

Рентгеноморфологические особенности костеобразования при полилокальном удлинении отломка большеберцовой кости в условиях нарушенного внутрикостного магистрального кровотока

Д.Ю. Борзунов, Н.В. Петровская

Roentgen-and-morphological details of osteogenesis for polyfocal lengthening of tibial fragment in the conditions of disordered intraosseous magistral blood flow

D.Y. Borzounov, N.V. Petrovskaya

Федеральное государственное учреждение

«Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова Росмедтехнологий», г. Курган (генеральный директор — заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАМН, д.м.н., профессор В.И. Шевцов)

Представлены результаты рентгенологического и гистологического изучения дистракционного остеогенеза у 25 беспородных собак, которым пострезекционный дефект берцовых костей, составляющий $20,9 \pm 0,3$ % от исходной длины сегмента, замещен двухуровневым удлинением дистального отломка большеберцовой кости в условиях нарушенного магистрального кровотока в удлиняемом отломке. Нарушение кровотока по руслу питательной артерии в перемещаемых фрагментах определило низкую активность эндостального костеобразования, в дистракционном остеогенезе участвовали в основном периостальные структуры кости. Длительное отсутствие адекватного магистрального кровотока определило активную перестройку перемещенных фрагментов, заключающуюся в деминерализации костной ткани несвободных аутотрансплантатов, а также гипопластический тип костеобразования при формировании дистракционных регенератов.

Ключевые слова: магистральный кровоток, отломок, регенерат.

The results of roentgenological and histological studying distraction osteogenesis in 25 mongrel dogs are demonstrated. The post-resection defect of leg bones in the dogs, amounting to $20,9 \pm 0,3$ % of the initial segmental length, was filled due to making double-level lengthening of distal tibial fragment under disordered magistral blood flow in the fragment lengthened. The disorder of the blood flow along the nutrient artery bed in the fragments transported determined the low activity of endosteal osteogenesis, periosteal bone structures mainly took part in distraction osteogenesis. The prolonged absence of adequate magistral blood flow determined the active reorganization of the fragments transported, which consisted in demineralization of the bone tissue of non-free autografts, and also the hypoplastic type of osteogenesis during formation of distraction regenerated bones.

Keywords: magistral blood flow, fragment, regenerated bone.

ВВЕДЕНИЕ

В основе несвободной костной пластики по Г.А. Илизарову лежала идея восполнения дефекта кости перемещенным аутотрансплантатом с сохраненным кровоснабжением и дистракционным регенератом [1]. Сохранение магистрального кровотока в несвободных аутотрансплантатах обеспечивало полную органотипическую перестройку новообразованной костной ткани и полноценное ремоделирование костного остова восстановленного сегмента [2, 3, 4, 5, 6]. Вместе с тем, при реабилитации пациентов с дефектами длинных костей встречаются клинические ситуации, определяющие необходимость восполнения дефицита костной ткани только за счет удлинения отломка, имеющего нарушенный внутрикостный магистральный кровоток. В настоящее время на основе методических принципов несвободной костной пластики по Г.А. Илизарову были разработаны и внедрены в клиническую практику технологии чрескостного остеосинтеза, позволяющие одноэтапно восполнять потерю костной ткани не-

сколькими дистракционными регенератами, претерпевающими органотипическую перестройку в короткий срок чрескостного остеосинтеза [7, 8]. Ранее нами были выполнены эксперименты (I и II серия опытов, 29 животных) по моделированию процессов замещения костных пострезекционных дефектов двухуровневым удлинением проксимального отломка [9, 10]. Создаваемые экспериментальные модели позволяли замещать пострезекционные дефекты дистальных метадиафизов берцовых костей протяженностью $20,9 \pm 0,3$ % от исходной длины голени в условиях сохраненного магистрального кровотока в удлиняемом проксимальном отломке большеберцовой кости.

Целью настоящей работы является выявление особенностей процесса костеобразования и ремоделирования костной ткани при замещении дефекта берцовых костей полилокальным удлинением отломка в условиях нарушенного внутрикостного магистрального кровотока.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выполнено две серии опытов (25 взрослых беспородных собак, III и IV серия эксперимента). Экспериментальной моделью были выбраны пострезекционные дефекты проксимальных метадиафизов берцовых костей, составляющие $20,9 \pm 0,3$ % от исходной длины большеберцовой кости. Уровень и величина формируемых дефектов берцовых костей обеспечивали повреждение места входа питательной артерии в большеберцовую кость и резекцию внутрикостной нисходящей ветви а. nutriticia. Кортикотомии выполняли в метадиафизе и диафизе дистального отломка. Таким образом, двухуровневое удлинение дистального отломка осуществляли в условиях нарушенного магистрального кровотока. В III серии эксперимента дополнительные кортикотомии выполняли после перемещения несвободного фрагмента на половину величины сформированного дефекта берцовых костей. В IV серии опытов кортикотомии выполняли на двух уровнях одновременно. Таким образом, в III серии эксперимента формирование дистракционных регенератов на двух уровнях было последовательным, в IV серии – одновременным. Перемещение сформированных фрагментов в межотломковом диастазе начинали через 6 дней после операции с суточным темпом 1 мм за 4 приема.

