

© Е.Н.Горбач, М.А.Степанов, 2015
УДК 611.018.4:611.718.5/6-001.5-089.84

Е.Н.Горбач, М.А.Степанов

ОСОБЕННОСТИ МОРФОГЕНЕЗА КОСТНОЙ ТКАНИ ПРИ УДЛИНЕНИИ ГОЛЕНИ МЕТОДОМ ЧРЕСКОСТНОГО ДИСТРАКЦИОННОГО ОСТЕОСИНТЕЗА ПРИ ПОВЫШЕННОМ СУТОЧНОМ ТЕМПЕ

Лаборатория морфологии (зав. — проф. Ю.М.Ирьянов), Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А.Илизарова, г. Курган

На 25 взрослых беспородных собаках методами световой, сканирующей электронной микроскопии, электронно-зондового микроанализа, иммуногистохимии и морфометрии изучен гистогенез костной ткани в условиях автоматического удлинения голени методом чрескостного дистракционного остеосинтеза с суточным темпом 3 мм за 120 приемов. Выявлено, что в периоде дистракции в межотломковом диастазе отчетливо выражены клеточная гетероморфия и пролиферативная активность клеток соединительнотканной прослойки и надкостницы. В постдистракционный период происходят ослабление клеточной гетероморфии и усиление биосинтетической активности остеобластических клеток, формируется провизорный эндостальный костный регенерат нормотрофического типа с признаками органотипической перестройки. На всех этапах эксперимента отмечается интрамембранный остеогенез. Органотипичность новообразованной кости наступает через 30 сут после снятия аппарата. Пластичность костной ткани и условия высокостепенной дистракции позволяют увеличить суточный темп удлинения голени до 3 мм и обеспечить формирование опороспособного участка кости за 45 сут, что сокращает аппаратный период удлинения голени на 31% по сравнению с таковым при классической методике, когда суточный темп не превышает 1 мм.

Ключевые слова: костная ткань, репаративный остеогенез, чрескостный дистракционный остеосинтез, автодистрактор, повышенный суточный темп

Укорочение конечностей остается одним из распространенных видов ортопедической патологии, не имеющей тенденции к снижению [7]. В современной ортопедии задача коррекции длины сегмента конечности решается хирургическими средствами, в том числе методом дистракционного остеосинтеза, разработанным акад. Г.А.Илизаровым.

В поддержании активного остеогенеза и адекватного кровоснабжения в процессе дистракционного остеосинтеза определенную роль играют такие механические факторы, как темп и дробность дистракции [3, 10]. Высокий уровень костеобразования при дистракции возможен лишь при суточном темпе, не превышающем скорость новообразования костной ткани [11, 12].

В условиях круглосуточной высокостепенной дистракции адаптационно-репаративные процессы в тканях удлиняемой конечности протекают более благоприятно [8–10]. Однако избыточно дробная дистракция при удлинении сегмента конечности может приводить к преждевременной оссификации соединительнотканной прослойки, что делает дальнейшее удлинение проблематичным [5]. В настоящее время изучен процесс дистракцион-

ного остеогенеза большеберцовой кости при удлинении голени с темпом 3 мм за 180 приемов [1, 6]. В данном эксперименте по окончании периода фиксации в области между отломками отмечено формирование новообразованного опороспособного участка диафиза гиперпластического типа с избыточным содержанием периостально образованной костной ткани.

Мы предположили, что незначительное снижение дробности до 120 приемов в сутки с тем же суточным темпом (3 мм) позволит создать более оптимальные условия для остеогенеза.

Цель настоящего исследования — изучение развития костной ткани в условиях удлинения голени с суточным темпом 3 мм за 120 приемов методом чрескостного дистракционного остеосинтеза с применением автоприводов.

Материал и методы. Эксперименты выполнены на 15 взрослых беспородных собаках, которым под тиопенталовым наркозом в условиях операционной осуществляли флекссионную остеоклазию берцовых костей и через 5 сут производили удлинение голени аппаратом Илизарова с автоматическим приводом, обеспечивающим темп 3 мм/сут за 120 приемов. Средняя величина удлинения составила 15%. Собак выводили из опыта передозировкой барбитуратов через 5, 10 сут дистракции, 30 сут фиксации и 30 сут после

Сведения об авторах:

Горбач Елена Николаевна (e-mail: gorbach.e@mail.ru), Степанов Михаил Александрович, лаборатория морфологии, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А.Илизарова, 640014, г. Курган, ул. М. Ульяновой, 6

снятия аппарата. В качестве контроля изучали большеберцовую кость 10 взрослых интактных беспородных собак. Содержание, операции и эвтаназию животных осуществляли в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных», утверждённых приказом МЗ СССР № 755 от 12 августа 1977 г. и Хельсинской декларацией Всемирной медицинской ассоциации о гуманном обращении с животными (1996 г.).

