

Оценка ишемического дистракционного регенерата при полилокальном удлинении отломков у больных с дефектом длинных костей (ультразвуковое исследование)

Т.И. Долганова, Д.Ю. Борзунов, Т.И. Менщикова, А.Л. Шастов

Evaluation of ischemic distraction regenerated bone for polylocal lengthening of fragments in patients with long bone defect (An ultrasound study)

T.I. Dolganova, D.Iu. Borzunov, T.I. Menshchikova, A.L. Shastov

Федеральное государственное бюджетное учреждение

«Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган
(директор – д.м.н. А.В. Губин)

Цель исследования. Изучение особенностей структурного состояния дистракционных регенератов при полилокальном удлинении отломков у больных с дефектами длинных костей при формировании одного из регенератов по «ишемическому» типу. **Материалы и методы.** Представлены результаты ультразвукового исследования ("Aloka" SSD-630, Япония, Voluson 630PRO, Австрия) особенностей структурного состояния дистракционных регенератов при полилокальном удлинении отломков у четырех больных с дефектами длинных костей в режиме реального времени с использованием линейных ультразвуковых датчиков частотой 7,5МГц. **Результаты.** Формирование первого регенерата шло по «ишемическому» типу: отсутствие параоссальной и эндостальной реакции в зоне дистракционного регенерата с нарушением его структуры и визуализацией гипохогенных очагов. У 2 больных (50 % наблюдений) дополнительная остеотомия и последующая дистракция вызывала усиление репаративных процессов и ускорение органотипической перестройки ранее сформированного дистракционного регенерата. **Заключение.** У пациентов с приобретенными дефектами костной ткани формирование дистракционных регенератов при последовательном многоуровневом удлинении отломка протекает независимо друг от друга.

Ключевые слова: дефект костной ткани, многоуровневое удлинение, сонография регенерата.

Purpose. To study special features of the structural state of distraction regenerated bones for polylocal lengthening of fragments in patients with long bone defects with one of the regenerated bone formation by "ischemic" type. **Materials and Methods.** The results of ultrasound examination ("Aloka" SSD-630, Japan, Voluson 630PRO, Austria) of the special features of distraction regenerated bone structural state for polylocal lengthening of fragments in four patients with long bone defects presented in real-time mode using linear ultrasound sensors of 7.5-MHz frequency. **Results.** Formation of the first regenerated bone occurred by "ischemic" type: the absence of paraosseous and endosteal reaction in the zone of distraction regenerated bone with its structure disorder and hypochogenic foci visualization. Additional osteotomy and further distraction caused the intensification of reparative processes and the acceleration of organotypical reorganization of previously formed distraction regenerated bone in two patients (50 % of cases). **Conclusion.** The formation of distraction regenerated bones for consecutive multilevel lengthening of the fragment proceeds independently in patients with acquired bone tissue defects.

Keywords: bone tissue defect, multilevel lengthening, sonography of regenerated bone.

ВВЕДЕНИЕ

По мнению ряда авторов, при замещении обширных дефектов длинных костей срок чрескостного остеосинтеза, в первую очередь, определяется органотипической перестройкой дистракционного регенерата. Достигнутая величина удлинения отломка, в первую очередь, зависит от репаративных потенциалов поврежденного сегмента и организма в целом, выбора технологии чрескостного остеосинтеза и качества ее исполнения [8, 11]. Основные проблемы, возникающие в процессе остеосинтеза: гипопластический тип костеобразования и замедленная консолидация отломков. Так, при замещении костных дефектов удлинением отломков не удавалось достигнуть костного сращения на стыке отломков в 11-12,7 % клинических наблюдений [1, 5, 7, 12, 13, 17]. В литературе имеются сведения о возможности гипопластического типа костеобразования при формировании дистракционного регенерата величиной более 4-5 см [4, 5, 14].

В этих условиях мониторинг дистракционного остеосинтеза, направленный на рациональный выбор темпов, ритмов, сроков дистракции, величины удлинения, чрезвычайно важен. В настоящее время в литературе имеются сведения о диагностической значимости метода ультразвуковых исследований (УЗИ) для оценки костных регенератов [6, 9, 10, 15, 16, 18], который

в клинике РНЦ «ВТО» им. академика Г.А. Илизарова используется в комплексе с рентгенографией [9, 10].

