

Репаративная регенерация костной ткани при удлинении конечности методикой комбинированного distraction остеосинтеза

М.А. Степанов, Н.А. Кононович, Е.Н. Горбач

Bone tissue reparative regeneration for limb lengthening by the technique of combined distraction osteosynthesis

M.A. Stepanov, N.A. Kononovich, E.N. Gorbach

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.Н. Дьячков)

В эксперименте на 19 собаках с использованием клинического, рентгенологического и гистологического методов исследования изучали особенности репаративной регенерации костной ткани при удлинении конечности методикой комбинированного distraction остеосинтеза. Животных выводили из эксперимента через 28 суток distraction, 30 суток фиксации и 30 суток после снятия аппарата. В ходе проведенных исследований установлено, что при удлинении конечности комбинированным методом формировался типичный distraction костный регенерат, основным источником остеогенных потенциалов которого являлась надкостница.

Ключевые слова: удлинение конечности, репаративная регенерация, метод комбинированного distraction остеосинтеза, рентгеноморфологический анализ, эксперимент.

The characteristic features of bone tissue reparative regeneration in the process of limb lengthening were studied experimentally in 19 dogs during limb lengthening with the technique of combined distraction osteosynthesis using clinical, roentgenological and histological methods of study. Animals were withdrawn from the experiment after 28 days of distraction, 30 days of fixation, and 30 days after device removal. It was established that during limb lengthening with the combined technique a typical distraction regenerated bone was formed and the periosteum was the main source of its osteogenic potential.

Keywords: limb lengthening, reparative regeneration, technique of combined distraction osteosynthesis, roentgenomorphological analysis, experiment.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из задач современной ортопедии в области удлинения конечности является сокращение сроков нахождения пациентов в аппарате с целью более быстрого функционального восстановления и уменьшения периода реабилитации. В настоящее время за рубежом для увеличения длины сегмента широко используются интрамедуллярные штифты в сочетании с наружными фиксаторами различного типа. Гистология репаративных процессов при комбинированном удлинении конечности отличается от таковой при использовании классического метода чрескостного distraction остеосинтеза, когда в distraction костных регенератах при адекватном кровоснабжении и стабильной фиксации преобладает эндостальное костеобразование [2, 3, 7, 8]. При сочетанном использовании интрамедуллярно введенного штифта и аппара-

та чрескостной фиксации преобладает периостальный остеогенез. Однако нет единого мнения о механизмах формирования новообразованного участка кости в создаваемых условиях. По мнению одних авторов [11], этот процесс связан с вытеснением в зону остеотомии костного мозга при введении стержня. Другими отмечено вовлечение остеогенных клеток-предшественников надкостницы в процесс минерализации distraction регенерата [9]. В связи с этим дальнейшее изучение репаративного костеобразования в условиях комбинированного distraction остеосинтеза остается актуальным.

Цель настоящего исследования – изучение особенностей distraction остеогенеза в условиях комбинированного остеосинтеза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве модели для изучения комбинированного distraction остеосинтеза исполь-

зовали удлинение плечевой кости собаки. Модифицированный интрамедуллярный штифт

закреплялся на чрескостной наружной спице-стержневой конструкции¹, которая после получения необходимой длины конечности демонтировалась, а внутрикостный фиксатор крепился с помощью консольно введенных спиц на наружной планке² (рис. 1). Последние удалялись через 14 суток после их установки, штифт оставался в интрамедуллярной полости, выполняя фиксирующую функцию. Подобная тактика позволяла сохранить достигнутую величину удлинения на протяжении всего периода дальнейшей фиксации. При формировании регенерата с высокой степенью зрелости (слияние костных отделов, наличие непрерывной корковой пластинки, образование единой костномозговой полости) штифт извлекался.

Эксперименты выполнялись на 19 взрослых беспородных собаках. Все хирургические манипуляции осуществляли в условиях операционной под внутривенным барбитуровым наркозом из расчета 20-25 мг тиопентала натрия на 1000 г массы тела животного. За 30-40 мин до наркоза проводили премедикацию путем введения 2 % рометара, 0,1 % атропина сульфата и 1 % димедрола в соответствующих дозировках. Собак выводили из эксперимента передозировкой барбитуратов через 28 суток distraction, 30 суток фиксации и 30 суток после снятия аппарата. Для

изучения динамики репаративных процессов использовали клинический, рентгенологический и гистологический методы исследования.