Распилы регенератов диафизов большеберцовых костей и фрагменты (объемом 1–2 мм³), выпиленные из их различных зон, фиксировали в смеси 2% растворов параформ- и глутаральдегидов с добавлением фосфатного буфера (pH 7.4), после чего часть кусочков обезжизняли в этаноле возрастающей концентрации (от 70 до 100%), безводном ацетоне и заливали в аралдит, а часть — декальцинировали трилоном Б, дегидратировали и заливали в целлоидин либо парафин.

Гистотопографические целлоидиновые срезы окрашивали гематоксилином—эозином, по методу Массона, по Ван-Гизону, ставили ШИК-реакцию и изучали при помощи светового фотомикроскопа Photomicroscope III (Opton, Германия).

Пролиферативную активность остеогенных клеток оценивали на парафиновых срезах костной ткани путем визуализации антигена Ki67 стрептавидин-биотиновым методом (Novocastra, Великобритания).

На оцифрованных изображениях полутонких препаратов, окрашенных метиленовым синим с постановкой ШИК-реакции при помощи программы-анализатора изображений «ВидеоТест-Морфология 4.0» (Россия), определяли следующие параметры: площадь клеток остеобластического дифферона, фактор формы клеток, их ядерно-цитоплазматическое отношение (ЯЦО). Ввод изображений в память компьютера выполняли с использованием аппаратно-программного комплекса «ДиаМорф» (Россия). Соотношение доли клеток в различных зонах регенерата определяли, исходя из предварительных значений численной плотности каждого типа клеток в поле зрения микроскопа при общем увеличении 640.

Поверхности распилов distractionных регенератов диафизов большеберцовых костей, залитых в аралдит, отполированные мелкоабразивными материалами, и поверхности блоков после изготовления полутонких срезов напыляли тонким слоем платины в ионном напылителе IB-6 (EIKO, Япония) и изучали при помощи сканирующего электронного микроскопа JSM-840 (Jeol, Япония).

Содержание кальция и фосфора в различных зонах distractionных регенератов определяли, используя рентгенов-

ский электронно-зондовый микроанализатор INKA Energy 200 (Oxford Instruments Analytical, Великобритания) в весовых процентах (вес.%). Вычисляли их соотношение (Ca/P) путем деления весовой концентрации Ca на весовую концентрацию P.

Статистическую обработку количественных данных проводили с помощью пакета анализа данных приложения «Microsoft Excel» программного продукта «Microsoft Office». Значимость различий средних показателей оценивали при помощи двухвыборочного t-теста с различными дисперсиями.

Результаты исследования. Выявлено, что через 5 сут distraction между отломками образовывалась продольно ориентированная рыхлая волокнистая соединительная ткань с умеренным содержанием сосудов микроциркуляторного русла. Со стороны проксимального костного отломка проходило формирование тяжелой эндостально образованных костных трабекул. В области проксимального и дистального костных отломков выявлялась слабая периостальная реакция. Интенсивность ШИК-реакции в регенерате была очень слабой, но варьировала, усиливаясь по мере удаления от срединной части регенерата к отломкам. Среднее содержание Ca в области прослойки составило $0,91 \pm 0,20$ вес.%, в области проксимального и дистального костных отделов — $1,0 \pm 0,3$ и $3,3 \pm 1,1$ вес.% соответственно (рис. 1). При этом, соотношение Ca/P составляло $0,96 \pm 0,03$.

Клеточный состав интермедиарной зоны диастаза был представлен, преимущественно, малодифференцированными фибробластоподобными клетками ($42,4 \pm 1,9\%$), небольшой долей остеобластов ($7,8 \pm 1,2\%$), эндотелиоцитами формирующихся капилляров ($18,8 \pm 0,7\%$), моноцитами и костными макрофагами — остеокластами ($9,7 \pm 0,3\%$), тучными клетками ($5,8 \pm 1,7\%$) и клетками крови (в среднем 16%).