Актуальность применения ультрасонографии для изучения процесса костеобразования в условиях дистракционного остеосинтеза основана на том, что регенерат, до приобретения им свойств зрелой костной ткани, представляет собой акустически благоприятную среду. Ультразвуковая локация позволяет детально изучить структуру регенерата, выявить начальные признаки замедленного костеобразования на первых 2-3 неделях дистракции, тогда как на рентгенограмме ещё нет изображения регенерата, а контуры вновь сформированного кортикального слоя визуализируются к 6-8 неделям дистракции [6]. Своевременная визуализация изображений формируемой кости, дающая представление об активности остеогенеза, позволяет вносить необходимые коррективы в лечебный процесс на первых этапах остеосинтеза, не пролонгируя длительность и этапность реабилитации.

На основе сопоставления данных ультрасонографии и морфологических исследований дистракционного регенерата, полученных при экспериментальных исследованиях, был ранее сделан вывод о возможности определения активности остеогенеза по данным локации эхопозитивной зоны регенерата. Изменения

акустических свойств регенерата были связаны с процессами его органотипической перестройки. Новообразованные грубоволокнистые костные трабекулы, расположенные на уровне костномозгового канала, эхографически визуализировали как линейные продольно ориентированные структуры повышенной эхогенности. Соединительнотканная прослойка имела вид гипозоногенной полосы, состоящей из продольно ориентированных линейных структур средней и пониженной эхогенности, соответствующих пучкам коллагеновых волокон. Критерием «ишемического» типа формирования дистракционного регенерата являлись гипозоногенные образования [6, 9, 10]. Эксперимен-

тальные исследования формирования дистракционного регенерата в условиях нарушенного внутрикостного магистрального кровотока показали, что имеет место гипопластический тип костеобразования при формировании дистракционных регенератов за счет низкой активности эндостального образования, а в дистракционном остеогенезе участвуют, в основном, периостальные структуры кости [3].

Целью данного исследования явилось изучение особенностей структурного состояния дистракционных регенератов при полилокальном удлинении отломков у больных с дефектами длинных костей при формировании одного из регенератов по «ишемическому» типу.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Ультразвуковое исследование костных регенератов проводилось на аппаратах "Aloka" SSD – 630 (Япония), Voluson 630PRO (Австрия) в режиме реального времени с использованием линейных ультразвуковых датчиков частотой 7,5 МГц.

Исследование выполнялось через 10, 30, 60 дней дистракции и затем один раз в месяц в период фиксации, а также при наличии специальных показаний. Датчик устанавливали над зоной, соответствующей остеотомии. Компьютерная система обработки изображения обеспечивала универсальные общецелевые функции измерений и расчетов для определения расстояния между костными фрагментами (высота дистракционного регенерата), площади и объема регенерата. Оценивали качественные и количественные характеристики регенерата. Для количественной оценки формирования дистракционного регенерата использовался метод обработки изображения (гистограммы), который позволяет оценивать акустическую плотность в выбранной области при соблюдении стандартного режима визуализации. Акустическую плотность определяли с помощью стандартных программ, путем построения гистограмм, которые отражали распределение эхоплотности в зоне интереса на основании дифференцировки точек с различной степенью отраженного эхосигнала (ПЭХ). Изучение акустической плотности регенератов проводили при постоянной стандартной настройке аппарата. Контролем служил участок метафиза большеберцовой кости, относительно которого рассчитывался ПЭХ дистракционного регенерата. С помощью подвижных маркеров измеряли соногеометрические параметры ре-

генерата (протяженность эхопозитивной зоны регенерата, размеры костных трабекул, объем регенерата). В режиме ЦДК (цветовое доплеровское картирование) и ЭД (энергетический доплер) оценивали васкуляризацию в зоне удлинения. Для оценки распространения и уточнения локализации краевого дефекта использовали режим трехмерной реконструкции (3D-реконструкция). При оценке качественной характеристики регенерата обращали внимание на формирование эндостальной реакции, заполнение интермедиарной зоны, наличие очаговых образований.

