

Оригинальные статьи

© Группа авторов, 1996.

Математическое моделирование дистракционного остеогенеза (экспериментальное исследование)

В. И. Шевцов, М. М. Щудло, В. А. Уткин, С. А. Ерофеев

Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова, г. Курган (Генеральный директор — академик РАМТН, д.м.н., профессор В.И. Шевцов). Областная клиническая больница, г. Курган (Главный врач — С. В. Жуков).

На рентгенограммах от 30 собак, у которых удлинляли голень с разной дробностью, в конце периода дистракции измеряли площади диастаза, теней дистракционного регенерата и так называемой соединительно-тканной прослойки; отношения между ними выражали в процентах. В среде квалитметрической экспертной системы BCL с использованием модулей библиотеки SADQO/SADEX и интервального критерия рандомизации математически анализировали зависимость длительности этапа фиксации от полученных параметров и шага дистракции. Предложена формула для предварительного расчета длительности этапа фиксации.

Ключевые слова: дистракция, дробность, остеогенез, математическое моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о темпе и ритме дистракции при удлинении конечностей не нов. Он поднимался в специальной литературе в плане описательно - теоретическом [3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 21, 22, 24, 25, 26, 27]. В настоящее время появились и чисто практические его аспекты:

- будут ли клиницисты применять автодистракторы?
- если да, то какие?
- где и как организовывать производство автодистракторов?
- каким режимам дистракции следует отдавать предпочтение?

В этой ситуации нам представляется актуальным проанализировать опыт применения различных режимов дистракции, накопленный в теоретических, экспериментальных и клинических подразделениях РНЦ "ВТО". Одним из условий такого анализа является возможность оперировать объективными количественными данными, для сбора и обработки которых необходимы соответствующие алгоритмы, техническое и программное обеспечение.

Применение в экспериментах на животных флексионной остеоклазии для получения стандартного нарушения целостности кости и чрескостного остеосинтеза аппаратом Илизарова, характеризующегося жесткостью системы аппарат - кость, однонаправленностью дистракции и возможностью строго дозировать дистракционные перемещения, обеспечило высокую степень воспроизводимости условий опыта и позволило осуществить планомерное изучение остеогенеза при дистракции с постоянной среднесуточной скоростью 1,0 мм, но с различной величиной разового удлинения. Информация о процессе, представленная в соответствующих публикациях [3, 5, 7, 13, 21], основана на результатах описательных исследований рентгенограмм и продольных гистологических срезов.

Предлагаемая вниманию читателей первая работа планируемого цикла имеет целью количественно охарактеризовать дистракционный остеогенез при разных режимах удлинения голени собак.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования послужили рентгенограммы дистракционных регенератов 30 беспородных собак обоего пола в возрасте от 1 года до 3 лет, случайно распределенных на 3 серии, в каждой по 10 животных. Во всех случаях дистракцию по 1 мм в сутки начинали на 5 день после закрытой флексионной остеоклазии.

В 1-й серии удлинение осуществляли в утренние часы вращением гаек на резьбовых стержнях аппарата сразу на 1 мм (шаг дистракции $L_{step} = 1000$ мкм), во второй — также вручную такое же суточное удлинение достигалось в течение рабочего дня за 4 приема ($L_{step} = 250$ мкм), а в 3-й — за 60 приемов

($L_{step} = 17$ мкм) равномерно в течение суток с помощью автоматического привода (23). Дистракция у всех животных длилась 28 дней. У 11 собак последующая фиксация продолжалась до полной минерализации регенерата и колебалась от 1 месяца в 3-й серии до 2 - во второй и 3 и более месяцев — в первой серии. На 14 и 28 дни дистракции, через каждый месяц фиксации и после снятия аппарата выполняли рентгенографию. В эти же сроки готовили окрашенные по Ван-Гизону и гематоксилин-эозином продольные гистотопограммы дистракционного регенерата кости.

На рентгенограммах с помощью автоматического анализатора изображений MOP - Videoplan фирмы Opton (Германия) измеряли площади теней дистракционного регенерата (A_r) и так называемой соединительно-тканной прослойки, или "зоны роста" (A_z). Полученные абсолютные величины характеризовали процесс дистракционного остеогенеза и в то же время в значительной мере отражали индивидуальные различия исходных диаметров диафизов остеотомированных

костей. Чтобы устранить влияние последнего фактора, дополнительно измерили площадь диастаза (A_d) между концами отломков кости, после чего первичный цифровой материал использовали для расчета следующих параметров, обозначенных в традициях стереологической символики:

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

— A_{azon} — выраженное в процентах отношение A_z к A_r .

Вычисляли также показатель Fix — отношение длительности этапа фиксации (в днях) к достигнутому удлинению (в мм).

Статистический анализ наблюдений выполнен на ПЭВМ IBM PC AT в среде квалитетической экспертной системы BCL [15] с использованием модулей библиотеки SADQO / SADEX [16]. Учитывая малые объемы выборок показателя Fix (по 3 - 4 наблюдения в каждой серии), применяли также и интервальный критерий рандомизации [14, 17].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате описанных манипуляций 30 экспериментальных наблюдений, объединенных в общий ряд одинаковой суточной скоростью ($V_{daily} = 1000$ мкм), разделены, как было указано выше, на 3 серии по величине

использованного шага (L_{step}) дистракции (табл. 1). Статистические характеристики всей совокупности наблюдений и выборок, составляющих отдельные серии, представлены в таблице 2.

