

© Е. Н. Горбач, 2018
УДК 611.16:616.718.5-089.21:636.7

Е. Н. Горбач

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСУДОВ РЕГЕНЕРАТА БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ КОСТИ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ УДЛИНЕНИИ ГОЛЕНИ С ПОВЫШЕННЫМ ТЕМПОМ

Лаборатория морфологии (зав. — канд. биол. наук Т. А. Силантьева), ФГБУ «Российский научный центр “Восстановительная травматология и ортопедия” им. академика Г. А. Илизарова» Минздрава РФ, г. Курган

Цель — изучить особенности кровоснабжения дистракционного регенерата большеберцовой кости на различных этапах автоматического удлинения голени с повышенным темпом.

Материал и методы. Исследованы кровеносные сосуды большеберцовой кости 25 взрослых беспородных собак, у 15 из которых голень удлинляли методом чрескостного дистракционного остеосинтеза с применением автоматических приводов с темпом 3 мм/сут в высокоточном режиме. Определяли численную плотность и диаметры сосудов в дистракционном регенерате на разных этапах остеогенеза и в костях интактных животных.

Результаты. После травмы наблюдаются вазодилатация вен, гипотонус артерий, снижение численной плотности сосудов артериального и венозного типа. Репаративные процессы сопровождаются увеличением числа капилляров в различных зонах регенерата в 2,0–3,7 раза, сужением артериол и расширением капилляров и венул. В период фиксации кости изменения в более крупных сосудах менее выражены, чем в сосудах микроциркуляторного русла. Повышенный до 3 мм суточный темп удлинения большеберцовой кости при сокращении общего аппаратного периода на 30–31% не нарушает адаптации сосудистого русла к условиям удлинения.

Выводы. Метод чрескостного дистракционного остеосинтеза с предложенным темпом удлинения голени не нарушает процессы микроциркуляции в костном регенерате и является оптимальным для обеспечения остеогенеза.

Ключевые слова: большеберцовая кость, кровеносные сосуды, дистракционный остеосинтез, морфометрические параметры

Удлинение укороченных конечностей остается актуальной проблемой, требующей решения на новом теоретическом и технологическом уровнях [6]. В современной ортопедии задача коррекции длины сегмента конечности решается хирургическими средствами, в том числе методом дистракционного остеосинтеза, разработанным акад. Г. А. Илизаровым. Продолжается поиск приемов, позволяющих сократить аппаратный период с сохранением условий для активного остеогенеза и адекватного кровоснабжения [11], от которых зависит конечный результат лечения [9]. Известно, что при удлинении голени с темпом 1 мм увеличение точности до 60 приемов с применением автоматических приводов создают более благоприятные условия для кровоснабжения и остеогенеза в формирующемся участке диафиза кости по сравнению с известными ручными режимами [5]. Однако одновременно достаточно часто происходит преждевременная оссификация регенерата, что делает невозможным дальнейшее удлинение кости, либо приводит к разрыву дистракционного регенерата и длительному формированию консолидации его фрагментов в зоне

разрыва [8]. В связи с этим возникла идея, что в условиях высокой точности для предупреждения преждевременной оссификации «зоны роста» нужно применять более высокие суточные темпы, позволяющие не только удлинять кость на нужную величину, но и сокращать аппаратный период.

В настоящее время имеются результаты, показывающие возможность увеличения суточного темпа до 3 мм в условиях высокой точности при автоматическом удлинении голени [2, 3, 6]. Основанием для применения данного режима, позволяющего сократить аппаратный период дистракционного остеосинтеза на 30–31%, являются значительный репаративный потенциал костной ткани большеберцовой кости и отсутствие необратимых деструктивных изменений в смежных суставах, мышцах и нервах [1, 3, 7, 10].

Для выяснения механизмов репаративных процессов костной ткани необходим анализ кровоснабжения формирующегося участка кости на различных этапах остеосинтеза.

Целью настоящего исследования явилось изучение динамики морфометрических параметров

Сведения об авторе:

Горбач Елена Николаевна (e-mail: gorbach.e@mail.ru), лаборатория морфологии ФГБУ «Российский научный центр “Восстановительная травматология и ортопедия” им. академика Г. А. Илизарова» Минздрава РФ, 640014, г. Курган, ул. Марии Ульяновой, 6

кровеносных сосудов в дистракционном регенерате большеберцовой кости собак на различных этапах ускоренного автоматического удлинения голени.