Контроль над процессом костеобразования осуществляли с применением лучевых методов исследования (рентгенографии и компьютерной томографии) (исследования выполнены совмест-

но с к.м.н. Е.С. Михайловым и М.А. Корабельниковым). Контрольные рентгенограммы выполняли в двух взаимно перпендикулярных плоскостях перед и после операции, на 7-й и 14-й дни и в конце дистракции, через каждые 15 дней фиксации и ежемесячно после снятия аппарата. Обработку аксиальных срезов дистракционных регенератов проводили в режиме мультипланарной реконструкции в прямой передней и левой боковой проекциях, с толщиной сечения, равной диаметру материнской кости. На полученных изображениях, выделяли дистракционные регенераты и составляющие его структуры, автоматически определялась площадь (см^2) и плотность области интереса в единицах Хаунсфилда (ед. Н). После выделения перемещенных фрагментов также оценивали их оптическую плотность.

Ангиографическое исследование проводили после эвтанази. Для заполнения артерий конечностей использовали массу Гауха, вводимую через бедренную артерию. После эвтаназии вычленили берцовые кости и фиксировали их в 10 % растворе формалина. По окончании фиксации берцовые кости распиливали на блоки. Костные блоки декальцинировали в 7 % азотной кислоте, обезвоживали в спиртах восходящей крепости и заливали в целлоидин. Гистотопографические срезы окрашивали гематоксилином-эозином и по Ван-Гизону (исследования выполнены совместно с к.б.н. А.М. Чирковой).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Процесс замещения дефектов берцовых костей двухуровневым удлинением дистального отломка характеризовался гипопластическим типом костеобразования новообразованных участков кости. В дистракционном остеогенезе преимущественно участвовали периостальные структуры кости. Щадящее нарушение целостности дистального отломка большеберцовой кости, безусловно, обеспечило сохранение остеогенных элементов костномозговой полости, но нарушение медуллярного кровотока в дистальном отломке большеберцовой кости предопределило последующую низкую активность эндостального остеогенеза. В большинстве наблюдений у животных III серии опытов при последовательном перемещении фрагментов в начале периода фиксации проксимальный дистракционный регенерат в основном был построен из губчатой мелкоячеистой костной ткани с кроветворным костным мозгом (рис. 1). Дистальный регенерат сохранял зональное строение, костные отделы регенерата, разъединяла прослойка соединительнотканной ткани незрелого типа. Переме-

щенные фрагменты имели порозные корковые пластинки с многочисленными резорбционными полостями, заполненными некротическим содержимым. В полостях и сосудистых каналах в основном располагались остеокласты, но встречались и активные остеобласты.

В аналогичный период наблюдения у животных IV серии опытов к моменту окончания периода перемещения фрагментов оба диастаза были заполнены дистракционными регенератами, имеющими зональное строение (рис. 2, а). Костные отделы проксимального регенерата были разделены центрально расположенной соединительнотканной прослойкой, пересеченной на отдельных участках остеοидными трабекулами (рис. 2, б). В большинстве наблюдений соединительнотканная прослойка дистального регенерата была смещена к дистальному перемещаемому фрагменту. Кортикальные пластинки фрагментов также имели многочисленные резорбционные полости.

