

© Группа авторов, 1999

Использование компьютерных технологий для характеристики дистракционного остеогенеза при полилокальном удлинении отломка большеберцовой кости

М.М. Щудло, Л.М. Куфтырев, Д.Ю. Борзунов, Е.В. Осипова, Н.В. Петровская

Use of computer technologies to characterize distraction osteogenesis in the process of polylocal elongation of tibial fragment

M. M. Chtchoudlo, L.M. Kuftyrev, D.Y. Borzunov, E.V. Osipova, N.V. Petrovskaya

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

У 29 беспородных собак оперативный дефект дистального метадиафиза берцовых костей замещен полилокальным удлинением проксимального отломка. Для количественной характеристики дистракционного остеогенеза использованы компьютерные технологии. В статье раскрываются новые возможности денситометрии рентгенологического изображения дистракционных регенератов с использованием аппаратно-программного комплекса "ДиаМорф", освещаются особенности дистракционного остеогенеза при удлинении отломка большеберцовой кости на двух уровнях.

Ключевые слова: голень, большеберцовая кость, оперативный дефект, полилокальное удлинение, чрескостный остеосинтез, количественная характеристика, остеогенез, компьютерные технологии, денситометрия.

Surgical defect of the distal metadiaphysis of leg bones is substituted in 29 mongrel dogs, using polylocal elongation of the proximal fragment. Computer technologies are used for quantitative characteristic of distraction osteogenesis. The article reveals new possibilities of roentgenologic image of distraction regenerates densitometry, using "DiaMorph" complex, elucidates peculiarities of distraction osteogenesis during elongation of tibial fragment at two levels.

Keywords: leg, tibia, surgical defect, polylocal elongation, transosseous osteosynthesis, quantitative characteristic, osteogenesis, computer technologies, densitometry.

В РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова предложен способ замещения дефекта кости удлинением отломка с использованием дополнительной остеотомии перемещаемого фрагмента, предусматривающий сокращение срока лечения и расширение возможности поэтапных лечебно-реабилитационных мероприятий [1]. Варианты предложенного способа лечения апробированы в опытах на беспородных собаках, которым оперативный дефект берцовых костей замещен удлинением проксимального отломка большеберцовой кости за счет формирования в нем двух дистракционных регенератов.

Цель настоящей работы - количественная

характеристика дистракционного остеогенеза при полилокальном удлинении отломка большеберцовой кости в эксперименте. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

Планиметрия тени дистракционного регенерата и компонентов ее составляющих (костных отделов и срединной зоны просветления) на этапах экспериментов.

Определение долей структур различной рентгеновской плотности в общей площади тени регенерата в динамике наблюдения.

Определением соотношений площадей дистракционного регенерата и диастаза.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выполнено две серии опытов на 29 беспородных собаках в возрасте от 1 года до 3 лет и длиной голени $18,5 \pm 0,15$ см.

Экспериментальной моделью был выбран дефект берцовых костей в дистальном метадиафизе, составляющий $20,9 \pm 0,3\%$ от исходной

длины большеберцовой кости. Дефект создавали оперативным путем после жесткой фиксации голени аппаратом Илизарова. Замещение дефекта осуществляли удлинением проксимального отломка большеберцовой кости на двух уровнях в условиях сохраненного внутрикостного кро-

вообращения. В I серии экспериментов дополнительную кортикотомию выполняли после перемещения несвободного фрагмента на половину величины сформированного дефекта берцовых костей. Во II серии экспериментов кортикотомии выполнялись на двух уровнях одновременно. Перемещение сформированных фрагментов в межотломковом диастазе начинали через 6 дней после операции с суточным темпом 1 мм за 4 приема. Во II серии экспериментов distraction на уровне дистальной кортикотомии начинали на сутки раньше.

Костеобразование исследовали рентгенологическим методом. Компьютерный анализ рентгенограмм выполняли на аппаратно-программном комплексе «ДиаМорф» (г.Москва).