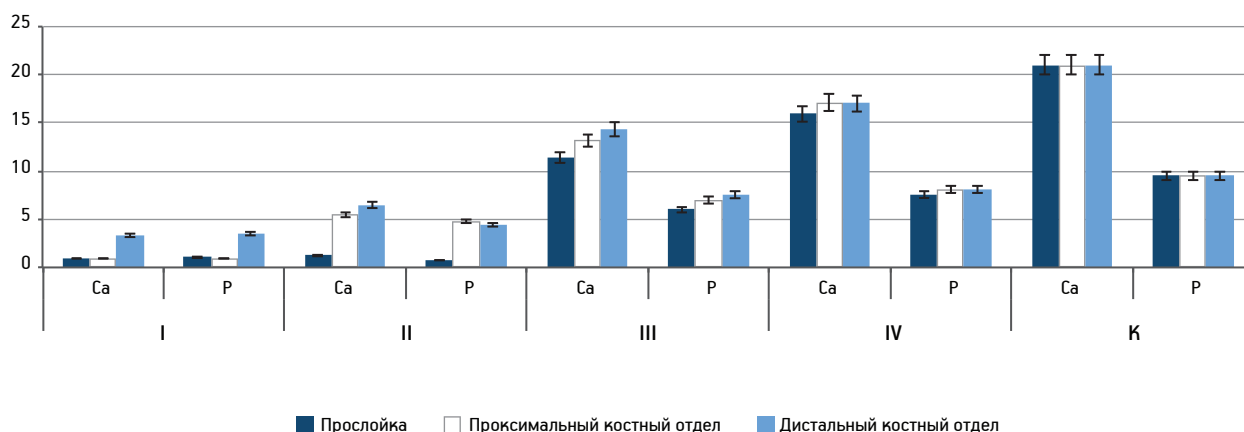


Рис. 1. Содержание остеотропных элементов (Ca и P) в регенерате большеберцовой кости у собаки при удлинении голени методом чрескостного distractionного остеосинтеза.

По оси абсцисс — периоды эксперимента: I — distraction 5 сут; II — distraction 10 сут; III — фиксация 30 сут; IV — без аппарата 30 сут; K — контроль; по оси ординат — содержание элемента (весовые %). Вертикальные отрезки — значения стандартной ошибки

При анализе ЯЦО клеток остеобластического дифферона выявлено резкое (в 6,4 раза) уменьшение доли дифференцированных клеток с ЯЦО менее 0,5 ($P < 0,01$), преобладающих в дифференцированной пластинчатой костной ткани коркового вещества большеберцовой кости у интактных собак. При этом, появлялись клетки с ЯЦО от 0,8 до 2 (в сумме до 66,25%), отсутствующие у контрольных животных. Клетки, значения ЯЦО которых соответствовали 0,5–0,8 (функционально активные), составляли приблизительно такую же долю, как и в контроле ($P \geq 0,05$) (рис. 2). При этом, средние значения фактора формы клеток были приближены к форме круга (рис. 3), что также указывало на преобладание в диффероне малодифференцированных клеток.

Через 10 сут distraction в диастазе был обнаружен регенерат с формирующимися, преимущественно в эндостальной и интермедиарной областях, костными трабекулами, представленными слабоминерализованной костной тканью и соединительнотканной прослойкой высотой 5–10 мм (рис. 4, а), в которой выявлялись малодифференцированные фибробластоподобные клетки (см. рис. 4, б), и происходил активный неоваскулогенез.

Иммуногистохимическая реакция на маркер пролиферации Ki67 была наиболее выражена в клетках соединительнотканной прослойки (см. рис. 4, г) и надкостницы, прилегающей к этой области регенерата. Мечение отдельных клеток Ki67 наблюдали и в костных отделах регенерата. Коллагеновые волокна в соединительнотканной прослойке были вытянуты вдоль вектора растяжения, плотно прилегали друг к другу (см. рис. 4, в) и при ШИК-реакции окрашивались интенсивнее, чем в предыдущий период. Содержание Са в этой области составило $1,22 \pm 0,03$ вес.% при соотношении Са/Р — $1,150 \pm 0,020$, характерном для аморфной формы фосфата кальция (см. рис. 1).

Костные отделы, формирующиеся в результате эндостального остеогенеза проксимальнее и дистальнее соединительнотканной прослойки, были представлены продольно ориентированной сетью трабекул, которые имели игольчатую или зубчатую форму. Матрикс костных трабекул был слабо ШИК-положителен, что свидетельствовало о низкой степени его минерализации.