Таблица 1

Параметры наблюдений								
№ п. п.	№ собаки	Дистракция			A _{рег}	A _{гол}	Фиксация	
		V _{daily} , мкм/день	L _{step} , мкм	Срок, дни			Срок, дни	Fix дн/мм
1 серия								
1	5424	1000	1000	28	80,15	33,7		
2	5236	1000	1000	28	88,2	25,4	120	4,29
3	6552	1000	1000	28	90,2	27,9	154-	6,5
4	8362	1000	1000	28	84,4	22,1	91	3,25
5	8149	1000	1000	28	85,39	18,09		
6	8548	1000	1000	28	91,1	19,59		
7	5234	1000	1000	28	93,87	29,78		
8	6791	1000	1000	28	73,49	35,27		
9	8463	1000	1000	28	77,82	32,16		
10	5437	1000	1000	28	120,48	19,5		
2 серия								
11	8067	1000	250	28	119,99	6,41		
12	5866	1000	250	28	114,3	4,7		
13	6548	1000	250	28	109,5	10,75	63	2,25
14	6792	1000	250	28	105,97	8,99	61	2,18
15	1104	1000	250	28	120,2	9,02	60	2,14
16	6086	1000	250	28	108,75	12,5		
17	5676	1000	250	28	92,44	13,75		
18	5665	1000	250	28	97,1	8,41		
19	6783	1000	250	28	98,39	12,66	65	2,32
20	8578	1000	250	28	98,0	15,8		
3 серия								
21	6796	1000	17	28	114,03	12,3	35	1,25
22	6018	1000	17	28	117,1	8,3	30	1,07
23	5988	1000	17	28	110,2	8,9		
24	6677	1000	17	28	126,2	6,4	30	1,07
25	6313	1000	17	28	108,1	8,6		
26	6047	1000	17	28	122,6	10,5		
27	6531	1000	17	28	96,1	6,4	30	1,07
28	6535	1000	17	28	96,6	7,8		
29	6376	1000	17	28	113,9	9,6		
30	6491	1000	17	28	113,6	13,96		

Таблица 2

Параметр	Показатель	Объединенный ряд	1 серия	2 серия	3 серия
Aa _{reg}	min	73,490	73,490	92,440	96,100
	max	126,200	120,480	120,200	126,200
	размах	52,710 ± 0,043	46,990 ± 0,111	27,760 ± 0,111	30,100 ± 0,111
	медиана	107,035 ± 3,348	89,200 ± 5,111	109,125 ± 3,894	113,965 ± 3,871
	среднее	102,272 ± 2,717	88,510 ± 4,299	106,464 ± 3,275	111,843 ± 3,256
	стандарт	14,633 ± 1,257	12,896 ± 3,659	9,826 ± 1,174	9,767 ± 1,608
	вариация	0,143 ± 0,019	0,146 ± 0,033	0,092 ± 0,021	0,087 ± 0,020
	точность	0,027 ± 0,004	0,049 ± 0,011	0,031 ± 0,007	0,029 ± 0,007
	асимметрия	нет	p < 0,050	нет	нет
	эксцесс	нет	p < 0,050	нет	нет
Aa _{zon}	критерий Джири	N	p < 0,010	N	N
	min	4,700	18,090	4,700	6,400
	max	35,270	35,270	15,800	13,960
	размах	30,570 ± 0,043	17,180 ± 0,111	11,100 ± 0,111	7,560 ± 0,111
	медиана	12,580 ± 2,062	28,840 ± 2,511	11,625 ± 1,361	9,250 ± 0,961
	среднее	15,308 ± 1,673	26,349 ± 2,112	10,299 ± 1,145	9,276 ± 0,809
	стандарт	9,010 ± 1,013	6,336 ± 0,648	3,435 ± 0,507	2,426 ± 0,427
	вариация	0,589 ± 0,099	0,240 ± 0,057	0,334 ± 0,082	0,262 ± 0,062
	точность	0,109 ± 0,018	0,080 ± 0,019	0,111 ± 0,028	0,087 ± 0,021
	асимметрия	p < 0,050	нет	нет	нет
Fix	эксцесс	нет	нет	нет	нет
	критерий Джири	N	N	N	N
	min	1,070	3,250	2,140	1,070
	max	6,500	6,500	2,320	1,250
	размах	5,430 ± 0,103	3,250 ± 0,224	0,180 ± 0,200	0,180 ± 0,200
	медиана	2,180 ± 0,630	4,290 ± 1,201	2,285 ± 0,050	1,160 ± 0,056
	среднее	2,490 ± 0,527	4,680 ± 1,174	2,222 ± 0,046	1,115 ± 0,052
	стандарт	1,667 ± 0,399	1,660 ± 0,226	0,079 ± 0,011	0,090 ± 0,019
	вариация	0,669 ± 0,197	0,355 ± 0,162	0,036 ± 0,013	0,081 ± 0,029
	точность	0,212 ± 0,064	0,251 ± 0,120	0,021 ± 0,007	0,047 ± 0,017
	асимметрия	p < 0,050	нет	нет	нет
	эксцесс	нет	-	p < 0,010	нет
	критерий Джири	N	N	N	N

О неодинаковости статистических характеристик выборочных наблюдений можно судить по результатам применения как вариационных, так и непараметрических методов дисперсионного анализа, которые отражены в таблице 3. Данные независимых сопоставлений выборочных наблюдений приведены в таблице 4.