Ввод фрагментов рентгенограмм в память компьютера осуществляли с помощью телекамеры, установленной над софитным столиком.

На оцифрованных изображениях вручную оконтуривали тени distractionного регенерата, его костных отделов и срединной зоны просветления с последующим измерением их площадей, степени интенсивности и ее стандартного отклонения. Дополнительно измеряли площадь диастаза (A_d) между концами перемещаемых фрагментов в динамике периода distraction и его процентное соотношение к площади оконтуренной тени distractionного регенерата (A_r) [2].

$$A_{areg} \left(\frac{A_r}{A_d} \cdot 100\% \right)$$

A_{areg} - выраженное в процентах отношение A_r к A_d ;

A_r - площадь distractionного регенерата;

A_d - площадь диастаза.

Интенсивность элементов изображения выражалась в условных единицах (у.е.) численными значениями от 0 до 255, что соответствовало минимальной и максимальной рентгеновской плотности.

В пределах выделенной области проводили интерактивную трехуровневую сегментацию, позволяющую разделить ее по степени интенсивности элементов на несколько диапазонов плотностей (минерализованную, среднеминерализованную, слабоминерализованную, неминерализованную) с одновременным вычислением площади каждой из них. При этом с помощью автоматически построенной гистограммы получали объективное представление о распределении интенсивности тени distractionного регенерата.

Под интенсивностью области мы подразумевали величину, полученную в результате суммирования значений яркостей всех точек области, нормированную на площадь области.

$$I = \sum \sum f(x, y) / A_{area}$$

$$x \in Ay \subset A,$$

где: I - интенсивность области;

координаты: x - абсциссы x точек, принадлежащих области;

y - ординаты точек, принадлежащих области;

$f(x, y)$ - функция распределения яркостей;

A_{areg} - площадь области.

Для оценки полученных после трехуровневой сегментации результатов использовали диагностический тест, разработанный В.И. Шевцовым, М.М. Щудло, Н.А. Щудло (1996).

Для компьютерного анализа были выбраны рентгенограммы 7 и 14 дней distraction, дня окончания замещения дефекта берцовых костей, каждого 15 дня фиксации и 1, 2, 3, 6, 9 месяцев после снятия аппарата.

Исследованы в динамике рентгенологические снимки 10 животных I серии экспериментов и 6 - II серии.

Полученные данные обрабатывались методом вариационного анализа (Г.Ф. Лакин, 1980). Достоверность результатов оценивали по критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Дозированное низведение несвободных костных фрагментов в дефект сопровождалось образованием в диастазах distractionных регенератов, состоящих из проксимального и дистального костных отделов, разделенных соединительно-тканной прослойкой. Количественная оценка костеобразования характеризовалась постепенным расширением общей проекционной площади distractionного регенерата и прибавкой в ней костной части (табл. 1, 2).

Так, в I серии экспериментов в проксимальном регенерате доля проксимального костного отдела увеличивалась в периоде перемещения

фрагмента с $19,2 \pm 1,17$ до $35,2 \pm 3,44\%$, доля дистального костного отдела - с $21,2 \pm 1,63$ до $32,8 \pm 1,36\%$ ($p < 0,01$). Доля соединительно-тканной прослойки соответственно уменьшалась с $49,6 \pm 1,57$ до $25,8 \pm 3,92\%$ ($p < 0,01$). В дистальном регенерате доля проксимального костного отдела увеличивалась с $19,0 \pm 1,94$ до $35,0 \pm 1,81\%$, дистального - с $21,4 \pm 1,59$ до $34,7 \pm 1,77\%$ ($p < 0,01$). Доля соединительно-тканной прослойки уменьшалась с $50,6 \pm 2,89$ до $22,9 \pm 2,51\%$ ($p < 0,01$).

