

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РЕПАРАТИВНОГО КОСТЕОБРАЗОВАНИЯ ПО ДАННЫМ КТ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

В.И. Шевцов, М.А. Корабельников, Г.В. Дьячкова, Л.В. Суходолова, Д.Ю. Борзунов

*Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова, генеральный директор – з.д.н. РФ, чл.-кор. РАМН, д.м.н. профессор В.И. Шевцов
г. Курган*

Введение. Необходимость качественной и количественной оценки состояния дистракционного регенерата была обоснована результатами многочисленных научных исследований [2, 5–8, 12, 15] с постепенно увеличивающимся количеством методов диагностики (от классической рентгенографии до компьютерной томографии и денситометрии) [3, 4, 9–11, 14]. Значение различных методов визуализации для определения степени зрелости дистракционного регенерата дискретно возрастает.

Компьютерная томография позволяет оценить поперечную структуру костного регенерата даже на ранних сроках его формирования, во время дистракции остеотомированного фрагмента длинной трубчатой кости с помощью аппарата внешней фиксации. Некоторые исследователи [1] считают, что хотя металлические детали дистракционного аппарата проявляются на изображении в виде характерных линейных артефактов, но их влияние на показатели денситометрических измерений незначительно. Тем не менее, оно имеет место, и для безартефактного денситометрического изучения были разработаны специальные рентгенонегативные узлы для аппарата Илизарова [11, 13]. Однако объективные критерии качественных и количественных особенностей дистракционного регенерата по отношению к частным нозологиям до сих пор не разработаны.

Цель исследования: изучить томографические особенности дистракционного регенерата в экспериментальных условиях с количественной оценкой исследуемых параметров при замещении дефектов голени.

Материал и методы

Выполнены две серии опытов на 25 взрослых беспородных собаках в возрасте от 1 до 3 лет, с массой тела $19,1 \pm 0,5$ кг и длиной голени $18,3 \pm 0,2$ см. Кортикотомии для замещения пострезекционных дефектов большеберцовой кости выполняли в метадиафизе и диафизе дистального отломка. Удлине-

ние дистального отломка большеберцовой кости осуществляли в условиях нарушенного магистрального кровотока в удлиняемом отломке. У 12 экспериментальных животных дополнительные кортикотомии выполняли после перемещения несвободного фрагмента на половину величины сформированного дефекта берцовых костей, а у 13 – на двух уровнях одновременно. Таким образом, в 12 наблюдениях формирование дистракционных регенератов на двух уровнях было последовательным, в 13 случаях – одновременным. Перемещение сформированных фрагментов в межотломковом диастазе начинали через 6 дней после операции с суточным темпом 1 мм за 4 приема.

Исследования проводили на компьютерном томографе Somatom Smile фирмы «Siemens» во время дистракции (21–24 дня) на 14, 30, 60, 90, 120 дни фиксации и на 90, 120, 150–180 дни после снятия аппарата Илизарова.

Компьютерную томографию проводили животным в положении лежа на левом боку.

Исследование начинали с обзорной цифровой рентгенограммы (топограммы). Проводили оценку перестройки дистракционного регенерата, выбор диапазона сканирования (рис. 1). Выбор числа коллимации (толщины среза) пучка рентгеновского излучения при спиральном сканировании зависел от протяженности диапазона сканирования и колебался от 2 до 5 мм.

Обработку аксиальных срезов дистракционного регенерата проводили в режиме мультипланарной реконструкции в сагиттальной и фронтальной плоскостях с толщиной сечения, равной диаметру материнской кости – режим MPR Thick (рис. 2). Для детального изучения структур регенерата, степени органотипической перестройки на этапах дистракции, фиксации при исследовании отдалённых результатов и исходных показателей обработку аксиальных срезов дистракционного регенерата проводили в режиме мультипланарной реконструкции в сагиттальной и фронтальной плоскостях с