Определение параметра Aa_{reg} выявило 3 варианта соотношений площадей дистракционного регенерата и диастаза:

- 1) их соответствие (когда различия ≤ ±5%),
- 2) значимое (>5%) преобладание площади диастаза и

- 3) значимое (>5%) преобладание площади регенерата.

Для первого варианта характерным было совпадение контуров измеряемых структур. Во втором варианте диаметр регенерата постепенно симметрично уменьшался от концов костных фрагментов к срединной прослойке (рис. 1), а в третьем он увеличивался в том же направлении, причем приобретенная к концу периода дистракции форма регенерата сохранялась и на этапе фиксации и после снятия аппарата (рис. 2, 3). Распределение указанных вариантов и соответствующих значений остальных параметров в сериях экспериментов было различным (рис. 4).

Таблица 3

Анализ однородности наблюдений

Статистический критерий	Параметр		
	Aa _{reg}	Aa _{zon}	Fix
медианный критерий	p < 0,010	p < 0,001	p < 0,050
рангово-дисперсионный критерий	p < 0,010	p < 0,001	p < 0,050
рангово-дисперсионный критерий упорядочения	p < 0,001	не значим	не значим
ранговый критерий упорядочения Джонкхiera и Терпстры	p < 0,001	не значим	не значим
отличие по Данну средних рангов 1-го и 2-го ряда	p < 0,010	p < 0,001	не значимо
отличие по Данну средних рангов 1-го и 3-го ряда	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,010
отличие по Данну средних рангов 2-го и 3-го ряда	не значимо	не значимо	p < 0,050
дисперсионный критерий Бартлета	не значим	p < 0,050	p < 0,001
дисперсионный критерий Фишера	p < 0,010	p < 0,001	p < 0,010
отличие по Дункану средних 1-го и 2-го ряда	p < 0,050	p < 0,001	p < 0,050
отличие по Дункану средних 1-го и 3-го ряда	p < 0,010	p < 0,001	p < 0,010
отличие по Дункану средних 2-го и 3-го ряда	не значимо	не значимо	не значимо
отличие средней 1-го ряда	от среднего всей совокупности	p < 0,001	p < 0,001
отличие средней 2-го ряда		не значимо	p < 0,050
отличие средней 3-го ряда		p < 0,010	не значимо

Таблица 4

Сравнительный анализ наблюдений

Серии	Статистический критерий	Параметр		
		A _{reg}	A _{don}	Fix
1-2	критерий "лямбда"	$p < 0,010$	$p < 0,001$	-
	критерий "омега"	$p < 0,001$	$p < 0,001$	-
	медианный критерий	$p = 0,001$	$p = 0,000$	-
	серийный критерий Вальда - Вольфовица	$p < 0,050$	$p < 0,001$	-
	ранговый критерий Вилкоксона	$p < 0,010$	$p < 0,001$	-
	интервальный критерий рандомизации	$p = 0,002$	$p = 0,0000$	$p = 0,0000$
	критерий Фишера	нет	нет	$p < 0,001$
	критерий Стьюдента	$p < 0,010$	$p < 0,001$	нет
1-3	критерий "лямбда"	$p < 0,001$	$p < 0,001$	-
	критерий "омега"	$p < 0,001$	$p < 0,001$	-
	медианный критерий	$p = 0,001$	$p = 0,0000$	-
	серийный критерий Вальда-Вольфовица	$p < 0,010$	$p < 0,001$	-
	ранговый критерий Вилкоксона	$p < 0,010$	$p < 0,001$	-
	интервальный критерий рандомизации	$p = 0,0003$	$p = 0,0000$	$p = 0,0000$
	критерий Фишера	нет	$p < 0,010$	$p < 0,001$
	критерий Стьюдента	$p < 0,001$	$p < 0,001$	нет
2-3	критерий "лямбда"	нет	нет	-
	критерий "омега"	нет	нет	-
	медианный критерий	$p = 0,082$	$p = 0,248$	-
	серийный критерий Вальда-Вольфовица	нет	нет	-
	ранговый критерий Вилкоксона	нет	нет	-
	интервальный критерий рандомизации	$p = 0,116$	$p = 0,224$	$p = 0,0000$
	критерий Фишера	нет	нет	нет
	критерий Стьюдента	нет	нет	$p < 0,001$

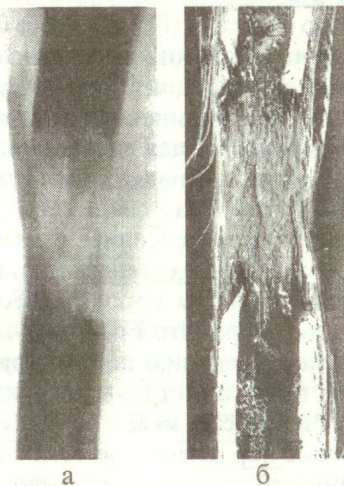


Рис 1. Рентгенограмма (а) и гистопограмма (б) дистракционного регенерата с. 5234 через 28 дней дистракции ($L_{step} = 1000$ мкм).

