

## ВЛИЯНИЕ ДИСТРАКЦИОННОГО КОСТНОГО РЕГЕНЕРАТА НА КРОВООБРАЩЕНИЕ В КОНЕЧНОСТИ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

В.И. Шевцов, В.С. Бунов, Н.И. Гордиевских

Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. Г.А. Илизарова, Курган

---

*В эксперименте на 23 взрослых собаках проведены этапные исследования кровотока при удлинении голени по Илизарову. С помощью электромагнитной флоуметрии выявлено, что растяжение тканей голени способствовало снижению объемной скорости кровотока в бедренной артерии, а образование дистракционного костного регенерата — ее повышению. Удлинение голени сопровождалось ускоренным перемещением крови из артериального в венозное русло, которое поддерживалось сосудистой сетью костного регенерата. На основании изменений градиента давления крови сделан вывод, что стимуляция кровообращения в конечности определялась реакцией сердечно-сосудистой системы в целом.*

*Experimental staged study of blood flow in crus lengthening by Ilizarov was performed in 23 adult dogs. The results of electromagnetic flowmetry showed that distraction of crus tissues contributed to the decrease of the rate by volume in the femoral artery but the formation of the distraction bone regenerate - to its increase. Lengthening of the crus was accompanied by the accelerated transit of blood from the arterial bed to the venous one which was maintained by the vascular network of bone regenerate. Basing on the changes in pressure gradient it has been concluded that stimulation of blood circulation in the extremity was dependent on the response of cardio-vascular system as a whole.*

---

Известно, что перелом кости активизирует процессы репаративной регенерации и приводит к появлению гиперемии, продолжающейся не менее 6–8 нед. После сращения костных отломков локальную гиперемию поддерживают процессы структурной перестройки кости [3, 5].

Исследования, выполненные в РНЦ «ВТО» им. Г.А. Илизарова, показали, что остеотомия и образование дистракционного костного регенерата обеспечивают увеличение количества сосудов и сосудистых взаимосвязей в окружающих кость тканях. Исходя из этого разработан способ лечения недостаточности кровообращения, основанный на дистракционном остеосинтезе [1].

В процессе клинических наблюдений было также выявлено, что дистракционный остеосинтез может привести к развитию путей коллатерального кровотока, способствующих при облитерирующих поражениях артерий включению в кровообращение участков магистральных артерий, не подвергшихся окклюзии. Поскольку локальное увеличение количества сосудов и сосудистых взаимосвязей не объясняет причину эффекта на протяжении конечности, были изучены изменения регионарного кровообращения при удлинении голени.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Эксперименты проведены на 23 взрослых беспородных собаках с длиной большеберцовой кости от 12 до 18 см. Оперативные вмешательства и исследования выполнялись в условиях операционной и наркотического сна животных. Для удлинени-

ния голени использовали аппарат Илизарова, включающий 4 кольцевые опоры. Перекрещивающиеся спицы проводили через метафизы большеберцовой кости, фиксировали с натяжением. В средней трети большеберцовой и в верхней трети малоберцовой кости осуществляли закрытую флексионную остеоклазию — путем натяжения огибающих в поперечнике диафиз костей спиц создавали поднадкостничные винтообразные переломы [4]. Голень удлинляли с 6-х суток по 1 мм за четыре раза в течение 28 дней, затем фиксировали на протяжении 30 сут.

Для определения объемной скорости кровотока поверхностную бедренную артерию и бедренную вену выделяли в средней трети бедра, накладывали датчик, охватывающий исследуемый сосуд на протяжении 0,5 см, и с помощью электромагнитного расходомера крови РКЭ-2 производили флоуметрию [9]. Параметры флоуграм рассчитывали с помощью компьютера — цитофотометра МОР Videoplan.

Давление крови определяли прямым методом. Иглы для внутривенных инъекций вводили в просвет сосудов против направления кровотока. Среднее артериальное давление ( $P_{cp}$ ) вычисляли по формуле:  $P_{cp} = P_d + [(P_c - P_d) : 3]$ , где  $P_c$  — систолическое артериальное давление,  $P_d$  — диастолическое артериальное давление [10].

Для определения внутрикостного давления в полость диафиза большеберцовой кости, отступив от центра остеотомии выше и ниже на 2,5 см, вводили с помощью электродрели две канюли, изго-

товленные из игл для переливания крови, которые соединяли посредством коротких ригидных полиэтиленовых трубок с датчиком давления прибора Мингограф-82. Регистрацию осуществляли при движении ленты прибора со скоростью 50 и 100 мм/с. При расшифровке записей использовали калибровочные сигналы.