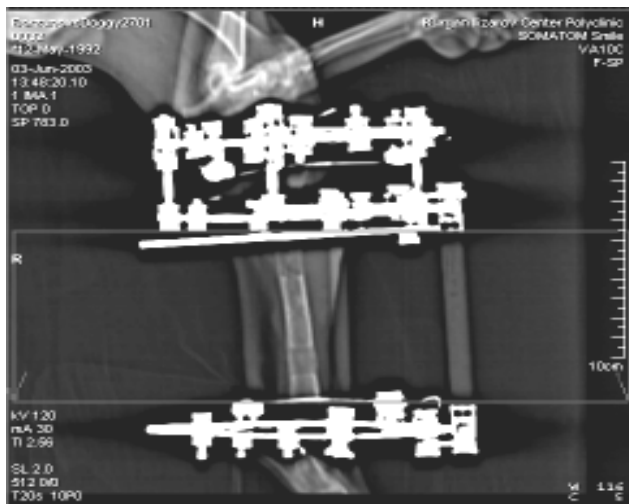


Рис. 1. Компьютерная топограмма нижней конечности собаки № 2701. Исследование дистракционного регенерата.



Рис. 2. Мультипланарная реконструкция
дистракционных регенератов и перемещенных
фрагментов собаки № 2496.

толщиной сечения равной толщине пучка рентгеновского излучения MPR Thin.

На полученных изображениях выделяли область дистракционного регенерата, автоматически высчитывалась площадь (см^2) и плотность области интереса в единицах Хансфилда (HU).

Определяли также площадь и плотность проксимального и дистального отделов регенерата, соединительно-тканной прослойки («зоны роста») регенерата.

Результаты исследования

Формирование дистракционных регенератов при последовательном многоуровневом удлинении дистального отломка большеберцовой кости (1 серия опытов).

Период distraction. По данным компьютерной томографии, на этот же срок наблюдения у собаки № 2696 площадь прослойки составляла 0,53 см², ее плотность – 194,3 НУ (рис. 3).

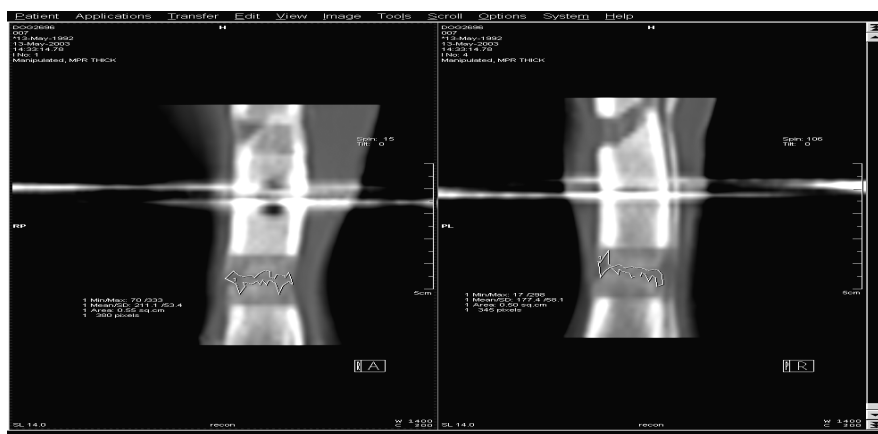


Рис. 3. Компьютерная томограмма (собака № 2696), область прослойки дистального дистракционного регенерата, 4 дня фиксации.



Рис. 4. Компьютерная томограмма (собака № 2696), площадь регенерата (1) область прослойки дистального дистракционного регенерата (3), 31 день фиксации.

Период фиксации. Площадь прослойки дистального дистракционного регенерата собаки № 2696 к 31 дню периода фиксации уменьшилась до $0,36 \text{ см}^2$, а ее плотность возросла до $290,4 \text{ HU}$ (рис. 4).

При измерении площадей дистракционных регенератов с использованием компьютерной томографии установлено их уменьшение в процессе фиксации. В начале фиксации площадь проксимального дистракционного регенерата составляла $2,4 \pm 0,2 \text{ см}^2$, дистального – $2,5 \pm 0,2 \text{ см}^2$. К 90 дням периода фиксации площадь проксимального регенерата уменьшалась до $1,63 \pm 0,21 \text{ см}^2$, дистального – до $1,71 \pm 0,62 \text{ см}^2$. Уменьшение площадей дистракционных регенератов в процессе фиксации, вероятно, было связано с постепенным снижением интенсивности периостальной реакции в процессе дистракции и последующей фиксации, а также с процессами компактизации новообразованной кости по периферии (рис. 5).

В процессе фиксации не было выявлено значимых изменений в плотности новообразованной костной ткани. В начале фиксации плотность проксимального дистракционного регенерата составляла $346,0 \pm 90,2 \text{ HU}$, дистальный имел плотность $344,8 \pm 95,8 \text{ HU}$. К концу периода фиксации ее значения были

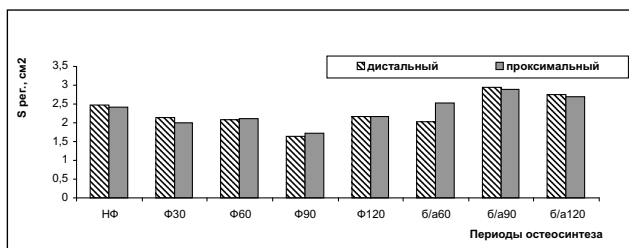


Рис. 5. Изменение площадей дистального и проксимального регенератов на различных этапах наблюдения (III серия опытов).

соответственно $368,2 \pm 96,4 \text{ HU}$ и $319,8 \pm 1,23 \text{ HU}$ (рис. 6). В то же время в аналогичные периоды наблюдений выявлено значительное снижение плотности перемещенных фрагментов: в начале периода фиксации сформированные фрагменты имели плотность $688,9 \pm 8,8 \text{ HU}$, к концу периода фиксации – $363,1 \text{ HU}$ (рис. 7).

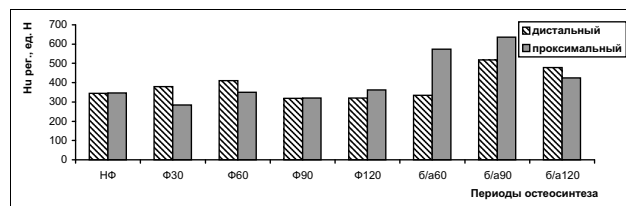


Рис. 6. Изменение плотностей дистального и проксимального регенератов на различных этапах наблюдения (III серия опытов).

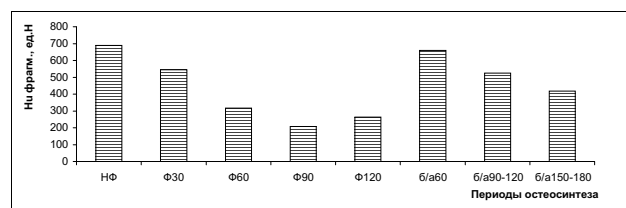


Рис. 7. Изменение плотностей фрагментов на различных этапах наблюдения (III серия опытов).

Период после снятия аппарата. Дистракционные регенераты претерпевали дальнейшую органотипическую перестройку, связанную с их компактизацией по оси, периферии и возможной периостальной реакцией. Так, к 90 дню после снятия аппарата площадь дистального дистракционного регенерата возрастала до $2,94 \text{ см}^2$, проксимального – до $2,89 \text{ см}^2$ (рис. 5). Плотность прокси-

мального дистракционного регенерата составила $636,2 \pm 47,1$ HU, дистального – $518,6 \pm 44,1$ HU (рис. 6). Уменьшение площадей дистракционных регенератов и их плотностей к 6 месяцам после демонтажа аппарата, вероятно, было связано с процессами дальнейшей компактизации новообразованных участков кости по периферии (дистракционных регенератов и периостальных напластований костной ткани), формирования компактного слоя кости и костномозговой полости большеберцовой кости. Плотность фрагментов возрастала и в различные сроки после снятия аппарата колебалась от $417,6 \pm 125,9$ до $658,6 \pm 95,4$ HU (рис. 7).

Формирование дистракционных регенератов при одновременном многоуровневом удлинении дистального отломка большеберцовой кости (2 серия опытов).

Период дистракции. По данным компьютерной томографии, в конце дистракции площадь прослойки проксимального дистракционного регенерата составляла $0,32 \pm 0,09$ см², плотность – $171,9 \pm 78,5$ HU (рис. 8). В этот период наблюдения площадь прослойки дистального дистракционного регенерата была $0,69$ см², а ее плотность – $77,7$ HU (рис. 9).

Период фиксации. К 30 дню фиксации площадь прослойки дистального дистракционного регенерата уменьшалась до $0,49$ см². Плотность прослойки составляла $159,4$ HU, что связано с ее неравномерной оссификацией (рис. 10). К 2 месяцам фиксации во всех наблюдениях костные отделы дистракционных регенератов сливались.

К 60 дню фиксации площадь прослойки дистального дистракционного регенерата уменьшалась до $0,33$ см², плотность прослойки составляла $139,2$ HU (рис. 11).

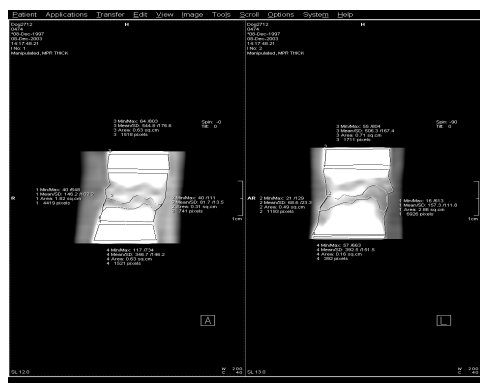


Рис. 8. Компьютерная томограмма (собака № 2712), площадь регенерата (1); область прослойки проксимального дистракционного регенерата (2), 21 день дистракции.

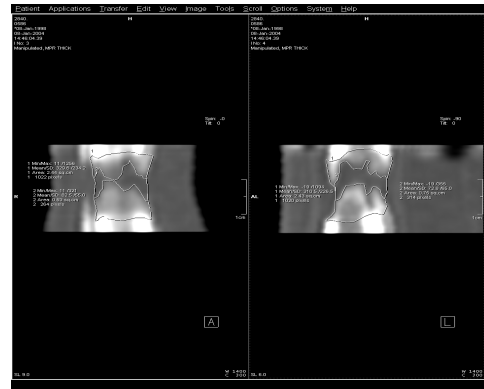


Рис. 9. Компьютерная томограмма (собака № 2840), площадь регенерата (1); область прослойки дистального дистракционного регенерата (2), 24 дня дистракции.

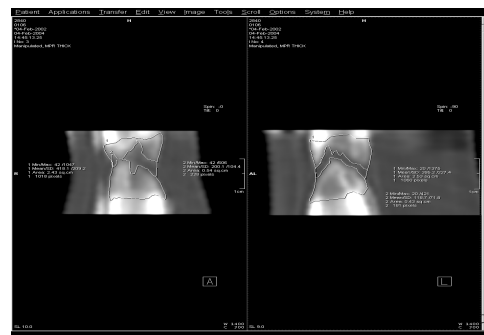


Рис. 10. Компьютерная томограмма (собака № 2840), площадь регенерата (1); область прослойки дистального дистракционного регенерата (2), 30 дней фиксации.

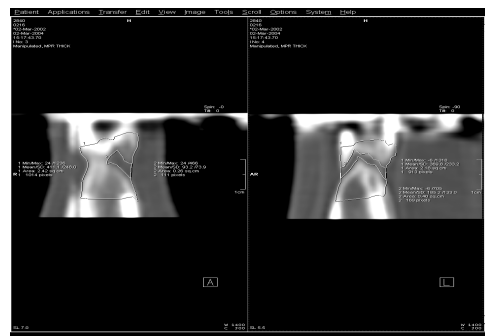


Рис. 11. Компьютерная томограмма (собака № 2840), площадь регенерата (1); область прослойки дистального дистракционного регенерата (2), 60 дней фиксации.

В процессе фиксации было отмечено одностороннее изменение плотности дистракционных регенератов: плотность проксимального дистракционного регенерата возросла от $265,4 \pm 113,7$ HU до $353,9 \pm 98,9$ HU, дистального регенерата – от $320,1 \pm 95,8$ HU до $390,5 \pm 101,0$ HU (рис. 12).