Остеогенные клетки имели крупные размеры (таблица) и ядро, занимающее большую часть клетки, что указывало на начальные этапы их остеогенной дифференцировки и подтверждалось наличием делящихся клеток. Процесс костеобразования был отмечен и в интермедиарной зоне со стороны костных отломков. Содержание Са в проксимальном костном отделе составило $5,5 \pm 0,3$ вес.%, в дистальном — $6,50 \pm 0,20$ вес.%

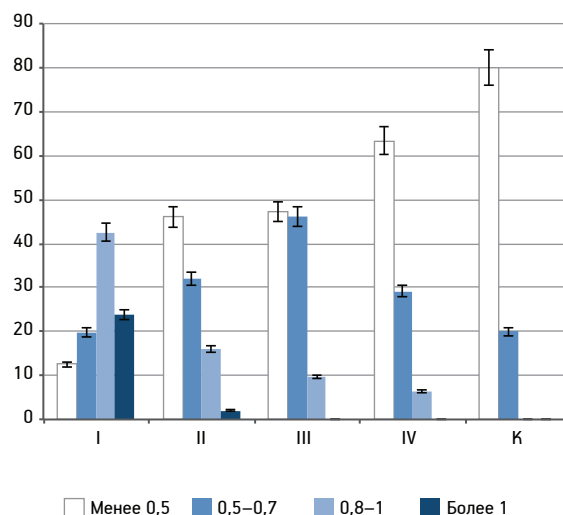


Рис. 2. Относительное содержание клеток остеогенного дифферона с различным ядерно-цитоплазматическим отношением в регенерате большеберцовой кости у собак при удлинении голени методом distractionно-го остеосинтеза.

По оси абсцисс — периоды эксперимента (те же, что на рис. 1); по оси ординат — доля клеток каждой размерности (%). Вертикальные отрезки — значения стандартной ошибки

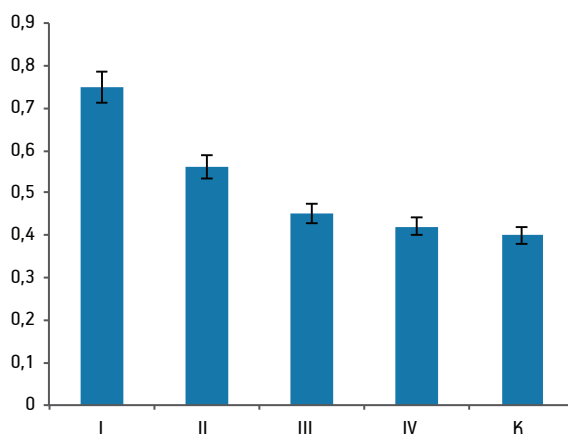


Рис. 3. Фактор формы клеток остеогенного дифферона (относительно формы круга) в регенерате большеберцовой кости у собак при удлинении голени методом distractionного остеосинтеза.

По оси абсцисс — периоды эксперимента (те же, что на рис. 1); по оси ординат — исследованный параметр (отн. ед.). Вертикальные отрезки — значения стандартной ошибки

(отношение Са/Р, соответственно, составляло $1,60 \pm 0,04$ и $1,43 \pm 0,05$).

Со стороны отломков кости наблюдали незначительную эндостальную и периостальную реакцию в виде тонких вытянутых в область диастаза тяжёлой грубоволокнистой костной ткани (см. рис. 4, а).

При оценке относительного содержания клеток (см. рис. 2) в зоне прослойки выявлено сохранение доли малодифференцированных фибробластоподобных клеток ($43,1 \pm 1,9\%$) ($P \geq 0,05$), увеличение доли остеобластов ($15,8 \pm 0,6\%$) и