Обследованы больные (4 человека) с посттравматическим дефектом костей голени, величина дефекта $11,75 \pm 3,6$ см, которым было проведено замещение большеберцовой кости многоуровневым удлинением одного из отломков. Причиной возникновения дефектов послужила травма и безуспешные последующие оперативные вмешательства. Необходимость многоуровневого удлинения отломка была связана с невозможностью продолжения дистракции первого регенерата из-за формирования его по «ишемическому» типу. Во всех наблюдениях дополнительная остеотомия удлиняемого отломка была выполнена на этапе чрескостного остеосинтеза, т.е. замещение дефекта осуществлено за счет последовательного формирования дистракционных регенератов. Выполнение дополнительной остеотомии и нанесение повторной скелетной травмы рассматривали как стимулирующий фактор, последующая дистракция этой зоны обеспечивала формирование дополнительной зоны регенерации и возможность продолжения процесса замещения дефекта [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

У обследованных больных первый дистракционный регенерат имел сниженную репаративную активность, сонографические критерии которой представлены в таблице 1. В процессе дистракции на рентгенограммах в межотломковом диастазе определялись краевые дефекты, не заполненные тенью дистракционного регенерата (рис. 1). Ультразвуковая плотность регенерата составляла в начале дистракции 15-20 % плотности материнской кости и к концу дистракции не превышала 50 %. Отсутствовала параоссальная и эндостальная реакция в зоне дистракционного регенерата с нарушением его структуры и визуализацией мелких гипозоногенных включений, которые в последующем формировались в крупные гипозоногенные очаги.

При частичной ликвидации костного дефекта и пре-

ращения дистракции в зоне регенерата с низкой репаративной активностью на этапе остеосинтеза была выполнена дополнительная остеотомия с формированием второго дистракционного регенерата. Продолжение ликвидации анатомического дефекта кости осуществлялось за счет второго дистракционного регенерата.

Сниженная репаративная активность первого регенерата не повлияла на репаративную активность следующего дистракционного регенерата, дистракционный остеогенез протекал типично (рис. 1, Г). В сроке 7-14 дней дистракции преобладала эндостальная реакция, определялись гиперэхогенные включения – новообразованные грубоволокнистые костные трабекулы, расположенные на уровне костномозгового канала, ультразвуковая плотность регенерата составляла 20-25

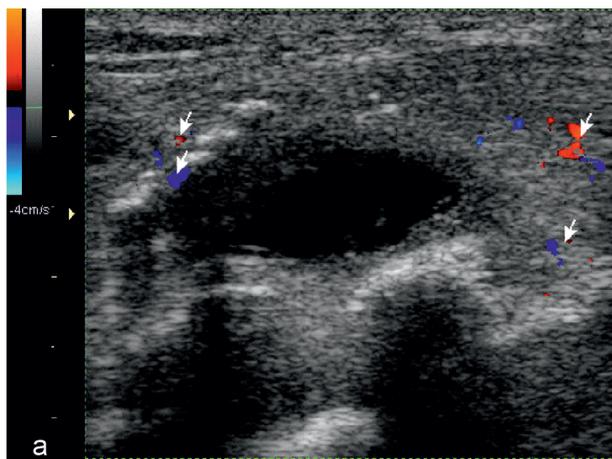
% плотности материнской кости, отсутствовали гипозоногенные образования. К окончанию периода дистракции определяли четкий контур регенерата, плотность

которого составляла 45-55 % плотности материнской кости с выраженными линейными гиперэхогенными включениями.