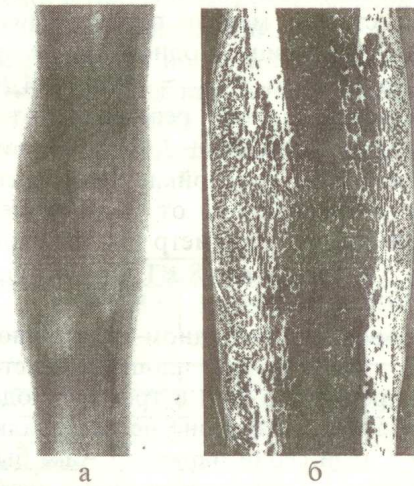


Рис 2. Рентгенограмма (а) и гистопограмма (б) дистракционного регенерата с. 6796 через месяц после снятия аппарата ($L_{step} = 17$ мкм).

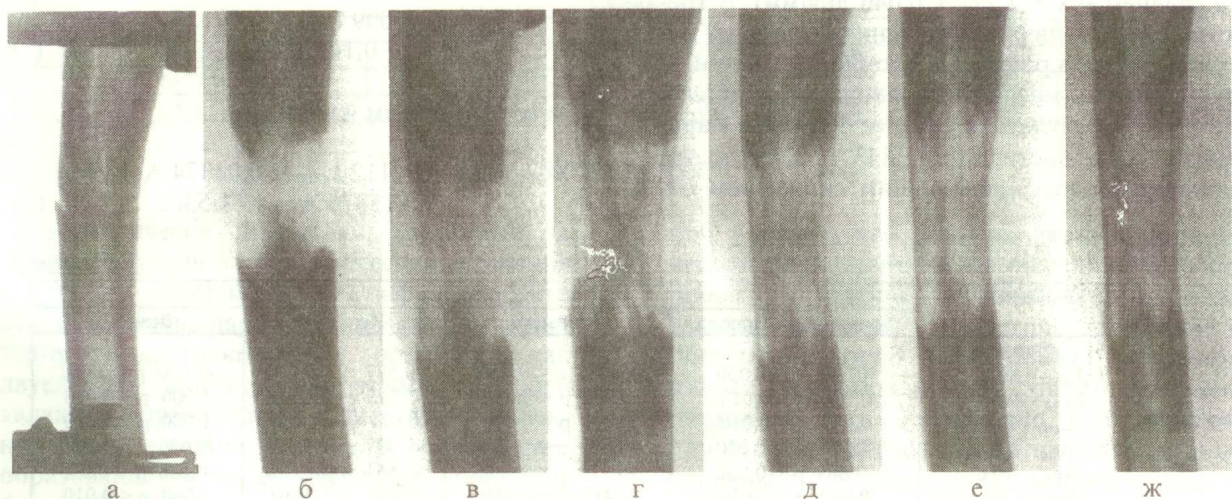


Рис 3. Рентгенограммы дистракционного регенерата собаки 6552 на этапах эксперимента ($L_{step} = 1000$ мкм): а - после операции; б — 21, в — 28 дней дистракции; г — 30, д — 60, е — 90 и ж — 150 дней фиксации.

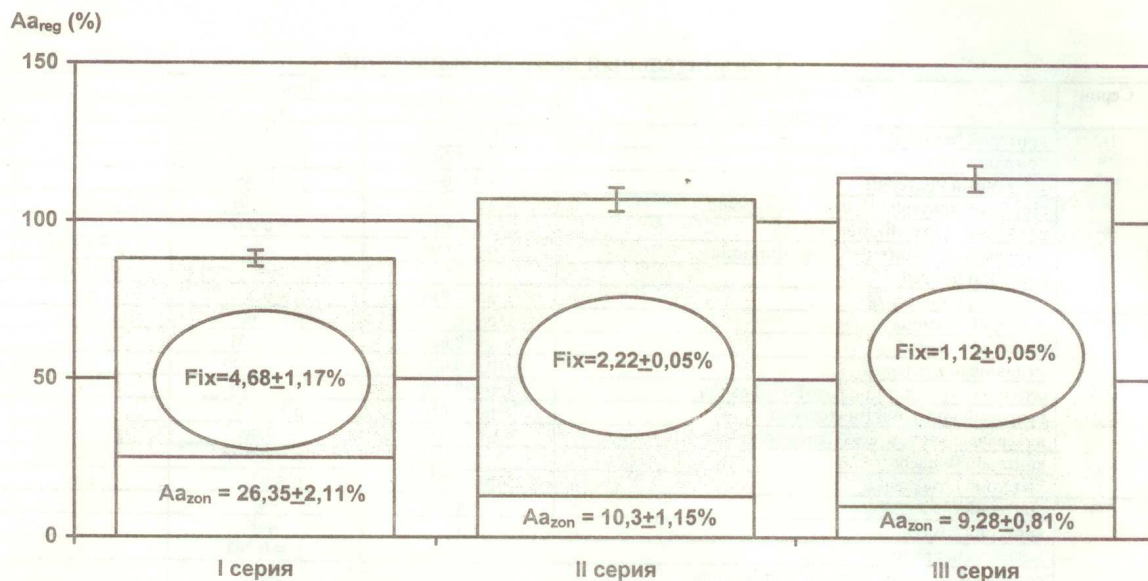


Рис. 4. Средние значения параметров A_{areg} , A_{azon} и Fix в сериях эксперимента.