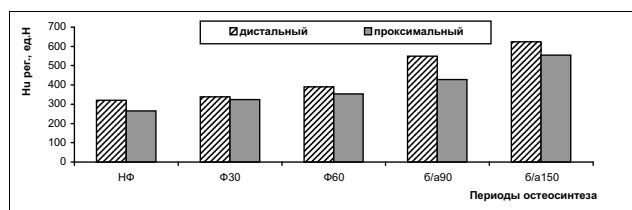


Рис. 12. Изменение плотностей дистального и проксимального регенератов на различных этапах наблюдения (2 серия опытов).

Изменение плотности перемещенных фрагментов на всех этапах наблюдений не имело значимых отличий, характерных для первой серии опытов. В описываемом периоде плотность фрагментов уменьшалась от $663,4 \pm 129,7$ HU в начале фиксации до $613,4 \pm 13,3$ HU к ее окончанию (рис. 13).

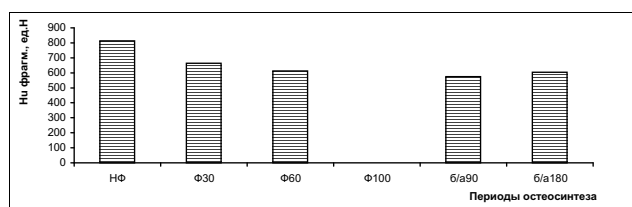


Рис. 13. Изменение плотностей фрагментов на различных этапах наблюдения (2 серия опытов).

Отсутствие значительных изменений плотностей сформированных фрагментов во второй серии опытов, на наш взгляд, было связано с менее длительными периодами перемещения фрагментов и фиксации сегмента аппаратом по сравнению с аналогичными сроками наблюдений в опытах первой серии.

Период после снятия аппарата. В течение всего периода после снятия аппарата была отмечена однонаправленная динамика увеличения плотности новообразованных участков кости. Так, плотность проксимального дистракционного регенерата через 3 месяца после демонтажа аппарата составляла 428,5 HU, к 5 месяцам после снятия аппарата проксимальный регенерат имел плотность 554,3 HU. В эти же периоды наблюдения плотность дистального дистракционного регенерата составляла соответственно 550,0 и 624,4 HU. Преобладание плотности дистального дистракционного регенерата над плотностью проксимального, вероятно, было связано с незавершенными процессами ремоделирования костной ткани: компактизации новообразованных участков кости по периферии и формирования компактного слоя кости, а также образования костномозговой полости в диафизарном отделе большеберцовой кости. Плотность фрагментов колебалась от $573,7 \pm 95,9$ до $604,3 \pm 27,5$ HU.

Заключение

Полученные данные выявляют однонаправленные закономерности в КТ-картине развития и формирования дистракционного регенерата при замещении различными способами дефектов длинных трубчатых костей, что подтверждается одинаковыми величинами плотностей проксимального и дистального регенератов в периоде фиксации и после снятия аппарата. Менее выраженная деминерализация перемещаемых фрагментов, регистрируемая по показателю плотности в единицах HU, во второй серии опытов связана с менее длительными периодами перемещения и фиксации в аппарате. Определение степени зрелости регенерата проводили с использованием унифицированных единиц, исключая влияние окружающих мягких тканей, вне зависимости от их объема и плотностных характеристик, что позволит стандартизировать полученные данные. Динамика изменений плотностных характеристик дистракционного регенерата в целом, его отделов, а также участков материнской кости подчиняется строгим закономерностям. Полученные в результате исследования значения плотностей позволяют объективно оценить активность регенерации для решения тактических вопросов.