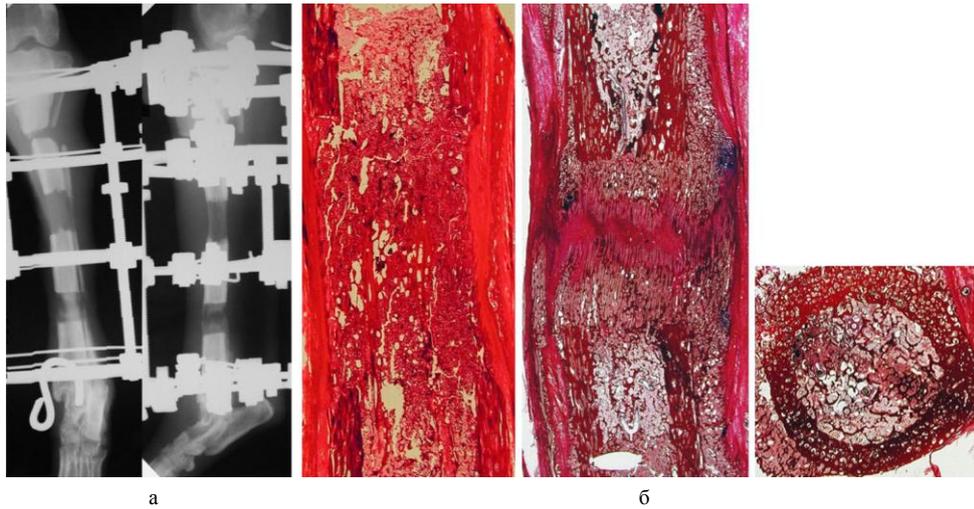


Рис. 1. а - Рентгенограммы собаки № 2229, III серия эксперимента: 23 дня фиксации проксимального distractionного регенерата, 21 день distraction дистального distractionного регенерата, срок эксперимента - 52 дня; б - Гистотопограммы № 9474/2721, 9545/2727, III серия эксперимента: проксимальный и дистальный регенераты, проксимальный фрагмент. 21 день distraction, СЭ - 47 дней. Окраска гематоксилином-эозином и по Ван-Гизону

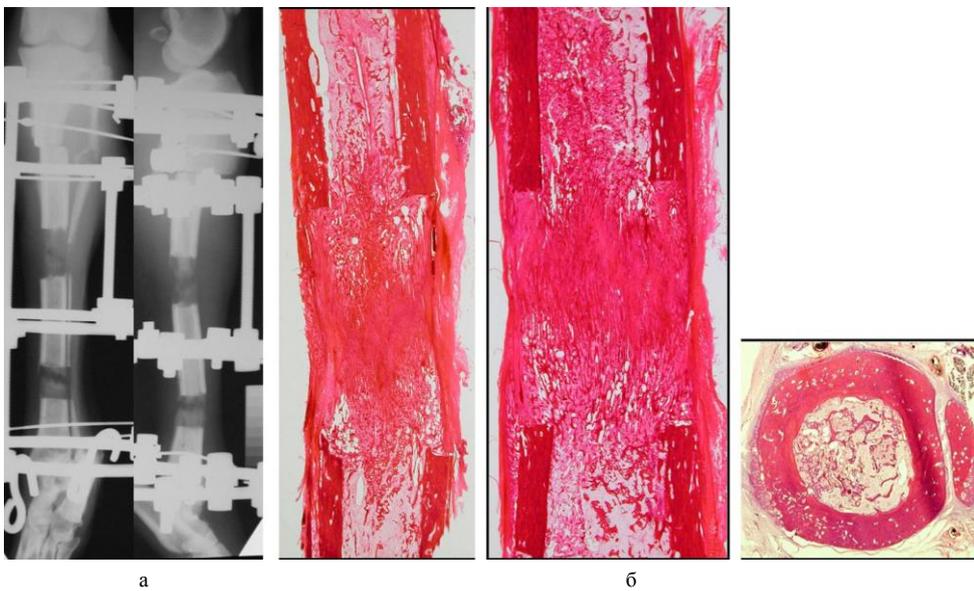


Рис. 2. а - Рентгенограммы собаки № 2712, IV серия эксперимента: конец distraction, срок эксперимента - 26 дней; б - Гистотопограммы (№ 9825/2712), IV серия эксперимента: проксимальный distractionный регенерат, дистальный distractionный регенерат, перемещенный фрагмент, срок эксперимента - 26 дней. Окраска гематоксилином-эозином

Низкая активность эндостального остеогенеза, особенно со стороны проксимального перемещаемого фрагмента, определило отсутствие эндостальных регенератов на концах состыкованных отломков, что в свою очередь в большинстве наблюдений (13) явилось причиной сращения отломков с использованием приемов закрытой адаптации. Формирование эндостальных куполообразных регенератов высотой до 2,0-3,0 мм, в основном со стороны противоположащего проксимального отломка большеберцовой кости, их неконгруэнтная форма и отсутствие достаточной контактной площади, определило открытый вариант (5) их адаптации с выполнением резекции сформированных эндостальных регенератов. Гистологически в конце distraction в зоне стыка отломков определяли межотломковый диастаз высотой 2-4 мм, в котором располагалась фиброзная с участками грануляционной ткань (рис. 3). Выявленного эндостального костеобразования на концах отломков, выявляемого нами ранее при двухуровневом удлинении проксимального отломка большеберцовой кости, в III и

IV сериях опытов отмечено не было.