В первой серии в девяти наблюдениях из десяти площадь дистракционного регенерата была существенно меньше площади диастаза (от 73 до 94%) и лишь в одном случае превысила ее (в среднем $A_{areg} = 88,51 \pm 4,299\%$). Более четверти площади регенерата (от 18 до 35, в среднем — $26,349 \pm 2,112\%$) у этих животных занимала прослойка. Для созревания регенерата требовалось от 3 до 5 месяцев фиксации, так что параметр Fix колебался от 3,25 до 6,5 (в среднем $4,68 \pm 1,174$) дня на 1 мм достигнутого удлинения.

Во второй серии в одном случае площадь регенерата была меньше площади диастаза, в шести - превышала ее и в трех наблюдениях эти показатели достоверно не различались. В среднем в этой серии параметр A_{areg} был равен $106,464 \pm 3,275\%$, в то же время доля прослойки снизилась до $10,299 \pm 1,145\%$, а длительность фиксации сократилась до 2 месяцев (в среднем $Fix = 2,222 \pm 0,046$ дня/мм). В третьей серии в двух наблюдениях площадь регенерата была равна, а в остальных восьми — существенно превышала площадь диастаза, так что в результате среднее значение параметра A_{areg} достигло $111,843 \pm 3,256\%$; это сопровождалось дальнейшим снижением от-

носительной площади прослойки в среднем до $9,276 \pm 0,809\%$ и сокращением сроков фиксации до 1 месяца ($Fix = 1,115 \pm 0,052$ дня/мм).

Иными словами, в трех использованных режимах дистракции, при одинаковой суточной скорости удлинения, — чем меньше был параметр L_{step} — шаг дистракции (причинный фактор), тем активнее разрастался дистракционный регенерат (параметр A_{areg} — следствие 1), тем интенсивнее в нем осуществлялись процессы остеогенеза (параметр A_{azon} — следствие 2) и тем короче требовался период фиксации (параметр Fix — результат).

Полагая реакцию показателя Fix обусловленной величинами L_{step} , A_{areg} и A_{azon} и выявляя зависимости между ними, мы получили значимые корреляции во всех сопоставлениях (таблица 5). А это позволило выразить результат в форме уравнения регрессии без свободного члена:

$$Fix = 0,00099 L_{step} + 0,00126 A_{areg} + 0,14628 A_{azon} \quad (1)$$

и со свободным членом:

$$Fix = 0,00112 L_{step} + 0,01374 A_{areg} + 0,15876 A_{azon} - 1,53021 \quad (2)$$

Таблица 5

Выборки	Критерии			
	Браваяса - Пирсона	Спирмэна	Кендэла	Фехнера
11 наблюдений				
$L_{step} - A_{areg}$	-0,789 $p < 0,050$	-0,673 $p < 0,050$	-0,597 $p < 0,010$	-0,636 $p < 0,050$
$L_{step} - A_{azon}$	0,950 $p < 0,010$	0,782 $p < 0,050$	0,732 $p < 0,001$	1,000 $p < 0,010$
$L_{step} - Fix$	0,891 $p < 0,010$	0,891 $p < 0,010$	0,877 $p < 0,001$	1,000 $p < 0,010$
$A_{areg} - A_{azon}$	-0,762 $p < 0,050$	-0,659 $p < 0,050$	-0,477 $p < 0,050$	-0,636 $p < 0,050$
$A_{areg} - Fix$	-0,669 $p < 0,050$	-0,718 $p < 0,050$	-0,561 $p < 0,010$	-0,636 $p < 0,050$
$A_{azon} - Fix$	0,917 $p < 0,010$	0,918 $p < 0,010$	0,830 $p < 0,001$	1,000 $p < 0,010$
30 наблюдений				
$L_{step} - A_{areg}$	-0,693 $p < 0,001$	-0,605 $p < 0,010$	-0,520 $p < 0,001$	-0,533 $p < 0,010$
$L_{step} - A_{azon}$	0,869 $p < 0,001$	0,725 $p < 0,001$	0,626 $p < 0,001$	0,933 $p < 0,001$
$A_{areg} - A_{azon}$	-0,755 $p < 0,001$	-0,663 $p < 0,001$	-0,483 $p < 0,001$	-0,600 $p < 0,010$

Отметим, что в первом случае значимость регрессионного уравнения в форме показателя множественной корреляции оказалась $R = 0,977$; $p < 0,001$ при $F_{(3, 8)} = 57,16$, тогда как во втором — $R = 0,922$; $p < 0,005$ при $F_{(3, 7)} = 13,27$.