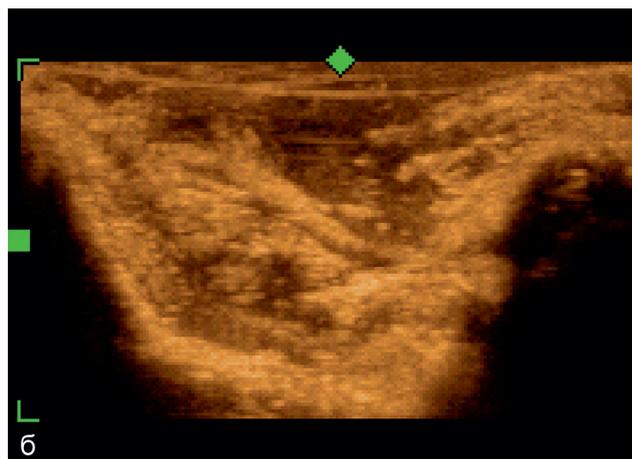
Таблица 1

Основные качественные и количественные характеристики дистракционных регенератов у больных с посттравматическим дефектом голени на этапе дистракции

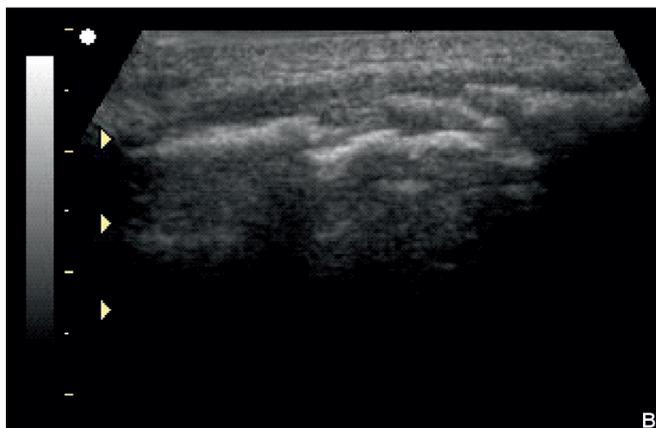
Регенерат	Параоссальная реакция	Эндостальная реакция	Интермедиарная зона регенерата	ПЭХ регенерата, %	Гипозоногенные образования
Период дистракции 7-14 дней					
I регенерат (с низкой репаративной активностью)	не визуализируется	четко не определяется	эхопризнаки нарушения типичной структуры	16±2,8	мелкие гипозоногенные включения
II регенерат (дополнительный дистракционный регенерат)	не визуализируется	начальные эхопризнаки	единичные гиперэхогенные включения	23±3,01	не визуализируются
Период дистракции 20-30 дней					
I регенерат	не визуализируется	определяется в виде тонкого прерывистого контура	эхопризнаки нарушения типичной структуры	25±2,9	1-2 гипозоногенных очага размером 0,05×0,10×0,08 см
II регенерат	не визуализируется	определяется	единичные линейные гиперэхогенные включения	33±3,2	не визуализируются
Период дистракции 50-60 дней					
I регенерат	не визуализируется	определяется в виде тонкого контура	эхопризнаки нарушения типичной структуры, единичные мелкие гиперэхогенные включения	31±3,3	увеличение размеров гипозоногенных очагов до 1,5×1,8×1,0 см, формирование четкого контура
II регенерат	не визуализируется	контур четко выражен	линейные гиперэхогенные включения размером 0,04-0,05 см	48±3,8	не визуализируются



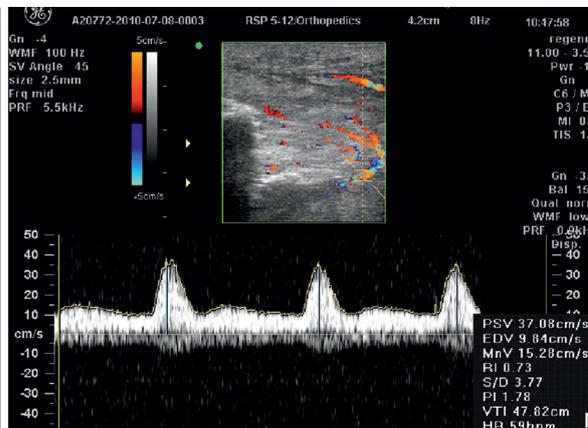
I регенерат, «ишемический» тип – дистракция 50 дней. Визуализируется краевой дефект в виде аваскулярного гипозоногенного образования неправильной формы, размером 1,5х1,0х0,8 см. Мелкие сосуды (показаны стрелками) визуализируются в окружающих тканях. Режим 2D+ЦДК