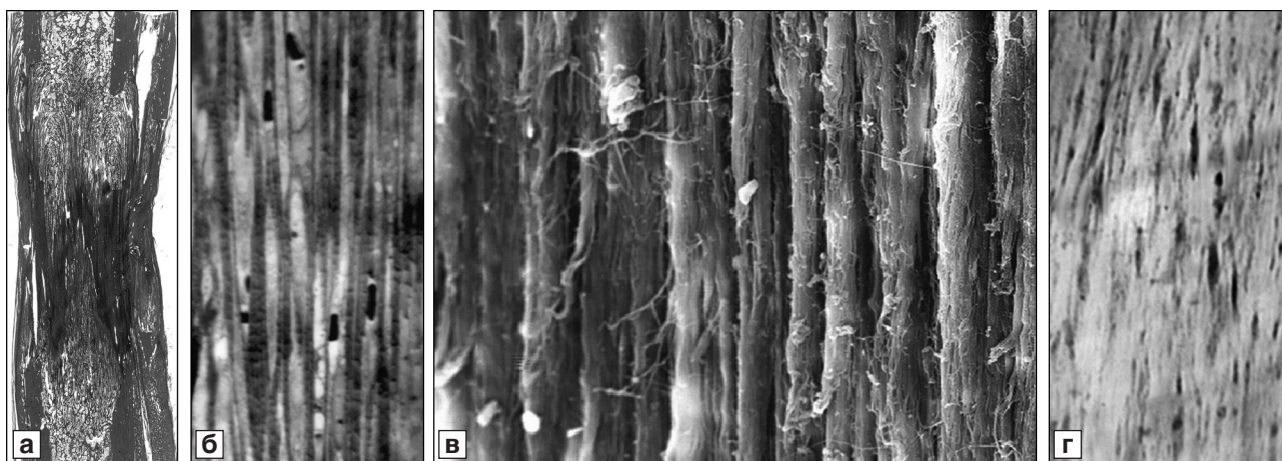


Рис. 4. Регенерат большеберцовой кости собаки через 10 сут distraction.

а — гистотопограмма продольного распила регенерата; б — малодифференцированные фибробластоподобные клетки в зоне соединительнотканной прослойки; в — фиброархитектоника соединительнотканной прослойки; г — пролиферирующие фибробластоподобные клетки соединительнотканной прослойки. а — гематоксин — эозин; б — метиленовый синий — ШИК-реакция (полутонкий срез); в — электронная сканогрaмма; г — иммуногистохимическая реакция с использованием маркера пролиферации Ki67. Ув.: а — 1,5; в — 250. б — об. 100, ок. 12,5; г — об. 16, ок. 12,5

Характеристика клеток остеобластического дифферона при удлинении голени у собак методом чрескостного distractionного остеосинтеза ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$, мкм²)

Исследованный показатель	Периоды эксперимента				
	Distraction, 5 сут	Distraction, 10 сут	Fixation, 30 сут	Without apparatus, 30 сут	Control
Площадь клеток	61,1±2,3*	80±3*, +	71,3±2,9**, ++	55,3±2,2+	53,8±2,1

Различия значимы по сравнению с контролем: * при $P < 0,01$; ** при $P < 0,05$. Различия значимы по сравнению с показателями в предыдущем периоде эксперимента: + при $P < 0,01$; ++ при $P < 0,05$.

эндотелиоцитов ($24,7 \pm 0,9\%$) ($P < 0,01$). Долевое распределение клеток в проксимальном и дистальном костных отделах было примерно однотипным, при незначительном преобладании остеогенных клеток в проксимальном отломке ($P < 0,05$): фибробластоподобные клетки — $13,7 \pm 0,5$ и $15,9 \pm 0,6\%$, остеобласты — $55,8 \pm 1,9$ и $49,0 \pm 0,9\%$, эндотелиоциты — $16,1 \pm 0,6$ и $14,4 \pm 0,7\%$, клетки моноцитарно-макрофагального дифферона — $6,30 \pm 0,29$ и $5,30 \pm 0,23\%$, тучные клетки — $9,6 \pm 0,3$ и $8,90 \pm 0,21\%$.

В интермедиарной зоне регенерата относительное содержание малодифференцированных клеток с ЯЦО от 0,8 до 1 и более 1 снизилось, в среднем, на 38,25% и составляло около 18% (см. рис. 2). При этом, на 12% увеличилась доля дифференцированных функционально активных клеток с ЯЦО 0,5–0,7. Содержание клеток с показателем до 0,5 возросло на 33,5%, что на 34% оставалось ниже, чем в контроле. Изменение фактора формы клеток в сторону эллипса (среднее значение 0,56) свидетельствовало о большей дифференцированности клеток, чем в предыдущем периоде.

К 30-м суткам фиксации область между отломками теряла зональное строение и была представлена эндостальным костным регенератом трабекулярного строения (рис. 5, а). Со сторо-

ны периоста было отмечено образование узкого непрерывного слоя мелкопетлистого губчатого вещества кости, формирующего корковую пластинку.

