

DOI:10.23873/2074-0506-2019-11-1-9-20

## Опыт применения васкуляризированных костных трансплантатов для лечения несросшихся переломов и дефектов костей конечностей

А.В. Неведров<sup>1</sup>, Е.Ю. Шibaев<sup>1</sup>, В.О. Каленский<sup>1</sup>, Н.Н. Заднепровский<sup>1</sup>, В.Б. Шишкин<sup>2</sup>,  
Ф.А. Шарифуллин<sup>1</sup>, О.А. Цой<sup>1</sup>, М.П. Лазарев<sup>1</sup>, П.А. Иванов<sup>1</sup>, А.Л. Рыбинская<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»,  
129090, Россия, Москва, Большая Сухаревская пл., д. 3;

<sup>2</sup> ФГБУЗ «Центральная клиническая больница РАН»,  
117593, Россия, Москва, Литовский б-р, д. 1А

Контактная информация: Александр Валерьевич Неведров, канд. мед. наук, врач травматолог-ортопед  
2-го травматологического отделения НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского,  
e-mail: alexnev1985@yandex.ru

Дата поступления статьи: 21.07.2018

Принята в печать: 25.09.2018

**Актуальность.** Перемещение васкуляризированных костных трансплантатов является одним из самых надежных хирургических методов лечения несросшихся переломов и дефектов костей конечностей. Однако при выполнении таких оперативных вмешательств имеется ряд трудностей, одной из которых является сложность подгонки размеров реципиентного ложа и трансплантата, а также восстановления оси и длины реконструируемой кости. Перспективным методом подготовки к таким вмешательствам является виртуальное трехмерное планирование на основе данных компьютерной томографии и печать направлятелей и шаблонов.

**Цель.** Обобщение клинических наблюдений лечения несросшихся переломов и дефектов костей конечностей с помощью васкуляризированных костных ауто трансплантатов.

**Материал и методы.** Оценены ход лечебного процесса и его результаты у 4 пациентов с несращениями костей конечностей и у 6 пациентов с дефектами, у которых применены васкуляризированные костные трансплантаты в сочетании с внутренним остеосинтезом в 7 наблюдениях и внешним остеосинтезом – в 3 наблюдениях. 4 пациентам в ходе подготовки к оперативным вмешательствам применено виртуальное трехмерное планирование и печать направлятелей и шаблонов.

**Результаты.** В 1 наблюдении отмечен некроз васкуляризированного костного трансплантата, обусловленный венозным тромбозом. Сращения удалось добиться у всех пациентов, в 2 наблюдениях отмечена замедленная консолидация перелома. В 2 случаях выявлена гематома донорской области. При оценке продолжительности оперативного вмешательства выявлено ее снижение в среднем на 1 ч 5 мин в наблюдениях, где трехмерное виртуальное планирование применялось, по сравнению с наблюдениями, в которых данная методика не использовалась. При оценке анатомических результатов операции среди пациентов, которым не проводили трехмерное планирование, выявлено 2 случая неудовлетворительной репозиции. В 4 наблюдениях, в которых выполняли трехмерное планирование оперативного вмешательства, случаев неудовлетворительной репозиции не отмечено.

**Выводы.** Применение васкуляризированных костных трансплантатов является эффективной методикой для достижения консолидации при дефектах и несращениях костей конечностей. Однако имеются трудности при планировании оперативных вмешательств, определении размеров донорского ложа и размеров трансплантатов. Наши предварительные результаты показывают, что виртуальное трехмерное предоперационное планирование и печать шаблонов позволяют повысить точность проведения вмешательств и сократить их длительность.

**Ключевые слова:** несращения и дефекты костей конечностей, оперативное лечение, васкуляризированные костные трансплантаты, виртуальное трехмерное планирование, трехмерная печать шаблонов для операции

Неведров А.В., Шibaев Е.Ю., Каленский В.О. и др. Опыт применения васкуляризированных костных трансплантатов для лечения несросшихся переломов и дефектов костей конечностей. Трансплантология. 2019;11(1):9–20. DOI:10.23873/2074-0506-2019-11-1-9-20

## Experience of using vascularized bone grafts to treat nonunion fractures and limb bone defects

A.V. Nevedrov<sup>1</sup>, E.Yu. Shibayev<sup>1</sup>, V.O. Kalenskiy<sup>1</sup>, N.N. Zadneprovskiy<sup>1</sup>, V.B. Shishkin<sup>2</sup>, F.A. Sharifullin<sup>1</sup>, O.A. Tsoy<sup>1</sup>, M.P. Lazarev<sup>1</sup>, P.A. Ivanov<sup>1</sup>, A.L. Rybinskaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine,  
3 Bolshaya Sukharevskaya Sq., Moscow 129090 Russia;

<sup>2</sup> Central Clinical Hospital of the Russian Academy of Sciences,  
1A Litovskiy blvd., Moscow 117593 Russia

Correspondence to: Aleksandr V. Nevedrov, Cand. Med. Sci., Traumatologist-Orthopedist of the 2nd Trauma Department, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, e-mail: alexnev1985@yandex.ru

Received: July 21, 2018

Accepted for publication: September 25, 2018

**Background.** Vascular bone graft transposition is the one of most effective method of nonunion fracture and bone defect treatment. However, the use of this technique is associated with some difficulties. One is the adjustment of recipient bed size and the graft. The other is the difficulty to reconstruct the alignment and length of bone. A promising method of preparing for the vascular bone graft transposition is virtual three-dimensional planning based on computed tomography data and three-dimensional printing templates.

**The aim** was to summarize our experience in the treatment of bone nonunion and defects with vascular bone autografts using tree-dimensional virtual planning and printing.