I регенерат, «ишемический» тип – фиксация 70 дней. Режим 3D – показано заполнение интермедиарной зоны регенерата, уменьшение размеров краевого дефекта



I регенерат, «ишемический» тип – фиксация 70 дней. Определяется параоссальная реакция, визуализируется прерывистый контур кортикальной пластинки в виде фрагментов



II регенерат – период дистракции 60 дней. Определяется васкуляризованный четкий контур регенерата с выраженными линейными гиперэхогенными включениями

Рис. 1. Сонограммы дистракционных регенератов больного Р., 23 лет. Диагноз: посттравматический дефект-диастаз левой большеберцовой кости 11 см

В течение всего периода фиксации первого регенерата визуализировали параоссальную реакцию, сохранение эхопризнаков нарушения типичной структуры новообразованной кости. К концу фиксации регенератов эхоплотность составляла 50-55 % плотности материнской кости за счет частичной фиброобразования гипозоногенных очагов. Формирование кортикальной пластинки заканчивалось к 170-200 дню. При «ишемическом» типе distractionного остеогенеза до 3-12 месяцев после снятия аппарата сохранялись единичные гипозоногенные очаги в зоне формирования distractionного регенерата.

На этапе фиксации второй distractionный регенерат имел типичную структуру с постепенным увеличением количества гиперэхогенных структур и

формированием непрерывного контура кортикальной пластинки, которое заканчивалось через 110-130 дней фиксации (табл. 2).

Клинические наблюдения показали, что в 50 % наблюдений (2 пациента) после повторной остеотомии была отмечена ускоренная перестройка ранее сформированного distractionного регенерата с заполнением краевых дефектов новообразованной костной тканью. Значения эхогенности второго distractionного регенерата составляли 42-58 % от уровня костной ткани, и визуализируемая структура соответствовала средней репаративной активности. Индекс фиксации, рассчитанный на 1 см суммарной величины distractionных регенератов, составил $17,8 \pm 2,1$ дня.

Таблица 2

Основные качественные и количественные характеристики distractionных регенератов у больных с посттравматическим дефектом голени на этапе фиксации

Регенерат	Параоссальная реакция	Эндостальная реакция	Интермедиарная зона регенерата	ПЭХ регенерата, %	Гипозоногенные образования
Период фиксации 20-30 дней					
I регенерат	эхопризнаки начальной реакции	определяется	эхопризнаки нарушения типичной структуры, сохранение эхопозитивной зоны регенерата на всем протяжении	$31 \pm 3,4$	1-2 гипозоногенных очага с четким контуром, начальные эхопризнаки фиброобразования
II регенерат	не визуализируется	определяется	сужение эхопозитивной зоны регенерата, увеличение количества и размеров гиперэхогенных структур	$50 \pm 4,9$	не визуализируются
Период фиксации 50-60 дней					
I регенерат	визуализируется	определяется	эхопризнаки нарушения типичной структуры, умеренное сужение эхопозитивной зоны регенерата	$36 \pm 4,2$	эхопризнаки фиброобразования очагов на протяжении
II регенерат	не визуализируется	форма трапеции	фрагменты размером 0,09-1,1см	$58 \pm 4,8$	не визуализируются
Период фиксации 70 дней и более					
I регенерат	визуализируется	определяется	эхопризнаки нарушения типичной структуры, сохранение эхопозитивной зоны регенерата	$50 \pm 4,1$	эхопризнаки фиброобразования, с увеличением акустической плотности
II регенерат	не визуализируется	не дифференцируется	непрерывный контур кортикальной пластинки	$66 \pm 5,4$	не визуализируются
Формирование кортикальной пластинки					
I регенерат		не дифференцируется	180±10 дней фиксации.		сохраняется до 3-12 месяцев после снятия аппарата (размер 1,7×0,3×0,4см)
II регенерат		не дифференцируется	120±10 дней фиксации		не визуализируется

ВЫВОДЫ

У больных с приобретенными дефектами костной ткани формирование distractionных регенератов при последовательном многоуровневом удлинении отломка протекает независимо друг от друга.