Для исследования напряжения газов крови брали шприцем пробы из бедренной вены и большой подкожной вены на голени. На микроанализаторе ВМЕ-33 с объемом измерительной камеры 75 мкл определяли  $PCO_2$  и  $PO_2$ . Время ответа  $PCO_2$  — электрода Е 5037/ $S_1$  и  $PO_2$  — электрода Е 5047 не превышало соответственно 30 и 50 с.

Контролем служили показатели, зарегистрированные перед оперативным вмешательством. В опыте исследования проводили по окончании distraction и фиксации. Дополнительно брали пробы крови из большой подкожной вены перед началом и через каждые 7 сут distraction. Из полученных данных составляли невзвешенные вариационные ряды, определяли средние, ошибку, достоверность средних и их различий по Стьюденту. Все средние приведены с уровнем достоверности не менее 95%. Данные по срокам сравнивали с контрольными значениями.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

В процессе эксперимента нарушений опорной функции оперированных конечностей не отмечалось. По данным рентгенографии, удлинение голени приводило к образованию «типичного» distractionного костного регенерата высотой 27–28 мм и увеличению длины большеберцовой кости на 17,5–23%.

Артериальные флоуграммы имели один систолический максимум повышения объемной скорости кровотока с ее постепенным снижением в течение диастолы. Случаев обратного тока крови не было (рис. 1, а). Венозные флоуграммы свидетельствовали о постоянной скорости кровотока в бедренной вене, на которую накладывались слабо выраженные волновые колебания (рис. 1, б).

После периода distraction объемная скорость кровотока в поверхностной бедренной артерии достоверно уменьшилась до 76%, а после периода фиксации увеличилась до 135%. Следовательно,

растяжение тканей голени способствовало снижению ее на 24%, а костеобразование в периоде фиксации — увеличению на 35% (табл. 1).

В контроле объемная скорость кровотока в бедренной вене была меньше, чем в поверхностной бедренной артерии, в 3 раза. После периодов distraction и фиксации достоверных различий между ними не было. Увеличение объемной скорости кровотока в бедренной вене при уменьшении ее в поверхностной бедренной артерии, а также соответствие этих показателей после периодов distraction и фиксации позволяет сделать вывод, что удлинение голени привело к ускорению перемещения крови из артериального в венозное русло.

Напряжение кислорода и углекислоты в крови в большой подкожной вене на голени и в бедренной вене достоверно не различалось, поэтому мы объединили эти данные. Оперативное вмешательство не приводило к достоверным изменениям напряжения кислорода и углекислоты в венозной крови. В периоде distraction напряжение кислорода было ниже на 20–14%, а через 30 сут фиксации соответствовало контрольным показателям. Напряжение углекислоты в течение эксперимента достоверно не отличалось от контрольных значений (табл. 2). Из сопоставления полученных данных следует, что в периоде distraction при увеличении экстракции кислорода из крови интенсивность дыхания тканей достоверно не изменялась. В периоде фиксации содержание кислорода в венозной крови восстанавливалось.

Удлинение голени приводило к повышению давления крови в поверхностной бедренной артерии (рис. 2). После периода distraction систолическое артериальное давление возрастало на 6%, после периода фиксации — на 14%. Диастолическое давление повышалось соответственно на 27 и 23%. В результате среднее артериальное давление увеличивалось на 18 и 19%. Достоверных изменений давления крови в бедренной вене не выявлено. Следовательно, distractionный остеосинтез способствовал повышению среднего артериального да-

Табл. 1. Объемная скорость кровотока (в мл/мин) в поверхностной бедренной артерии и бедренной вене ( $M \pm n$ )

Объемная скорость кровотока	Контроль (n=23)	Distraction, 28-е сутки (n=21)	Фиксация, 30-е сутки (n=18)
<b>Бедренная артерия:</b>			
абс.	34,5±3,1	26,3±2,6	46,6±4,8
%	100	76	135
p		<0,5	<0,5
<b>Бедренная вена:</b>			
абс.	11,0±2,1	31,0±3,1	41,3±4,5
%	100	282	380
p		<0,001	<0,001

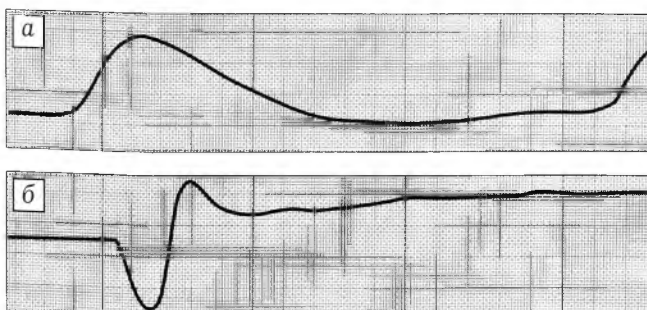


Рис. 1. Артериальная (а) и венозная (б) флоуграммы.