**Material and methods.** We analyzed the treatment process and outcomes of 4 patients with limb bone nonunion and 6 patients with bone defects. In all cases, we used vascular bone grafts. Internal fixation of grafts was used in 7 cases, external fixation was used in 3 cases. At preparation stage in 4 cases, we used tree-dimensional virtual surgery planning and printing templates.

**Results.** One case was diagnosed with bone graft necrosis caused by venous thrombosis. Consolidation was achieved in all patients; a late consolidation was observed in 2 cases. Hematoma in donor area was seen in 2 patients. When using three-dimensional virtual planning and tree-dimensional printing templates, the operation time was decreased by 1 hour 5 minutes. We identified two cases of poor reposition in the group without virtual planning. No poor reposition was observed in the cases where tree-dimensional planning was used.

**Conclusion.** Vascularized bone grafts provide an effective method to treat bone defects and nonunion. But the planning of graft and recipient site sizes is associated with certain difficulties. Our preliminary results have shown that virtual three-dimensional planning and printing allow improving the precision of the surgical procedure and decreasing operative time.

**Keywords:** nonunion fractures and limb bone defects, vascularized bone grafts, virtual surgical planning, tree-dimensional printing of surgical templates

Nevedrov A.V., Shibayev E.Yu., Kalenskiy V.O., et al. Experience of using vascularized bone grafts to treat nonunion fractures and limb bone defects. *Transplantologiya. The Russian Journal of Transplantation*. 2019;11(1):9–20. (In Russian). DOI:10.23873/2074-0506-2019-11-1-9-20

### Введение

Проблема лечения несросшихся переломов и дефектов костей конечностей является актуальной, так как последствия тяжелых травм конечностей – это одна из очень значимых причин инвалидности [1]. Лечение данной патологии отличается большой длительностью и высокой частотой неудовлетворительных исходов [2, 3]. Важно отметить, что четких алгоритмов лечения этих состояний нет. Различными авторами предлагается реостеосинтез, костная пластика невакуляризованным аутооттрансплантатом,

несвободная костная пластика по Илизарову и другие методы [4].

Одним из наиболее надежных методов лечения дефектов и несращений костей конечностей является использование васкуляризованных костных аутооттрансплантатов. В литературе отмечено применение следующих донорских зон: костный лоскут из малоберцовой кости, из дистального метаэпифиза бедренной кости, из дистального метаэпифиза лучевой кости. При приживлении костного лоскута частота, с которой удается добиться сращения при применении данной методики, приближается к 100% [5, 6].

Однако одной из проблем использования этой перспективной технологии является необходимость в большинстве случаев использования микрохирургической техники, инструментария и операционного микроскопа [7]. Другим фактором, сдерживающим широкое применение данных методов, является большая длительность и травматичность вмешательств. Сокращение длительности оперативного вмешательства может быть достигнуто при работе двумя бригадами хирургов, а также при детальном планировании оперативных вмешательств. Одним из важных достижений в этом направлении является использование трехмерных технологий планирования оперативных вмешательств на основании данных компьютерной томографии [8]. Такие методы позволяют моделировать оперативное вмешательство в виртуальном трехмерном пространстве, рассчитать необходимые размеры костного лоскута и его конфигурацию. Трехмерная печать позволяет создать шаблоны для выкройки васкуляризованного костного трансплантата нужного размера и шаблон для донорского ложа [9, 10]. Имеется большое количество сообщений о применении данной методики при реконструкциях в челюстно-лицевой области, однако работы об использовании данных методов в хирургии конечностей практически отсутствуют [11].

Целью данной работы является обобщение предварительного опыта НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского и ЦКБ РАН по лечению несращений и дефектов костей конечности с помощью васкуляризованных костных ауто-трансплантатов с применением предоперационного трехмерного моделирования и печати.

### Материал и методы

Нами изучены ход лечебного процесса и его результаты у 10 пациентов с несращениями и дефектами костей конечностей. Всем пациентам были применены васкуляризованные костные трансплантаты. При этом у 5 больных мы использовали свободные костные васкуляризованные трансплантаты, требовавшие наложения микрососудистых анастомозов, а еще у 5 пациентов – несвободные на местных сосудах; в 4 наблюдениях было применено предоперационное трехмерное моделирование. Пролечены 2 пациента с дефектами большеберцовой кости, 2 – с несращениями ладьевидной кости, 1 – с дефектом ладьевидной кости, 2 – с несращениями луче-

вой кости, 2 – с дефектом локтевой кости и 1 – с несращением плечевой кости. Среди пациентов были 7 мужчин и 3 женщины. Средний возраст пациентов составил 43,5 года. Средний срок от момента травмы до операции составил 4,86 мес.

Оперативные вмешательства при несращениях и дефектах костей конечностей проводили по следующей методике. Выполняли доступ к области несращения или дефекта. С помощью пилы и долота формировали ложе для васкуляризованного костного трансплантата. Далее выкраивали свободный или несвободный костный лоскут, который перемещали в область дефекта. Если использовали свободный васкуляризованный костный трансплантат, то накладывали микроанастомозы сосудов с применением операционного микроскопа. Стабильную фиксацию выполняли до или после перемещения кровоснабжаемого костного трансплантата. В 7 наблюдениях фиксацию перелома осуществляли внутренним фиксатором, а в 3 наблюдениях применяли внешнюю фиксацию.

При выполнении оперативных вмешательств по лечению несращений и дефектов костей конечностей с помощью васкуляризованных костных трансплантатов были выявлены трудности с восстановлением анатомической формы кости, а также проблемы при работе двумя бригадами хирургов, а именно была невозможна окончательная подготовка донорского ложа до момента выкройки костного ауто-трансплантата.

