

***К вопросу оптимизации технологий замещения дефектов
длинных костей по Г.А. Илизарову
(экспериментальное исследование)***

Д.Ю. Борзунов, Е.В. Осипова, Н.В. Петровская

***The problem of optimizing the technologies
of long bone defect filling according to G.A. Ilizarov
(An experimental study)***

D.Yu. Borzunov, E.V. Osipova, N.V. Petrovskaya

Федеральное государственное учреждение

«Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова Росмедтехнологий», г. Курган
(и.о. генерального директора — д.м.н., профессор А.Т. Худяев)

Экспериментальное обоснование применения нового способа стимуляции distractionного остеогенеза при замещении пострезекционных дефектов длинных костей методами несвободной костной пластики. Внедрение свободной костной аутоостружки в зону соединительнотканной прослойки формируемого по «ишемическому» типу distractionного регенерата стимулирует остеогенез и позволяет восстановить активность процесса костеобразования.

Ключевые слова: дефект, «ишемический» регенерат, аутопластика.

The article deals with the experimental substantiation of using a new technique of distraction osteogenesis stimulation for filling postresection defects of long bones by the methods of non-free osteoplasty. The introduction of free bony autochips into the zone of connective-tissue interlayer of the distraction regenerated bone being formed according to "ischemic" type stimulates osteogenesis and allows to restore the activity of osteogenesis process.

Keywords: defect, «ischemic» regenerated bone, autoplasty.

ВВЕДЕНИЕ

Анализируя данные литературы, необходимо отметить, что сдержанное отношение ряда авторов к широкому применению технологий несвободной костной пластики по Г.А. Илизарову при лечении пациентов с костными дефектами, в первую очередь, связано с длительностью, многоэтапностью лечебно-реабилитационных мероприятий и необходимостью продолжительной курации пациента медицинским персоналом [1, 2, 3, 4]. В этой связи поиск новых технологий остеосинтеза и способов стимуляции процессов регенерации тканей, направленных на сокращение сроков лечения при достижении полноценного объема реабилитации, безусловно, востребован. На основе принципов несвободной костной пластики по Г.А. Илизарову были внедрены методики замещения дефектов длинных костей полилокальным удлинением отломков, позволяющие одноэтапно восполнять потерю костной

ткани несколькими distractionными регенератами малой величины, претерпевающими органотипическую перестройку в короткий срок остеосинтеза [5]. Сокращение продолжительности остеосинтеза было также обеспечено дополнительным применением средств, стимулирующих процесс вялотекущего остеогенеза: использование механических воздействий на регенерат, реплантация тканей и введение различных препаратов в формируемую костную ткань [6, 7, 8, 9, 10, 11].

Целью нашей работы является экспериментальное обоснование методов замещения дефектов длинных костей полилокальным удлинением отломков как наиболее высокотехнологичных способов несвободной костной пластики и возможности дополнительной стимуляции distractionного остеогенеза по средствам малоинвазивной свободной костной аутопластики.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа основана на двух сериях опытов по замещению пострезекционных диафизарных дефектов большеберцовой кости (21 собака) удлинением противолежащих отломков с полилокальным формированием дистракционных регенератов. Экспериментальной моделью были выбраны диафизарные дефекты большеберцовых костей, составляющие $20,9 \pm 0,3$ % от исходной длины голени. В I серии опытов ($n=13$) нарушали целостность отломков посредством выполнения кортикотомий. Во II серии эксперимента ($n=8$) остеотомию отломков большеберцовой кости выполняли с помощью пилки Джигли, травмируя содержимое костномозговой полости, создавая заведомо неблагоприятные условия для дистракционного остеогенеза, в первую очередь, эндостального. Целостность проксимального отломка нарушали на уровне нижнего края бугристости большеберцовой кости, дистального – в метадиафизарном отделе кости. Перемещение сформированных фрагментов в межотломковом диастазе выполняли с суточным темпом 1 мм за 4 приема. Во II серии опытов для стимуляции дистракционного остеогенеза в начале периода фиксации с помощью канюлированного винта или игл Бира (Кассирского) в срединную зону сформированных по «ишемическому» типу дистракционных регенератов имплантировали костную аутоостружку из гребня подвздошной кости с клеточными элементами аутологичного костного мозга (рис. 1).