Табл. 2. Напряжение кислорода и углекислоты (в мм рт. ст.) в венозной крови ( $M \pm m$ )

Показатель	Контроль (n=43)	До distraction (n=23)	Distraction				Фиксация, 30-е сутки (n=21)	
			7-е сутки (n=21)	14-е сутки (n=21)	21-е сутки (n=21)	28-е сутки (n=40)		
P <sub>O<sub>2</sub></sub> :	абс.	65,4±2,3	65,2±7,7	53,1±4,7	52,0±6,6	55,8±3,3	56,5±3,7	64,3±3,4
	%	100	99	81	80	85	86	98
	p		>0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
P <sub>CO<sub>2</sub></sub> :	абс.	54,6±3,1	58,8±4,9	48,1±3,8	54,6±3,2	56,1±2,6	53,9±1,7	62,4±2,9
	%	100	108	90	100	103	98	114
	p		>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5

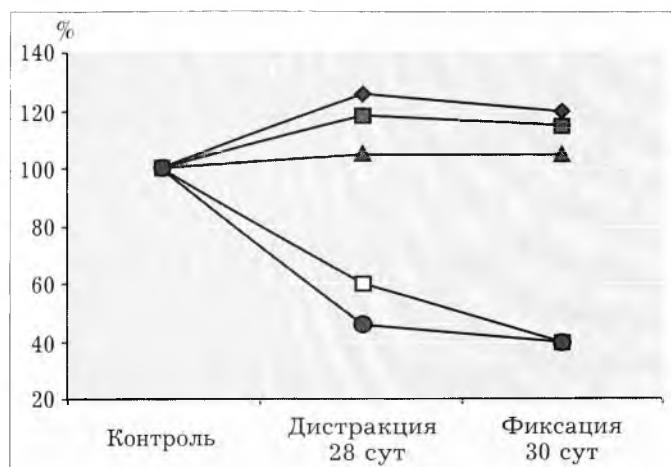


Рис. 2. Изменения артериального давления и внутрикостного давления в диафизарной полости проксимального и дистального отломков большеберцовой кости.

▲ — систолическое, ◆ — диастолическое, ■ — среднее артериальное давление; □ — внутрикостное давление в проксимальном, ● — в дистальном отломке.

ления, характеризующего движущую силу кровотока, и градиента артериально-венозного давления.

Внутрикостное давление в верхней и нижней трети диафиза большеберцовой кости достоверно не различалось. После периода distraction оно было снижено в проксимальном костном отломке на 40%, в дистальном — на 53%, после периода фиксации — соответственно на 63 и 61%. Изменения внутрикостного давления не коррелировали с изменениями артериального и венозного давления. Следовательно, величину внутрикостного давления определяли местные условия, связанные с аппаратом Илизарова и distractionным костным регенератом.

### ОБСУЖДЕНИЕ

В периоде distraction основным фактором влияния служило растяжение тканей голени, способствующее образованию и включению в кровообращение микроциркуляторных систем в «зоне роста» distractionного костного регенерата. Костеобразование шло после дифференциации новооб-

разованных клеток регенерата вблизи от костных отломков. Через 28 дней distraction выявлено снижение объемной скорости кровотока в поверхностной бедренной артерии.

В периоде фиксации длина голени не менялась. Продолжались включение в кровообращение микроциркуляторных систем в соединительнотканной прослойке и костеобразование, прогрессировала перестройка костных отделов distractionного костного регенерата. Через 30 сут фиксации выявлено повышение объемной скорости кровотока в поверхностной бедренной артерии.

Таким образом, растяжение тканей голени способствовало ограничению кровотока в поверхностной бедренной артерии, а регенерация участка кости — его увеличению.

Как известно, при открытых артериовенозных анастомозах кровотоков через капилляры уменьшается и ускоряется перемещение артериальной крови в венозное русло, что приводит к увеличению объемной скорости кровотока в венах и оксигенации венозной крови [10]. На основании выполненных ранее клинических исследований считали, что удлинение голени приводит к раскрытию артериовенозных анастомозов, которое сохраняется до образования органотипического участка кости — 1–2 года [2, 8].