Содержание Са в срединной части регенерата на месте бывшей соединительнотканной прослойки составило $11,4 \pm 0,20$ вес.%, в области, приближенной к проксимальному отломку, — $13,2 \pm 1,4$ вес.%, к дистальному — $14,3 \pm 1,1$ вес.% (см. рис. 2). При этом, соотношение Са и Р не имело зональных различий и составляло $1,90 \pm 0,08$, что свидетельствовало о формировании в этих зонах кристаллической формы фосфата кальция.

Во всех исследованных участках преобладали клетки остеобластического дифферона (см. рис. 5, б). В этот период возрастала доля остеобластов ($57,0 \pm 2,6\%$), остеоцитов ($21,1 \pm 0,9\%$) и остеокластов ($11,2 \pm 0,4\%$), при снижении доли эндотелиоцитов ($12,8 \pm 0,6$) ($P < 0,01$), что связано с органотипической перестройкой костных структур и сосудистого русла, начинающейся в этот период.

О преобладании в регенерате дифференцированных клеток (до 93,3%) свидетельствовали показатели ЯЦО, характерные для остеоцитов и остеобластов. Фактор формы клеток приближался к таковому в контроле (см. рис. 3). Увеличение среднего показателя площади остеогенных клеток

(см. таблицу) объясняется усилением их биосинтетической функции. Однако некоторые остеобласты, обнаруживавшиеся на поверхности костных трабекул, сохраняли и пролиферативную активность, о чем свидетельствовала визуализация Ki67 в отдельных клетках (см. рис. 5, в).

Через 30 сут после снятия аппарата на гистотопограммах было видно формирование корковой пластинки компактного строения и костномозговой полости, содержащей костный мозг (см. рис. 5, г). Однако в срединной части этой зоны наблюдалось незначительное содержание резорбирующихся костных трабекул, а эндостальная поверхность новообразованной корковой пластинки еще не достигала полного органотипического строения. Содержание Са в различных участках новообразованного диафиза не имело значимых отличий ($P \geq 0,05$), составляя, в среднем, $17,2 \pm 1,0$ вес.% и приближаясь к показателям у интактных животных — $21,0 \pm 1,3$ вес.% (см. рис. 1). Отношение Са/Р соответствовало кристаллической форме гидроксиапатита у интактных собак и составляло $2,10 \pm 0,09$.

О приближении строения регенерата в этот период к органотипичному свидетельствовало преобладание в интермедиарной зоне регенерата дифференцированных остеогенных клеток — остеобластов ($52,0 \pm 1,9\%$), что подтверждалось показателями фактора формы (см. рис. 3), ЯЦО (см. рис. 2) и площади клеток (см. таблицу). Наблюдались значимое увеличение доли остеоцитов ($31,0 \pm 1,2\%$, $P < 0,05$) и уменьшение доли остеокластов ($7,1 \pm 0,3\%$, $P < 0,05$). Однако имела значимая разница в соотношении клеточного состава в новообразованной и интактной кости ($P < 0,01$) (остеобласты — $15,10 \pm 0,20\%$, остеоциты — $77,9 \pm 2,2\%$, эндотелиоциты — $7,0 \pm 0,28\%$).

Обсуждение полученных данных. При автоматическом удлинении голени с суточным темпом 3 мм за 120 приемов в период distraction малодифференцированные фибробластоподобные клетки срединной прослойки регенерата диафиза большеберцовой кости обладают остеогенной потенцией, более выраженной к окончанию этого периода. Об этом свидетельствует ШИК-

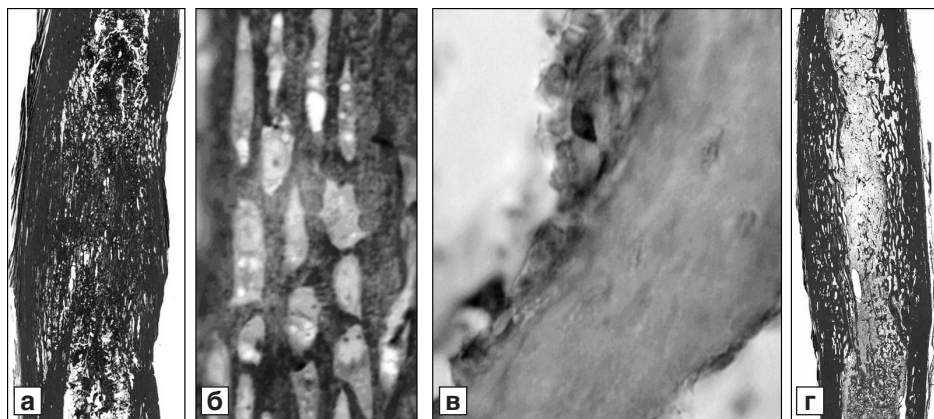


Рис. 5. Строение новообразованного участка диафиза большеберцовой кости собаки в пост-дистракционный период.