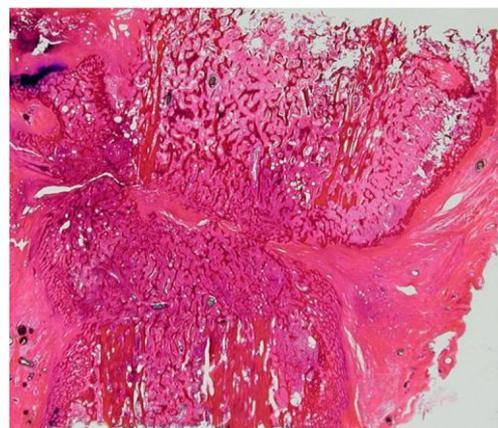


Рис. 3. Гистотопограммы (№ 9545/2727): а - зона стыка отломков. Конец distraction. Окраска по Ван-Гизону

В то же время в III и IV серии опытов нами не было отмечено столь активного костеобразования на перемещаемых фрагментах, выявляемого нами ранее при двухуровневом удлинении

проксимального отломка в условиях сохранения медуллярного кровотока [9, 10]. Толщина новообразованной губчатой костной ткани не превышала 1,0-2,0 мм, периостальные напластования обнаруживали не на всей поверхности фрагментов. Наибольший периостальный остеогенез был отмечен в III серии опытов, максимальную толщину периостальные новообразования губчатой костной ткани имели на проксимальном перемещаемом фрагменте.

К концу периода фиксации у собак III серии опытов проксимальный дистракционный регенерат имел костномозговую полость с жировым мозгом и тонкую корковую пластинку по периферии (рис. 4). Дистальный регенерат был построен из губчатой костной ткани, в зоне бывшей прослойки сохранялись участки фиброзной ткани, а плотно расположенные трабекулы имели строение незрелой костной ткани.

На этапах остеосинтеза, по данным компьютерной томографии, было отмечено увеличение

площадей костных отделов регенератов и возрастание их плотностей, измеряемых в единицах Хаунсфилда, и уменьшение площади соединительнотканной прослойки (рис. 5). У большинства животных на всех этапах наблюдений выявлено преобладание площади межотломкового диастаза над площадью формируемых дистракционных регенератов. При измерении площадей дистракционных регенератов установлено их уменьшение в процессе фиксации. В начале фиксации площадь проксимального дистракционного регенерата составляла $2,4 \pm 0,2 \text{ см}^2$, дистального – $2,5 \pm 0,2 \text{ см}^2$. К 90 дням периода фиксации площадь проксимального регенерата уменьшалась до $1,63 \pm 0,21 \text{ см}^2$, дистального – до $1,71 \pm 0,62 \text{ см}^2$. Уменьшение площадей дистракционных регенератов в процессе фиксации, вероятно, было связано с постепенным снижением интенсивности периостальной, а также процессами компактизации новообразованной кости по периферии (рис. 6).

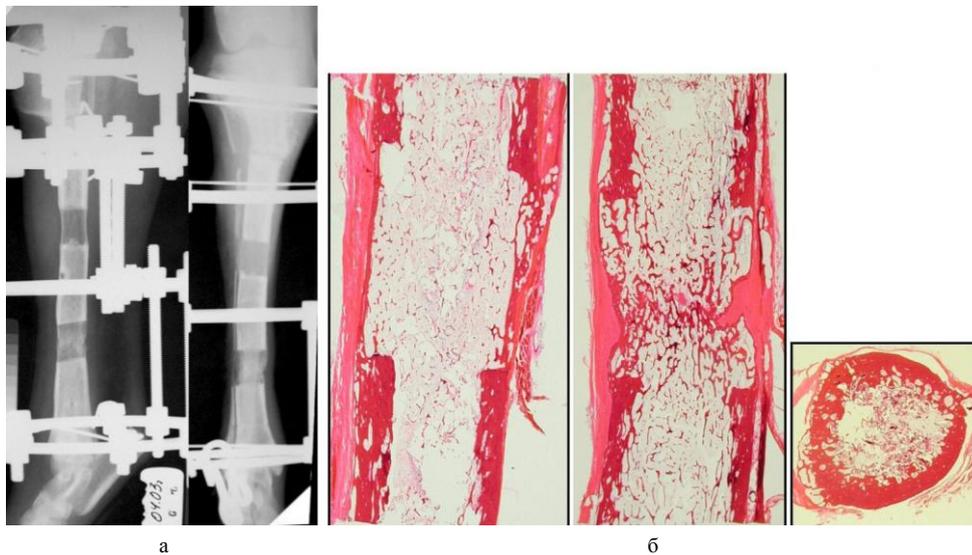


Рис. 4. а – Рентгенограммы собаки № 2560, III серия эксперимента 132 дня фиксации проксимального дистракционного регенерата, 119 дней фиксации дистального дистракционного регенерата, срок эксперимента – 157 дней; б – гистотомограммы № 9287/2560, III серия эксперимента: проксимальный дистракционный регенерат, дистальный дистракционный регенерат, поперечники проксимального и дистального перемещенного фрагмента. Срок эксперимента – 157 дней. Окраска по Ван-Гизону