Таблица 1

Соотношение площадей, выделенных вручную отделов дистракционного регенерата при последовательном двухуровневом удлинении проксимального отломка большеберцовой кости в динамике остеосинтеза

(I серия экспериментов)

Периоды наблюдения		Уровни дистракционных регенератов	Отделы дистракционного регенерата		
			костный проксимальный, %	прослойка, %	костный дистальный, %
Дистракция (в днях)	7	Р проксимальный	19,2±1,17	49,6±1,57	21,2±1,63
		Р дистальный	19,0±1,94	50,6±2,89	21,4±1,59
	14	Р проксимальный	26,2±2,06**	39,8±2,03***	26,1±1,9
		Р дистальный	31,7±1,98***	30,4±2,81***	30,8±2,06***
	конец	Р прок. (18,2±0,4)	35,2±3,44***	25,8±3,92***	32,8±1,36***
		Р дист. (19,3±0,9)	35,0±1,81***	22,9±2,51***	34,7±1,77***
Фиксация (в днях)	30	Р проксимальный	41,5±2,42***	14,9±3,22***	37,1±3,53***
		Р дистальный	42,0±4,0***	7,6±2,15***	41,5±1,5***
	45	Р проксимальный	30,0±15,0	5,22±1,78***	37,0±1,0***
		Р дистальный	-	5,2±2,54**	-
	конец	Р прок. (61,6±4,1)	-	2,0±0,71***	-
		Р дист. (41,9±4,4)	-	6,6±3,5***	-

Примечание: Р прок. - проксимальный дистракционный регенерат, Р дист. - дистальный дистракционный регенерат, * $p < 0,05$, ** $p < 0,02$, *** $p < 0,01$ различия достоверны по отношению к соответствующим показателям исходного значения по критерию Стьюдента.

Таблица 2

Соотношение площадей выделенных вручную отделов дистракционного регенерата при одновременном двухуровневом удлинении проксимального отломка большеберцовой кости в динамике остеосинтеза (II серия экспериментов)

Периоды наблюдения		Уровни дистракционных регенератов	Отделы дистракционного регенерата		
			костный проксимальный, %	прослойка, %	костный дистальный, %
Дистракция (в днях)	7	Р проксимальный	15,6±2,18	53,8±1,8	20,2±1,66
		Р дистальный	18,8±2,44	51,6±3,69	19,2±1,36
	14	Р проксимальный	22,2±1,19*	50,8±0,6	20,7±1,94
		Р дистальный	26,5±2,22	39,8±1,79*	24,5±1,85*
	конец	Р прок. (19,7±0,9)	28,8±2,75***	37,0±3,87***	29,0±2,93*
		Р дист. (18,7±0,7)	36,2±1,88***	26,0±4,53***	28,8±3,1*
Фиксация (в днях)	30	Р проксимальный	38,2±1,74***	17,6±1,75***	39,0±2,85***
		Р дистальный	42,0±4,0***	11,3±3,57***	37,0±8,0
	45	Р проксимальный	40,3±2,78***	19,3±2,8***	43,8±3,71***
		Р дистальный	-	11,5***	-
	конец	Р прок. (57,9±5,6)	-	3,0±1,53***	-
		Р дист. (59,2±6,6)	-	6,5±3,5***	-

Примечание: Р прок. - проксимальный дистракционный регенерат, Р дист. - дистальный дистракционный регенерат, * $p < 0,05$, ** $p < 0,02$, *** $p < 0,01$ различия достоверны по отношению к соответствующим показателям исходного значения по критерию Стьюдента.

Во II серии экспериментов в проксимальном регенерате доля проксимального костного отдела увеличивалась в периоде перемещения фрагментов с 15,6±2,18 до 28,8±2,75% ($p < 0,01$), доля дистального костного отдела - с 20,2±1,66 до 29,0±2,93% ($p < 0,05$). Доля соединительно-тканной прослойки уменьшалась с 53,8±1,8 до 37,0±3,87% ($p < 0,01$). Формирование дистального дистракционного регенерата характеризовалось более активным остеогенезом. Так, доля проксимального костного отдела в дистальном регенерате в этот период наблюдения увеличивалась с 18,8±2,44 до 36,2±1,88% ($p < 0,01$), доля дистального костного отдела - с 19,2±1,36 до 28,8±3,1% ($p < 0,05$). Доля соединительно-тканной прослойки уменьшалась с 51,6±3,69 до 26,0±4,53% ($p < 0,01$).