Для исследования на сканирующем электронном микроскопе часть костной крошки и костный мозг заливали в камфен по методике W.B. Watters, R.C. Buck (1971). На изображениях сканогрaмм костной крошки с помощью программногo обеспечения «ВидеоТесТ 4,0 – Мастер» (С-Петербург) измеряли площадь, диаметр элементов крошки и параметры, характеризующие их форму (фактор круга, фактор эллипса,

показатели округлости и удлиненности). Другую часть костной крошки и дистракционные регенераты обрабатывали по стандартной методике и заливали в аралдит. Поверхность эпоксидных блоков шлифовали, напыляли серебром и исследовали на рентгеновском электронно-зондовом микроанализаторе "INCA" (Англия), смонтированном на сканирующем электронном микроскопе "JSM-840" (Япония). В образцах определяли содержание основных остеотропных элементов кости – кальция (Ca), фосфора (P), магния (Mg). Абсолютные значения концентраций элементов выражали в вес. процентах.

Исследование скорости минерализации костной ткани проводили с помощью двойной тетрациклиновой метки, которую осуществляли по следующей схеме: животным в течение 3 дней скармливали тетрациклина гидрохлорид по 10 мг/кг веса, перерыв 10 дней, затем возобновляли лечение в течение 3 дней, эвтаназию производили через 3 дня после последнего кормления тетрациклином.

Для измерения скорости минерализации с помощью ультратома изготавливали из недекальцинированной костной ткани регенератов, залитых в аралдит, срезы толщиной 3 мкм и исследовали их в ультрафиолетовых лучах на люминесцентном микроскопе.

Статистическую обработку выполняли с помощью программ «Microsoft Excel-97» и «Attestat» [12]. Цифровые данные в зависимости от распределения представлены в виде среднего арифметического значения и стандартного отклонения или медианы и 25 % и 75 % квартилей.

Все эксперименты на животных проводились в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных (приложение к приказу Минздрава СССР от 12.08.1977 № 755)».



Рис. 1. Модель эксперимента

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Дозированное низведение несвободных костных фрагментов в дефект сопровождалось образованием в диастазах дистракционных регенератов. В I серии опытов период дистракции продолжался $25,4 \pm 6,6$ дня. Формируемые дистракционные регенераты имели однотипное зональное строение. Доля новообразованного костного вещества в дистракционных регенератах увеличивалась с 20,5 % на 14-е сутки периода дистракции и до 72,5 % к ее окончанию. Костеобразование преобладало от проксимальных и дистальных отломков большеберцовой кости. Замещение соединительнотканной прослойки дистракционных регенератов новообразованной костной тканью происходило в одинаковые сроки. Период фиксации продолжался $101,0 \pm 23,9$ дня и характеризовался слиянием костных отделов дистракционных регенератов, формированием кортикальных пластинок по периферии и сращением отломков на стыке (рис. 2).

При моделировании условий гипопластического типа костеобразования во II серии, в пер-

вую очередь, посредством использования травматичных для эндоста методик нарушения целостности диафиза большеберцовой кости с помощью пилки Джигли, в конце периода дистракции в обоих диастазах формировались «ишемические» дистракционные регенераты (рис. 3, а). Модель замещения пострезекционного дефекта берцовых костей во II серии опытов была аналогичной I серии и предполагала восстановление костного дефекта посредством удлинения противоположащих костных отломков большеберцовой кости. Таким образом, сравнение сроков восстановления костного остова берцовых костей и продолжительности этапов остеосинтеза являлось корректным. Дистракция во II серии опытов продолжалась $22,3 \pm 2,9$ дня. После выполнения свободной аутопластики костной стружкой с клеточными элементами аутологичного костного мозга срединной зоны «ишемических» дистракционных регенератов (рис. 3, б) через $54,0 \pm 4,2$ дня периода фиксации дистракционные регенераты теряли зональное строение.