И хотя из-за небольшого числа весьма варьирующих наблюдений по отдельности ни один из полученных коэффициентов не значим, достоверность совместного вклада в первую регрессию параметров A_{areg} и A_{azon} оказалась не хуже $p < 0,01$ при $F_{(2, 8)} = 8,980116$, а вклад пары показателей L_{step} и A_{azon} во второй регрессии — не хуже $p < 0,025$ при $F_{(2, 7)} = 9,44$.

Параллельно отметим, что частная корреляция параметров Fix и L_{step} ($r_{1-2,3,4} = 0,210$) невелика и не значима, а это свидетельствует о том, что роль кратности distraction в конечном результате удлинения непосредственно не проявляется. В то же время, частная корреляция L_{step} и A_{azon} оказалась равной $0,629$, $p < 0,001$, показав, что от кратности distraction тесно зависит активность остеогенеза.

Зная о том, что параметры A_{areg} и A_{azon} не ортогональны и видя, что корреляции исследуемых параметров в выборке из 30 наблюдений не столь велики, как в выборке, представленной 11 наблюдениями завершеного

эксперимента, причем зависимость между параметром A_{areg} и любым другим оказалась обратно пропорциональной, имело смысл рассмотреть еще и линейную гипотезу в отношении коэффициентов полученной регрессии. Полагая, для простоты, равновеликой роль каждого из трех параметров и принимая за единицу итог их совокупного влияния, сбалансируем модель по схеме: $1 - 1 + 1 = 1$, т.е.

$$890,63532 a_1 + 72,77901 a_2 + 6,29864 a_3 = 1.$$

Тогда уравнение гипотетической регрессии оказывается:

$$Fix = 0,00023 L_{step} - 0,00448 A_{areg} + 0,17769 A_{azon} + 0,44629 \quad (3)$$

Статистические показатели гипотетической регрессии не имеют существенных отличий от полученной нами ранее регрессии со свободным членом (по Стьюденту p не значимо), что позволяет рекомендовать ее для практических приложений.

Подставляя в полученные уравнения конкретные значения параметров, можно найти расчетные значения Fix и сопоставить их с полученными из эксперимента (таблица 6).

Таблица 6

№ п. п.	№ собак	Дистракция		Aa _{reg}	Aa _{zon}	Fix, дн/мм			
		V _{daily} мкм/день	L _{step} мкм			факт.	регрессия 1	регрессия 2	регрессия 3
1 серия									
1	5236	1000	1000	88,2	25,4	4,290	4,821	4,837	4,797
2	6552	1000	1000	90,2	27,9	6,500	5,189	5,261	5,232
3	8362	1000	1000	84,4	22,1	3,250	4,334	4,261	4,227
2 серия									
4	6548	1000	250	109,5	10,75	2,250	1,959	1,962	1,924
5	6792	1000	250	105,97	8,99	2,180	1,697	1,634	1,627
6	1104	1000	250	120,2	9,02	2,140	1,720	1,834	1,568
7	6783	1000	250	98,39	12,66	2,320	2,225	2,112	2,313
3 серия									
8	6796	1000	17	114,03	12,3	1,250	1,960	2,008	2,125
9	6018	1000	17	117,1	8,3	1,070	1,379	1,416	1,400
10	6677	1000	17	126,2	6,4	1,070	1,112	1,239	1,022
11	6531	1000	17	96,1	6,4	1,070	1,074	0,825	1,157

ОБСУЖДЕНИЕ

Аналитические выкладки, сделанные на основе полученного в процессе исследования цифрового материала, подтверждают, что использованные параметры адекватно характеризуют distractionный остеогенез как двуединый процесс, слагаемыми которого являются формирование в диастазе остеогенной ткани (параметр A_{areg}) и последующее образование на ее основе кости (параметр A_{azon}). Раздельное влияние каждого из этих параметров на показатель Fix математически мало значимо. Только их суммарный эффект

при условии, что они находятся в динамическом равновесии на протяжении всего периода distraction, обеспечивает положительный результат — быстрое созревание и органотипическую перестройку distractionного регенерата на этапе фиксации (параметр Fix). Характерно, что влияние причинного фактора L_{step} непосредственно на конечный результат математически не значимо, но опосредуется через пару $A_{areg} + A_{azon}$ с очень высокой степенью достоверности, что позволяет с помощью предложенной форму-

лы заранее, уже в конце периода distraction, рассчитывать показатель Fix и, соответственно, общую длительность этапа фиксации.

Низкие значения параметра Aa_{reg} в первой серии экспериментов объясняются, как нам представляется, тем, что ежедневные одноментные удлинения сразу на 1 мм вызывают в заполняющей диастаз остеогенной ткани перманентную микротравматизацию и гемодинамические расстройства [3, 12, 19] с одновременным снижением регенераторных и остеогенных потенциалов.