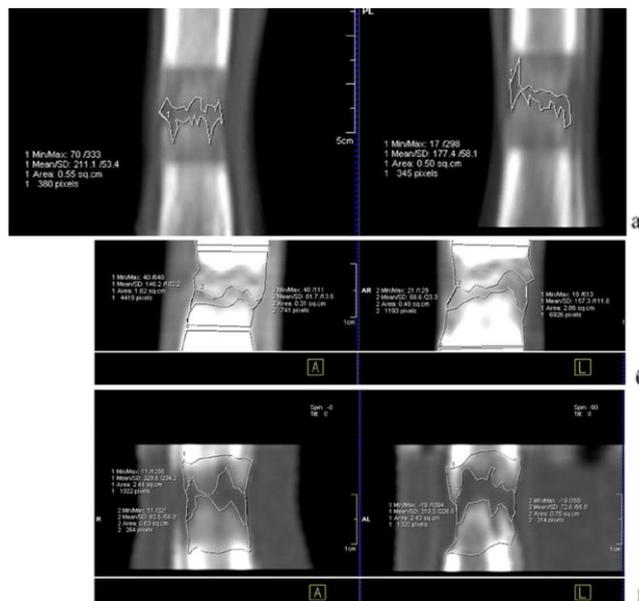


Рис. 5. Мультипланарная реконструкция (MPR) дистракционных регенератов: а – собаки № 2696, IV серия экспериментов: область прослойки дистального дистракционного регенерата, 4 дня фиксации. Площадь прослойки составляла $0,53 \text{ см}^2$, ее плотность – 194,3 ед.Н; б – собаки № 2712, IV серия экспериментов: область прослойки проксимального дистракционного регенерата, 21 день дистракции. Площадь прослойки проксимального дистракционного регенерата составляла $0,32 \pm 0,09 \text{ см}^2$, плотность – $171,9 \pm 78,5$ ед.Н; в – собаки № 2840, область прослойки дистального дистракционного регенерата, 24 дня дистракции. В этот период наблюдения площадь прослойки дистального дистракционного регенерата была $0,69 \text{ см}^2$, а ее плотность составляла 77,7 ед. Н

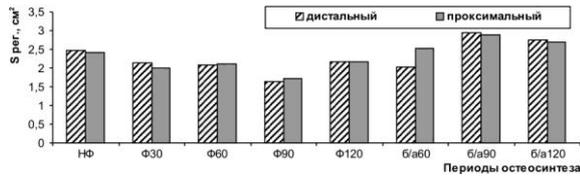


Рис. 6. Изменение площадей дистального и проксимального регенератов на различных этапах наблюдения (III серия опытов)

В IV серии опытов к концу периода фиксации межтрабекулярные пространства distractionных регенератов содержали кровяной костный мозг (рис. 7). В интермедиарном пространстве регенератов сохранялись зоны фиброзной ткани с мелкими кистозными полостями.

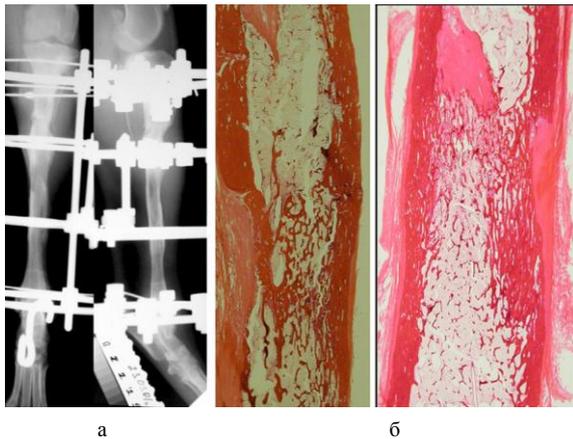


Рис. 7. а – Рентгенограммы собаки № 2229, IV серия эксперимента: 120 дней фиксации, срок эксперимента – 148 дней; б – гистотопограммы № 8530/2331, IV серия эксперимента: проксимальный distractionный регенерат, дистальный distractionный регенерат. Фиксация – 75 дней, срок эксперимента – 105 дней. Окраска гематоксилином-эозином

Безаппаратный период в III и IV сериях опытов характеризовался длительной органотипической перестройкой новообразованной костной ткани (рис. 8). Через 6-8 месяцев после снятия аппарата процесс ремоделирования восстановленной костного остова голени продолжался.