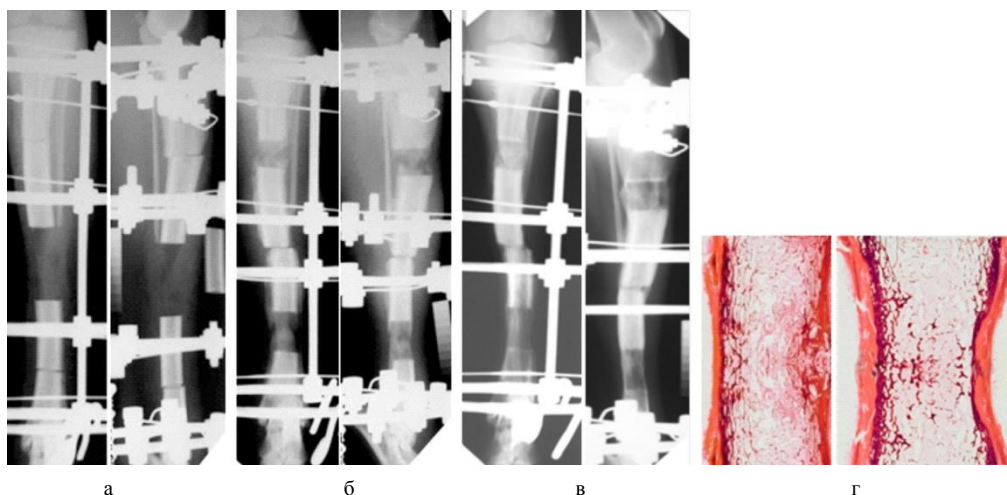


Рис. 2. Рентгенограммы: а – после операции, б – окончание дистракции, в – перед снятием аппарата, г – гистотопограммы проксимального и дистального регенератов. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение лупное

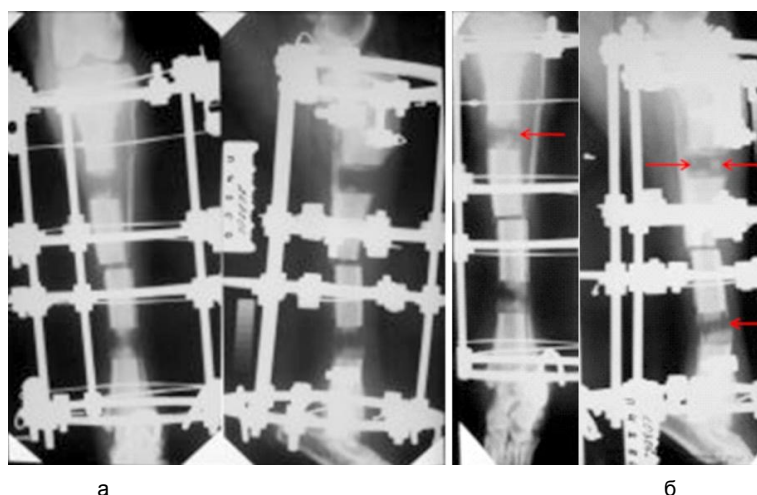


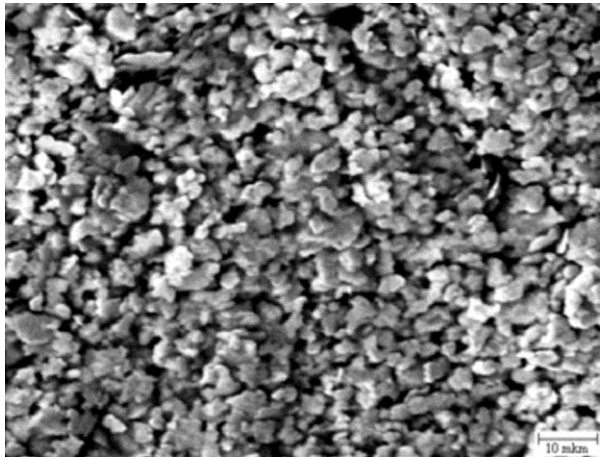
Рис. 3. Рентгенограммы: а – после окончания дистракции, б – после имплантации костной аутостружки

Результаты морфометрического исследования костной крошки показали, что площадь ее элементов варьировала от 1,28 до 156,59 мкм². Средняя величина диаметра крошки составляла 4,21 мкм² (3,23 мкм; 5,20 мкм). Элементы костной крошки имели эллипсовидную форму, их поверхность была незначительно изрезана (рис. 4). Данные рентгеновского электронно-зондового микроанализа показали, что содержание в крошке Са и Р составляло, соответственно, 16,98±0,78 вес. %, 8,07±0,36 вес. %.