а — гистотопограмма продольного распила регенерата через 30 сут фиксации; б — остеоциты корковой пластинки проксимального костного отломка; в — пролиферирующие остеобласты на поверхности костной трабекулы в области эндоста; г — гистотопограмма продольного распила регенерата через 30 сут после снятия аппарата. а, г — гематоксиллин — эозин; б — метиленовый синий — ШИК-реакция; в — иммуногистохимическая реакция с использованием маркера пролиферации Ki67. Ув.: а, г — 1,5. б — об. 100, ок. 12,5; в — об. 40, ок. 12,5

положительное окрашивание межклеточного вещества прослойки, специфичное для сиалогликопротеинов, участвующих в процессе минерализации формирующегося костного матрикса [4, 14, 15]. Показатели ЯЦО, фактора формы и площади клеток, низкое содержание остеотропных химических элементов в межклеточном матриксе подтверждают преобладание в регенерате к середине периода distraction малодифференцированных клеток, которые к его окончанию дифференцируются в преостеобласты и в области костных отделов — в остеобласты. Этот факт объясняет быстрое формирование эндостального костного регенерата как и при режиме 3 мм за 180 приемов [6] уже к 30-м суткам фиксации. Однако в отличие от предыдущих исследований [1, 6] снижение дробности до 120 мм создает условия для формирования регенерата нормотрофического типа. Это свидетельствует об оптимальном соответствии скорости (3 мм/сут) и дробности (120 приемов) для обеспечения остеогенеза в диастазе удлиняемой кости.

С увеличением периода эксперимента пролиферативная активность остеогенных клеток снижается, а биосинтетическая — увеличивается, что объясняется большей дифференцированностью клеток и активизацией синтеза ими костного матрикса.

В диастазе формируется значительное количество капилляров, что подтверждается большой долей эндотелиоцитов в периоды distraction и фиксации. Это способствует хорошей оксигенации тканей регенерата. Периваскулярные клетки, располагающиеся по ходу сосудов, также являются одним из источников остеобластов, участвующих в минерализации коллагеновых волокон прослойки [2, 4]. Формирование новообразован-

ной костной ткани в дистракционном регенерате осуществляется только по интрамембранозному пути, что обеспечивается высокой дробностью дистракции и достаточностью кровоснабжения. В исследованиях других авторов при увеличении темпа до 3 мм с низкой дробностью отмечается как интрамембранозный, так и эндохондральный остеогенез [13].

При формировании костного регенерата на ранних этапах наблюдается наибольшая выраженность внутри- и междифферонной клеточной гетероморфии, отражающей фазность процесса регенерации и способствующей образованию провизорных костных структур эндостального генеза, обеспечивающих к 30-м суткам фиксации опороспособность новообразованного участка кости. В постдистракционный период происходит ослабление клеточной гетероморфии и преобладание клеток остеобластического дифферона, участвующих в формировании новообразованного участка кости, строение которого через 30 сут после снятия аппарата (75 сут после операции) приближается к органоспецифичному.

Таким образом, в условиях удлинения голени с суточным темпом 3 мм за 120 приемов новообразованный опороспособный участок диафиза формируется через 45 сут после операции, а через 75 сут эксперимента он приобретает органотипическое строение. Полученные результаты свидетельствуют о пластичности костной ткани, что в условиях высокостепенной автоматической дистракции позволяет увеличить суточный темп до 3 мм и сократить аппаратный период удлинения голени на 31% по сравнению с классической методикой, когда суточный темп не превышает 1 мм.