В то же время при шаге distraction $L_{step} \leq 250$ мкм гемодинамические расстройства и признаки микротравматизации морфологически не обнаруживаются [7, 18, 27], а остеогенная ткань не только заполняет весь distractionный диастаз, но нередко и превышает его пределы; в этих случаях, очевидно, следует говорить не о регенерации, а об ин-

тенсивном, нередко избыточном distraction-онном росте остеогенной ткани. Как убедительно свидетельствует параметр Aa_{zon} , остеогенез в этих условиях также характеризуется высокой активностью, причем более предпочтителен режим автоматической distraction: хотя по параметрам Aa_{reg} и Aa_{zon} можно отметить лишь тенденцию к улучшению показателей в третьей серии по сравнению со второй, результирующий показатель Fix в третьей серии существенно лучше с очень высокой степенью достоверности ($p = 0,0000$ при использовании интервального критерия рандомизации и $p < 0,001$ по критерию Стьюдента). Такое различие очевидно и без статистической обработки: по показателю Fix наблюдения этих двух серий (таблица 1) образуют ряды, значения которых принадлежат непересекающимся множествам.

ВЫВОДЫ

- Используемые параметры и алгоритм их обработки позволяют достоверно охарактеризовать процесс distractionного остеогенеза при разных режимах удлинения.
- Предложенная формула дает возможность уже в конце distraction рассчитывать необходимую продолжительность этапа фиксации.
- Из примененных режимов distraction наиболее предпочтителен автоматический с шагом L_{step} , равным 17 мкм.

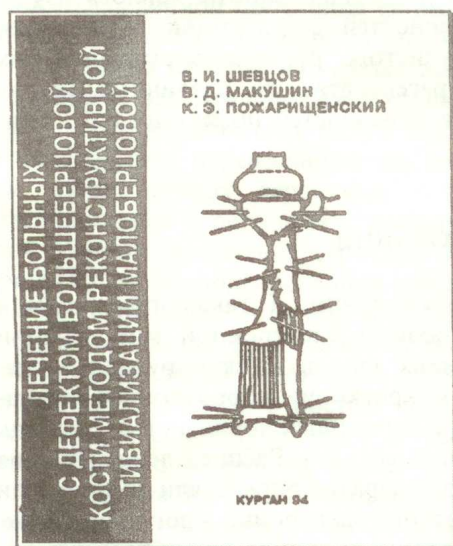
ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматическое удлинение нижних конечностей / А. В. Попков, Г. В. Дьячкова, В. А. Щуров и др. // Метод Илизарова — достижения и перспективы: Тез. докл. междунар. конф., посвящ. памяти акад. Г. А. Илизарова (Курган, 15-16 июня 1993 г.). — Курган, 1993. — С. 168 - 170.
2. Автоматический distractionный остеосинтез / В. И. Шевцов, А. В. Попков, С. А. Ерофеев, А. М. Чиркова // Анналы травматологии и ортопедии. — 1995. — № 1. — С. 44 - 47.
3. Биологические аспекты удлинения конечностей / В. И. Стецула, Г. Н. Лаврищева, В. П. Штин, Л. Н. Михайлова // Ортопед. травматол. — 1984. — № 9. — С. 21-26.
4. Блискунов А.М. Удлинение бедра управляемыми имплантируемыми конструкциями (эксперим. - клинич. исследование): Автореф. дис. ... докт. мед. наук. — М., 1983. — 27 с.
5. Возможности автоматического управления процессом distraction / Г. А. Илизаров, И. А. Катаев, А. А. Шрейнер и др. // Лечение ортопедо-травматол. больных в стационаре и поликлинике методом чрескост. остеосинтеза, разработ. в КНИИЭКОТ: Тез. докл. Всесоюз. науч.-практ. конф. — Курган, 1982. — Т. 2. — С. 21-23.
6. Ерофеев С.А. Значение дробности distraction при удлинении конечности по Илизарову (эксперим. исслед.): Автореф. дисс... канд. мед. наук. — Пермь, 1994. — 23 с.
7. 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. — № 1. — С. 8-12.
8. Илизаров Г. А. Значение комплекса оптимальных механических биологических факторов в регенеративном процессе при чрескостном остеосинтезе // Экспер. - теорет. и клин. аспекты разработ. в КНИИЭКОТ метода чрескост. остеосинтеза: Материалы Всесоюз. симпозиума с участием иностр. специалистов (Курган, 20-22 сентября, 1983 г.). — Курган, 1984. — С. 8-49.
9. Илизаров Г. А. Некоторые теоретические и клинические аспекты чрескостного остеосинтеза с позиций открытых нами общеприродных закономерностей // Эксперим.-теорет. и клин. аспекты чрескостного остеосинтеза, разработ. в КНИИЭКОТ: Тез. докл. Междунар. конф. (Курган, 3-5 сентября). — Курган, 1986. — С. 7-12.
10. Разработка и совершенствование методик удлинения конечностей автоматической distraction по Илизарову и создание технических средств для их осуществления. Ч. 1-я "Нижняя конечность": Отчет о выполнении договора № 6 / 114.012 (закл.) / МЗ РСФСР. ВКНЦ "ВТО"; Руководитель Г. А. Илизаров. — № ГР 01.89.0082281; инв. № 029.20010037. — Курган, 1991. — 69 с. — Отв. исполнитель А. В. Попков.
11. Калякина В. И., Корянова М. М. Восстановление длины верхней конечности по Илизарову в автоматическом и ручном режиме // Метод Илизарова — достижения и перспективы: Тез. докл. междунар. конф., посвящен. памяти акад. Г.А.Илизарова (Курган, 15-16 июня 1993 г.). — Курган, 1993. — С. 146-148.
12. Лаврищева Г. И., Михайлова Л. Н. Микроциркуляция distractionного регенерата при удлинении кости // Экспер. - теорет. и клин. аспекты разработ. в КНИИЭКОТ метода чрескост. остеосинтеза: Материалы Всесоюз. симпозиума с участием иностр. специалистов (Курган, 20-22 сентября, 1983 г.). — Курган, 1984. — С. 84-89.
13. Регенерация и рост тканей конечности, удлиняемой автоматическими distractionорами по Илизарову (экспер. исслед.) / С.А.Ерофеев, А.М.Чиркова, А.А.Шрейнер и др. // Метод Илизарова - достижения и перспективы. Тез. докл. междунар. конф., посвящен. памяти акад. Г.А.Илизарова (Курган, 15-16 июня 1993 г.) — Курган, 1993. — С. 338 -339