Для решения данных проблем у 4 пострадавших применено предоперационное трехмерное моделирование оперативного вмешательства. Источником для построения моделей являлись данные компьютерно-томографического исследования реципиентной и в 2 наблюдениях – донорской области. Для предоперационного трехмерного планирования использовали бесплатное программное обеспечение. Из данных DICOM строили STL-модель реципиентной и донорской областей. С помощью программы MeshLab проводили доработку и упрощение моделей. В трехмерном редакторе Blender моделировали ход операции и рассчитывали необходимые размеры васкуляризованного костного трансплантата. В этой же программе проводили разработку необходимых для операции шаблонов, таких как шаблон для подготовки донорского ложа и шаблон для выкройки костного трансплантата. Печать разработанных в ходе предоперационного планирования шаблонов проводили на трехмерном принтере из пластика полилактида. После

плазменной стерилизации шаблоны применяли в ходе оперативного вмешательства для выкройки трансплантата необходимого размера и подготовки реципиентного ложа.

Ближайшие послеоперационные результаты оценивали по данным компьютерной томографии и рентгенограмм. Отдаленные результаты оценивали в срок от 6 до 12 мес. Ввиду малого количества клинических наблюдений применения васкуляризированных костных трансплантатов статистическую обработку данных не проводили.

### Результаты

В 1 случае отмечен некроз васкуляризованного костного трансплантата, обусловленный венозным тромбозом (пациент из группы, в которой предоперационное виртуальное планирование не выполняли). В 2 случаях отмечено формирование гематомы донорской области (1 пациент из группы, где предоперационное планирование выполняли, и 1 – из группы, где его не делали). У 1 пациента из группы, в которой выполняли предоперационное планирование, выявлен длительный болевой синдром после оперативного вмешательства. Сращения удалось добиться у 8 пациентов в обычные сроки, а в 2 наблюдениях, где предоперационное виртуальное планирование не осуществляли, отмечалась замедленная консолидация. Средний срок консолидации при применении васкуляризированных костных трансплантатов составил 4,37 (от 2,5 до 12) мес.

Мы также оценили продолжительность оперативных вмешательств с использованием трехмерного планирования и печати шаблонов и без него. Так, у 6 пациентов, которым данную методику не применяли, средняя продолжительность оперативного вмешательства составила 5 ч 30 мин. У 4 пострадавших, которым предоперационное трехмерное планирование оперативного вмешательства осуществляли, средняя продолжительность оперативного вмешательства составила 4 ч 25 мин.

При оценке анатомических результатов операций у пациентов, которым трехмерное планирование вмешательств не проводили, отмечены 2 случая, в которых, по данным рентгенограмм, репозиция признана неудовлетворительной. В 4 наблюдениях, где трехмерное планирование оперативных вмешательств проводили, случаев неудовлетворительной репозиции не отмечено.

Приводим клиническое наблюдение, где васкуляризированный трансплантат был применен

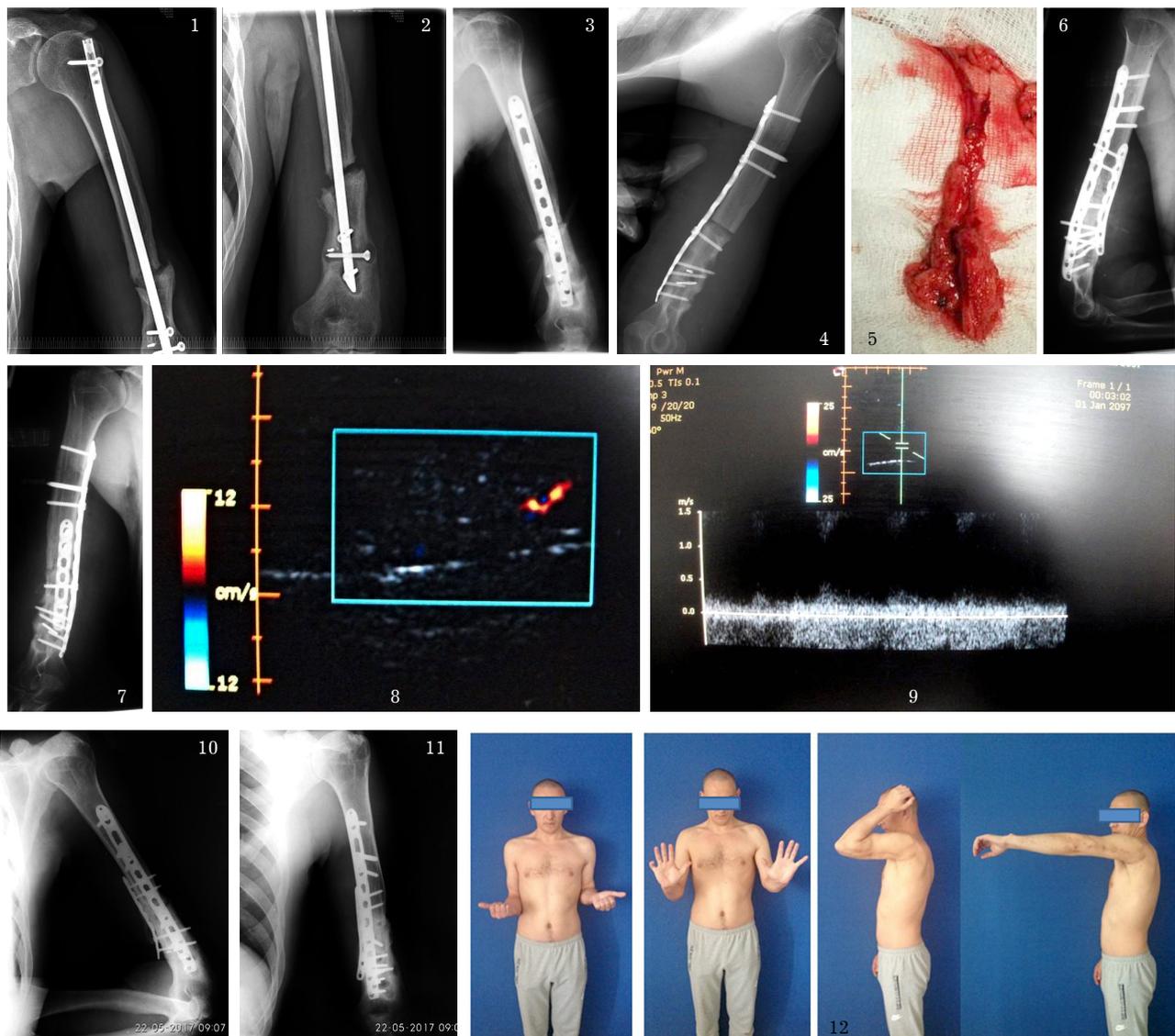
без предоперационного трехмерного планирования, и наблюдение, где использовалось трехмерное планирование.