ЛИТЕРАТУРА

- Горбач Е.Н., Ступина Т.А., Варсегова Т.Н., Еманов А.А. Изучение динамики костеобразования, состояния суставного хряща и большеберцового нерва при повышенном темпе удлинения голени автодистрактором в эксперименте // Успехи соврем. естествознания. 2013. № 7. С. 42–47.
- Ирьянов Ю.М., Ирьянова Т.Ю. Репаративное костеобразование при удлинении конечности в условиях чрескостного дистракционного остеосинтеза // Морфология. 2003. Т. 123, вып. 3. С. 83–86.
- Попков А.В. Врожденное укорочение нижних конечностей у детей. Челябинск: тип. «Фотохудожник», 2011.
- Родионова Н.В. Функциональная морфология клеток в остеогенезе. Киев: Наук. думка, 1989.
- Чиркова А.М., Ерофеев С.А. Репаративная регенерация и перестройка кости после разрыва дистракционного регенерата // Гений ортопедии. 1997. № 4. С. 39–42.
- Шевцов В.И., Ерофеев С.А., Горбач Е.Н., Еманов А.А. Особенности костеобразования при удлинении голени автоматическими дистракторами с темпом 3 мм за 180 приемов (экспериментальное исследование) // Гений ортопедии. 2006. № 1. С. 10–16.
- Шевцов В.И., Макушин В.Д., Аранович А.М., Чегуров О.К. Хирургическое лечение врожденных аномалий развития берцовых костей. Курган: ГИПП «Зауралье», 1998.
- Шевцов В.И., Попков А.В. Оперативное удлинение нижних конечностей. М.: Медицина, 1998.
- Шевцов В.И., Попков А.В., Ерофеев С.А., Чиркова А.М. Автоматический дистракционный остеосинтез // Анналы травматол. и ортопед. 1995. № 1. С. 44–47.
- Шрейнер А.А., Ерофеев С.А., Щудло М.М. и др. Теоретические аспекты дистракционного остеосинтеза. Значение режима дистракции // Гений ортопедии. 1999. № 2. С. 13–17.
- Forriol F., Denaro L., Longo U.G. et al. Bone lengthening osteogenesis, a combination of intramembranous and endochondral ossification: an experimental study in sheep // Strategies Trauma Limb Reconstr. 2010. Vol. 5, № 2. P. 71–78.
- Li G., Simpson A.H., Kenwright J., Triffitt J.T. Assessment of cell proliferation in regenerating bone during distraction osteogenesis at different distraction rates // J. Orthop. Res. 1997. Vol. 15. № 5. P. 765–772.
- Li G., Simpson A.H., Kenwright J., Triffitt J.T. Effect of lengthening rate on angiogenesis during distraction osteogenesis // J. Orthop. Res. 1999. Vol. 17, № 3. P. 362–367.
- Malaval L., Modrowski D., Gupta A.K., Aubin J.E. Cellular expression of bone-related proteins during in vitro osteogenesis in rat bone marrow stromal cell cultures // J. Cell Physiol. 1994. Vol. 158, № 3. P. 555–572.
- Oyajobi B.O., Lomri A., Hott M. Isolation and characterization of human clonogenic osteoblast progenitors immunoselected from fetal bone marrow stroma using STRO-1 monoclonal antibody // J. Bone Miner. Res. 1999. Vol. 14, № 3. P. 351–361.

Поступила в редакцию 12.05.2014

PECULIARITIES OF BONE TISSUE MORPHOGENESIS DURING SHIN LENGTHENING USING THE METHOD OF TRANSOSSEOUS DISTRACTION OSTEOSYNTHESIS WITH THE INCREASED DAILY RATE

Ye. N. Gorbach, M. A. Stepanov

Histogenesis of bone tissue was studied in 25 adult mongrel dogs under conditions of automatic shin lengthening by the technique of transosseous distraction osteosynthesis with the daily rate of 3 mm in 120 repeats using the methods of light, scanning electron microscopy, electron probe microanalysis, immunohistochemistry and morphometry. During the distraction period, cellular heteromorphism and proliferative activity of the cells of connective tissue interlayer and periosteum were clearly detected in the interfragmental diastasis. In the post-distraction period, the reduction of cellular heteromorphism and the increase of the biosynthetic activity of the osteoblastic cells were observed while the provisional endosteal bone regenerate of normotrophic type with the signs of organotypic reorganization was formed. Intramembranous osteogenesis was noted at all the stages of the experiment. The organ-specific nature of the newly formed bone occurred by 30 days after the apparatus removal. Bone tissue plasticity and the conditions of high-fractional distraction allow to increase the daily rate of leg lengthening up to 3 mm, as well as to provide the formation of weight-bearing bone part during 45 days, thereby reducing by 31% the duration of the period of fixator use for shin lengthening in comparison with that one adopted in classic technique with the daily rate not exceeding 1 mm.

Key words: bone tissue, reparative osteogenesis, transosseous distraction osteosynthesis, autodistractor, increased daily rate

Laboratory of Morphology, G.A. Ilizarov Russian Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan