза между костными отломками. Таким образом, костные отломки плечевой кости стабилизировали аутоотрансплантатом, выполняющим функцию костного штифта. Компрессионные усилия на стыке отломков поддерживали аппаратом внешней фиксации до достижения консолидации псевдоартроза. Выполняли компрессию по оси отломков по 0,75–1,0 мм раз в 10–14 дней. После сращения отломков аппарат демонтировали.

Клинический пример. Пациентка Т., 53-х лет, поступила с жалобами на боли в левом плече, патологическую микроподвижность отломков. Диагноз: гипотрофический псевдоартроз правой плечевой кости, состояние после блокируемого интрамедуллярного остеосинтеза. Хронический аутоиммунный тиреоидит. Из анамнеза известно, что переломы правой ключицы и левой плечевой кости были получены в результате ДТП год назад. Было проведено оперативное лечение по месту жительства, выполнен БИОС левой плечевой кости, на костный остеосинтез правой ключицы. Сращения левого плеча достигнуто не было. Левая верхняя конечность была фиксирована на косыночной повязке. При клиническом осмотре у больной были выявлены линейные нормотрофические рубцы на протяжении левого плеча, не спаянные с подлежащими тканями и костными отломками. Укорочения и атрофии мягких тканей левого плеча выявлено не было. Движения плечевого сустава: отведение – 70°, сгибание – 80°, разгибание – 25°, с мышечной силой 3 балла. Движения локтевого сустава: сгибание – 40°, разгибание – 180°, безболезненные, с мышечной силой 4–5 баллов. Выявлена патологическая подвижность отломков плечевой кости в средней трети

диафиза, манипуляция была болезненной. Ангионевротических расстройств выявлено не было (рис. 1, а).

В Центре Илизарова выполнено удаление интрамедуллярного фиксатора, закрытое рассверливание зоны псевдоартроза, антеградная имплантация свободного аутоотрансплантата из цилиндр-фрагмента малоберцовой кости. Для этого выделили фрагмент диафиза малоберцовой кости, сформировали из него аутоотрансплантат в форме костного штифта цилиндрической формы. С проксимального конца плечевой кости, со стороны головки, сформировали место ввода аутоотрансплантата. В плечевой кости сформировали канал, который соответствовал по размеру и геометрически являлся продолжением костномозгового канала плечевой кости. Вскрыли костномозговой канал разверткой (диаметр 10 мм), равной по диаметру наибольшему поперечному размеру аутоотрансплантата, прошли в костномозговой канал. Расширили костномозговой канал, достигли зоны псевдоартроза. Закрыто вскрыли зону псевдоартроза, разрушили сформированные замыкательные пластинки на концах отломков плечевой кости, адаптировали концы отломков с формированием костно-пластического материала, локализованного по периферии зоны адаптации отломков. Используя аппарат Илизарова, сопоставили проксимальный и дистальный отломки плечевой кости до анатомически правильного положения, костномозговой канал проксимального отломка был продолжением костномозгового канала дистального отломка. Удерживая отломки в достигнутом положении, разверткой прошли вдоль костномозгового канала дистального отломка на глубину 10 мм. Ввели аутоотрансплантат закрыто и антеградно в сформированный костномозговой канал плечевой кости, перекрывая интрамедуллярно зону псевдоартроза. Сегмент фиксировали аппаратом Илизарова. В послеоперационном периоде производили дозированную компрессию зоны псевдоартроза по 0,75–1 мм раз в 10–14 дней (рис. 1, б). Через три месяца визуализировали костное сращение в зоне псевдоартроза, аппарат Илизарова демонтировали (рис. 1, в)