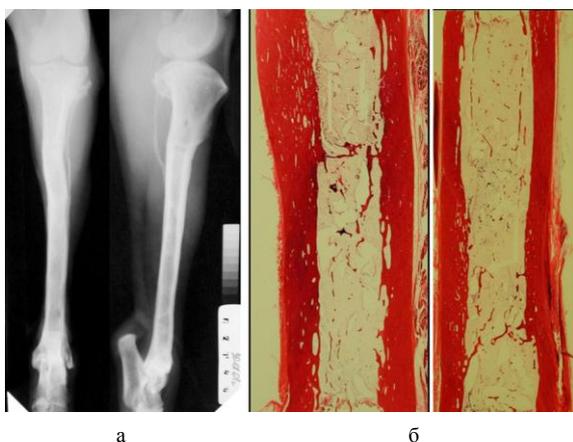


Рис. 8. а – Рентгенограммы собака № 2144, IV серия экспериментов: 6 месяцев после снятия аппарата, срок эксперимента – 310 дней; б – гистотопограммы № 8308/2144, IV серия экспериментов: проксимальный distractionный регенерат, дистальный distractionный регенерат, 6 месяцев после снятия аппарата, срок эксперимента – 310 дней. Окраска гематоксилином-эозином

При анализе площадей distractionных регенератов на компьютерных томограммах не было выявлено их значимых изменений в процессе фиксации сегмента аппаратом. В процессе наблюдения площади проксимального distractionного регенерата уменьшались от $2,20 \pm 0,21 \text{ см}^2$ до $1,97 \pm 0,18 \text{ см}^2$, дистального – от $2,39 \pm 0,24 \text{ см}^2$ до $2,10 \pm 0,20 \text{ см}^2$. На этапе фиксации уменьшение площадей distractionных регенератов, так же как и в III серии опытов, мы связывали с постепенным снижением интенсивности периостальной реакции в процессе distraction и последующей фиксации (рис. 9).

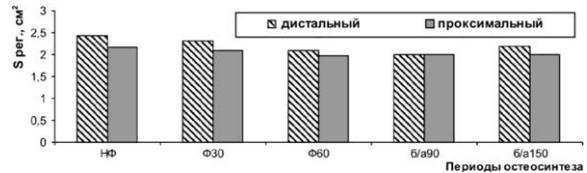


Рис. 9. Изменение площадей дистального и проксимального регенератов на различных этапах наблюдения (IV серия опытов)

В процессе фиксации в III серии опытов было выявлено значительное снижение плотности перемещенных фрагментов (рис. 10, а). В IV серии изменение плотности перемещенных фрагментов не имело значимых отличий, характерных для III серии опытов, что было связано с менее длительными периодами их перемещения и последующей фиксации сегмента аппаратом по сравнению с аналогичными этапами наблюдений в опытах III серии и менее активными процессами перестройки, констатируемыми при рентгеноморфологическом исследовании (рис. 10, б).

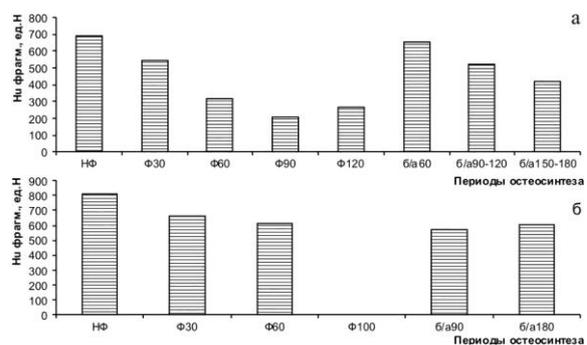


Рис. 10. Изменение плотностей фрагментов на различных этапах наблюдения: а - III серия опытов; б - IV серия опытов

Для замещения пострезекционных дефектов берцовых костей многоуровневым удлинением дистального отломка было характерно пролонгированное нарушение магистрального медулярного кровотока. Кровоснабжение удлиняемого отломка большеберцовой кости поддерживалось функционированием периостально-медулярных анастомозов. Обилие резорбционных полостей в корковых пластинках облегчало проникновение периостальных сосудов в перемещенные фрагменты и способствовало органи-

зации сети медуллярно-периостальных анастомозов. Временное заполнение просвета артерий фрагментов плазмой препятствовало облитерации сосудистого русла и обеспечивало в дальнейшем при ремоделировании сети питательной артерии большеберцовой кости восстановление магистрального кровотока. Редукции артериальных шунтов не было выявлено в отдаленные

сроки наблюдения (до 1,5 лет). У животных III серии опытов реканализация а. nutriticia была выявлена только в проксимальном перемещенном фрагменте в конце периода фиксации сегмента аппаратом (рис. 11, 12). В IV серии опытов реканализацию русла питательной артерии отмечали в обоих фрагментах к 74-му дню периода фиксации.