#### *Клинический случай 1 (рис. 1)*

Пациент Е., 26 лет. За полтора года до обращения пострадал в результате травмы на производстве. Получил открытый перелом правого плеча, выполнен остеосинтез плечевой кости штифтом. При обращении предъявлял жалобы на боль, нестабильность в области правого плеча. По клиническим и рентгенологическим данным: несросшийся перелом, дефект правой плечевой кости, состояние после остеосинтеза штифтом. Пациенту на первом этапе оперативного лечения выполнены удаление штифта, резекция области несращения и остеосинтез пластиной. С целью улучшения кровообращения в зоне несращения и заполнения дефектов костной ткани через 2 нед выполнен второй этап оперативного лечения – пластика области несращения васкуляризированным трансплантатом из медиального мышечка бедра. Длительность операции составила 6,5 ч. На операции отмечены технические трудности, связанные с подгонкой размеров донорского ложа и трансплантата. Послеоперационные раны зажили без осложнений. На 7-е сут после операции, по данным ультразвуковой доплерографии, кровоток по сосудам лоскута определялся. На контрольных рентгенограммах через 5 мес после операции отмечались признаки консолидации плечевой кости. Через 7 мес после операции функция верхней конечности восстановилась, и пациент вернулся к работе.

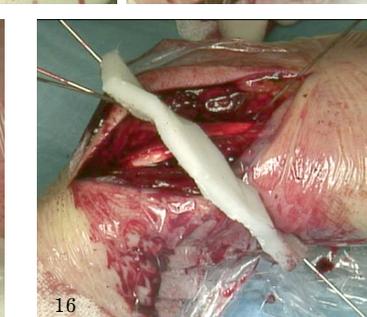
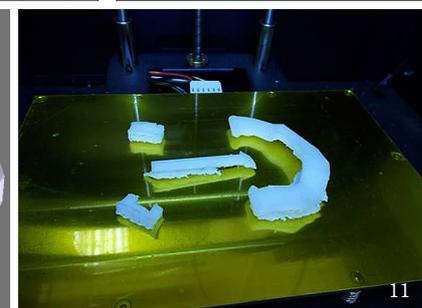
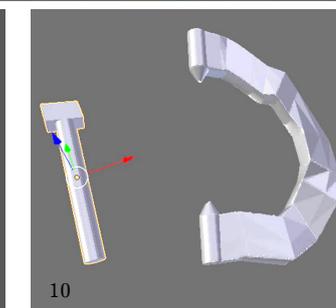
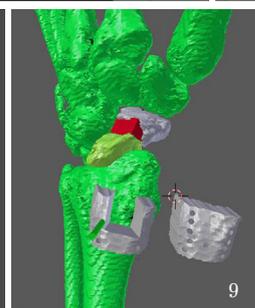
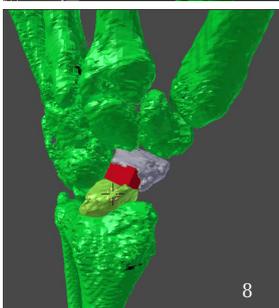
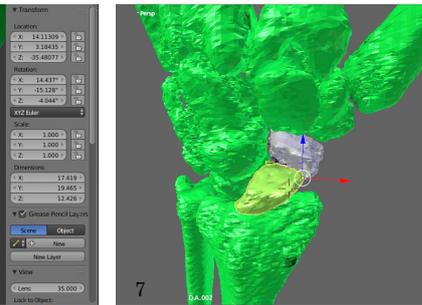
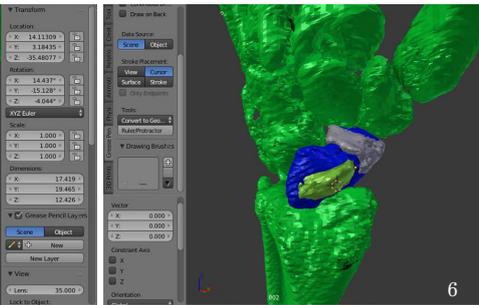
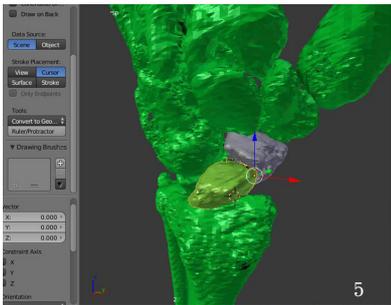
#### *Клинический случай 2 (рис. 2)*

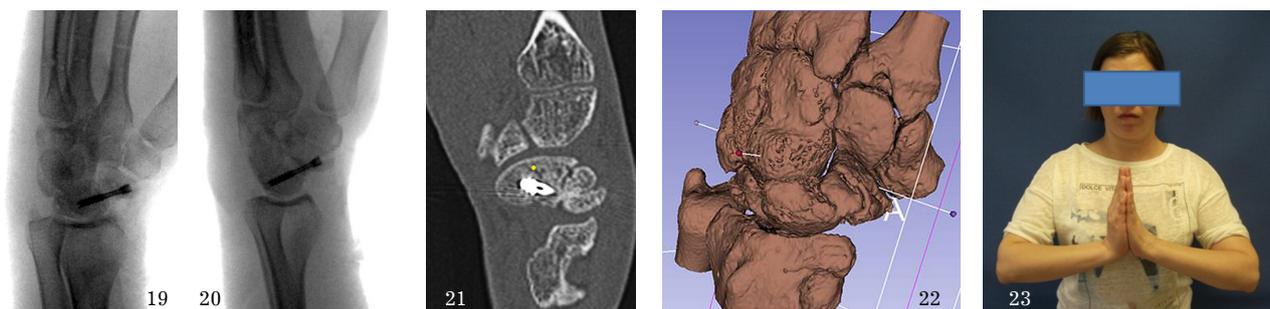
Пациентка К., 28 лет. За 4 года до обращения упала на руку. Получила перелом правой ладьевидной кости, лечилась консервативно. При обращении предъявляла жалобы на выраженные боли в области правого запястья. По клиническим и рентгенологическим данным установлен диагноз: несросшийся перелом правой ладьевидной кости. На первом этапе выполнено наложение дистракционного аппарата. Перед оперативным вмешательством выполнена компьютерная томография поврежденной и здоровой кистей. На основании данных компьютерной томографии проведено предоперационное планирование вмешательства, на трехмерном принтере распечатаны шаблоны для выкройки костного лоскута и проведения винта. Через одну неделю после первого этапа выполнен остеосинтез правой ладьевидной кости винтом с пластикой васкуляризированным трансплантатом из дистального метаэпифиза лучевой кости. При использовании шаблонов и направлятелей длительность оперативного вмешательства составила 2 ч, технических трудностей во время операции не отмечено. Послеоперационные раны



**Рис. 1. Пациент Е., 26 лет. Диагноз: несросшийся перелом, дефект левой плечевой кости на границе средней и нижней трети:** 1, 2 – рентгенограммы пациента Е. перед началом лечения; 3, 4 – рентгенограммы пациента Е., выполнен 1-й этап оперативного лечения: резекция области несращения, остеосинтез пластиной; 5 – вид выделенного костного трансплантата из медиального мыщелка бедренной кости на сосудистой ножке; 6, 7 – рентгенограммы пациента Е. после 2-го этапа оперативного лечения: пластики области несращения васкуляризированным костным трансплантатом, фиксации пластиной; 8, 9 – данные ультразвуковой доплерографии через 7 сут после операции, визуализируется кровоток по ножке лоскута, отчетливая пульсация при доплероскопии; 10, 11 – рентгенограммы пациента через 5 мес после оперативного лечения, имеются признаки консолидации в зоне несращения; 12 – функциональный результат через 7 мес после оперативного лечения

**Fig. 1. Patient E., 26 years old. Diagnosis: nonunion fracture, the left humerus defect at the border between the middle and lower third:** 1, 2: X-ray images before starting the treatment. 3, 4: X-ray images on completing the 1st stage of surgical treatment: the bone nonunion area was resected, plate osteosynthesis was performed. 5: The view of the bone graft on the vascular pedicle isolated from the medial condyle of the femur. 6, 7: X-ray images on completing the 2nd stage of surgical treatment, grafting the nonunion area with vascularized bone graft, fixation with a plate. 8, 9: Ultrasound doppler sonography at 7 days after surgery, blood flow through the graft pedicle is visualized, doppleroscopy shows a distinct pulsation. 10, 11: X-ray images at 5 months after surgical treatment, there are signs of consolidation in the nonunion area. 12: A functional result at 7 months after the surgical treatment





**Рис. 2. Пациентка К., 28 лет. Диагноз: несросшийся перелом правой ладьевидной кости:** 1, 2 – рентгенограммы пациентки перед началом лечения; 3, 4 – рентгенограммы пациентки К. после первого этапа оперативного лечения – наложения дистракционного аппарата; 5 – трехмерная модель ладья запястья пациентки, созданная на основе данных компьютерной томографии; 6 – совмещение модели поврежденной и здоровой ладьевидной кости в зеркальном изображении; 7 – исправленная деформация ладьевидной кости; 8 – подбор размеров костного трансплантата; 9, 10 – моделирование шаблонов и направителей для операции; 11 – печать шаблонов и направителей на настольном трехмерном принтере; 12 – применение шаблона для подготовки реципиентного ложа в ладьевидной кости; 13, 14 – применение шаблонов для выкройки васкуляризованного трансплантата из дистального метаэпифиза лучевой кости; 15 – вид выделенного на сосудистой ножке костного трансплантата; 16, 17 – применение направителя для проведения канюлированного винта в ладьевидную кость; 18–20 – рентгенограммы пациентки после операции; 21, 22 – данные компьютерной томографии через 4 мес после операции, имеются признаки консолидации ладьевидной кости; 23 – функция лучезапястного сустава пациентки через 6 мес после операции

**Fig. 2. Patient K. , 28 years old. Diagnosis: nonunion fracture of the right scaphoid bone:** 1, 2: X-ray before starting the treatment. 3, 4: X-ray after the first stage of the surgical treatment, namely, the external fixation device placement. 5: Three-dimensional model of the patient's wrist as created basing on the computed tomography data. 6: The superimposition of the damaged bone model and the mirrored intact scaphoid bone. 7: The scaphoid deformity corrected. 8: Choosing the bone graft dimensions. 9, 10: Modeling the templates for the surgical intervention. 11: Printing out the templates on a desktop three-dimensional printer. 12: Using the template for preparing the recipient bed in the scaphoid bone. 13, 14: Using the templates to customize a vascularized graft made of the radius bone distal metaepiphysis. 15: The view of the bone graft isolated on a vascular pedicle. 16, 17: Using the guide to pass the cannulated screw into the scaphoid bone; 18, 19, 20: X-ray images obtained after surgery. 21, 22: Computed tomography images at 4 months after surgery, there are signs of consolidation of the scaphoid bone. 23: Patient's hand function at 6 months after surgery

зажили без осложнений. На компьютерной томографии через 6 мес после операции отмечаются признаки консолидации ладьевидной кости. Боли в области запястья регрессировали.