Материал и методы. Экспериментальное исследование выполнено на аутопсийном материале регенератов диафизов большеберцовых костей 15 прооперированных, а также большеберцовых костей 10 интактных взрослых беспородных собак. Содержание, операции и эвтаназию животных осуществляли в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных», утвержденных приказом МЗ СССР № 755 от 12 августа 1977 г. и Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации о гуманном обращении с животными (1996). Разрешение на проведение данного исследования отражено в протоколе заседания локального этического комитета № 3 (16) от 02.09.2013 г. Животным под тиопенталовым наркозом монтировали на голень аппарат Илизарова, после чего осуществляли флекссионную остеоклазию большеберцовых костей в средней трети диафиза (операции выполнены канд. вет. наук М. А. Степановым). Через 5 сут после операции начинали удлинение голени методом чрескостного дистракционного остеосинтеза при помощи автоматического привода с темпом 3 мм/сут за 120 приемов до достижения средней величины удлинения в 15% от длины диафиза. Собак выводили из опыта передозировкой барбитуратов через 10 сут дистракции, 30 сут фиксации и 30 сут после снятия аппарата.

Фрагменты регенератов диафизов большеберцовых костей животных, выведенных из эксперимента по окончании периода дистракции, вырезали из зон проксимального (Z_1) и дистального (Z_5) костных отломков, проксимального (Z_2) и дистального (Z_4) костных отделов регенерата и срединной соединительнотканной прослойки (Z_3), так называемой «зоны роста» (рисунк, а).

На остальных этапах эксперимента фрагменты извлекали из аналогичных участков кости для оценки изменений в изучаемых зонах (см. рисунок, б, в).

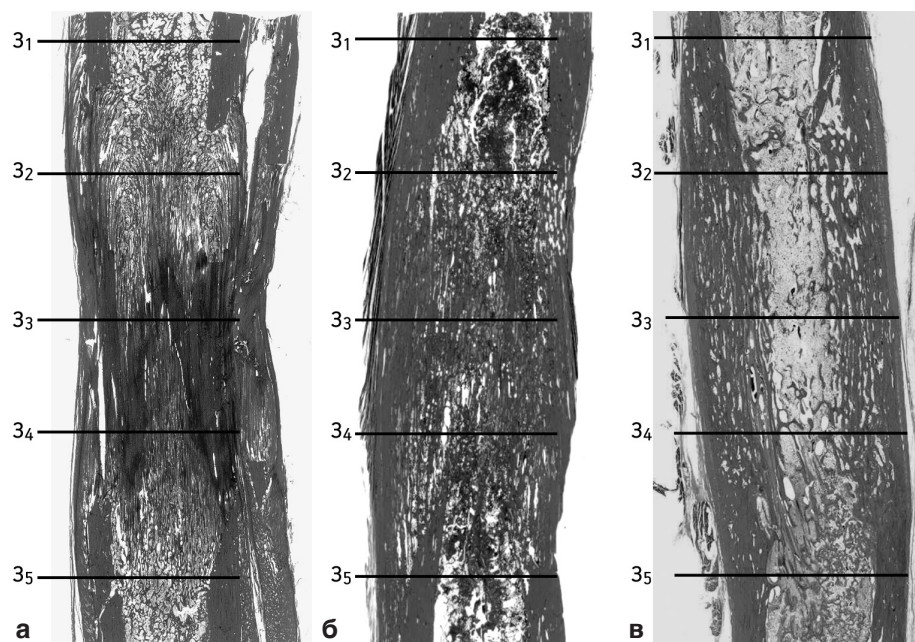
Фиксацию образцов осуществляли в смеси 2% растворов параформальдегида и глутаральдегида с добавлением фосфатного буфера (рН 7,4). После фиксации одну часть кусоч-

ков обезжизивали в этаноле возрастающей концентрации (от 70 до 100%), безводном ацетоне и заключали в аралдит, другую — декальцинировали трилоном Б, дегидратировали и заключали в парафин. На поперечных парафиновых срезах кости кровеносные сосуды выявляли гематоксилином — эозином, а также орсеином по Тенцеру—Унну, а полутонкие срезы обрабатывали метиленовым синим с постановкой ШИК-реакции. Препараты изучали при помощи светового микроскопа «Opton» (Германия) и аппаратно-программного комплекса «ДиаМорф» (Россия) при общем увеличении микроскопа 400. С помощью программы-анализатора изображений «ВидеоТест-Морфология 4.0» (Россия) определяли диаметр сосудов (Д) и их численную плотность (ЧПл) в поле зрения микроскопа в исследованных участках регенерата, затем пересчитывали их число на 10 мм^2 . Подсчитывали число сосудов артериального типа (артерии и артериолы) и венозного типа (вены и венулы). Статистическую обработку проводили с использованием приложения Microsoft Excel. Значимость различий средних величин изучаемых показателей в различные периоды эксперимента и по сравнению с контролем оценивали при помощи двухвыборочного t-критерия Стьюдента и считали их значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования. Через 10 сут дистракции ЧПл артериального типа была меньше в Z_1 и Z_5 на $10 \pm 0,5$ и 29,1%, в Z_2 и Z_4 — на 42,7 и 36,2%, в Z_3 — на 75,2% соответственно по сравнению с показателями у интактных животных (табл. 1).