Литература

1. Амирасланов Ю.А. Морфологический и компьютерно-томографический анализ репаративной регенерации большеберцовой кости при дистракционном остеосинтезе / Ю.А. Амирасланов, Г.Г. Кармазановский, А.М. Светухин и др. // Бюл. экспериментальной биологии и медицины. — 1993. — № 2. — С. 206 — 208.
2. Виноградова Т.П. Регенерация и пересадка костей / Т.П. Виноградова, Г.Н. Лаврищева. — М.: Медицина, 1974. — 115 с.
3. Вроньски С. Денситометрическое исследование в оценке костного регенерата при удлинении нижних конечностей методом Г.А. Илизарова / С. Вроньски, А. Барчиньски, П. Войчеховски // Новые технологии в медицине: Матер. науч.-практ. конф. с междунар. участием. — Курган, 2000. — С. 173.
4. Дьячкова Г.В. Рентгенологические особенности регенерации коротких трубчатых костей при дистракционном остеосинтезе / Г.В. Дьячкова, Т.Е. Козьмина // Гений ортопедии. — 1998. — № 3 — С. 17 — 20.
5. Илизаров Г.А. Значение комплекса оптимальных механических и биологических факторов в регенеративном процессе при чрескостном остеосинтезе / Г.А. Илизаров // Экспериментально-теоретические и клинические аспекты разрабатываемых в

- КНИИЭКОТ методов чрескостного остеосинтеза: Тез. докл. всесоюз. симпозиума. — Курган, 1983. — С. 5 — 15.
6. Илизаров Г.А. Некоторые проводимые нами фундаментальные исследования и их общеприкладное значение / Г.А. Илизаров // Актовая речь на всесоюзной конференции с участием иностранных специалистов, посвященной 70-летию Г.А. Илизарова. — Курган, 1991. — 27 с.
 7. Илизаров Г.А. Изучение морфофункциональных особенностей соединительно-тканной прослойки distractionного регенерата / Г.А. Илизаров, Ю.Н. Бахлыков, Н.В. Петровская // Чрескостный компрессионно-distractionный остеосинтез в травматологии и ортопедии: Сб. науч. трудов. — Курган, 1986. — Вып. XI. — С. 71 — 79.
 8. Илизаров Г.А. Особенности костеобразования и функционального состояния удлиняемой конечности при различной дробности distraction / Г.А. Илизаров, С.А. Ерофеев, А.М. Чиркова // Метод Илизарова: теория, эксперимент, клиника: Тез. докл. всесоюз. конф., посвящ. 70-летию Г.А. Илизарова. — Курган, 1991. — С. 285 — 285.
 9. Карлов А.В. Компьютерная морфометрия остеогенеза / А.В. Карлов, И.А. Хлаусов, А.В. Хохлов, В.П. Шахов // Новые технологии в медицине: Матер. науч.-практ. конф. с международным участием. — Курган, 2000. — С. 186 — 187.
 10. Шевцов В.И. Прижизненная оценка процесса репаративного остеогенеза / В.И. Шевцов, М.М. Щудло, Н.А. Щудло // Новые технологии в медицине: Матер. науч.-практ. конф. с международным участием. — Курган, 2000. — С. 210.
 11. Шевцов В.И. КТ distractionного регенерата / В.И. Шевцов, М.М. Щудло, С.А. Ерофеев // Гений ортопедии. — 1997. — № 1. — С.80 — 81.
 12. Шевцов В.И. Оперативное удлинение нижних конечностей / В.И. Шевцов, А.В. Попков. — М.: Медицина, 1998. — 192 с.
 13. Щудло М.М. Применение компьютерной томографии, 3D-визуализации, волюметрии и гистостереометрии для изучения костного регенерата / М.М. Щудло, Н.А. Щудло, С.А. Ерофеев и др. // Новые технологии в медицине: Матер. науч.-практ. конф. с международным участием. — Курган, 2000. — С. 213 — 214.
 14. Delloye C. Bone regenerate formation in cortical bone during distraction lengthening. An experimental study / C. Delloye, G. Delefortrie, L. Coutelier, A. Vincent // Clin. Orthop. — 1990. — N 250. — P. 34 — 42.
 15. Ilizarov G.A. Transosseous osteosynthesis. Theoretical and clinical aspects of the regeneration and growth of tissue / G.A. Ilizarov. — Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1992. — 800 p.

Редакция просит направлять в журнал протоколы заседаний субъектов ассоциаций травматологов-ортопедов (2 экз.).

В протоколах должны быть указаны номер и дата заседания, фамилия председателя и секретаря, фамилии авторов доклада, его название и реферат объемом $\frac{1}{2}$ страницы.