При последовательном удлинении отломка (I серия) в проксимальном регенерате к 45 дню

фиксации доля проксимального костного отдела составляла 30,0 ± 15,0%, дистального - соответственно 37,0±1,0%. Доля соединительно-тканной прослойки не превышала в проксимальном регенерате 5,22±1,78% ($p < 0,01$).

Костные отделы дистального регенерата сливались при сроке его фиксации 41,9±4,4 дня, площадь очажков прослойки не превышала 6,5±3,5% ($p < 0,01$). Этот срок наблюдения соответствовал 61,6±4,1 дню фиксации проксимального регенерата, костные отделы последнего также сливались, доля соединительно-тканной прослойки не превышала 2,0±0,71% ($p < 0,01$).

При одновременном удлинении отломка (II серия) в проксимальном регенерате к 45 дню фиксации доля проксимального костного отдела составляла 40,3±2,78%, дистального - соответственно 43,8±3,71% ($p < 0,01$). Доля соединительно-тканной прослойки составляла

10,3±2,8% ($p<0,01$). К этому сроку наблюдения костные отделы дистального регенерата смыкались, доля прослойки составляла 11,5±3,5% ($p<0,01$). В конце периода фиксации в проксимальном и дистальном дистракционном регенерате определялись очажки соединительнотканной прослойки – соответственно 3,0±1,53% и 6,5±3,5% ($p<0,01$).

При расчете параметров $A_{\text{рег}}$ было выявлено 2 варианта соотношения площадей дистракционного регенерата и диастаза: их соответствие, когда площади регенерата и диастаза совпадали или их различия не превышали 5%; значимое (более 5%) преобладание площади регенерата над площадью диастаза. Для большинства наблюдений было характерным совпадение площадей измеряемых структур. Только в I серии экспериментов на 14-е сутки и в конце периода дистракции в зоне дополнительной кортикотомии отмечено значимое преобладание площади дистального регенерата над диастазом, составляющих соответственно 120,6±6,64 и 133,4±6,86% от площади диастаза. Ни в одном наблюдении преобладание площади диастаза выявлено не было. Необходимо отметить, что соотношение площадей диастаза и регенерата сохранялось на этапе фиксации и после снятия аппарата.

По стандартному макросу программы «ДиаМорф» была получена информация в цифровом и графическом (гистограммы) изображении по распределению интенсивности тени в проекционной площади дистракционного регенерата, позволяющая судить о степени и динамике минерализации новообразованной костной ткани (рис. 1).

Границы гистограмм, полученные при компьютерном анализе денситометрических параметров дистракционных регенератов, колебались от 82,8±5,9 до 148,7±8,7 у.е.

Сегментацией изображения дистракционного регенерата по степени интенсивности его тени выделяли четыре зоны (минерализованную, среднеминерализованную, слабоминерализованную, неминерализованную), соответствующих определенным участкам гистограммы. Неминерализованная зона соответствовала участкам минимальной степени интенсивности в оконтуренной тени дистракционного регенерата, и ее границы колебались от 82,8±5,9 до 95,4±5,9 у.е., слабоминерализованной зоны – от 96,4±5,9 до 101,6±6,1 у.е., среднеминерализованной – от 102,6±6,1 до 119,7±7,0 у.е. Максимальную степень интенсивности имели участки костной ткани, которая определялась в границах 120,7±7,0 – 148,7±8,7 у.е.