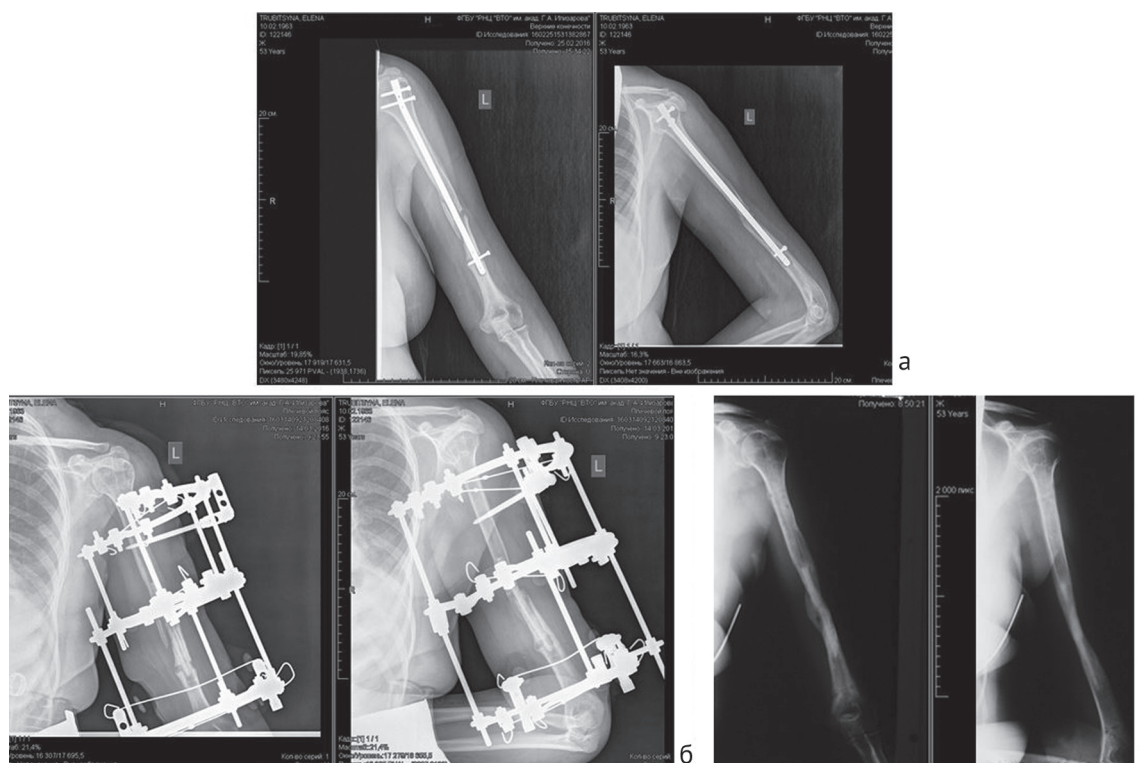


Рис. 1. Рентгенограммы плеча пациентки Т.: а – до лечения; б – в ходе лечения; в – через три месяца после лечения

ОБСУЖДЕНИЕ

По мнению ряда авторов, отсутствие жесткой и стабильной фиксации отломков плечевой кости является одной из ключевых причин несращения после реконструктивных вмешательств [12–15]. Обязательным условием для достижения консолидации является создание адекватного контакта между концами отломков с компрессией по всей зоне несращения [16]. По нашему мнению, возможности любой динамической погружной системы (интрамедуллярной и на костной) ограничены по времени и силе воздействия. Преимущества внешней фиксации по данным позициям очевидны и неоспоримы. Аппарат внешней фиксации позволяет создать управляемую фиксацию отломков плечевой кости и поддерживать ее в необходимом режиме до достижения консолидации отломков. Вместе с тем, имеются и определенные недостатки чрескостного остеосинтеза, связанные, в первую очередь, со снижением качества жизни пациентов, риском воспаления мягких тканей в области чрескостных элементов фиксации, развитием контрактур смежных суставов и т.д. [17, 18]. Но данные недостатки при сокращении продолжительности лечения, соблюдении эпидемиологического режима и наличии полноценной реабилитации пациентов являются оправданными и преодолимыми. Существует идея стабилизации отломков, в том числе при удлинении, при комбинации внешней фиксации и интрамедуллярного армирования спицами (тенами) [19].

Вместе с тем, общепризнано, что наиболее оптимальным костно-пластическим материалом является аутогенная кость. Малоберцовая кость, имплантируемая в костномозговую полость отломков, в зоне их стыка и адаптации выполняет роль шины и дополнительно армирует плечевую кость, предотвращая риск вторичного смещения при создании компрессионных усилий аппаратом. В результате закрытого дополнительного рассверливания костномозгового канала на уровне псевдоартроза в межотломковом диастазе и по периферии зоны стыка формируется аутогенный костнопластический материал, являющийся субстратом локального костнопластического вмешательства, стимулирующего остеогенез.

Рассверливание костномозгового канала и зоны псевдоартроза при ревизионных вмешательствах некоторые авторы рассматривают как механизм, запускающий каскад процессов ангиогенеза, ремоделирования сосудистой сети восстановленного сегмента и обеспечивающий достижение костного сращения [20].