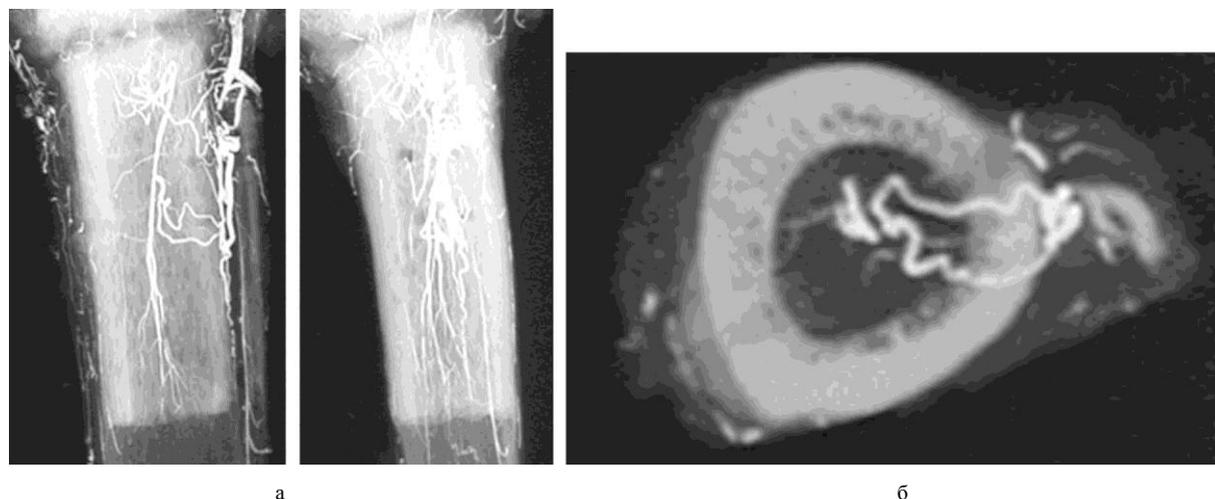


Рис. 11. Фрагменты рентгеновазোগрам: а – большеберцовой кости (собака № 2560, III серия), проксимальный перемещенный фрагмент, 119 дней фиксации, срок эксперимента – 157 дней; б – собаки № 2560, III серия: поперечник проксимального перемещенного фрагмента

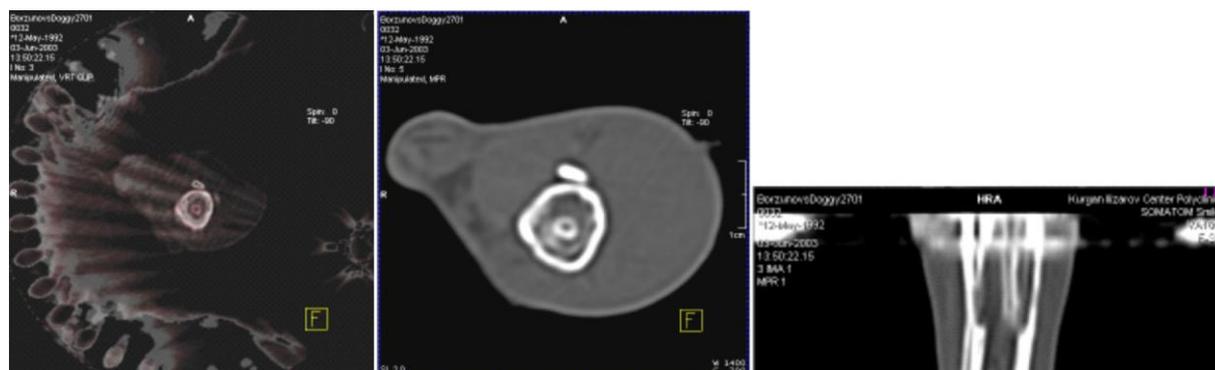


Рис. 12. Компьютерные томограммы собаки № 2701, III серия: поперечник проксимального дистракционного регенерата, 57 дней фиксации проксимального дистракционного регенерата

ОБСУЖДЕНИЕ

Процесс замещения пострезекционных дефектов берцовых костей многоуровневым удлинением дистального отломка характеризовался пролонгированным нарушением магистрального медуллярного кровотока. Кровоснабжение удлиняемого отломка большеберцовой кости поддерживалось в основном только функционированием периостально-медуллярных анастомозов. Длительное отсутствие восстановления магистрального кровотока в перемещаемых фрагментах определило низкую активность эндостального остеогенеза, в дистракционном остеогенезе участвовали в основном периостальные структуры кости. В результате низкой активности эндостального остеогенеза на концах состыкованных отломков отсутствовали эндосталь-