Показатели ЧПл венозного типа были снижены в Z_1 и Z_5 в среднем на 13,9 и 10,4%, в Z_2 и Z_4 — на 21 и 22,6%, в Z_3 — на 75,8% соответственно по сравнению с контролем. ЧПл капиллярного типа во всех исследуемых зонах регенерата была значимо выше по сравнению с показателями у интактных животных: в Z_1 и Z_5 — в 2–2,5 раза, в Z_3 — в 3,7 раза.

Через 30 сут фиксации показатели ЧПл сосудов артериального звена в разных зонах регенера-



Зоны исследования сосудов в дистракционном регенерате.

а — 10 сут дистракции; б — 30 сут после начала фиксации; в — 30 сут после демонстрации аппарата. Z_1 — проксимальный костный отломок; Z_2 — проксимальный костный отдел; Z_3 — «зона роста» регенерата; Z_4 — дистальный костный отдел; Z_5 — дистальный костный отломок. Гистотопограммы продольных распилов дистракционных регенератов. Горизонтальные линии — середина костной зоны. Окраска гематоксилином — эозином. Ув. 1,5

Таблица 1

Динамика численной плотности сосудов регенерата большеберцовой кости на различных этапах удлинения голени
 $(\bar{x} \pm s_{\bar{x}})$

Этапы эксперимента	Зоны регенерата	Артерии и артериолы	Капилляры	Вены и венулы
Дистракция, 10 сут	З ₁	105,7±4,1*	237,9±10,7*	114,3±4,9*
	З ₂	95,16±2,1*	309,27±7,2**	74±2,4*
	З ₃	29,13±1*	577±17,8**	31,9±0,7*
	З ₄	93,26±3,1*	381,45±11,2**	82,5±2,9*
	З ₅	108±3,3*	254,88±10,1*	91,6±3,1*
Фиксация, 30 сут	З ₁	83,45±2,2*+	257,7±11,7*+	100,7±4,3*+
	З ₂	103,6±2,9*+	220,9±9,7*+	81±2,3*+
	З ₃	72,13±3,1*+	287,16±10,4*+	66±3,2***+
	З ₄	87,96±3,9*+++	222,67±10,3*+	81,6±3,9*+++
	З ₅	117,45±4,9*+++	196,8±0,4*+	111,3±5,1*+
Без аппарата, 30 сут	З ₁	119,98±3,6*+++	171,11±6,1*+	128,7±6,1*+++
	З ₂	111,68±3,7*+	197,2±8,1*+	123,7±5,7*+
	З ₃	110,1±3,1*+	194,9±7,4*+	118,1±3,9*+
	З ₄	119,45±4,3*+++	180,7±7,7*+	128±4,7*+++
	З ₅	120,67±3,1*+++	169,7±8,1*+	128,6±3,3*+++
Интактные животные		120,46±4,9	157,65±6,9	129,2±4,2

Здесь и в табл. 2: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p \geq 0,005$ по сравнению с интактными животными; + $p < 0,05$; +++ $p \geq 0,005$ по сравнению с предыдущим периодом эксперимента.

Примечание. Зоны регенерата: З₁ — проксимальный костный отломок, З₂ — проксимальный костный отдел, З₃ — соединительнотканная прослойка, З₄ — дистальный костный отдел, З₅ — дистальный костный отломок.

та изменялись неодинаково: в З₁ — уменьшились на 13,1%, в З₄ — оставались стабильными, в З₂, З₃ и З₅ — увеличились на 37,3, 106,6 и 21,4% соответственно по сравнению с показателями предыдущего этапа. По сравнению с контролем ЧПл артериального типа была значимо меньше: в области З₁ и З₅ — на 21,7 и 13,8%, в области З₂ и З₄ — в среднем на 37%, в З₃ — на 51,1% соответственно.

По сравнению с предыдущим этапом дистракции ЧПл венозного типа в разных исследованных зонах регенерата также изменялась неодинаково: в З₁ она уменьшалась на 21%, в З₂ и З₅ — увеличивалась на 8,3±0,5 и 8,8±0,4%, в З₄ — оставалась стабильной, в области З₃ — увеличивалась в 2,5 раза. В то же время, по сравнению с контролем ЧПл венозного типа оставалась сниженной в З₁ и З₅ — на 22 и 13,9%, в З₂, З₃, З₄ — в среднем на 37–40% соответственно.

ЧПл капиллярного типа по сравнению с периодом дистракции уменьшалась в З₅ на 36,3%, в З₂ и З₄ — в 1,6–2,0 раза, в З₅ — в 2,8 раза, а в З₁ — увеличилась на 12,6%. Однако по сравнению с контролем она была выше нормы в З₂ и З₄ на 63,5 и 25%, в З₁ и З₅ — на 40,1 и 41,2%, в З₅ — на 81,9%.

Через 1 мес после демонтажа аппарата по сравнению с периодом фиксации ЧПл артери-

ального типа увеличивалась в З₁ на 30,4%, в З₂ и З₄ — на 7,8±0,5 и 35,8%, в З₃ — на 52%, в З₅ — не изменялась. ЧПл венозного типа также увеличивалась в З₁ и З₅ на 27,7 и 15,6%, в З₂ и З₄ — на 52,75 и 56,79%, в З₃ — на 79,97%. Однако ЧПл капиллярного типа, напротив, уменьшалась в З₁ и З₅ на 33,6 и 16%, в З₂ и З₄ — на 10,36 и 23,2%, в З₃ — на 32,14% соответственно.

По сравнению с контролем ЧПл венозного и артериального типов в З₁, З₄ и З₅ не имела значимых различий. Однако в З₂ и З₃ ЧПл артериального типа была ниже нормы на 4,2±1,2 и 8,6±0,1%, венозного типа — на 7,4±0,5 и 8,7±0,9% соответственно.

Значения ЧПл капиллярного типа на уровне З₁ и З₅ были максимально приближены к норме. В зонах З₂, З₃ и З₄ ЧПл оставалась повышенной относительно контроля на 25, 23,6 и 14,6% соответственно.

К окончанию периода удлинения диаметр вен уменьшался по сравнению с контролем в З₁ и З₅ на 27,4 и 29,2%, в З₂ и З₄ — на 22,7 и 27%, в З₃ — на 38,8%.

Д венул во всех зонах был выше, чем в контроле — на 26,9–37,4%. Д сосудов капиллярного типа в З₁ и З₅ практически не отличался от такового у интактных собак, а в З₂, З₃ и З₄ был больше на 14,9, 71,6 и 21% соответственно.

Д артериол во всех исследуемых зонах, напротив, был меньше, чем в контроле: в зонах отломков Z_1 и Z_5 — на 30,9 и 21,2% соответственно, в зонах регенерата Z_2 , Z_3 , Z_4 — на 15,1, 11,5, $8,9 \pm 1,6\%$. Д артерий в Z_1 и Z_5 был приближен к норме, а в Z_2 , Z_3 и Z_4 — был выше, чем у интактных собак на 15, 101 и $6,7 \pm 0,2\%$ соответственно (табл. 2).

Через 30 сут фиксации по сравнению с периодом distraction Д вен в Z_1 и Z_3 не изменялся, а в Z_2 , Z_4 и Z_5 — уменьшался на 19,7, 15,8 и 9,2% соответственно.

По сравнению с контролем наибольшее сужение просветов вен и венул отмечено в участках Z_1 и Z_5 , где их диаметр уменьшался на 41,9–43,5%, в других участках Д венозных сосудов уменьшался на 33,2–37,4%. По сравнению с периодом distraction Д венул в Z_1 и Z_5 уменьшался на 33,4 и 23%, в Z_2 и Z_3 — не изменялся, а в Z_4 — увеличивался на 33,3%. По сравнению с интактными животными данный показатель в Z_1 и Z_5 не имел значимых различий, а в Z_2 , Z_3 и Z_4 он увеличивался на 60,6, 48,8 и 90,2%. Относительно предыдущего этапа эксперимента Д капилляров в Z_3 и Z_4 уменьшался на 35,6 и 11,8%, в остальных зонах — не изменялся. В то же время, по сравнению с контролем в Z_2 и Z_3 он был увеличен на 16,8 и 19,6%, а в Z_1 , Z_4 и Z_5 — приближен к значениям у интактных животных. Д артериол по сравнению с периодом distraction увеличивался в Z_1 , Z_2 , Z_3 , Z_4 и Z_5 на 46, 23,5, 34, 39 и 52% соответственно. Показатели Д артериол были больше, чем у интактных живот-

ных в разных зонах на 24,4–79,0%, значительно отклоняясь от нормы в Z_4 и Z_5 . Д артерий по отношению к предыдущему этапу в Z_1 , Z_4 и Z_5 увеличивался на 28,2, 24,9 и 20,73%, в Z_2 и Z_3 — не изменялся. По сравнению с показателями у интактных животных Д артерий увеличивался в зонах новообразованного участка диафиза в Z_2 на 60,63%, в Z_3 — на 90,2%, в Z_4 — на 48,8%. В Z_1 и Z_5 он увеличивался менее значительно — на 12,9–14,6%.

Через 30 сут после снятия аппарата Д сосудов венозного типа по сравнению с этапом фиксации во всех зонах практически не изменялся и был меньше показателей у интактных животных на 31,1–38,4%. Д венул в сравнении с предыдущим этапом уменьшался в Z_3 на 7,76%, в области Z_2 и Z_4 — на 25,54 и 74,8%. По сравнению с показателями у интактных животных Д венул на уровне Z_1 не изменялся, в Z_5 — увеличивался на 15,4%, в Z_2 , Z_3 и Z_4 нарастал на 39, 12,5, 32,1%.

Д капилляров по сравнению с окончанием периода фиксации в Z_1 увеличился на 16,7%, в Z_5 — не изменился, в Z_2 , Z_3 и Z_4 — уменьшался на 14,2, 35, $7,7 \pm 1,4\%$.

На этом этапе эксперимента Д капилляров во всех зонах не отличался от показателей у интактных животных.

Диаметр артериол относительно периода фиксации уменьшался в Z_1 и Z_5 на 19,3 и 84,3%, в Z_3 и Z_4 — на 11,8 и 11,9%, но в Z_2 — увеличивался на 37%. По сравнению с контролем Д артериол

Таблица 2

Динамика изменений диаметров сосудов регенерата большеберцовой кости на разных этапах эксперимента ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Этапы эксперимента	Зоны регенерата	Вены	Венулы	Капилляры	Артериолы	Артерии
Дистракция, 10 сут	Z_1	$42,9 \pm 1,7^*$	$20,8 \pm 0,9^*$	$10,8 \pm 0,5^{***}$	$7,9 \pm 0,3^*$	$17,01 \pm 0,8$
	Z_2	$56,2 \pm 2,6^*$	$27,8 \pm 1,1^*$	$12,7 \pm 0,5^*$	$9 \pm 0,4^*$	$24,1 \pm 1$
	Z_3	$44,5 \pm 2,1^*$	$22,6 \pm 0,8^*$	$18,9 \pm 0,9^*$	$10,1 \pm 0,5^*$	$42,2 \pm 1,6$
	Z_4	$53,1 \pm 1,9^*$	$20,8 \pm 0,9^*$	$13,3 \pm 0,6^*$	$10,4 \pm 0,5^*$	$22,4 \pm 0,8$
	Z_5	$51,5 \pm 1,6^*$	$21,3 \pm 1^*$	$11 \pm 0,5^{*****}$	$9,7 \pm 0,4^*$	$20,4 \pm 0,8^{***}$
Фиксация, 30 сут	Z_1	$42,3 \pm 1,3^{****}$	$15,6 \pm 0,7^{****}$	$11,4 \pm 0,4^{*****}$	$14,7 \pm 0,7^{**}$	$23,7 \pm 0,9^{**}$
	Z_2	$48,6 \pm 1,6^*$	$26,4 \pm 1,6^{****}$	$12,8 \pm 0,6^{****}$	$11,2 \pm 0,5^{****}$	$24,2 \pm 1,1^{****}$
	Z_3	$45,6 \pm 1,4^{**}$	$24,1 \pm 1,1^{****}$	$13,9 \pm 0,6^{**}$	$15,4 \pm 0,7^{**}$	$42,9 \pm 1,2^{****}$
	Z_4	$48,6 \pm 1,8^{**}$	$31,2 \pm 1,4^{**}$	$11,9 \pm 0,5^{****}$	$17,1 \pm 0,7^{**}$	$29,8 \pm 1,2^{**}$
	Z_5	$41,4 \pm 1,1^{**}$	$17,3 \pm 0,7^{****}$	$11,1 \pm 0,4^{*****}$	$20,5 \pm 1,1^{**}$	$25,7 \pm 1,1^{**}$
Без аппарата, 30 сут	Z_1	$47,8 \pm 2,1^{**}$	$17,1 \pm 0,7^{*****}$	$13,3 \pm 0,6^{**}$	$12,5 \pm 0,5^{**}$	$21,6 \pm 0,9^{****}$
	Z_2	$49,7 \pm 1,9^{****}$	$21,7 \pm 0,9^{**}$	$11 \pm 0,4^{****}$	$15,4 \pm 0,6^{****}$	$23 \pm 0,9^{****}$
	Z_3	$49,8 \pm 2,2^{**}$	$22,8 \pm 1,1^{****}$	$10,1 \pm 0,5^{****}$	$13,9 \pm 0,5^{**}$	$30,6 \pm 1,7^{**}$
	Z_4	$50,1 \pm 2,3^{****}$	$18,9 \pm 1^{****}$	$11,2 \pm 0,4^{*****}$	$14,3 \pm 0,6^{**}$	$27,1 \pm 1,1^{**}$
	Z_5	$44,8 \pm 1,2^{**}$	$21,9 \pm 0,9^{**}$	$11,1 \pm 0,4^{*****}$	$10,9 \pm 0,5^{****}$	$24 \pm 0,7^{****}$
Интактные животные		$72,7 \pm 2,5$	$16,4 \pm 0,6$	$10,9 \pm 0,5$	$11,5 \pm 0,5$	$21 \pm 0,7$

увеличивался в Z_1 на $8,7 \pm 0,4\%$, в Z_2 , Z_3 и Z_4 — на 34,6, 21,6, 24,9% соответственно, а в Z_5 — не отличался от контрольных показателей. По сравнению с периодом фиксации Д артерий уменьшался во всех зонах: в Z_1 и Z_5 — на $9,8 \pm 1,8$ и $7,9 \pm 0,1\%$, в Z_2 и Z_4 — на $5,9 \pm 0,1$ и 19,5%, в Z_3 — на 40,4%.

Д артерий на уровне Z_1 и Z_5 не отличался от показателей у интактных животных, а в Z_2 , Z_3 и Z_4 — был выше контрольных значений на $9,4 \pm 0,7$, 45,8 и 22,5%.

Обсуждение полученных данных. В результате проведенного исследования выявлено, что собственно оперативное вмешательство, а также дистракция костных фрагментов с повышенным темпом сопровождались изменениями сосудов кости. Репаративные процессы в удлиняемой кости происходят на фоне посттравматического состояния вазодилатации вен, расширения просвета артерий, снижения численной плотности сосудов артериального и венозного типа и увеличения численной плотности капилляров. Максимальные изменения отмечены в области соединительнотканной прослойки в «зоне роста» кости. Кровоток в микроциркуляторном русле этой зоны осуществляется за счет сужения просветов артериол и расширения его у капилляров и венул. Уменьшение внутреннего диаметра вен, наблюдаемое в период дистракции, мы связываем с состоянием вазодилатации. По мнению некоторых авторов, оно может развиваться вследствие увеличения общего объема сосудистой системы кости в результате неоваскулогенеза, в котором перераспределяется поступающий объем крови [9, 11, 12]. В постдистракционный период уменьшение среднего диаметра вен объясняется появлением более тонких новообразованных сосудов венозного типа [4].

Увеличение внутренних диаметров венул, капилляров и артерий на 20–80% в периоде дистракции, возможно, вызвано раздражением механорецепторов надкостницы в результате сдавливающего воздействия мышечного массива в связи с его растяжением в результате удлинения голени, а также запуском механизмов эндокринной регуляции, связанной с нарушением целостности кости [4]. Расширение просветов артерий также может быть связано и со снижением их тонуса при уменьшении поступающего объема крови в результате травмы [11]. В связи с этим уменьшение просвета артериол в зонах регенерата и отломков объясняется их ответной реакцией для обеспечения достаточного кровотока в регенерате.

Увеличение ЧПл микрососудов свидетельствует о неоваскулогенезе, индуцированном влиянием дистракции, способствующей образованию ангиогенных факторов, стимулирующих новообразование и структурную перестройку уже существовавших кровеносных сосудов [14], а также воздействием гемодинамических факторов [4].

В период фиксации характер изменений вен, артерий, венул и капилляров сохраняется с меньшей выраженностью. Наблюдается расширение артериол, что свидетельствует об увеличении кровенаполнения микрососудов [9].

В безаппаратный период зональные изменения сглажены, наблюдается достоверное уменьшение ЧПл капилляров и диаметров микрососудов. Однако вследствие незаконченной перестройки сосудистого русла некоторые показатели еще сохраняют значимые различия по сравнению с интактными животными.

Таким образом, активный остеогенез в период дистракции осуществляется благодаря достаточному кровоснабжению за счет увеличения общего объема сосудистого бассейна в зоне формирующегося регенерата. Этот процесс обеспечивается новообразованием сосудов капиллярного русла. Наблюдаемые вазодилатация вен и расширение просветов артерий можно рассматривать как приспособительный механизм регуляции кровотока для осуществления достаточного метаболизма, способствующего новообразованию костной ткани. Параллельная перестройка сосудистого русла и костной ткани на последующих этапах эксперимента связана с ранней нагрузкой на конечность. Следовательно, данные об особенностях кровоснабжения кости в условиях удлинения голени с повышенным до 3 мм суточным темпом свидетельствуют о том, что при сокращении периода дистракции втрое, а общего аппаратного периода на 30–31% не нарушаются закономерности адаптации сосудистого русла к условиям удлинения с меньшими темпами [4, 5, 13].

Автор сообщает об отсутствии в статье конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбач Е.Н., Степанов М.А. Особенности морфогенеза костной ткани при удлинении голени методом чрескостного дистракционного остеосинтеза при повышенном суточном темпе // Морфология. 2015. Т. 147, вып. 2. С. 69–74 [Gorbach E.N., Stepanov M.A. Peculiarities of bone tissue morphogenesis during shin lengthening using the method of transosseous distraction osteosynthesis with the increased daily rate // Morfologiya. 2015. Vol. 147, № 2. P. 69–74. In Russ.].
2. Горбач Е.Н., Степанов М.А. Положительный опыт применения Z-образной ахиллотомии при удлинении с высоким суточным темпом у собак // Вестн. Ульяновск. гос. сельскохозяйственной акад. 2016. Т. 36, вып. 4. С. 104–110

- [Gorbach E.N., Stepanov M.A. Positive experience of using z-shaped achillotomies for canine leg lengthening at high daily rate // *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*. 2016. Vol. 36, № 4. P. 104–110. In Russ.].
3. Горбач Е.Н., Ступина Т.А., Варсегова Т.Н., Еманов А.А. Изучение динамики костеобразования, состояния суставного хряща и большеберцового нерва при повышенном темпе удлинения голени автодистрактором в эксперименте // *Успехи соврем. естествозн.* 2013. № 7. С. 42–47 [Gorbach E.N., Stupina T.A., Varsegova T.N., Emanov A.A. Study of osteogenesis dynamics, articular cartilage and tibial nerve state for leg lengthening of increased rate using an autodistractor experimentally // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2013. № 7. P. 42–47. In Russ.].
 4. Ларионов А.А. Некоторые результаты изучения биологических эффектов чрескостного остеосинтеза и их применения при окклюзионных заболеваниях артерий // *Гений ортопедии*. 1998. № 4. С. 59–64 [Larionov A.A. Some of the results of the study on the biological effects of transosseous osteosynthesis and their application for occlusive diseases of arteries // *Genii ortopedii*. 1998. № 4. P. 59–64. In Russ.].
 5. Наумов А.Д., Гордиевских Н.И., Ерофеев С.А., Свешников А.А., Офицерова Н.В. Влияние разных ритмов distraction на костеобразование, концентрацию циклических нуклеотидов и гемодинамику в удлиняемой кости // *Гений ортопедии*. 1996. № 1. С. 34–36 [Naumov A.D., Gordievskikh N.I., Erofeev S.A., Sveshnikov A.A., Oficerova N.V. Effect of various distraction rhythms on bone formation, cyclic nucleotides concentration and hemodynamics in the bone under lengthening // *Genii ortopedii*. 1996. № 1. P. 34–36. In Russ.].
 6. Попков А.В. Врожденное укорочение нижних конечностей у детей. М., 2011 [Popkov A.V. Congenital lower limb shortening. M., 2011. In Russ.].
 7. Попков А.В., Филимонова Г.Н. Морфологические особенности передней большеберцовой мышцы в условиях круглосуточной автодистракции с высоким темпом // *Морфологические ведомости*, 2007. Т. 1, № 1–2. С. 114–118 [Popkov A.V., Filimonova G.N. Morphological features of the anterior tibial muscle in the conditions of continuous automatic distraction with high frequency rate // *Morfologicheskie vedomosti*. 2007. Vol. 1, № 1–2. P. 114–118. In Russ.].
 8. Чиркова А.М., Ерофеев С.А. Репаративная регенерация и перестройка кости после разрыва distraction regenerate // *Гений ортопедии*. 1997. № 4. С. 39–42 [Chirkova A.M., Erofeev S.A. Reparative regeneration and reorganization of bone after distraction regenerate break // *Genii ortopedii*. 1997. № 4. P. 39–42. In Russ.].
 9. Шрейнер А.А., Ерофеев С.А., Щудло М.М. и др. Теоретические аспекты distraction regenerate остеосинтеза. Значение режима distraction // *Гений ортопедии*. 1999. № 2. С. 13–17 [Shrejner A.A., Erofeev S.A., Shhudlo M.M., i dr. Theoretical aspects of distraction regenerate osteosynthesis. Importance of distraction mode // *Genii ortopedii*. 1999. № 2. P. 13–17. In Russ.].
 10. Щудло Н.А., Щудло М.М., Борисова И.В., Филимонова Г.Н. Гистологические изменения передней большеберцовой мышцы при удлинении голени собак с повышенным суточным темпом distraction различной дробности // *Гений ортопедии*. 2013. № 3. С. 71–76 [Shhudlo N.A., Shhudlo M.M., Borisova I.V., Filimonova G.N. Histological changes in the anterior tibial muscle for canine leg lengthening with the increased daily rate of different-division distraction // *Genii ortopedii*. 2013. № 3. P. 71–76. In Russ.].
 11. Щуров В.А., Мурадисинов С.О. Особенности кровоснабжения distraction regenerate при оперативном удлинении голени по методу Илизарова // *Международ. журн. прикладных и фундаментальных исследований*. 2014. № 9–3. С. 62–66 [Shhurov V.A., Muradisinov S.O. Features of blood flow distraction regenerate during surgical lengthening tibial ilizarov // *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2014. № 9–3. P. 62–66. In Russ.].
 12. Aldegheri R., Volino C., Zambito A., Tessari G., Trivella G. Use of ultrasound to monitor limb lengthening by callotaxis // *J. Pediatr. Orthop.* 1993. Vol. 2, № 1. P. 22–27.
 13. Aronson J., Harrison B.H., Stewart C.L., Harp J.H.Jr. The histology of distraction osteogenesis using different external fixators // *Clin. Orthop.* 1989. Vol. 241. P. 106–116.
 14. Reilly T.M., Selders R., Luchetti W., Brighton C.T. Similarities in the phenotypic expression of pericytes and bone cells // *Clin. Orthop.* 1998. Vol. 346. P. 95–103.

Поступила редакцию 20.04.2017

Получена после доработки 26.07.2017

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF BLOOD VESSELS OF TIBIAL REGENERATE IN TIBIA AUTOMATIC LENGTHENING AT AN INCREASED RATE

Ye. N. Gorbach

Objective — to study the characteristics of blood supply of the distraction regenerate of the tibia at different stages of the automatic lengthening of the tibia at increased rate.

Materials and methods. Blood vessels of the tibia were studied in 25 adult mongrel dogs, in 15 of which the shin was lengthened by the method of transosseous distraction osteosynthesis with the use of automatic actuators at the rate of 3 mm/day and high frequency mode. Blood vessel numerical density and diameters were determined in the distraction regenerate at different stages of osteogenesis and in bones of intact animals.

Results. After the injury, vasodilation of veins, arterial hypotonia, reduced numerical density of arterial and venous type blood vessels were observed. Repair processes were accompanied by 2.0–3.7-fold increase in the number of capillaries in the different areas of the regenerate, the contraction of arterioles and expansion of the capillaries and venules. In the period of fixation of the bone, changes in the larger vessels were less pronounced than in the microcirculatory vessels. Increase in the daily rate of tibia lengthening up to 3 mm, while reducing the overall hardware period by 30–31% did not disturb the adaptation of the vasculature to the terms of the elongation.

Conclusions. The method of transosseous distraction osteosynthesis with the proposed rate of tibia lengthening does not violate the microcirculation in the bone regenerate and is optimal for osteogenesis.

Key words: tibial bone, blood vessels, distraction osteosynthesis, morphometric parameters

«Restorative Traumatology and Orthopaedics» Russian Federal State Ilizarov Scientific Center, 6, M. Ulyanova St., Kurgan 640014