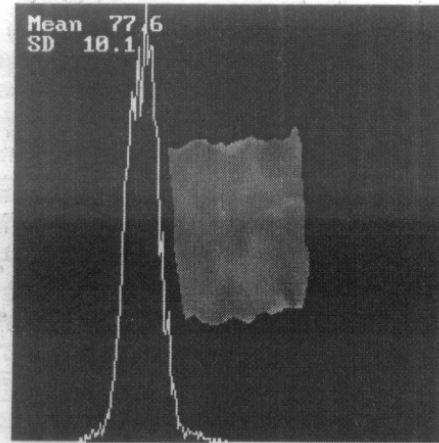


Рис. 1. Гистограмма распределения интенсивности тени дистракционного регенерата в выделенных участках рентгенограмм. Собака № 1190, дистальный дистракционный регенерат, 20 дней дистракции

Результаты исследования показали высокую активность минерализации дистального дистракционного регенерата на 14-й день и в конце периода перемещения фрагментов, наиболее выраженную во II серии экспериментов (табл. 3, 4).

Так, на 14-й день перемещения фрагментов в проксимальном регенерате доля среднеминерализованной ткани составляла 10,3±1,94%, в дистальном – 12,0±0,63%, слабоминерализованной – соответственно 21,5±2,19% и 25,0±2,16% ($p<0,05$). На этот период наблюдения доля неминерализованной ткани в проксимальном регенерате составляла 53,8±0,79% ($p<0,01$), в дистальном уменьшалась до 46,7±2,51% ($p<0,05$). В конце периода перемещения фрагментов в проксимальном регенерате доля среднеминерализованной ткани составляла 17,2±2,59%, в дистальном – 24,8±5,95%, слабоминерализованной – соответственно 23,4±1,29% и 26,6±2,71% ($p<0,01$). Доля неминерализованной ткани уменьшалась в проксимальном регенерате до 40,2±3,41%, дистальном – до 26,2±6,66% ($p<0,01$). Таким образом, представлялась реальной вероятность преждевременного сращения дистального дистракционного регенерата в процессе перемещения фрагментов. Действительно, у 3 животных во II серии экспериментов (№ 1337, 1284, 5911) на 6 и 14-е сутки дистракции в зоне дистальной кортикотомии суточным темпом 1,0 мм за 4 приема наступило преждевременное костное сращение. В последующих экспериментах суточный темп дистракции в зоне дистальной кортикотомии был увеличен до 1,5 мм за 4 приема.

Таблица 3

Динамика относительных площадей компонентов дистракционных регенератов по результатам сегментации их компьютерных изображений при последовательном двухуровневом удлинении проксимального отломка большеберцовой кости в динамике наблюдения (I серия экспериментов)