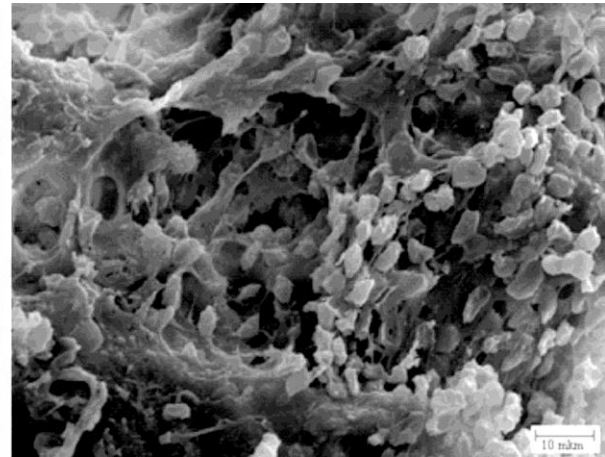
Через 30 суток фиксации в корковой пластинке материнских отломков, прилежащих к проксимальному регенерату, содержание анализируемых элементов было выше по сравнению с корковой пластинкой отломков, прилежащих к дистальному регенерату. При этом установлены значимые различия как в содержании Са (p<0,05) и Mg (p<0,05), так и между показателями соотношения Са/Р (p<0,001) (рис. 5). В новообразованной корковой пластинке проксимального регенерата содержание Са и Р и их соот-

ношения также были значимо выше по сравнению с новообразованной корковой пластинкой дистального регенерата (рис. 6). В костной ткани регенератов наблюдали аналогичную картину, однако значимых различий между содержанием Са и Р выявлено не было (рис. 7). При этом соотношение Са/Р в проксимальном регенерате равнялось 2,04±0,09, в дистальном – 1,99±0,05 (p<0,05). Содержание Mg в новообразованной костной ткани было практически одинаковым.

Скорость минерализации костной ткани в корковой пластинке отломков, прилежащих к проксимальному регенерату, составляла 0,54 мкм/день (0,43 мкм/день; 0,78 мкм/день). В новообразованной корковой пластинке проксимального регенерата скорость аппозиции была значимо выше и достигала 0,67 мкм/день (0,60 мкм/день; 0,74 мкм/день) (p<0,05). В костных трабекулах регенерата скорость минерализации составляла 0,51 мкм/день (0,36 мкм/день; 0,72 мкм/день).



а



б

Рис. 4. Сканирующая электронная микроскопия: а – костная аутоостружка, Ув. – 1000; б – клеточные элементы аутологичного костного мозга после центрифугирования, Ув. – 1000