### Обсуждение результатов

Лечение несращений и дефектов костей конечностей является одной из наиболее трудных и во многом не решенной проблемой травматологии и ортопедии [2]. Идеального метода лечения данных патологий в настоящее время не существует. Применяются различные методики, одной из которых является лечение в аппарате Илизарова [12]. Данный метод позволяет создать компрессию в зоне несращения, проводить стимуляцию этой зоны и создать условия для замещения костного дефекта с помощью несвободной костной пластики. Однако применение метода Илизарова имеет существенные недостатки, такие как: необходимость ношения внешней конструкции, высокая частота воспаления в области чрескожных элементов аппарата и высокая частота рецидивов несращений [13].

Лечение дефектов и несращений костей конечностей с помощью некрвоснабжаемых костных аутооттрансплантатов в сочетании с внутренним остеосинтезом является самой традиционной методикой [14]. Однако многие авторы отмечают высокую частоту повторных несращений, невозможность применения некрвоснабжаемых трансплантатов в условиях инфекции, а также зависимость результата их применения от васкуляризации окружающих тканей [15, 16].

Применение кровоснабжаемых костных трансплантатов является одним из самых надежных способов лечения различных несращений и дефектов костей конечностей. Преимущество данной методики состоит в сохранении жизнеспособных клеток в трансплантате, возможности реваскуляризации области несращения через сосуды трансплантата, устойчивости трансплантата к инфекции и быстром сращении перелома [17].

Операции по замещению костных дефектов, в отличие от мягкотканых, требуют прецизионной техники выполнения, точного подбора размеров костного трансплантата, восстановления длины

и оси конечности. Традиционно планирование данного вида оперативных вмешательств осуществляется на основании рентгенограмм. Однако развитие компьютерной томографии и использование трехмерных технологий для планирования объема оперативного вмешательства позволили сократить длительность выполнения и улучшить анатомические результаты операций. Эти преимущества отмечаются во многих работах, особенно в области челюстно-лицевой хирургии; наши предварительные результаты указывают на эффективность данного подхода и при операциях по реконструкции костей конечностей. Многие авторы отмечают необходимость использования специализированного программного обеспечения и промышленных трехмерных принтеров для реализации технологии планирования операций [18]. При этом имеется малое количество работ, в которых содержится описание использования бесплатного программного обеспечения и настольных трехмерных принтеров; между тем это приводит к значительному уменьшению затрат на применение данной технологии [19].

## Выводы

1. Наш предварительный опыт применения васкуляризированных костных трансплантатов для лечения дефектов и несращений костей конечностей показывает, что это эффективная методика достижения консолидации кости, позволяющая практически в 100% случаев добиться успеха.

2. Применение васкуляризированных костных трансплантатов требует использования микрохирургической техники, тщательного подбора размеров донорского ложа и трансплантата, что приводит к тому, что средняя продолжительность оперативного вмешательства составляет около 5 ч 30 мин.

3. Предварительные результаты анализа клинических наблюдений показывают, что детальное предоперационное планирование с использованием моделей, созданных на основе данных компьютерной томографии, и трехмерная печать направлятелей и шаблонов для операции позволяют уменьшить длительность вмешательств на 1 ч 5 мин и сократить число случаев неудовлетворительной репозиции.