Продукты римирирования обладают остеогенной потенцией [21, 22], заполняют межфрагментарный диастаз, что в совокупности с восстановлением ангиогенеза, усилением периостального кровоснабжения и ремоделированием сосудистой сети [20, 23] исключает необходимость проведения открытой ревизии зоны несращения [24, 25], снижая травматичность оперативного пособия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суть новой технологии заключается в следующем. Свободный костный аутоотрансплантат в виде цилиндрического фрагмента малоберцовой кости имплантируют в зону активного ангио- и остеогенеза. Зону адаптации отломков плечевой кости внутрикостно на протяжении армируют имплантом, исключаяющим риск вторичного сме-

щения отломков при создании компрессии аппаратом внешней фиксации. Использование аппарата внешней фиксации позволяет создать адекватный контакт в области костной раны и поддерживать компрессию между концами отломков плечевой кости до формирования костного блока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Humeral shaft non-union after intramedullary nailing / G. Campochiaro, P. Baudi, M. Gialdini, A. Corradini, V. Duca, M. Rebuzzi, F. Catani // *Musculoskelet. Surg.* 2017. Vol. 101, No 2. P. 189-193. DOI 10.1007/s12306-017-0468-x.
2. Role of autologous non-vascularised intramedullary fibular strut graft in humeral shaft nonunions following failed plating / S. Kashay-Chowdhojirao, A. Vallurupalli, V.K. Chilakamari, C. Patnala, L.M. Chodavarapu, N.R. Kancherla, A.H.K. Syed // *J. Clin. Orthop. Trauma.* 2017. Vol. 8, No Suppl. 2. P. S21-S30. DOI: 10.1016/j.jcot.2016.12.006.
3. Babbhulkara S., Babbhulkara S., Vasudev A. Recalcitrant aseptic atrophic non-union of the shaft of the humerus after failure of surgical treatment: management by excision of non-union, bone grafting and stabilization by LCP in different modes // *Injury.* 2017. Vol. 48, No Suppl. 2. P. S33-S43. DOI: 10.1016/S0020-1383(17)30492-8.
4. From plate to nail: a case-report of proximal humerus non-union / A. Pantalone, D. Vanni, M. Guelfi, M. Abate, A. Belluati, V. Salini // *Injury.* 2015. Vol. 46, No Suppl. 7. P. S48-S50. DOI: 10.1016/S0020-1383(15)30046-2.
5. Reconstruction of humerus with an intramedullary fibular graft. A clinical and biomechanical study / T.W. Wright, G.J. Miller, R.A. Vander Griend, D. Wheeler, P.C. Dell // *J. Bone Joint Surg. Br.* 1993. Vol. 75, No 5. P. 804-807.
6. Применение чрескостного остеосинтеза при лечении больного с саркомой Юинга плечевой кости / И.И. Балаев, Л.М. Куфтырев, Д.Ю. Борзунов, А.В. Злобин // *Гений ортопедии.* 2004. № 2. С. 63-65.
7. Редкое клиническое наблюдение эхинококкового поражения диафиза плечевой кости / Д.Ю. Борзунов, А.И. Митрофанов, Д.С. Моховиков, Д.В. Сорокин // *Гений ортопедии.* 2014. № 2. С. 64-68.
8. Humeral shaft nonunions treated with fibular allograft and compression plating / L.A. Crosby, B.L. Norris, K.D. Dao, M.H. McGuire // *Am. J. Orthop. (Belle Mead NJ).* 2000. Vol. 29, No 1. P. 45-47.
9. Weber B.G., Cech O. Pseudarthrosis: Pathophysiology, biomechanics, therapy, results. New York, NY: Grune and Stratton. 1976.
10. Псевдоартрозы, дефекты костей верхней конечности и контрактуры локтевого сустава (базовые технологии лечения аппаратом Илизарова) / В.И. Шевцов, В.Д. Макушин, Л.М. Куфтырев, Ю.П. Солдатов. Курган : Зауралье, 2001. 407 с.
11. Способ реконструкции плечевой кости при гипотрофическом псевдоартрозе : пат. 2695268 Рос. Федерация, МПК А61В 17/62 / Д.С. Моховиков, С.Н. Колчин, Д.Ю. Борзунов; патентообладатель: ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова Минздрава России. - № 2018139093; заявл. 06.11. 2018; опубл. 22. 07.2019.
12. Nonunion of the humeral shaft / W.L. Healy, G.M. White, C.A. Mick, A.F. Brooker Jr., A.J. Weiland // *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1987. No 219. P. 206-213.
13. Arophic ununited diaphyseal fractures of the humerus with a bony defect: treatment by wave-plate osteosynthesis / D. Ring, J.B. Jupiter, J. Quintero, R.A. Sanders, R.K. Marti // *J. Bone Joint Surg. Br.* 2000. Vol. 82, No 6. P. 867-871. DOI: 10.1302/0301-620x.82b6.10124.
14. Open reduction and internal fixation of humeral nonunions: a biomechanical and clinical study / I.F. Rubel, P. Kloen, D. Campbell, M. Schwartz, A. Liew, E. Myers, D.L. Helfet // *J. Bone Joint Surg. Am.* 2002. Vol. 84, No 8. P. 1315-1322. DOI: 10.2106/00004623-200208000-00004.
15. Marti R.K., Verheyen C.C., Besselaar P.P. Humeral shaft nonunion: evaluation of uniform surgical repair in fifty-one patients // *J. Orthop. Trauma.* 2002. Vol. 16, No 2. P. 108-115. DOI: 10.1097/00005131-200202000-00007.

