

***Рентгенологическая динамика формирования
дистракционного регенерата при удлинении конечности
автодистракторами в разное время суток***

В.И. Шевцов, С.А. Ерофеев, А.А. Шрейнер

***Roentgenological dynamics of regenerated bone formation during
limb lengthening in different diurnal periods of time using
autodistractors***

V.I. Shevtsov, S.A. Yerofeyev, A.A. Shreiner

Государственное учреждение науки

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

В работе представлены результаты рентгенологического изучения динамики костеобразования при удлинении голени у собак автоматическими дистракторами в разное время суток (день, ночь), которые позволили выявить однотипность происходящих регенераторных процессов независимо от того, в какое время суток происходило удлинение. При этом в условиях ночной автодистракции костеобразование протекало несколько активнее, чем при дневной, о чем свидетельствуют сроки фиксации конечности в аппарате до замещения прослойки костной тканью и формирования непрерывной корковой пластинки регенерата.

Ключевые слова: эксперимент, собаки, автоматическая дистракция, время суток, костеобразование, рентгенология.

The work presents the results of roentgenological study of osteogenesis dynamics during canine leg lengthening with automatic distractors in different diurnal periods (day-time, night-time), which allowed to reveal one and the same type of the regenerative processes occurred regardless of the diurnal period of time, when lengthening was performed. Besides, in case of autodistraktion at night osteogenesis was a little more active than in the day-time, that was demonstrated by the periods of limb fixation with the fixator till replacement of the interlayer with bone tissue and formation of the uninterrupted cortical plate of the regenerated bone.

Keywords: experiment, dogs, automatic distraction, diurnal period of time, osteogenesis, roentgenology.

До настоящего времени как при лечении больных, так и в экспериментальных исследованиях дистракцию проводили либо в дневное время суток (в ручном режиме) либо (с использованием автодистракторов) - круглосуточно. Вопрос об активности костеобразования при удлинении конечности в разное время суток, в частности, в дневной и ночной периоды, остается невыясненным. Между тем в работах по хронобиологии имеются данные о существовании внутрисуточных ритмов в жизнедеятельности и регенерации костной ткани. Так, исследованиями Dayid J. и др.[1] установлено, что в длинных трубчатых костях и челюстях здоровых растущих крыс и кроликов скорость формирования энхондральной кости самая большая в середине дня, а рост кортикальной кости достигает максимума ночью. У человека выделение с мочой гидроксипролина и

кислых глюкозамино кислот, отражающих скорость формирования и перестройки кости и других соединительных тканей, достигает максимума в вечерние часы. Исследованиями Stevenson S b и др. [2] установлены четкие внутрисуточные ритмы колебаний митотического индекса и высоты зоны роста кости у молодых крыс. Однако статистически значимых различий в темпах линейного роста кости, измеряемого в разные периоды суток, авторы не выявили. Количество делящихся клеток костного мозга [3] также имеет четко выраженный суточный ритм с максимумом в 2-5 часов и минимумом в 11-14 часов.

Целью настоящего исследования явилось изучение активности остеогенеза на основании рентгенологических данных при удлинении конечности у собак в условиях автоматической дистракции в разное время суток.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперименты выполнены на 23-х взрослых беспородных собаках, которым после закрытой

флексии остеоклазии большеберцовой кости в средней трети, обеспечивающей сохран-

ность остеогенных тканей и внутрикостных сосудов [4], проводили удлинение голени в течение 28 дней с темпом 1 мм в сутки в разное время суток с помощью автоматических дистракторов. В первой серии удлинение проводили

с 8-00 до 20-00, во второй - с 20-00 до 8-00. Рентгенографию удлиняемой голени в двух проекциях выполняли через каждые 7 дней дистракции, 15 дней фиксации и через месяц после снятия аппарата.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Автодистракция дневная (с 8-00 до 20-00 часов).

Через 14 дней дистракции (12 собак) диастаз был равен $14,0 \pm 0,23$ мм, формирующийся в нем регенерат имел зональное строение и продольно исчерченную структуру. Его поперечник в прямой проекции рентгенограмм в 8-и опытах был больше на 1-3 мм, в 4-х - равен; в боковой проекции в 5 случаях - больше на 1-3 мм, в 4-х - равен и в 3-х наблюдениях - меньше поперечника прилежащих концов отломков на 1-2 мм. Протяженность проксимального костного отдела составляла 3,7-8,7 мм (в среднем $6,1 \pm 0,55$ мм), дистального - 3,2-8,0 мм (в среднем $5,6 \pm 0,51$ мм). Разделяющая их полоса просветления была высотой 1,0-5,5 мм (в среднем $2,9 \pm 0,44$ мм), в 8-и опытах ее интенсивно пересекали плотно расположенные тени трабекул, в 3-х - они были единичными и в одном случае отсутствовали. В 3-х опытах в одной из проекций отмечено слияние эндо- и периостальных теней регенерата на уровне интермедиарного пространства, причем эти тени по протяженности были в основном равны между собой. В костно-мозговой полости отломков, вблизи края излома, на протяжении 10-37 мм (в среднем $24 \pm 1,8$ мм) определялись гомогенной структуры плотные тени (костные "пробки"), свидетельствующие об оссификации костного мозга. На поверхности отломков отмечены тени периостальных наслоений, преимущественно на медиальной поверхности (9 наблюдений), на передней поверхности - в 4-х случаях, на латеральной - в 3-х, и по задней поверхности отломков - на проксимальном также в 3-х, а на дистальном - в 7 опытах. Протяженность периостальных теней равнялась в среднем: на проксимальном - $13,7 \pm 1,54$ мм, на дистальном - $22,9 \pm 3,46$ мм.

К концу дистракции (28 дней, 11 собак) диастаз равнялся $27,6 \pm 0,2$ мм (рис. 1). Регенерат в большинстве наблюдений имел бочкообразную форму. Его поперечник в прямой проекции в 8 опытах был на 1-4 мм больше, в 3-х - равен, а в боковой проекции рентгенограмм в 6 случаях больше на 1-4 мм, в 2-х - равен и в 3-х - на 1 мм меньше поперечника прилежащих концов отломков. Протяженность проксимального кост-

ного отдела регенерата была 9,4-15,3 мм (в среднем $12,4 \pm 0,65$ мм), дистального - 8,9-14,2 мм (в среднем $11,5 \pm 0,61$ мм). Разделяющая их прослойка была высотой 1,5-6,3 мм, в 4 опытах - до 7 мм (в среднем $3,8 \pm 0,51$ мм); преимущественно в эндостальной части регенерата ее пересекали трабекулярные тени. В 5 опытах она была сплошь перекрыта тенями в виде «интенсивного дождя», еще в 5 - эти тени сливались между собой, образуя отдельные костные "мостики" и в 1 опыте были отмечены лишь единичные, редко расположенные тонкие тени трабекул. Регенерат в целом сохранял продольно исчерченную структуру, при этом у 5 собак у оснований костных отделов регенерата определялись дополнительные зоны просветления незначительной протяженности, до 2-5 мм. По периферии регенерата отмечали уплотнение его теней - формирование корковой пластинки, в 5 опытах - с 3-4-х сторон, еще в 5 - с 1-2-х сторон. В одном случае мы этой картины не наблюдали. Следует отметить, что в данном эксперименте остеогенез был замедленным, высота полосы просветления была 3-10 мм. По-видимому, это было обусловлено нарушением внутрикостного кровообращения. На рентгенограммах не определялась тень футляра питательной артерии, являющейся типичной деталью рентгенологической картины регенерата, формирующегося после флекссионной остеоклазии [5]. В остальных наблюдениях в одной из проекций четко просматривался футляр, образующийся вокруг *a. nutritia*. К этому сроку только в 4-х наблюдениях в дистальном отломке определялись костные "пробки" протяженностью 13-27 мм (в среднем $21,0 \pm 2,32$ мм). Также стала стихать и периостальная реакция на поверхности отломков, тени периостальных наслоений обнаруживались в основном с двух сторон: медиальной - в 7 опытах и по задней поверхности - в 6. На дистальном отломке их протяженность составляла $27,7 \pm 3,97$ мм, на проксимальном - $14,4 \pm 2,68$ мм, толщина этих теней была примерно одинаковой, от 0,5 до 3,0 мм. Признаки остеопороза дистального отломка отмечены в 8 опытах, проксимального - у 3-х животных.

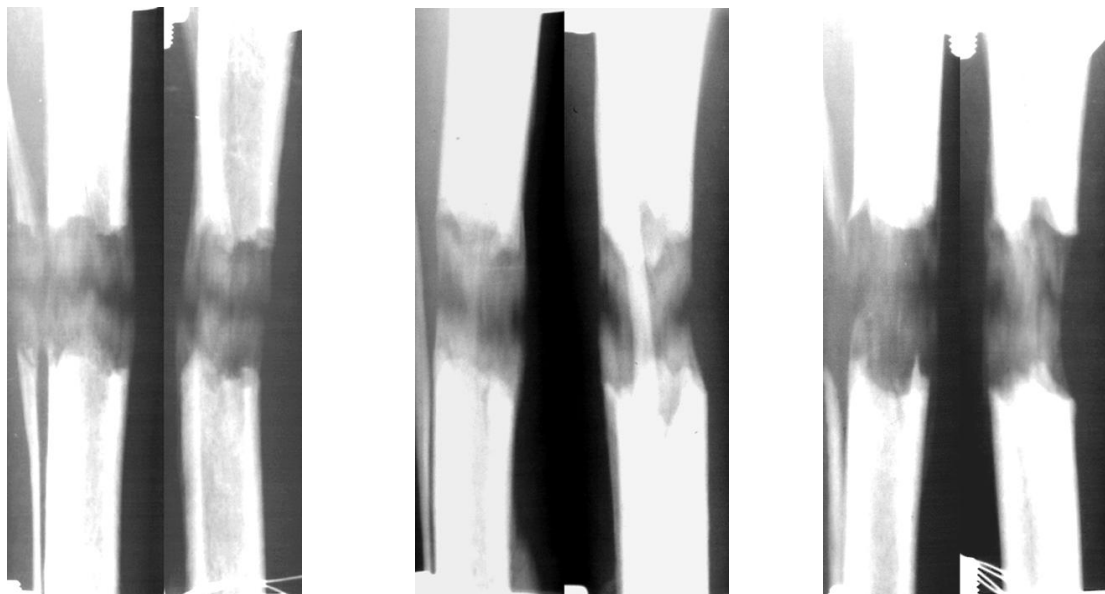


Рис. 1. Рентгенограммы формирующегося регенерата на срок 28 дней дистракции при удлинении конечности автодистракторами в течение дня.

Через 30 дней фиксации (8 собак, рис. 2) в большинстве наблюдений (7 опытов) поперечник регенерата был больше поперечника прилежащих концов отломков на 1-4 мм, в одном опыте в одной из проекций рентгенограмм – равен, в другой – меньше на 1 мм. В 4-х случаях регенерат утрачивал зональное строение, на месте прослойки определялись или плотная тень, или чередование очажков уплотнения и просветления. В других наблюдениях прослойка была замещена в эндостальной части регенерата и сохранялась лишь в интермедиарных пространствах, при этом высота ее достигала 3-4-х мм. В этих наблюдениях костные отделы регенерата имели протяженность 12-20 мм. Структура регенерата у его основания была гомогенной, а в средней части – продольно исчерченной. В 5 случаях в нем прослеживались слабые

тени костного футляра вокруг питательной артерии. В одном опыте к этому сроку сформировалась единая костно-мозговая полость, в других – костно-мозговые полости костных отделов регенерата были разобщены, их протяженность составляла 5-15 мм в проксимальном и 3-12 мм – в дистальном. В 4-х опытах по периферии регенерата с 2-4-х сторон определялись непрерывные тени формирующейся корковой пластинки. В других экспериментах непрерывная корковая пластинка определялась только с одной из сторон, на остальных – эти тени на уровне прослойки прерывались, их протяженность была от 11 до 20 мм, а толщина – 0,5-2-3 мм. Периостальные наслоения на отломках определялись лишь в отдельных опытах. Отмечался легкий остеопороз концов отломков.

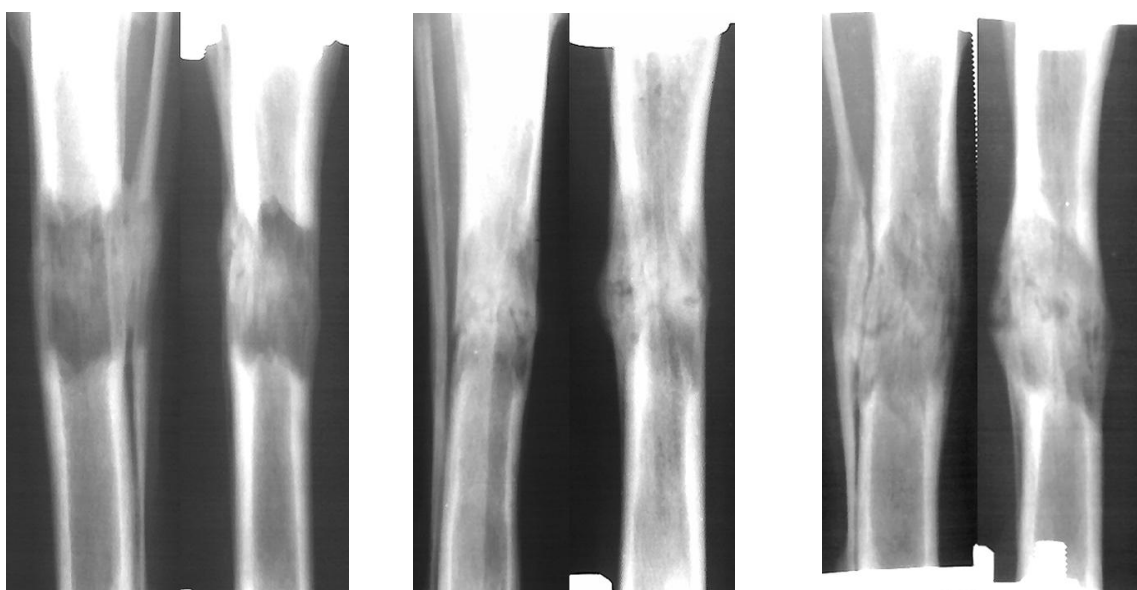


Рис. 2. Рентгенограммы дистракционного регенерата через 30 дней фиксации после удлинении конечности автодистракторами в течение дня.

У 4-х собак данной серии опытов период фиксации продолжался 45 дней. К этому времени регенерат утрачивал зональное строение, на месте прослойки в 3-х опытах отмечалась плотная тень, а в 1 опыте - чередование очажков уплотнения и просветления. Поперечник регенерата выравнивался и в 2-х опытах был на 1-2 мм больше, в 2-х - равен поперечнику прилежащих концов отломков. Структура регенерата становилась гомогенной, в 2-х случаях определялся футляр *a.nutritia*. В одном опыте в регенерате просматривалась единая костно-мозговая полость, в других - на уровне бывшей прослойки костномозговые полости были разобщены; их протяженность в проксимальном отделе регенерата составляла 9-16 мм, дистальном - 4-14 мм. Непрерывная корковая пластинка со всех 4-х сторон регенерата сформировалась в одном эксперименте, в других - она определялась лишь с 2-х сторон. Периостальные наслоения на отломках отмечены в 2-х опытах, преимущественно по задней поверхности. Сохранялся легкий остеопороз фрагментов.

После снятия аппарата наблюдали 5 собак. В 2-х случаях аппарат был снят через 30 дней фиксации, в 3-х - через 45 дней. У одной собаки после снятия аппарата (фиксация 45 дней) в результате травмы произошел перелом регенерата. У остальных животных, наблюдавшихся через месяц после снятия аппарата, продолжалась органотипическая перестройка регенерата. У всех 4-х животных к этому сроку сформировалась единая костно-мозговая полость, плотность и толщина теней новообразованной корковой пластинки были близки к материнской, хотя граница между материнской и новообразованной костью еще прослеживалась. Во всех опытах поперечник новообразованного участка кости был больше поперечников прилежащих участков кости. Отмечен легкий остеопороз удлинённой кости.

Автодистракция ночная (с 20-00 до 8-00 часов).

Через 14 дней дистракции (11 собак) диастаз был равен $14,0 \pm 0,2$ мм, формирующийся в диастазе регенерат приобретал зональное строение. Его поперечник в 6 опытах был больше на 1,0-4,0 мм, в 4 - равен и в одном случае на 1,0 мм меньше поперечника прилежащих концов отломков. Регенерат у 8 собак приобретал продольно исчерченную структуру, у 2-х он был гомогенным. Протяженность его костных отделов составляла: проксимального - $3,5-7,8$ мм (в среднем $5,6 \pm 0,52$ мм), дистального - $3,8-6,9$ мм (в среднем $5,35 \pm 0,4$ мм). Костные отделы разделяла полоса просветления, имеющая, как правило, зигзагообразную форму, ее высота составляла $1,3-5,4$ мм (в среднем $3,2 \pm 0,45$ мм). В 9 наблюдениях прослойку пересекали трабекулярные тени, исходящие из костных отделов регенерата, причем в 5 случаях они были единич-

ными, а в 4-х - сливались между собой, сплошь перекрывая "зону роста" в эндостальной части регенерата. По периферии регенерат был представлен проникающими в диастаз периостальными тенями. В большинстве опытов они были вровень с эндостальными тенями костных отделов регенерата. Только в 2-х случаях на одной из проекций рентгенограмм выявлено слияние эндо- и периостальных теней на уровне интермедиарного пространства. Периостальные наслоения на отломках определялись преимущественно по задней (8 опытов) и медиальной (9 опытов) поверхностям, их протяженность в среднем равнялась $14,4 \pm 1,1$ мм и $23,05 \pm 2,8$ мм соответственно на проксимальном и дистальном фрагментах. Толщина этих теней была в основном не более 2,0 мм. Практически во всех экспериментах в костно-мозговой полости отломков, вблизи диастаза, определялись тени эндостальной реакции. В проксимальном отломке их протяженность составляла $22,1 \pm 1,69$ мм, в дистальном - $24,73 \pm 2,5$ мм.

К концу дистракции - 28 дней - (10 наблюдений, рис. 3) диастаз соответствовал темпу удлинения и равнялся $28,0 \pm 0,33$ мм. Образовавшийся к этому сроку дистракционный регенерат имел продольно исчерченную структуру. Его поперечник в 8 случаях был больше поперечника прилежащих концов отломков на 1-3 мм, в 2-х - в одной из проекций они были равными. Протяженность проксимального костного отдела регенерата равнялась $10,5-15,5$ мм (в среднем $13,0 \pm 0,55$ мм) мм и дистального - $9,7-14,5$ мм (в среднем $12,0 \pm 0,58$ мм). Разделяющая их прослойка была высотой $1,3-5,8$ мм, в 2-х опытах - до 7 мм (в среднем $3,5 \pm 0,53$ мм). Преимущественно в проекции костно-мозговой полости ее интенсивно пересекали трабекулярные тени, сливающиеся в костные "мостики", и только в 2-х опытах эти тени были единичными, редко расположенными. По периферии регенерата отмечали уплотнение тени - формирование корковой пластинки. В 2-х опытах эту картину наблюдали со всех сторон регенерата в обеих проекциях, в остальных - с 2-3-х сторон. В 7 наблюдениях выявлено слияние эндо- и периостальных теней регенерата. Практически во всех опытах регенерат продольно пересекала тень костного футляра вокруг питательной артерии. В ряде экспериментов у оснований костных отделов регенерата отмечены дополнительные зоны просветления протяженностью 2-7 мм - признаки перестроочных процессов. Периостальная реакция протяженностью до 32-х мм и толщиной до 2-х мм определялась с 1-2 сторон отломков, реже всего на их передней поверхности. Эндостальная реакция протяженностью 24 - 38 мм в обоих отломках одновременно отмечена только в 2-х случаях, в 5 - в одном из фрагментов. К этому сроку в 4-х экспериментах выявлен легкий остеопороз вблизи суставных концов от-

ЛОМКОВ.

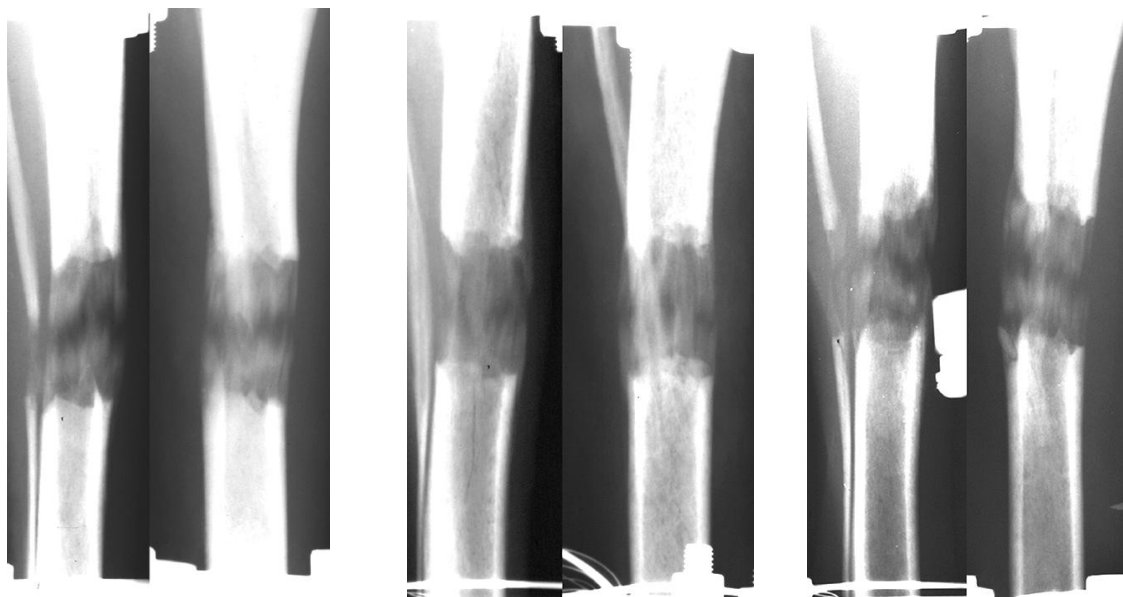


Рис. 3. Рентгенограммы формирующегося регенерата на срок 28 дней дистракции при удлинении конечности автодистракторами в ночное время суток.

Через месяц фиксации (6 собак, рис. 4) в 4-х наблюдениях диастаз был полностью замещен костной тканью, на месте прослойки в 3-х опытах тень регенерата была более плотной, а он сам имел гомогенную структуру. В 2-х наблюдениях сохранялись участки прослойки, регенерат имел продольно исчерченную структуру. В одном из этих опытов она была замещена на 3/4 своего поперечника, в другом - определялась в виде отдельных продольных щелей высотой 1-3 мм.

Поперечник регенерата в 4-х случаях был больше поперечников отломков на 1-3 мм, в 2-х - в одной из проекций рентгенограмм был равен, а в другой - больше на 1 мм. По периферии регенерата в 4-х наблюдениях с 2-4-х сторон определялись новообразованные корковые пластинки толщиной до 5 мм, полностью перекры-

вающие диастаз. В других опытах они прерывались на уровне середины регенерата, как минимум с 3-х его сторон. Протяженность их была 14-16 мм, а толщина не более 3-х мм. В одном опыте, в результате перестроечных процессов, в регенерате сформировалась единая с отломками костно-мозговая полость, в остальных - протяженность их увеличилась до 5-16 мм. Футляр питательной артерии определялся преимущественно в боковой проекции, его тени становились нечеткими. Периостальные наслоения обнаруживались, как правило, по задней поверхности отломков, протяженность их увеличилась до 60-70 мм, толщина составляла 1-2 мм. Во всех опытах отмечен легкий остеопороз суставных концов кости.

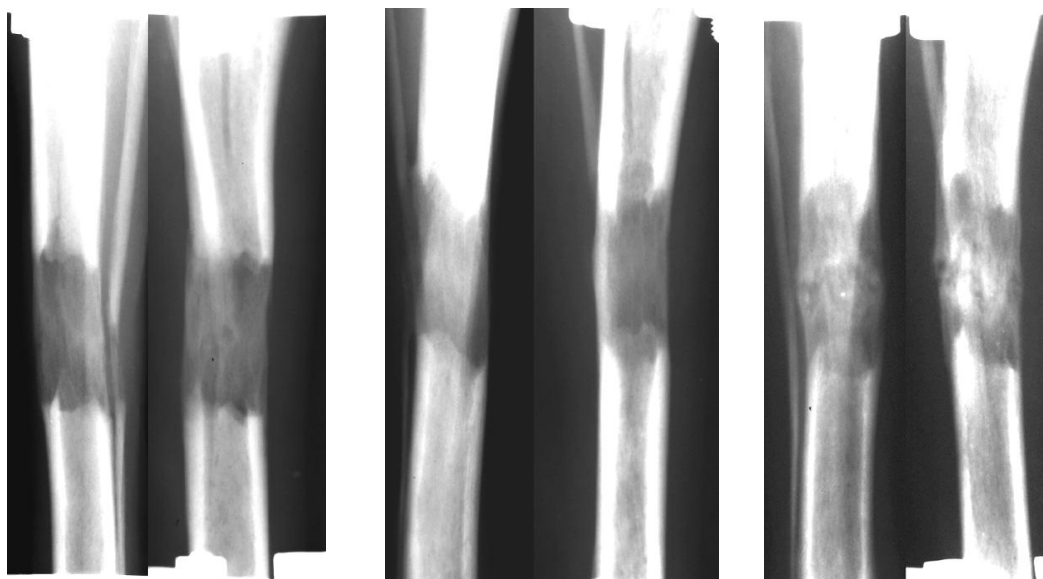


Рис. 4. Рентгенограммы distractionного регенерата через 30 дней фиксации после удлинения конечности автодистракторами в ночное время суток.

У 1 собаки период фиксации продолжался 45 дней. К этому сроку регенерат приобретал гомогенную структуру, а по периферии с 2-4-х сторон определялись непрерывные тени новообразованных корковых пластинок. Таким образом, для полного замещения диастаза костной тканью в 3-х опытах потребовалось 30 дней, в одном – 45 дней фиксации.

Через месяц после снятия аппарата поперечник регенерата в основном сохранял бочкообразную форму в одной из проекций рентгенограмм. Единая костно-мозговая полость сформировалась только в одном опыте, в остальных случаях в центре регенерата сохранялись участки уплотнения. Футляр *a.nutritia* был замечен в 2-х опытах. Новообразованная корковая пластинка была толщиной 1-4 мм, в одном случае по передней поверхности кости она по-прежнему прерывалась. В 2-х случаях сохранялись периостальные наслоения и у всех собак – легкий остеопороз кости.