## Литература

1. Лунев В.П. Структура общего контингента инвалидов по обращаемости в бюро медико-социальной экспертизы Российской Федерации с учетом возраста и классов болезней. Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2007;(2):25–27.
2. Nejedlý A., Dzupa V., Záhorka J., Tvrdek M. [Muscle flap transfer of the treatment of infected tibial and malleolar fractures and chronic osteomyelitis of the tibia]. Acta. Chir. Orthop. Traumatol. Cech. 2007 Jun;74(3):162–70. Czech. PMID:17623603
3. Ferreira N., Marais L.C., Aldous C. Mechanobiology in the management of mobile-atrophic and oligotrophic tibial nonunions. J. Orthop. 2015;12(Suppl 2):S182–187. PMID:27047221 DOI:10.1016/j.jor.2015.10.012
4. Hak D.J., Fitzpatrick D., Bishop J.A., et al. Delayed union and nonunions: epidemiology, clinical issues, and financial aspects. Injury. 2014;45(Suppl 2):S3–7. PMID:24857025 DOI:10.1016/j.injury.2014.04.002
5. LeCroy C.M., Rizzo M., Gunneson E.E., Urbaniak J.R. Free vascularized fibular bonegrafting in the management of femoral neck nonunion in patients younger than fifty years. J. Orthop. Trauma. 2002;16(7):464–472. PMID:12172276
6. Jones D.B. Jr, Rhee P.C., Bishop A.T., Shin A.Y. Free vascularized medial femoral condyle autograft for challenging upper extremity nonunions. Hand. Clin. 2012;28(4):493–501. PMID:23101599 DOI:10.1016/j.hcl.2012.08.005
7. Chan C., Ng W., Merican A. Ipsilateral femoral fracture non-union and delayed union treated by hybrid plate nail fixation and vascularized fibula bonegrafting: a case report. Malays. Orthop. J. 2013;7(2):41–44. PMID:25722826 DOI:10.5704/МОJ.1307.012
8. Bauermeister A.J., Zuriarrain A., Newman M.I. Three-Dimensional Printing in Plastic and Reconstructive Surgery: A Systematic Review. Ann. Plast. Surg. 2016;77(5):569–576. PMID:26678104 DOI:10.1097/SAP.0000000000000671
9. Hsieh T.Y., Dedhia R., Cervenka B., Tollefson T.T. 3D Printing: current use in facial plastic and reconstructive surgery. Curr. Opin. Otolaryngol. Head Neck Surg. 2017;25(4):291–299. PMID:28639959 DOI:10.1097/MOO.0000000000000373
10. Kamali P., Dean D., Skoracki R., et al. The Current Role of Three-Dimensional Printing in Plastic Surgery. Plast. Reconstr. Surg. 2016;137(3):1045–1055. PMID:26910689 DOI:10.1097/01.prs.0000479977.37428.8e
11. Taylor E.M., Iorio M.L. Surgeon-Based 3D Printing for Microvascular Bone Flaps. J. Reconstr. Microsurg. 2017;33(6):441–445. PMID:28259113 DOI:10.1055/s-0037-1600133
12. Wu C.C. Single-stage surgical treatment of infected nonunion of the distal tibia. J. Orthop. Trauma. 2011;25(3):156–161. PMID:21278604 DOI:10.1097/BOT.0b013e3181eaaa35
13. Sen C., Kocaoglu M., Eralp L., et al. Bifocal compression-distraction in the acute treatment of grade III open tibia fractures with bone and soft tissue loss: a report of 24 cases. J. Orthop. Trauma. 2004;18(3):150–157. PMID:15091269
14. Allsopp B.J., Hunter-Smith D.J., Rozen W.M. Vascularized versus Nonvascularized Bone Grafts: What Is the Evidence? Clin. Orthop. Relat. Res. 2016;474(5):1319–1327. PMID:26932740 DOI:10.1007/s11999-016-4769-4
15. Попсуйшапка А.К., Литвишко А.В., Григорьев В.В., Ашукина А.Н. Лечение несращения отломков кости после диафизарного перелома. Ортопедия, травматология и протезирование. 2014;(1):34–41.
16. Ваза А.Ю., Файн А.М., Иванов П.А. и др. Анализ применения различных вариантов костной пластики у пострадавших с внутрисуставными переломами. Трансплантология. 2015;(4):6–12.
17. Губочкин Н.Г., Микитюк С.И., Иванов В.С. Пересадка кровоснабжаемых костных трансплантатов для лечения ложных суставов и дефектов костей. Гений Ортопедии. 2014;(4):5–10.
18. Chae M.P., Lin F., Spychal R.T. 3D-printed haptic "reverse" models for preoperative planning in soft tissue reconstruction: a case report. Microsurgery. 2015;35(2):148–153. PMID:25046728 DOI:10.1002/micr.22293
19. Ganry L., Hersant B., Quilichini J. Use of the 3D surgical modelling technique with open-source software for mandibular fibula free flap reconstruction and its surgical guides. J. Stomatol. Oral. Maxillofac. Surg. 2017;118(3):197–202. PMID:28365396 DOI:10.1016/j.joramas.2017.03.002

## References

1. Lunev V.P. The structure of the general contingent of persons with disabilities in negotiability in the bureau of medical and social expertise of the Russian Federation, taking into account the age and classes of diseases. *Mediko-Sotsyal'naya Ekspertizai Reabilitatsiya*. 2007;(2):25–27. (In Russian).
2. Nejedlý A., Dzupa V., Záhorka J., Tvrdek M. [Muscle flap transfer of the treatment of infected tibial and malleolar fractures and chronic osteomyelitis of the tibia]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2007 Jun;74(3):162–70. (In Czech). PMID:17623603.
3. Ferreira N., Marais L.C., Aldous C. Mechanobiology in the management of mobile atrophic and oligotrophic tibial nonunions. *J Orthop*. 2015;12(Suppl 2):S182–187. PMID:27047221 DOI:10.1016/j.jor.2015.10.012
4. Hak D.J., Fitzpatrick D., Bishop J.A., et al. Delayed union and nonunions: epidemiology, clinical issues, and financial aspects. *Injury*. 2014;45(Suppl 2):S3–7. PMID:24857025 DOI:10.1016/j.injury.2014.04.002
5. LeCroy C.M., Rizzo M., Gunneson E.E., Urbaniak J.R. Free vascularized fibular bone grafting in the management of femoral neck nonunion in patients younger than fifty years. *J Orthop Trauma*. 2002;16(7):464–472. PMID:12172276
6. Jones D.B. Jr, Rhee P.C., Bishop A.T., Shin A.Y. Free vascularized medial femoral condyle autograft for challenging upper extremity nonunions. *Hand Clin*. 2012;28(4):493–501. PMID:23101599 DOI:10.1016/j.hcl.2012.08.00
7. Chan C., Ng W., Merican A. Ipsilateral femoral fracture non-union and delayed union treated by hybrid plate nail fixation and vascularized fibula bone grafting: a case report. *Malays Orthop J*. 2013;7(2):41–44. PMID:25722826 DOI:10.5704/MOJ.1307.012
8. Bauermeister A.J., Zuriarrain A., Newman M.I. Three-Dimensional Printing in Plastic and Reconstructive Surgery: A Systematic Review. *Ann Plast Surg*. 2016;77(5):569–576. PMID:26678104 DOI:10.1097/SAP.0000000000000671
9. Hsieh T.Y., Dedhia R., Cervenka B., Tollefson T.T. 3D Printing: current use in facial plastic and reconstructive surgery. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*. 2017;25(4):291–299. PMID:28639959 DOI:10.1097/MOO.0000000000000373
10. Kamali P., Dean D., Skoracki R., et al. The Current Role of Three-Dimensional Printing in Plastic Surgery. *Plast Reconstr Surg*. 2016;137(3):1045–1055. PMID:26910689 DOI:10.1097/01.prs.0000479977.37428.8e
11. Taylor E.M., Iorio M.L. Surgeon-Based 3D Printing for Microvascular Bone Flaps. *J Reconstr Microsurg*. 2017;33(6):441–445. PMID:28259113 DOI:10.1055/s-0037-160013
12. Wu C.C. Single-stage surgical treatment of infected nonunion of the distal tibia. *J Orthop Trauma*. 2011;25(3):156–161. PMID:21278604 DOI:10.1097/BOT.0b013e3181eaaa35
13. Sen C., Kocaoglu M., Eralp L., et al. Bifocal compression-distraction in the acute treatment of grade III open tibia fractures with bone and soft tissue loss: a report of 24 cases. *J Orthop Trauma*. 2004;18(3):150–157. PMID:15091269
14. Allsopp B.J., Hunter-Smith D.J., Rozen W.M. Vascularized versus Nonvascularized Bone Grafts: What Is the Evidence? *Clin Orthop Relat Res*. 2016;474(5):1319–1327. PMID:26932740 DOI:10.1007/s11999-016-4769-4
15. Popsuyshapka A.K., Litvishko A.V., Grigor'yev V.V., Ashuchkina A.N. Treatment of bone fragments nonunion after dyaphyseal fracture. *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*. 2014;(1):34–41. (In Russian).
16. Vaza A.Yu., Fayn A.M., Ivanov P.A., et al. Analysis of the application of different bone grafting procedures in patients with intra-articular fractures. *Transplantologiya. The Russian Journal of Transplantation*. 2015;(4):6–12. (In Russian).
17. Gubochkin N.G., Mikityuk S.I., Ivanov V.S. Transplantation of vascularized bone grafts for treatment of bone pseudoarthroses and defects. *Geniy Ortopedii*. 2014;(4):5–10. (In Russian).
18. Chae M.P., Lin F., Spychal R.T. 3D-printed haptic "reverse" models for preoperative planning in soft tissue reconstruction: a case report. *Microsurgery*. 2015;35(2):148–153. PMID:25046728 DOI:10.1002/micr.22293
19. Ganry L., Hersant B., Quilichini J. Use of the 3D surgical modelling technique with open-source software for mandibular fibula free flap reconstruction and its surgical guides. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*. 2017;118(3):197–202. PMID:28365396 DOI:10.1016/j.jor.2017.03.002

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.  
CONFLICT OF INTERESTS.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
Authors declare no conflict of interest.**

**ФИНАНСИРОВАНИЕ.  
FINANCING.**

**Исследование проводилось без спонсорской поддержки.  
The study was performed without external funding.**

**Информация об авторах**

<b>Александр Валерьевич Неведров</b>	канд. мед. наук, врач травматолог-ортопед 2-го травматологического отделения ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», ORCID:0000-0002-1560-6000
<b>Евгений Юрьевич Шибает</b>	канд. мед. наук, заведующий научным отделением неотложной пластической и реконструктивной хирургии ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», ORCID:0000-0002-9392-5947
<b>Всеволод Олегович Каленский</b>	младший научный сотрудник отделения сочетанной и множественной травмы ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», ORCID:0000-0001-7088-3206
<b>Никита Николаевич Заднепровский</b>	научный сотрудник отделения сочетанной и множественной травмы ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», ORCID:0000-0002-4432-9022
<b>Василий Борисович Шишкин</b>	врач травматолог-ортопед травматологического отделения ФГБУЗ «Центральная клиническая больница РАН», ORCID:0000-0003-1533-7768
<b>Фаат Абдул-Каюмович Шарифуллин</b>	главный научный сотрудник отделения лучевой диагностики ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»; ORCID:0000-0002-3318-4016
<b>Ольга Александровна Цой</b>	аспирант ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», ORCID:0000-0001-7777-7190
<b>Михаил Петрович Лазарев</b>	научный сотрудник отделения неотложной пластической и реконструктивной хирургии ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», ORCID:0000-0002-5428-6329
<b>Павел Анатольевич Иванов</b>	д-р мед. наук, заведующий научным отделением сочетанной и множественной травмы ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», ORCID:0000-0002-2954-6985
<b>Анастасия Леонидовна Рыбинская</b>	ординатор отделения сочетанной и множественной травмы ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», ORCID:0000-0002-5547-4524

## Information about authors

<b>Aleksandr V. Nevedrov</b>	Cand. Med. Sci., Traumatologist-Orthopedist of the 2nd Trauma Department, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, ORCID:0000-0002-1560-6000
<b>Evgeniy Yu. Shibayev</b>	Cand. Med. Sci., Head of the Scientific Department for Emergency Plastic and Reconstructive Surgery, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine», ORCID:0000-0002-9392-5947
<b>Vsevolod O. Kalenskiy</b>	Junior Researcher of the Combined and Multiple Injury Department, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, ORCID:0000-0001-7088-3206
<b>Nikita N. Zadneprovskiy</b>	Researcher of the Combined and Multiple Injury Department, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, ORCID:0000-0002-4432-9022
<b>Vasilij B. Shishkin</b>	Orthopedic Traumatologist of the Trauma Department, the Central Clinical Hospital of the Russian Academy of Sciences, the Central Clinical Hospital of the Russian Academy of Sciences, ORCID:0000-0003-1533-7768
<b>Faat A.-K. Sharifullin</b>	Dr. Med. Sci., Chief Researcher of the Diagnostic Radiology Department, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; ORCID:0000-0002-3318-4016
<b>Ol'ga A. Tsoy</b>	Postgraduate at N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, ORCID:0000-0001-7777-7190
<b>Mikhail P. Lazarev</b>	Researcher of the Emergency Plastic and Reconstructive Surgery Department, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, ORCID:0000-0002-5428-6329
<b>Pavel A. Ivanov</b>	Dr. Med. Sci., Head of the Scientific Department of Combined and Multiple Injury, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, ORCID:0000-0002-2954-6985
<b>Anastasiya L. Rybinskaya</b>	Resident surgeon, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, ORCID:0000-0002-5547-4524