16. Sitati F.C., Kingori J. Outcome of management of humerus diaphysis non-union // East and Central African Journal of Surgery. 2009. Vol. 14, No 2. P. 13-17.
17. Gubin A.V., Borzunov D.Y., Malkova T.A. The Ilizarov paradigm: thirty years with the Ilizarov method, current concerns and future research // Int. Orthop. 2013. Vol. 37, No 8. P. 1533-1539. DOI: 10.1007/s00264-013-1935-0.
18. Gubin A.V., Borzunov D.Y., Malkova T.A. Ilizarov method for bone lengthening and defect management: Review of contemporary literature // Bulletin of the Hospital for Joint Diseases. 2016. Vol. 74, No 2. P. 145-154.
19. The use of flexible intramedullary nails in limb lengthening / A. Popkov, P. Foster, A. Gubin, D. Borzunov, D. Popkov // Expert Rev. Med. Devices. 2017. Vol. 14, No 9. P. 741-753. DOI: 10.1080/17434440.2017.1367284.
20. Pape H.C., Giannoudis P. The biological and physiological effects of intramedullary reaming // J. Bone Joint Surg. Br. 2007. Vol. 89, No 11. P. 1421-1426. DOI: 10.1302/0301-620X.89B11.19570.
21. Reaming in treatment of non-unions in long bones: cytokine expression course as a tool for evaluation of non-union therapy / F. Westhauser, G. Zimmermann, S. Moghaddam, T. Bruckner, G. Schmidmaier, B. Biglari, A. Moghaddam // Arch Orthop. Trauma Surg. 2015. Vol. 135, No 8. P. 1107-1116. DOI: 10.1007/s00402-015-2253-3.
22. RIA fractions contain mesenchymal stroma cells with high osteogenic potency / P. Kuehlfluck, A. Moghaddam, L. Helbig, C. Child, B. Wildemann, G. Schmidmaier; HTRG-Heidelberg Trauma Research Group // Injury. 2015. Vol. 46, No Suppl. 8. P. S23-S32. DOI: 10.1016/S0020-1383(15)30051-6.
23. Pfeifer R., Sellei R., Pape H.C. The biology of intramedullary reaming // Injury. 2010. Vol. 41, No Suppl. 2. P. S4-S8. DOI: 10.1016/S0020-1383(10)70002-4.
24. Marti R.K., Kloen P. Concepts and Cases in Nonunion Treatment. 1st Ed. Davos: AO Publishing. 2011. 960 p.
25. Practice of Intramedullary Locked Nails. New Developments in Techniques and Applications / K.-S. Leung, G. Taglang, R. Schnettler, V. Alt, H.J.T.M. Haarman, H. Seidel, eds. Berlin, Heidelberg: Springer. 2006. 308 p.

Рукопись поступила 16.03.2020

Сведения об авторах:

1. Борзунов Дмитрий Юрьевич, д. м. н.,
ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский
университет» Минздрава России, г. Екатеринбург, Россия,
МАУ "ЦГКБ № 23", г. Екатеринбург, Россия,
Email: borzunov@bk.ru
2. Моховиков Денис Сергеевич, к. м. н.,
ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава
России, г. Курган, Россия
3. Колчин Сергей Николаевич, к. м. н.,
ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава
России, г. Курган, Россия

Information about the authors:

1. Dmitry Yu. Borzunov, M.D., Ph.D.,
Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russian Federation,
Central City Clinical Hospital, Ekaterinburg, Russian Federation,
Email: borzunov@bk.ru
2. Denis S. Mokhovikov, M.D., Ph.D.,
Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and
Orthopedics, Kurgan, Russian Federation
3. Sergey N. Kolchin, M.D., Ph.D.,
Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and
Orthopedics, Kurgan, Russian Federation