14. Рунион Р. Справочник по непараметрической статистике. Современный подход. — М.: Финансы и статистика, 1982. — С. 113-118.
15. Субетто А.И. Введение в квалиметрию высшей школы // Общая квалиметрия и спец. методы квалиметрии. — М., 1991. — Т.3. — С. 141-146.
16. Уткин В.А. О необходимом единообразии средств статистической индукции, используемых в медицине с применением ЭВМ // Изв. Сев.- Кавк. НЦ ВШ. — Серия "Техн. науки", — 1987. — № 2. — С. 28- 32.
17. Уткин В.А. К проблеме сравнения выборок малого объема //Датчики и средства первичной обработки информации. Тезисы докладов зональной научно-технич. конф. — Курган, 1990. — С.116-117.
18. Шрейнер А.А., Чиркова А.М., Ерофеев С.А. Формирование дистракционного регенерата при различных темпах удлинения конечности в эксперименте // Чрескост. компрес.-дистракц. остеосинтез по Илизарову в травматол. и ортопедии: Сб. науч. тр. КНИИЭКОТ. — Вып. 10. — Курган, 1985. — С. 148 - 154.
19. Штин В. П. Особенности костеобразования в зоне диастаза большеберцовой кости при удлинении голени аппаратом Г. А. Илизарова (эксперим.-морфол. исследование): Автореф. дис... докт. мед. наук. — Новосибирск, 1978. — 41 с.
20. Штин В. П., Никитенко З. Т. О темпе дистракции при удлинении трубчатых костей // Ортопед., травматол. — 1975. — № 10. — С. 40 - 44.
21. Чиркова А.М., Ерофеев С.А. Рентгено-морфологические особенности репаративного остеогенеза при автоматической дистракции // Ортопед., травматол. России. — 1994. — № 2. — С. 142 - 148.
22. Экспериментально-клинические аспекты удлинения конечности в автоматическом режиме / Г. А. Илизаров, С. А. Ерофеев, А. В. Попков и др. // Материалы VI съезда травматол. - ортопед. СНГ 14-17 сентября. — Ярославль, 1993. — С. 363 - 364.
23. А.с. 1423114 СССР, МКИ⁴ А 61 В 17/58 Компрессионнодистракционный аппарат / Г. А. Илизаров, А. П. Предеин, В. М. Быков (СССР). — № 3601258/28-14; Заявл. 06.04.83; Оpubл. 15.09.88. Бюл. № 34. — С.24.
24. Grill F., Dungli P. Lengthening for congenital short femur. Results of different methods // J. Bone Jt. Surg. — 1991. — Vol. 73-B, No 3. — P. 439-447.
25. Janovec M., Polach J. Rezbor vysledku prodduzovani femuru u 34 defi a dospivajicich //Acta clin. orthop. traum. Cech. — 1990. — R. 57, c. 5. — S. 405-416.
26. Pablos J., Barrios C., Canadell J. Leg lengthening by distraction through the callus of an arthrodesis // J. Bone It. Surg. — 1991. — Vol. 73-B, No 3. — P. 458-460.
27. Ilizarov G. A. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues: part 2. The influence of the rate and frequency of distraction // Clinical Orthop., — 1989. — N 239. — P. 263-285.

Рукопись поступила 14.05.96 г.

Вышла из печати книга



Шевцов В. И., Макушин В. Д., Пожарищенский К. Э. Лечение больных с дефектом большеберцовой кости методом реконструктивной тибализации малоберцовой. — Курган: Периодика, 1994. — 256 с.: 249 ил.

Книга предназначена для травматологов-ортопедов и хирургов широкого профиля. В ней содержатся ответы на многие вопросы по проблеме восстановительного лечения методом Илизарова больных с последствиями перенесенного остеомиелита или тяжелой травмы голени, с потерей части диафиза на большом протяжении, укорочении сегмента, контрактурой коленного сустава и деформацией стопы с вывихом малоберцовой кости в межберцовых сочленениях.

Авторы представляют 20 методик остеосинтеза и схемы компоновки аппарата, показания и противопоказания к вариантам тибализации малоберцовой кости, послеоперационное ведение больных и профилактику осложнений.