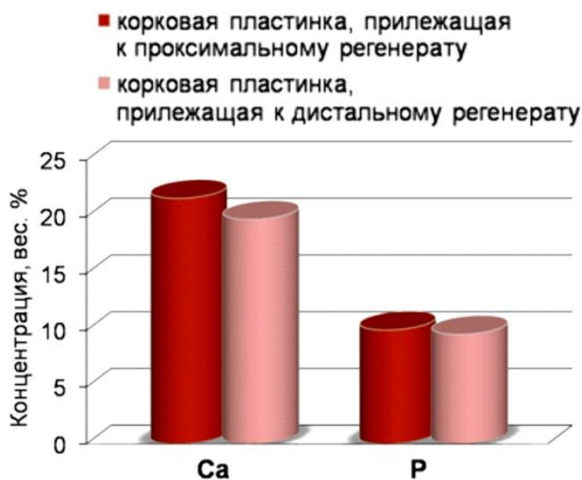


Рис. 5. Содержание остеотропных элементов в корковой пластинке отломков

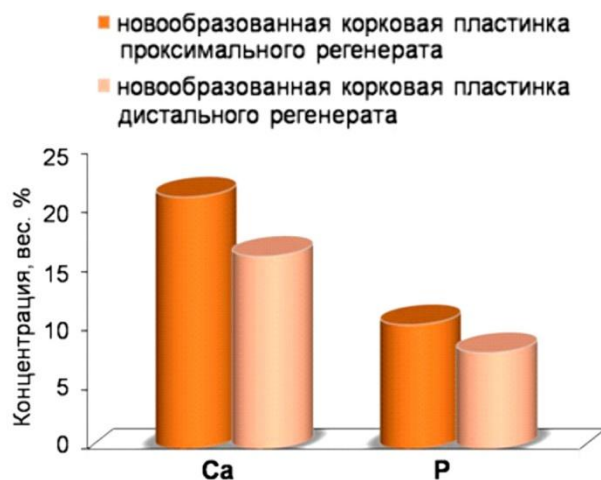


Рис. 6. Содержание остеотропных элементов в новообразованной корковой пластинке регенератов

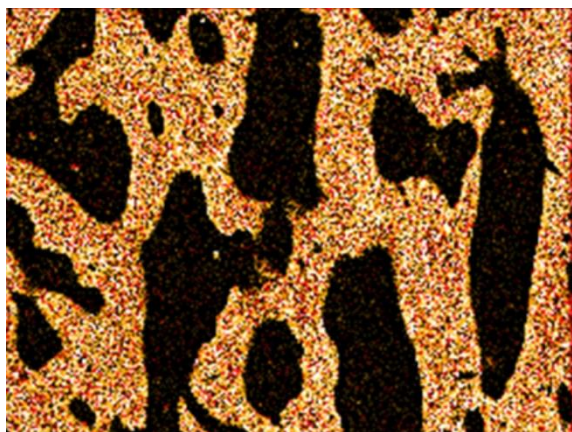


Рис. 7. Рентгеновский электронно-зондовый микроанализ: распределение элементов в костных трабекулах регенерата. Участки с высокой концентрацией элементов — белого цвета, с более низкой концентрацией — желтого (Са), красного (Р), черные — элемент отсутствует. Ув. 30

В корковой пластинке отломков, прилежащих к дистальному регенерату, скорость минерализации костной ткани составляла 0,60 мкм/день (0,48 мкм/день; 0,77 мкм/день) и была значимо выше показателя скорости аппозиции в новообразованной корковой пластинке

дистального регенерата (0,56 мкм/день (0,40 мкм/день; 0,73 мкм/день) ($p < 0,05$)). В костных трабекулах дистального регенерата скорость аппозиции достигала $0,62 \pm 0,27$ мкм/день.

При сравнении показателей скорости минерализации костной ткани в проксимальном и дистальном регенератах, корковой пластинке проксимального и дистального отломков значимых различий не выявлено. Установлено, что в новообразованной корковой пластинке проксимального регенерата скорость аппозиции была значимо выше, чем в корковой дистального ($p < 0,05$) (рис. 8).

При гистологическом изучении проксимального и дистального дистракционных регенератов была выявлена картина завершения дистракционного костеобразования, а созревающие регенераты находились в состоянии органотипической перестройки (рис. 9, а) (исследования выполнены Н.С. Мигалкиным). Оба регенерата имели по периферии корковые пластинки с широкими гаверсовыми каналами, сформированная костномозговая полость содержала преимущественно жировой костный мозг за исключением узкой зоны, прилежащей к эндосту, где располагались очаги миелоидной ткани (рис. 9, б).

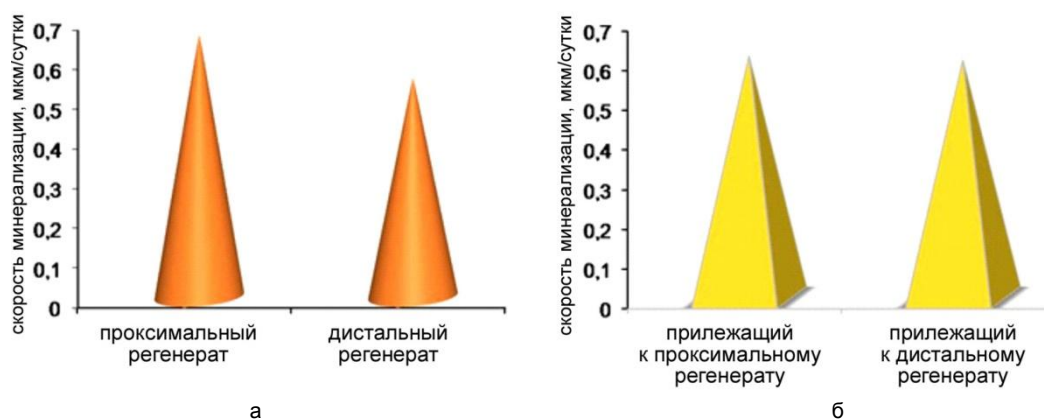


Рис. 8. Скорость аппозиции через 30 суток фиксации в корковой пластинке отломков, прилежащих к проксимальному и дистальному регенератам (а), и в новообразованной корковой пластинке регенератов (б)

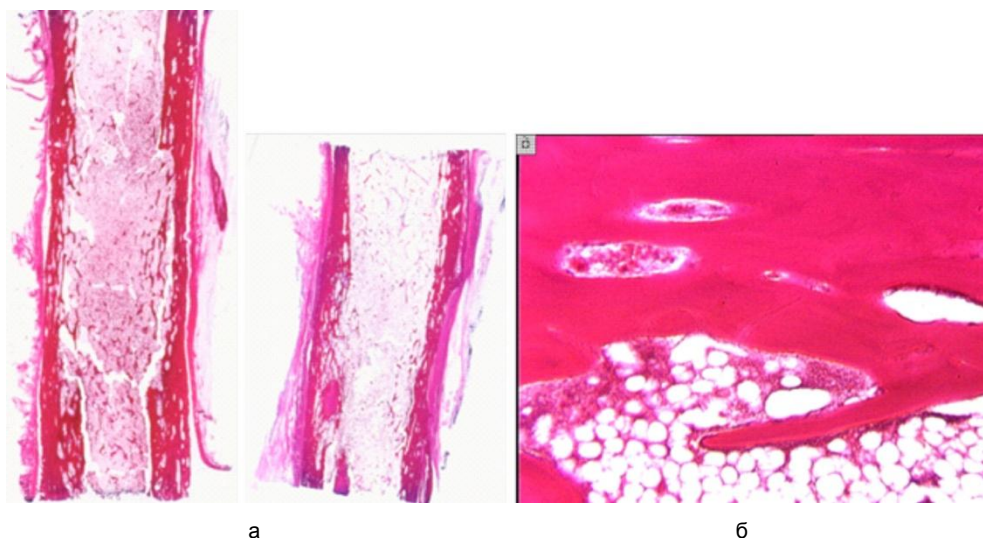


Рис. 9. Гистотопогаммы проксимального и дистального регенератов (а). Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение лупное. Участок формируемой корковой пластинки дистального регенерата (б). Окраска гематоксилином и эозином. Об. 2,5. Ок. 12,5

Как рентгенологическими, так и морфологическими методами оценки регенерации в зоне стыка отломков костного сращения обнаружить не удалось (рис. 10). При этом на торцовых поверхностях отломков дефекта располагались костные трабекулы и десмальные структуры, а между ними находился слой дистрофически

измененных бесклеточных волокон в виде сеточки выполняющей щель дефекта. Необходимо отметить, что зона стыка отломков дополнительной стимуляции не подвергалась. В зоне стыка отломков только поддерживалась продольная компрессия по оси сегмента на этапе фиксации.

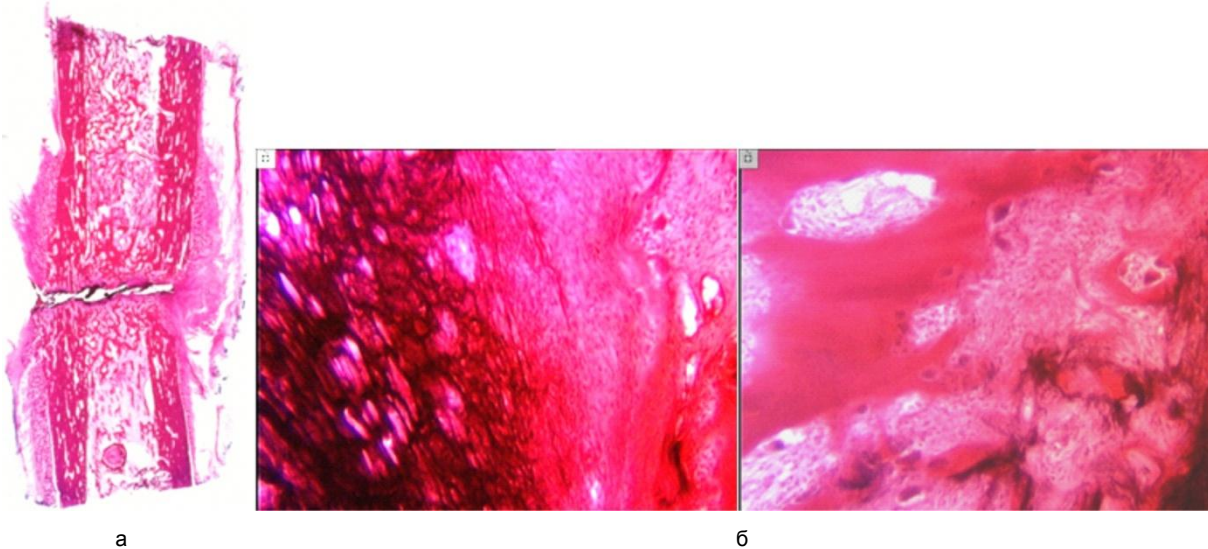


Рис. 10. Гистотопограмма (а) и микропрепараты (б) зоны стыка отломков. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение: а – лупное, б – Об. 6,3. Ок. 12,5

ВЫВОДЫ

Высокий уровень остеогенеза в I серии опытов был связан с применением щадящих методик нарушения целостности кости. В первую очередь, костеобразование обеспечивалось активным участием в дистракционном остеогенезе эндостальных структур кости. Высокий уровень остеорегенерации при выполнении щадящих кортикотомий был возможен при сохранении целостности внутрикостной артерии и остеогенных элементов костномозговой полости. Во II серии эксперимента при травматичном нарушении целостности противлежащих отломков большеберцовой кости с помощью пилы Джигли отмечено напряжение протекающих процессов костеобразования и формирование дистракционных регенератов по гипопластическому типу. В формировании новообразованной костной ткани в основном участвовали периостальные структуры кости. Несмотря на преобладание периостального остеогенеза во II серии опытов, нами не было отмечено активного костеобразования на перемещаемых фрагментах. Процесс перестройки фрагментов характеризовался их более активной деминерализацией и последующим пролонгированным и односторонним увеличением их плотности. К концу периода дистракции и в начале периода фиксации нами визуализировались «ишемические» дистракционные регенераты, площадь которых была меньше площади сформированных межот-

ломковых диастазов.

Имплантация в срединную зону сформированных по «ишемическому» типу дистракционных регенератов костной аутоостружки из гребня подвздошной кости с клеточными элементами аутологичного костного мозга, безусловно, оказывала стимулирующее действие на затухающий по активности процесс костеобразования. После выполнения свободной аутопластики костной стружкой через $54,0 \pm 4,2$ дня периода фиксации дистракционные регенераты теряли зональное строение, межотломковые диастазы были заполнены новообразованной костной тканью. Необходимо отметить, что в I серии эксперимента только через $101,0 \pm 23,9$ дня фиксации клиническими и рентгеноморфологическими методами исследования было констатировано достижение костного сращения дистракционных регенератов и зоны стыка отломков. Во II серии опытов в зоне стыка отломков костного сращения обнаружить не удалось. Вместе с тем, зона стыка отломков дополнительной стимуляции не подвергалась.

Таким образом, возможности высокотехнологичных способов несвободной костной пластики, не должны ограничиваться только применением новых методик чрескостного остеосинтеза. Результативность несвободной костной пластики может быть расширена с дополнительным применением малоинвазивных мето-

дик, стимулирующих остеогенез. Реплантация свободной костной аутоостружки с клеточными элементами аутологичного костного мозга в срединную зону «ишемических» дистракционных регенератов позволила сократить продолжительность формирования костного сращения

новообразованных участков кости в 1,7 раза по сравнению со сроком фиксации дистракционных регенератов в моделируемой аналогичной серии эксперимента в условиях щадящего нарушения целостности удлиняемого отломка.

ЛИТЕРАТУРА

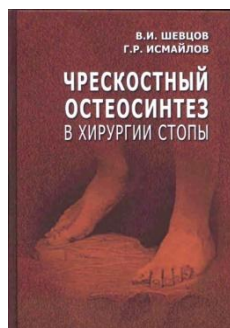
1. Замещение обширных дефектов длинных костей с помощью би- и полилокального дистракционно-компрессионного остеосинтеза / Ю. Г. Шапошников [и др.] // Хирургия. 1990. № 9. С. 3-6.
2. Cattaneo R., Catagni M., Johnson E. E. The treatment of infected nonunions and segmental defects of the tibia by the methods of Ilizarov // Clin. Orthop. 1992. No 280. P. 143-152.
3. Голяховский В., Френкель В. Руководство по чрескостному остеосинтезу методом Илизарова. СПб., 1999. 267 с.
4. Paley D., Maag D. C. Ilizarov bone transport treatment for tibial defects // J. Orthop. Trauma. 2000. Vol. 14, No 2. P. 76-85.
5. Борзунов Д. Ю., Куфтырев Л. М. Сравнительный анализ результатов лечения больных с обширными дефектами берцовых костей при использовании различных технологий удлинения отломка // Вестн. травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. 2002. № 1. С. 29-34.
6. Шевцов В. И., Попков А. В. Стимуляция перестройки дистракционного регенерата // Анналы травматологии и ортопедии. 1995. № 2. С. 23-26.
7. Макушин В. Д., Куфтырев Л. М., Камерин В. К. Причины неудач и осложнений при возмещении дефектов длинных трубчатых костей методом чрескостного остеосинтеза по Илизарову // Гений ортопедии. 1996. № 1. С. 59-61.
8. Хирургическая стимуляция остеогенеза в дистракционном регенерате / А. А. Ларионов [и др.] // Там же. 1996. № 2-3. С. 136.
9. Шевцов В. И., Макушин В. Д., Куфтырев Л. М. Дефекты костей нижней конечности. Курган, 1996. 502 с.
10. Влияние композиции костных росторегулирующих факторов на созревание дистракционного регенерата при местном введении / К. С. Десятниченко [и др.] // Бюл. эксперим. биологии и медицины. 1997. № 8. С. 223-236.
11. Стимуляция костным мозгом остеогенеза в дистракционном регенерате (экспериментальное исследование) / В. И. Шевцов [и др.] // Гений ортопедии. 2003. № 3. С. 131-137.
12. Гайдышев И. П. Решение научных и инженерных задач средствами Excel, VBA и C(C++). СПб. : ВХВ-Петербург, 2004. 512 с.

Рукопись поступила 18.08.09.

Сведения об авторах:

1. Борзунов Дмитрий Юрьевич – ведущий научный сотрудник лаборатории новых технологий в ортопедии ФГУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова», д.м.н.
2. Осипова Елена Владимировна – старший научный сотрудник экспериментального отдела травматологии и ортопедии ФГУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова», к.м.н.
3. Петровская Наталья Виловна – ведущий научный сотрудник экспериментального отдела травматологии и ортопедии ФГУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова», к.м.н.;

Предлагаем вашему вниманию



Шевцов В.И., Исмаилов Г.Р.

ЧРЕСКОСТНЫЙ ОСТЕОСИНТЕЗ В ХИРУРГИИ СТОПЫ

М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2008.— 360 с.: ил.

ISBN 5-225-04264-3

Руководство посвящено актуальной проблеме — лечению больных с деформациями, дефектами и аномалиями развития костей стопы. Изложены общие принципы клинического применения управляемого чрескостного остеосинтеза, его методики, а также ведение больных в послеоперационном периоде, типичные осложнения и меры по их профилактике и устранению.

Для ортопедов-травматологов, хирургов.