Периоды наблюдения		Уровни дистракционных регенератов	Зоны дистракционного регенерата				
			минерализованная, %	среднеминерализо- ванная, %	слабоминерализо- ванная, %	неминерализован- ная, %	
Дистракция (в днях)	7	Р проксимальный	11,1±0,64	15,0±2,12	18,1±1,48	55,9±1,7	
		Р дистальный	11,3±0,86	13,9±2,14	22,1±2,73	52,8±2,83	
	14	Р проксимальный	15,6±0,79***	20,2±3,8	22,3±2,02	44,7±1,58***	
		Р дистальный	16,0±1,76*	21,3±2,86	26,5±1,92	36,4±2,19***	
	конец	Р прок. (18,2±0,4)	25,7±3,28***	20,8±2,42	26,4±1,44***	29,8±3,18***	
		Р дист. (19,3±0,9)	22,4±2,9***	27,3±3,25***	27,3±2,32	23,0±1,68***	
Фиксация (в днях)	30	Р проксимальный	28,2±2,34***	26,4±2,49***	28,8±1,07***	16,6±3,34***	
		Р дистальный	31,4±3,54***	29,5±3,6***	27,9±3,83	10,9±2,29***	
	45	Р проксимальный	35,8±2,39***	31,3±3,65***	25,0±3,18	7,78±2,06***	
		Р дистальный	39,0±2,13***	35,8±3,22***	20,2±3,15	4,83±1,92***	
	конец	Р прок. (61,6±4,1)	42,6±2,59***	29,7±4,03***	23,9±4,47	2,25±0,94***	
		Р дист. (41,9±4,4)	40,8±4,39***	30,8±4,27***	24,3±4,07	4,0±2,68***	
	проч.конец	Р проксимальный	36	45	17	2	
		Р дистальный	46,0±11,0**	28,5±6,5	22,0±2,0	3,5±2,5	
	После снятия аппарата (в месяцах)	1	Р проксимальный	46,7±2,91***	33,3±6,36**	19,0±4,36	0,67±0,67***
			Р дистальный	41,3±2,91***	31,7±5,33**	25,7±5,21	1,7±0,88***
2		Р проксимальный	50,3±2,73***	29,0±2,65***	20,0±1,53	0,67±0,33***	
		Р дистальный	46,3±2,91***	33,0±3,79***	20,0±3,06	0,67±0,33***	
3		Р проксимальный	53,7±4,06***	31,3±4,18***	15,0±2,08	0,67±0,33***	
		Р дистальный	59,7±4,33***	23,3±1,33***	16,0±4,58	0,33±0,33***	
6		Р проксимальный	54,0±4,73***	22,3±5,93**	23,0±1,15**	0,67±0,33***	
		Р дистальный	54,7±1,45***	29,7±4,48***	15,3±3,48	-	
9		Р проксимальный	48,0±2,89***	26,0±7,57	25,7±4,48	-	
		Р дистальный	47,3±3,28***	38,7±6,39***	13,3±3,84	-	

Примечание: Р прок. - проксимальный дистракционный регенерат, Р дист. - дистальный дистракционный регенерат, * $p < 0,05$, ** $p < 0,02$, *** $p < 0,01$ различия достоверны по отношению к соответствующим показателям исходного значения по критерию Стьюдента.

Таблица 4

Динамика относительных площадей компонентов дистракционных регенератов по результатам сегментации их компьютерных изображений при одновременном двухуровневом удлинении проксимального отломка большеберцовой кости в динамике наблюдения (II серия экспериментов)

Периоды наблюдения		Уровни дистракционных регенератов	Зоны дистракционного регенерата			
			минерализованная, %	среднеминерализо- ванная, %	слабоминерализо- ванная, %	неминерализован- ная, %
Дистракция (в днях)	7	Р проксимальный	12,2±0,97	12,2±1,66	15,0±1,09	60,6±1,21
		Р дистальный	11,8±1,02	12,4±1,81	19,4±1,5	56,8±2,35
	14	Р проксимальный	14,5±1,2	10,3±1,94	21,5±2,19*	53,8±0,79***
		Р дистальный	16,5±1,95	12,0±0,63	25,0±2,16	46,7±2,51*
	конец	Р прок. (19,7±0,9)	19,6±2,48*	17,2±2,59	23,4±1,29***	40,2±3,41***
		Р дист. (18,7±0,7)	22,6±2,11***	24,8±5,95	26,6±2,71	26,2±6,66***
Фиксация (в днях)	30	Р проксимальный	21,2±1,2***	32,6±5,18***	26,8±2,56***	19,0±2,43***
		Р дистальный	26,6±2,71***	32,6±6,92*	29,8±4,04*	11,4±4,68 ***
	45	Р проксимальный	32,3±5,39**	35,3±11,86	15,8±2,87	17,3±8,28***
		Р дистальный	30,3±3,84***	32,5±5,61**	28,5±3,23*	8,75±4,69***
	конец	Р прок. (57,9±5,6)	32,0±1,47***	42,8±8,28**	21,3±6,17	4,0±1,91***
		Р дист. (59,2±6,6)	39,3±3,71***	37,3±6,67**	21,7±9,21	2,0±1,53***
После снятия аппара- та	1	Р проксимальный	37,0±3,0***	47,0±7,0***	15,5±3,5	0,5±0,5***
		Р дистальный	43,3±3,67***	40,7±5,67***	15,7±2,33	0,33±0,33***
	2	Р проксимальный	53,0±12,0**	23,0±1,0***	23,0±11,0	-
		Р дистальный	51,0±4,0***	33,0±5,0***	15,5±1,5	-
	3	Р проксимальный	48,0±1,0**	32,0±9,0	19,0±8,0	0,5±0,5***
		Р дистальный	55,0±2,0***	31,5±4,5***	12,5±2,5	-
	6	Р проксимальный	53	31,0±7,0*	16,0±7,0	21
		Р дистальный	57	27	-	-