Выполнение дополнительной остеотомии удлиняемого отломка и последующее дискретное переме-

шение костных фрагментов могут вызывать усиление репаративных процессов в зоне формирующегося по «ишемическому» типу distractionного регенерата с закрытием краевого дефекта новообразованной костной тканью и ускорением его органотипической перестройки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабаш Ю. А. Особенности лечения больных с дефектом костей голени после остеомиелита большеберцовой кости // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 1999. Т. 1, № 1(9). С. 117-122.
Barabash YuA. Osobennosti lecheniia bol'nykh s defektom kostei goleni posle osteomyelita bol'shebertsovoi kosti [Special features of treating patients with leg bone defect after tibial osteomyelitis]. Biulleten' VSNTs SO RAMN. 1999;1,1(9):117-122.
2. Борзунов Д. Ю. Замещение дефектов длинных костей полилокальным удлинением отломков // Травматология и ортопедия России. 2006. № 4. С. 24-29.
Borzunov DYu. Zameshchenie defektov dlinnykh kostei polilokal'nym udlineniem otlomkov [Filling long bone defects by polylocal lengthening of fragments]. Travmatologiya i ortopediya Rossii. 2006;(4):24-29.
3. Борзунов Д. Ю., Петровская Н. В. Рентгеноморфологические особенности костеобразования при полилокальном удлинении отломка большеберцовой кости в условиях нарушенного внутрикостного магистрального кровотока // Гений ортопедии. 2007. № 4. С. 9-15.
Borzunov DYu, Petrovskaia NV. Rentgenomorfologicheskie osobennosti kosteobrazovaniia pri polilokal'nom udlinenii otlomka bol'shebertsovoi