Проведенные рентгенологические исследования активности костеобразования при удлинении конечностей в разное время суток (день, ночь) в условиях автоматической distraction позволили выявить однотипность происходящих регенераторных процессов. Следует отметить, что при ночной distraction костеобразование протекало несколько активнее, чем при

дневной, о чем свидетельствуют сроки фиксации конечности в аппарате до замещения прослойки костной тканью и формирования 2-4 сторон регенерата непрерывной корковой пластинки. После дневного удлинения у 3-х собак из 5 потребовался период фиксации в 45 дней, после ночного – из 4-х опытов только в 1 случае фиксация продолжалась 45 дней.

В проведенных нами ранее исследованиях, где удлинение автодистракторами было круглосуточным [6, 7], период фиксации продолжался до 30 дней, и в ряде опытов в процессе distraction наблюдалось преждевременное сращение регенерата. Сопоставительный анализ исследованных различных режимов автоматической distraction свидетельствует, таким образом, в пользу круглосуточного удлинения. При этом автоматическая distraction, как дневная, так и ночная, дает лучшие результаты, чем традиционная дневная четырехкратная ручная подкрутка, где период фиксации продолжается от 30 до 60 дней [7, 8, 9]. Это обусловлено, вероятно, тем, что автоматическая distraction создает условия для более равномерного и более дискретного распределения суточного увеличения диастаза между фрагментами во времени. Этот фактор оказался, таким образом, более преобладающим в обеспечении высокой активности остеогенеза, чем временной, внутрисуточный.

ЛИТЕРАТУРА

1. Simmons D.J., Cohen M. Postfracture linear bone growth in rats: a diurnal rhythm /Clin. Orthop. - 1980. - V.149. - P. 240-248
2. Is longitudinal bone growth influenced by diurnal variation in the mitotic activity of chondrocytes of the growth plate? /S. Stevenson, E.B. Hunziker, W. Herrmann, R.K. Schenk // J. Orthop. Res. - 1990. - Vol. 8, No 1. - P. 132-135.
3. Серая В.М., Дружинина Ю.П., Родина Г.П. Суточные изменения состояния системы кроветворения у мышей разных линий // Суточные ритмы физиологических процессов. - М, 1972. - С. 65-71.
4. Илизаров Г.А., Шрейнер А.А. Закрытая остеотомия трубчатых костей в эксперименте // Теоретические и практические аспекты чрескостного компрессионного и distractionного остеосинтеза: Тез. докл. Всесоюз. науч.-практ. конф. - Курган, 1976. - С. 38-40.
5. Шрейнер А.А. Удлинение голени в условиях сохранения остеогенных тканей и кровоснабжения кости (эксперим. исслед.): Дис... канд. мед. наук. - Курган, 1978. - 263 с.
6. Чиркова А.М., Ерофеев С.А. Рентгено-морфологические особенности репаративного остеогенеза при автоматической distraction // Травматол. ортопед. России. - 1994. - N 2. - С. 142-148.
7. Автоматический distractionный остеосинтез / В.И. Шевцов, А.В. Попков, С.А. Ерофеев, А.М. Чиркова // Анналы травматологии и ортопедии. - 1995. - N 1. - С. 44-47.
8. Ерофеев С.А. Значение дробности distraction при удлинении конечности по Илизарову (эксперим. исслед.): Автореф. дис... канд. мед. наук. - Пермь, 1994. - 23 с.
9. Зависимость репаративной регенерации кости и функционального состояния удлиняемой конечности от дробности distraction (эксперим. исследов.) / Г.А. Илизаров, С.А. Ерофеев, А.А. Шрейнер и др. // Гений ортопедии. - 1995. - N 1. - С. 8-12.
10. Теоретические аспекты distractionного остеогенеза. Значение режима distraction / А.А. Шрейнер, С.А. Ерофеев, М.М. Щудло и др. // Гений ортопедии. - 1999. - N 2. - С. 13-18.

Рукопись поступила 03.01.01.