Примечание: Р прок. - проксимальный дистракционный регенерат, Р дист. - дистальный дистракционный регенерат, * $p < 0,05$, ** $p < 0,02$, *** $p < 0,01$ различия достоверны по отношению к соответствующим показателям исходного значения по критерию Стьюдента.

Более высокая активность остеогенеза в дистальном регенерате в периоде фиксации была также характерна для обеих серий экспериментов.

В I серии экспериментов, при сроках фиксации проксимального регенерата 30 дней, доля неминерализованной ткани уменьшалась с $16,6 \pm 3,34$ до $2,25 \pm 0,94\%$ к концу периода фиксации, составляющего для проксимального регенерата 61,6 $\pm$ 4,1 дня ($p < 0,01$). Соответственно, в дистальном регенерате доля неминерализованной ткани уменьшалась с $10,9 \pm 2,29$ до $4,0 \pm 2,68\%$ к концу периода фиксации, составляющего для дистального регенерата 41,9 $\pm$ 4,4 дня ($p < 0,01$).

При одновременном удлинении отломка (II серия) в проксимальном регенерате доля неминерализованной ткани уменьшалась в процессе фиксации с $19,0 \pm 2,43$ до $4,0 \pm 1,91\%$ к ее окончанию ($p < 0,01$). В дистальном регенерате доля неминерализованной ткани уменьшалась с $11,4 \pm 4,68\%$ до $2,0 \pm 1,53\%$ к концу периода фиксации ($p < 0,01$).

В течение всего периода фиксации достоверно отмечалось в дистальном регенерате доминирование участков новообразованной ткани, имеющих более высокую интенсивность тени по сравнению с проксимальным регенератом.

Сохранение участков с низкой интенсивностью тени, соответствующих денситометрическим параметрам неминерализованной зоны,

определяемых в основаниях дистракционных регенератов в первые 1-3 месяца после снятия аппарата Илизарова, связывали с формированием костно-мозговой полости. Достоверное снижение доли минерализованной части в дистракционных регенератах через 6-9 месяцев после снятия аппарата, более выраженное в дистальном регенерате, было связано с формированием компактного слоя новообразованных участков кости. Наличие участков новообразованной костной ткани, соответствующих по денситометрическим параметрам слабоминерализованной зоне и определяемых в проекции костно-мозговой полости через 6-9 месяцев после снятия аппарата, объяснялось проекционным наложением тени сформированного компактного слоя длинной кости.

Таким образом, формирование дистракционных регенератов при полилокальном удлинении отломка большеберцовой кости не сопровождалось замедлением костеобразования, при этом наиболее активно остеогенез протекал в дистальном дистракционном регенерате.

Применение аппаратно-программного комплекса «ДиаМорф» позволило использовать его не только для описания процесса дистракционного остеогенеза при полилокальном удлинении отломка, но и количественно характеризовать его.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 1526666 СССР, МКИ³ А 61 В 17/56. Способ лечения дефекта кости /В.Д.Макушин, Л.М.Куфтырев (СССР). - 4390380/14; Заявлено 09.03.88; Опубл. 23.05.91, Бюл. № 19.
2. Математическое моделирование дистракционного остеогенеза (экспериментальное исследование) / В.И.Шевцов, М.М.Щудло, В.А.Уткин, С.А.Ерофеев // Гений ортопедии. - 1996. - № 1. - С. 6-13.

Рукопись поступила 25.04.1999.