- kosti v usloviakh narushennogo vnutrikostnogo magistral'nogo krovotoka [Roentgen-and-morphological details of osteogenesis for polyfocal lengthening of tibial fragment in the conditions disordered intraosseous magistral blood flow]. Genij Ortopedii. 2007;(4):9-15.*
4. Варианты восполнения дефектов костей предплечья / В. В. Бодулин, А. А. Воротников, А. К. Хеларов, А. Н. Матвеев // Актуальные вопросы травматологии и ортопедии : сб. науч. работ. Екатеринбург, 1997. С. 95-97.
Bodulin VV, Vorotnikov AA, Khelarov AK, Matveev AN. Varianty vospolneniia defektov kostei predplech'ia [Variants of filling forearm bone defects]. In: Aktual'nye voprosy travmatologii i ortopedii: sb. nauch. rabot. Ekaterinburg. 1997. s. 95-97.
 5. Голяховский В., Френкель В. Руководство по чрескостному остеосинтезу методом Илизарова. СПб., 1999. 267 с.
Goliakhovskii V, Frenkel' V. Rukovodstvo po chreskostnomu osteosintezu metodom Ilizarova [Guidelines for transosseous osteosynthesis by the Ilizarov method]. SPb. 1999. 267 s.
 6. Ермак Е. М., Чиркова А. М., Ерофеев С. А. Эхографические, морфологические и рентгенологические параллели в оценке костеобразования при удлинении конечности по Илизарову // Гений ортопедии. 1995. № 2. С. 53-58.
Ermak EM, Chirkova AM, Erofeev SA. Ekhograficheskie, morfologicheskie i rentgenologicheskie paralleli v otsenke kosteobrazovaniia pri udlinenii konechnosti po Ilizarovu [Echographic, morphological and roentgenological parallels for evaluation of osteogenesis during limb elongation according to Ilizarov]. Genij Ortopedii. 1995;(2):53-58.
 7. Лечение переломов голени, осложненных дефектом костной ткани / Т. А. Ревенко, М. Г. Колосова, И. И. Гаврилов, В. Н. Попов // Ортопедия, травматология и протезирование : респ. межведомств. сб. Киев : Здоров'я, 1986. С. 79-81.
Revenko TA, Kolosova MG, Gavrilov II, Popov VN. Lechenie perelomov goleni, oslozhnennykh defektom kostnoi tkani [Treatment of leg fractures complicated by bone tissue defect]. In: Ortopediia, travmatologiya i protezirovanie : resp. mezhvedomstv. sb. Kiev: Zdorov'ia. 1986. s. 79-81.
 8. Макушин В. Д., Куфтырев Л. М. Результаты многофакторного анализа исходов лечения по Илизарову больных с дефектами костей нижних конечностей // Гений ортопедии. 1995. № 1. С. 67-70.
Makushin VD, Kuftyrev LM. Rezul'taty mnogofaktornogo analiza iskhodov lecheniia po Ilizarovu bol'nykh s defektami kostei nizhnikh konechnostei [Results of multifactor analysis of outcomes in patients with bone defects of lower limbs treated according to Ilizarov]. Genij Ortopedii. 1995;(1):67-70.
 9. Менщикова Т. И., Аранович А. М. Ультразвуковой мониторинг дистракционного регенерата голени // Ультразвук. и функц. диагностика. 2004. № 1. С. 156.
Menshchikova TI, Aranovich AM. Ul'trazvukovoi monitoring distraktsionnogo regenerata goleni [Ultrasound monitoring of the leg distraction regenerated bone]. Ul'trazvuk. i funkts. diagnostika. 2004;(1):156.
 10. Менщикова Т. И., Новиков К. И. Ультрасонографическая и рентгенологическая оценки структурного состояния дистракционного регенерата большеберцовой кости // Травматология и ортопедия России. 2005. № 4. С. 57-59.
Menshchikova TI, Novikov KI. Ul'trasonograficheskaya i rentgenologicheskaya otsenki strukturnogo sostoiianiia distraktsionnogo regenerata bol'shebertsovoi kosti [Ultrasonographic and roentgenologic assessments of the structural condition of tibial distraction regenerated bone]. Travmatologiya i ortopediia Rossii. 2005;(4):57-59.
 11. Шевцов В. И., Макушин В. Д., Куфтырев Л. М. Дефекты костей нижних конечностей. Курган, 1996. 502 с.
Shevtsov VI, Makushin VD, Kuftyrev LM. Defekty kostei nizhnikh konechnostei [Defects of lower limb bones]. Kurgan, 1996. 502 s.
 12. Yokoyama K, Itoman M, Nakamura K, Tsukamoto T, Saita Y, Aoki S. Free vascularized fibular graft vs. Ilizarov method for post-traumatic tibial bone defect. J Reconstr Microsurg. 2001;17(1):17-25.
 13. Green SA. Skeletal defects. A comparison of bone grafting and bone transport for segmental skeletal defects. Clin Orthop Relat Res. 1994;(301):111-117.
 14. Ozaki T, Nakatsuka Y, Kunisada T, Kawai A, Dan'ura T, Naito N, Inoue H. High complication rate of reconstruction using Ilizarov bone transport method in patients with bone sarcomas. Arch Orthop Trauma Surg. 1998;118(3):136-139.
 15. Hughes TH, Maffulli N, Fixsen JA. Ultrasonographic appearance of regeneratebone in limb lengthening. J R Soc Med. 1993;86(1):18-20.
 16. Tesiorowski M, Kacki W, Jasiewicz B, Rymarczyk A, Sebastianowicz P. Methods for the evaluation of bone regeneration during distraction osteogenesis. Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol. 2005;70(2):127-130.
 17. Kesemenli C, Subasi M, Kirkgoz T, Kapukaya A, Arslan H. Treatment of traumatic bone defects by bone transport. Acta Orthop Belg. 2001;67(4):380-386.
 18. Bail HJ, Kolbeck S, Krummrey G, Weiler A, Windhagen HJ, Hennies K, Raun K, Raschke MJ. Ultrasound can predict regenerate stiffness in distraction osteogenesis. Clin Orthop Relat Res. 2002;(404):362-367.

Рукопись поступила 21.11.2012.

Сведения об авторах:

1. Долганова Тамара Игоревна – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, ведущий научный сотрудник лаборатории функциональных исследований, д. м. н.
2. Борзунов Дмитрий Юрьевич – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. Акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, заместитель директора по научной работе, д. м. н.
3. Менщикова Татьяна Ивановна – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, лаборатория функциональных исследований, ведущий научный сотрудник, д. б. н.
4. Шастов Александр Леонидович – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, младший научный сотрудник лаборатории гнойной остеологии и замещения дефектов конечностей.