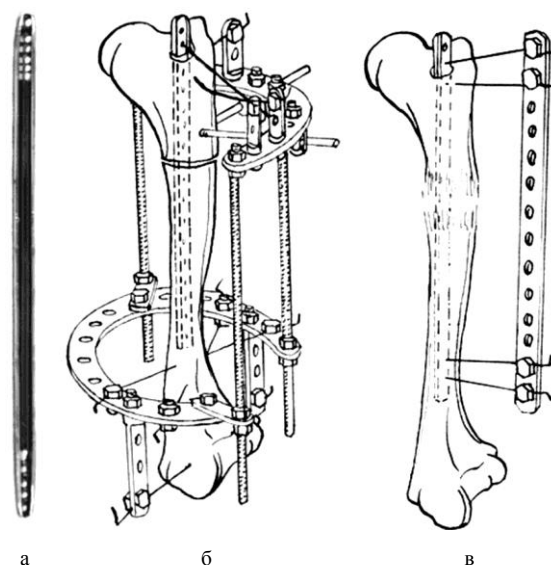


Рис. 1. Удлинение конечности методикой комбинированного distractionного остеосинтеза: а – модифицированный интрамедуллярный штифт Кюнчера; б – схема комбинированного остеосинтеза плечевой кости; в – методика фиксации интрамедуллярного штифта после завершения distraction и снятия аппарата

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Процессы репаративной регенерации в условиях предложенного варианта остеосинтеза, имеющие ряд отдельных особенностей, соответствовали основным этапам формирования distractionного регенерата, характерным для клас-

сического удлинения.

Так, по окончании периода distraction на рентгенограммах (рис. 2, а) в полости диастаза визуализировался регенерат характерного зонального строения.

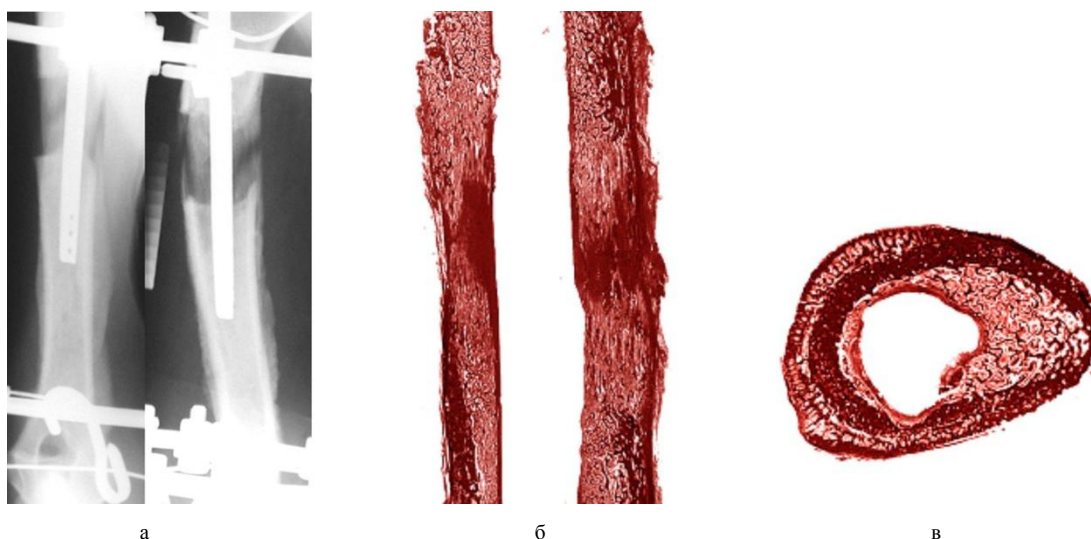


Рис. 2. Удлинение конечности методом комбинированного distractionного остеосинтеза, distraction 28 суток: а – рентгенограммы плеча, собака № 2547; гистотопограммы: б – distractionного регенерата, в – дистального отломка (сохранение канала от интрамедуллярного штифта, резорбция корковой пластинки, периостальные наслоения на поверхности кости). Препараты окрашены пикрофуксином по Ван-Гизону. Увеличение – 1,5

¹ Заявка №96100331-13 РФ, МКИ6 А 61 В 17/62 Способ и устройство для фиксации бедра и плеча у животных / А.А. Шрейнер РНЦ "ВТО" им. акад. Г.А.Илизарова (РФ); - Заявлено 21.12.95; Оpubл. 10.03.98.- Бюл. №7.

² Заявка № 2002101359 РФ, МПК 7 А 61 В 17/56 Интрамедуллярный элемент и способ его использования / Шевцов В.И., Шрейнер А.А., РНЦ «ВТО» им.акад.Г.А.Илизарова (РФ). - Заявл. 10.01.2002; Оpubл. 10.09.2003.

Его костные отделы, как правило, равные по высоте, были представлены часто расположенными вертикально направленными тенями разной интенсивности. Вершины костных отделов имели мелкозубчатый контур. Срединная зона просветления занимала 7,2-14,3 % от общей величины диастаза. Ее пересекали трабекулярные тени, частично объединяющие между собой костные отделы регенерата. Периостальный компонент был представлен хорошо выраженными высокоинтенсивными тенями, что свидетельствовало о формировании корковой пластинки. У основания костных отделов регенерата визуализировались, чаще равновеликие, дополнительные зоны просветления. Их появление свидетельствовало о начале формирования костномозговой полости. Интрамедулярный штифт на всем протяжении обигала тонкая слабоинтенсивная тень, имеющая ровные очертания. Следует отметить, что активная периостальная реакция со стороны костных отломков наблюдалась, как правило, с медиальной и каудальной поверхности.

На гистотопограммах в полости диастаза отмечалось формирование регенерата, имеющего сложное зональное строение. Его срединная часть, так называемая «зона роста», была представлена умеренно васкуляризированной волокнистой соединительной тканью (рис. 3, а).

Проксимальнее и дистальнее этого участка формировались костные отделы, представляющие собой сеть продольно ориентированных трабекул

игльчатой формы, образованных ретикулофиброзной костной тканью (рис. 3, б). Некоторые из них пересекали прослойку. По мере удаления от «зоны роста» к отломкам трабекулы приобретали сфероидальную форму. В центре на всем протяжении регенерата обнаруживался канал, образованный фиксирующим штифтом. Участки, прилегающие к поверхности интрамедулярного штифта, были представлены слоем грануляционной ткани, постепенно переходящим в слой продольно ориентированной рыхлой волокнистой соединительной ткани (рис. 3, в). Остальная часть костномозговой полости заполнялась новообразованной среднететливой губчатой костью. На поверхности костных трабекул обнаруживалось значительное количество прикрепленных остеокластов (рис. 3, г). Наблюдалась интенсивная перестройка корковой пластинки обоих отломков, в которой на значительном протяжении определялись многочисленные резорбционные полости (рис. 2, б). На поверхности отломков периостальные наслоения были представлены губчатой костью (рис. 2, в).

На просветленных гистотопографических препаратах регенерата микрососуды его костных отделов, как правило, имели продольную ориентацию (рис. 4, а). В соединительнотканной прослойке сосудистая сеть была разрежена и представлена в основном анастомозирующими капиллярами (рис. 4, б). В новообразованном участке наиболее густая сеть микрососудов: артериол, капилляров и венул, локализовалась в надкостнице (рис. 4, в).

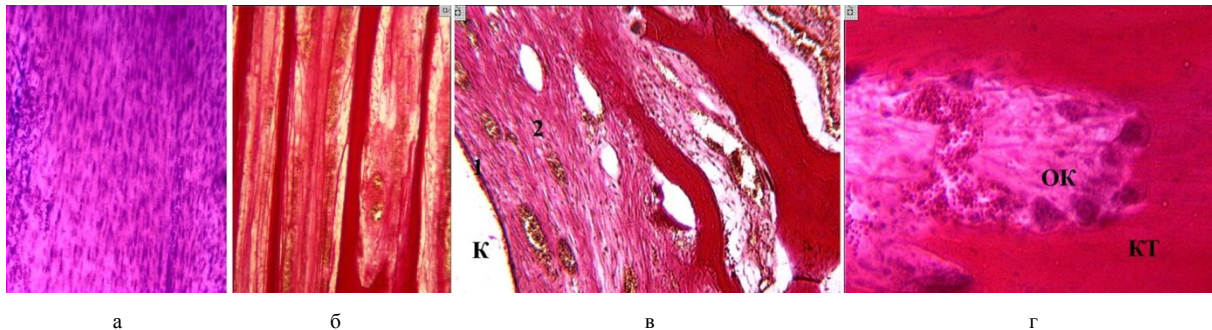


Рис. 3. Микрофото гистоструктурных особенностей регенерата через 28 суток distraction: а – участок «зоны роста», образованный волокнистой соединительной тканью; б – участок проксимального костного отдела, представленный продольно ориентированными трабекулами ретикулофиброзной костной ткани; в – тонкая полоска грануляционной (1) и рыхлая волокнистая соединительная ткань (2), формирующие выстилку канала (к) от интрамедулярно введенного штифта; г – остеокласты (ОК), прикрепленные к поверхности костной трабекулы (КТ). Окраска пикрофуксином по Ван-Гизону. Ок. $\times 10$, об. $\times 6,3$

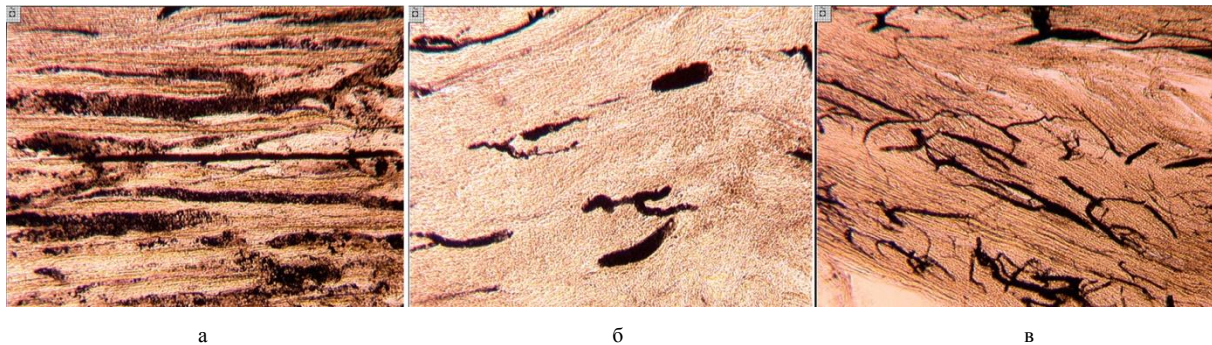


Рис. 4. Микрососуды distractionного регенерата, сформировавшегося через 28 суток distraction: а – проксимальный костный отдел distractionного регенерата; б – соединительнотканная прослойка; в – надкостница на уровне соединительнотканной прослойки. Наливка тушью. Увеличение – об. $\times 2,5$, ок. $\times 10$

В костномозговой полости проксимального и дистального отломков диафиза, прилегающих к регенерату, определялись анастомозирующие синусоиды, мелкие артерии, питающая артерия, вены. Более густая сосудистая сеть визуализировалась в участках, выстилающих канал, образованный штифтом. В корковой пластинке отломков, как и в надкостнице, определялись сосуды микроциркуляторного русла.

К этому сроку нарушение кровоснабжения, обусловленное выбором варианта остеосинтеза, приводило к остеопорозным изменениям в дистальном отломке, что характеризовалось его повышенной рентгенопрозрачностью и атрофией костного рисунка.

Как правило, в большинстве наблюдений регенерат приобретал высокую степень зрелости уже через 30 суток, а в единичных случаях (n=2) – 60 суток фиксации штифтом, что позволяло удалять последний. При этом новообразованный участок кости по форме можно было отнести к нормо- либо гиперпластическому типу. Рентгенологически регенерат утрачивал свое зональное строение (рис. 5). На месте прослойки визуализировалась полоса высокой рентгеноконтрастности, которая в направлении материнских отделов кости плавно переходила в менее интенсивную гомогенную тень, характерную для формирующейся костномозговой полости.



Рис. 5. Удлинение конечности методом комбинированного дистракционного остеосинтеза, фиксация – 30 суток. Рентгенограммы собаки № 2387

Через 30 суток фиксации отломков штифтом периферический отдел регенерата был представлен тонкой четкой высококонтрастной полосой, объединяющей отломки между собой, что свидетельствовало о наличии формирующейся единой корковой пластинки. На отломках тени периостальных наслоений становились более контрастными, их толщина заметно уменьшалась в сравнении с предыдущим сроком. В отдельных случаях (n=4) в этот период еще сохранялась соединительнотканная прослойка регенерата, которую на рентгенограммах представляли редко расположенные участки просветления. Рентгенологические признаки остеопороза определялись как на дистальном, так и на проксимальном отломке.

Гистологически к этому сроку новообразованный участок диафиза был представлен губчатой костью с участками плотной волокнистой соединительной ткани, в которых отмечался гемостаз и диапедезные кровоизлияния (рис. 6, а).

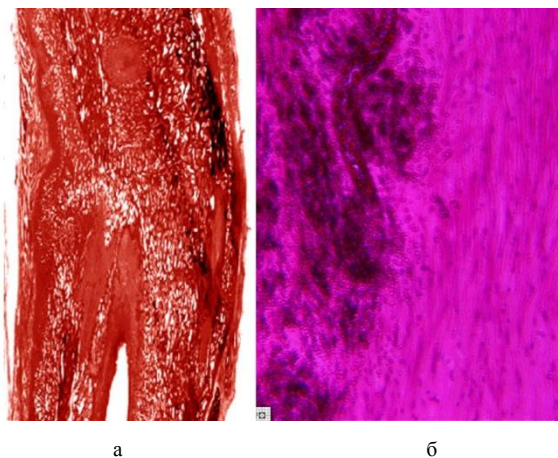


Рис. 6. Гистоструктура новообразованного участка диафиза через 30 суток фиксации: а – гистотопограмма продольного распила регенерата диафиза плечевой кости; б – диапедезные кровоизлияния в области соединительнотканной прослойки (микрофото). А – препарат окрашен по Ван-Гизону. Увеличение – 1,5. Б – препарат окрашен гематоксилином и эозином. Ок. $\times 10$, об. $\times 6,3$

Сеть грубоволокнистых костных трабекул в интермедиарной и эндостальной областях срединной части регенерата была вытянута вдоль длинной оси кости. Выше- и ниже расположенные участки образовывала губчатая кость среднеячеистой структуры.

Периостальный регенерат, более выраженный на задней поверхности, состоял из мелкоячеистой губчатой кости и формировал непрерывную «муфту», соединяющую отломки.

Межтрабекулярные промежутки новообразованного участка диафиза во всех зонах регенерата заполняла рыхлая волокнистая соединительная ткань с рассеянными в ней элементами кроветворения и единичными адипоцитами. В центральной части регенерата и прилежащих отломков кости сохранялся канал, образованный интрамедуллярно введенным штифтом, вокруг которого формировалась грануляционная и рыхлая волокнистая соединительные ткани, сменяющиеся цепью трабекул ретикулофиброзной костной ткани. В соединительнотканной выстилке канала визуализировались микрососуды, чаще всего представленные капиллярными анастомозами.

Для костных отломков была характерна порозность корковой пластинки, вызванная нарушением микроциркуляции.

Через 1 месяц после удаления интрамедуллярного штифта на рентгенограммах (рис. 7) регенерат сохранял гипер- (n=4) либо гипопластическую форму (n=2). Контуры канала, образованного штифтом, были представлены тонкой

высокорентгеноконтрастной прерывистой полосой, а его полость – среднеинтенсивной гомогенной тенью. Участок между каналом от внутрикостного фиксатора и периферическим компонентом регенерата перекрывался вертикальнонаправленными линиями разной интенсивности, формирующими однотипный костный рисунок. Сохранялась тень корковой пластинки.

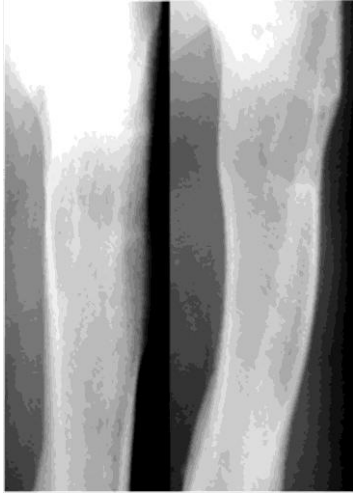


Рис. 7. Удлинение конечности методом комбинированного дистракционного остеосинтеза: 30 суток после прекращения фиксации штифтом

Гистологически в новообразованном участке диафиза отмечалось формирование корковой пластинки и костномозговой полости (рис. 8, а). Первую из них представляла компактизирующаяся мелкоячеистая губчатая кость, которая по мере приближения к периосту переходила в пластинчатую костную ткань (рис. 8, в).

В костномозговом канале определялся красный и красно-желтый костный мозг, а также редко расположенные костные трабекулы. В участках, приближенных к области прежнего расположения штифта, они образовывали ячеистые структуры.

На поверхности некоторых трабекул отмечались прикрепленные остеокласты, что свидетельствовало о продолжающейся перестройке новообразованного фрагмента плечевой кости. Канал, образованный интрамедуллярно введенным штифтом, замещался рыхлой волокнистой соединительной тканью с признаками нарушенной микроциркуляции.

В дистальном отломке сохранялись достаточные по объему периостальные напластования, образованные крупнопетливой губчатой костью, и порозность корковой пластинки (рис. 8, б).

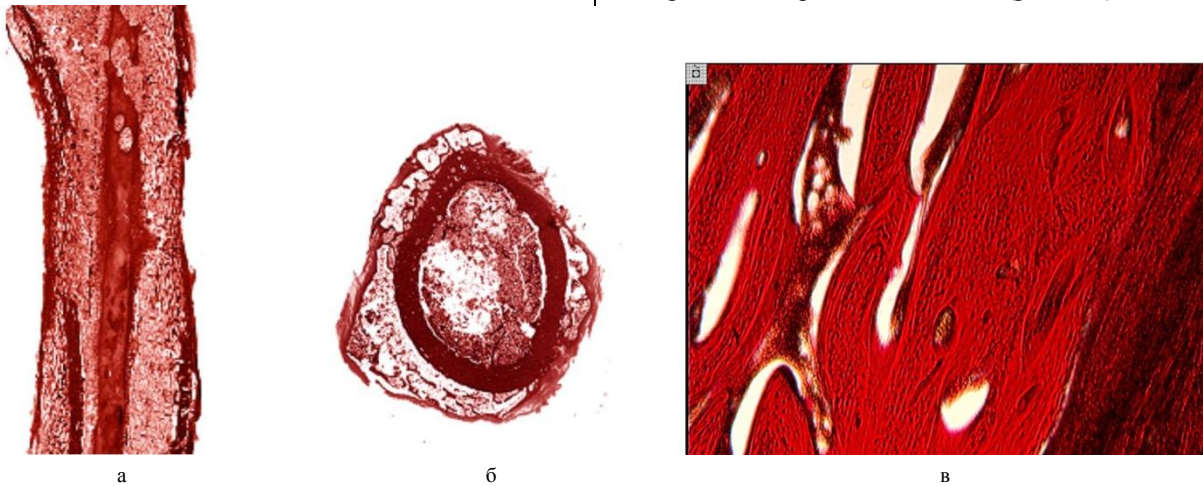


Рис. 8. Гистоструктура новообразованного участка диафиза через 2 месяца после снятия аппарата и через 1 месяц после удаления штифта: а – гистотопограмма продольного распила регенерата диафиза плечевой кости; б – гистотопограмма поперечного распила дистального костного отломка; в – строение новообразованной корковой пластинки (КК – компактизирующаяся губчатая кость, КК – компактная кость). Окраска по Ван-Гизону. Увеличение – 1,5 (а, б). Ок. $\times 10$, об. $\times 2, 5$ (в)

ОБСУЖДЕНИЕ

Появление вышеописанной рентгеноморфологической картины на разных этапах эксперимента является следствием комплекса факторов, основным из которых можно считать разрушающее воздействие интрамедуллярного штифта на компоненты костномозговой полости. Это закономерно ведет к нарушению эндостального кровоснабжения, а следовательно, препятствует физиологически нормальному течению остеогенеза. В таких случаях процессы реваскуляризации начинаются со стороны пароссальных тканей и надкостницы, которая берет на себя основную нагрузку в плане костеобразования. Несомненно, степень активности пери-

остального остеогенеза также зависит от особенностей кровоснабжения сегмента и гистоструктурного строения самой надкостницы.

Таким образом, в ходе проведенных исследований установлено, что при удлинении конечности комбинированным методом формировался типичный дистракционный костный регенерат, основным источником остеогенных потенциалов которого являлась надкостница, что соотносится с данными других исследователей, использующих удлинение конечности интрамедуллярным аппаратом или применяющих интрамедуллярные стержни в качестве источника дополнительной фиксации [1, 4, 5, 6, 9, 10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бейдик О. В., Котельников Г. П., Островский Н. В. Остеосинтез стержневыми и спицестержневыми аппаратами внешней фиксации : монография. Самара : Перспектива, 2002. 28 с.
2. Зависимость репаративной регенерации кости и функционального состояния удлиняемой конечности от дробности distraction (экспериментальное исследование) / Г. А. Илизаров [и др.] // Гений ортопедии. 1995. № 1. С. 8-12.
3. Лаврищева Г. И., Михайлова Л. Н. К гистогенезу скелетогенной ткани при регенерации кости в условиях distraction // Бюл. эксперим. биологии и медицины. 1985. № 2. С. 198-201.
4. Попков Д. А., Guichet J. M., Lascombes P. L. Удлинение бедра с помощью интрамедуллярного стержня Albizzia // Гений ортопедии. 2001. № 1. С. 46-52.
5. Сосудистые реакции при удлинении конечностей / А. Н. Джерелей [и др.] // Новое в травматологии и ортопедии : тез. докл. 2 респ. науч.-практ. конф. травматологов Крыма. Ялта, 1993. Вып. 1. С. 19-20.
6. Удлинение бедра аппаратом Блискунова с применением различных видов остеотомии / А. И. Блискунов [и др.] // Вестн. травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. 1996. № 3. С. 22-30.
7. Шрейнер А. А., Чиркова А. М., Силантьева Т. А. Сравнительные экспериментальные данные различных видов кортикотомии // Новые технологии в медицине : тез. докл. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2-х ч. Курган, 2000. Ч. 2. С. 154.
8. Шрейнер А. А. Удлинение голени в условиях сохранения остеогенных тканей и кровоснабжения кости : дис... канд. мед. наук. Курган, 1978. 255 с.
9. Guichet J. M., Frayssinet P., Virion J. M. Bone formation during lengthening. Quantitative measurement of the periosteal and bone marrow activity (histomorphometry) in a rabbit model // Новые технологии в медицине : тез. докл. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2-х ч. Курган, 2000. Ч. 2. С. 219-220.
10. Michula A. Zdrose hojeni zlomeniny rouovite kosti u rusnych typu osteosyntezy z hlediska cevneho zasobovani // Rozhl. Chir. 1973. R. 52, C. 1. S. 35-41.
11. Paley D., Maar D., Tetsworth K. Femoral lengthening by simultaneous external fixation and intramedullary rodding // Montaggi speciale in traumatologia e ortopedia. Genowa, 1993. P. 91-92.

Рукопись поступила 06.04.09.

Сведения об авторах:

1. Степанов Михаил Александрович – ФГУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова», ведущий научный сотрудник экспериментального отдела травматологии и ортопедии, к.в.н.
2. Кононович Наталья Андреевна – ФГУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова», старший научный сотрудник экспериментального отдела травматологии и ортопедии ФГУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова», к.б.н.
3. Горбач Елена Николаевна – ФГУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова», старший научный сотрудник экспериментального отдела травматологии и ортопедии, к.б.н.