ные регенераты, выявляемые нами во всех наблюдениях при многоуровневом удлинении проксимального отломка большеберцовой кости [9, 10]. Пролонгированное ремоделирование сосудистого русла удлиненного дистального отломка большеберцовой кости обеспечило восстановление кровотока по руслу питательной артерии только к концу периода фиксации. Выявленные особенности кровоснабжения дистального отломка большеберцовой кости определили активную перестройку перемещенных фрагментов, заключающуюся в деминерализации костной ткани несвободных аутотрансплантатов, а также гипопластический тип костеобразования при формировании дистракционных регенератов. Сформированные по гипопласти-

ческому типу в достаточно короткий срок остеосинтеза дистракционные регенераты длительное время были не устойчивы к функциональным нагрузкам. У трех животных при обычной функциональной нагрузке на 6-15-е сутки после демонтажа аппарата Илизарова были выявлены переломы в зоне дистракционных регенератов, что потребовало в дальнейшем выполнения реостеосинтеза костей голени. В процессе чрескостного остеосинтеза перестройка несвободных аутоотрансплантатов, заключающаяся в деминерализации костной ткани фрагментов в процессе их перемещения, характеризовалась последующей длительной и одно-

направленной минерализацией костной ткани, как несвободных фрагментов, так и новообразованных участков кости. Процессы ремоделирования костной ткани восстановленного остова голени продолжались до 1,5 лет после снятия аппарата. В течение безаппаратного периода наблюдения корковые пластинки фрагментов были порозны и имели множество мелких костномозговых и кистозных полостей, заполненных жировым костным мозгом с остеокластами, но встречались и остеобласты.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 313533 СССР, МКИЗ А 61 В 17/00. Способ замещения дефекта длинной трубчатой кости / Г. А. Илизаров (СССР). - № 1124269/31-1 ; заявл. 07.01.67 ; опубл. 07.09.71, Бюл. № 27. - 1 с.
2. Стахеев, И. А. Реваскуляризация крупных диафизарных костных ауто-, алло и ксенотрансплантатов в условиях стабильного остеосинтеза : автореф. дис... д-ра мед. наук / И. А. Стахеев. - Пермь, 1978. - 32 с.
3. Васкуляризация свободного и несвободного аутоотрансплантатов при замещении дефектов трубчатой кости по методикам Илизарова / А. П. Барабаш [и др.] // Экспериментально-теоретические и клинические аспекты разрабатываемого в КНИИЭКОТ метода чрескостного остеосинтеза : тез. докл. Всесоюз. симпозиума. - Курган, 1983. - С. 46-48.
4. Барабаш, А. П. Замещение дефектов длинных трубчатых костей по Илизарову : автореф. дис... д-ра мед. наук / А. П. Барабаш. - М., 1985. - 34 с.
5. Ларионов, А. А. Васкуляризация большеберцовой кости при возмещении диафизарного дефекта удлинением одного из отломков по методике Г. А. Илизарова / А. А. Ларионов // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. - 1989. - № 11. - С. 21-27.
6. Ларионов, А. А. Дистракционный остеосинтез и эволюция костных трансплантатов (эксперимент. исслед.) : автореф. дис... д-ра мед. наук / А. А. Ларионов. - Пермь, 1995. - 31 с.
7. А.с. 1526666 СССР, МКИЗ А 61 В 17/56. Способ лечения дефекта кости / В. Д. Макушин, Л. М. Куфтырев (СССР). - 4390380/14 ; заявл. 09.03.88 ; опубл. 23.05.91, Бюл. № 19.
8. Борзунов, Д. Ю. Замещение дефектов длинных костей полилокальным удлинением отломков (эксперимент.-клин. исслед.) : автореф. дис... д-ра мед. наук / Д. Ю. Борзунов. - Курган, 2004. - 43 с.
9. Рентгено-морфологическая характеристика костеобразования при замещении дефекта берцовых костей последовательным двухуровневым удлинением проксимального отломка большеберцовой кости / Д. Ю. Борзунов [и др.] // Гений ортопедии. - 2000. - № 1. - С. 72-76.
10. Борзунов, Д. Ю. Рентгено-морфологические аспекты ремоделирования костной ткани при замещении дефекта большеберцовой кости одновременным двухуровневым удлинением ее проксимального отломка (эксперимент. исслед.) / Д. Ю. Борзунов, Н. В. Петровская, А. М. Чиркова // Гений ортопедии. - 2001. - № 3. - С. 7-12.

Рукопись поступила 06.10.06.