Полученные нами в эксперименте данные указывают на то, что объемная скорость кровотока в бедренной вене повышалась вследствие роста distractionного костного регенерата, достигла скорости объемного кровотока в артерии и сохранялась на достигнутом уровне. Так как интенсивное образование специализированных тканевых элементов и перестройка регенерата кости зависят от кровотока по капиллярам, приходим к заключению, что ускорение перемещения артериальной крови в венозное русло определялось сосудистым руслом зоны distractionного костного регенерата, а не «сбросом» крови через артериовенозные анастомозы, уменьшающим «нутритивный» кровотоков.

Выявлено, что содержание кислорода в крови в большой подкожной и бедренной венах уменьша-

лось в периоде дистракции — во время стимули-руемого образования тканевых элементов регенера-та и восстанавливалось в периоде фиксации. Из-менения выявлены при увеличении объемной ско-рости кровотока в бедренной вене в 2 и 3 раза. Следовательно, ускоренное перемещение крови в венозную систему происходило через ткань, активно потребляющую кислород.

Сброс крови в венозную систему через арте-риовенозные анастомозы сопровождается умень-шением содержания углекислоты в венозной кро-ви. Отсутствие такового подтверждает, что кровото-к осуществлялся через «нутритивное» капилляр-ное русло.

В периоде дистракции уменьшение артериаль-ного притока ограничивало доставку кислорода, вследствие чего компенсаторно увеличивалась его экстракция из крови. При этом дыхание клеток дистракционного костного регенерата сохранялось на прежнем уровне — содержание углекислоты в венозной крови достоверно не изменялось. Увели-чение притока крови в периоде фиксации приво-дило к увеличению доставки кислорода, и его со-держание в венозной крови восстанавливалось.

Известно, что внутрикостное давление создает жидкая среда, а его величина зависит от соотно-шения артериального и венозного давления в ус-ловиях ограничения пространства жесткими стен-ками полости кости. Повышение артериального или венозного давления приводит к повышению внут-рикостного давления [6, 7]. Исследования показа-ли, что независимо от изменений объемной ско-рости кровотока и давления крови в магистраль-ных сосудах конечности давление в костных от-ломках снижалось. Следовательно, дистракцион-ный костный регенерат способствовал оттоку жид-кой среды из диафизарной полости отломков ко-сти, ограничивал влияние кровообращения в конеч-ности на внутрикостное давление.

Движущей силой кровотока служит градиент давления [10]. Наши исследования показали, что увеличение объемной скорости кровотока в магис-тральных сосудах конечности происходило вслед-ствие повышения систолического и диастоличес-кого артериального давления, приведшего к уве-личению среднего артериального давления. При этом венозное давление не менялось. Повышение давления в поверхностной бедренной артерии и отсутствие его повышения в бедренной вене в со-четании с увеличением объемной скорости кровотока в сосудах указывает на то, что усиление кро-вообращения в конечности связано с реакцией си-

стемы кровообращения. Данные литературы позво-ляют полагать, что этот эффект может быть след-ствием усиления сократительной функции левого и присасывающей функции правого желудочков сердца [9].

Таким образом, изменения кровотока в магис-тральных сосудах конечности были связаны с осо-бенностями кровообращения в зоне дистракцион-ного костного регенерата. Из этого следует, что со-хранение эффекта стимуляции кровообращения возможно до перестройки костного регенерата в участок «зрелой» кости.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что местные изменения кровообращения, воз-никающие при дистракционном остеосинтезе, ока-зывали стимулирующее влияние на кровообраще-ние в конечности. Данный эффект определяется ускоренным перемещением крови из артериаль-ного в венозное русло, связанным с функцией со-судистого русла зоны дистракционного костного регенерата.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А.С. 1061803 СССР, МКИ<sup>3</sup>, А 61 В 17/00. Способ лече-ния хронической ишемии конечности /Илизаров Г.А., Зусманович Ф.Н. //Бюл. изобрет. — 1983. — № 47. — С. 22.
2. Илизаров Г.А., Грачева В.И., Щуров В.А., Мальцев В.Д., Сайфутдинов М.С. //Проблемы чрескостного остеосинтеза в ортопедии и травматологии. Закономернос-ти регенерации и роста тканей под влиянием напря-жения растяжения. — Курган, 1982. — Вып. 8. — С. 143–152.
3. Корж А.А., Белоус А.М., Панков Е.Я. Репаративная регенерация кости. — М., 1972. — С. 130.
4. Наумов А.Д., Гордиевских Н.И., Ерофеев С.А., Свеш-ников А.А., Офицера Н.В. //Гений ортопедии. — 1996. — № 1. — С. 34–36.
5. Оноприенко Г.А. Васкуляризация костей при перело-мах и дефектах. — М., 1993.
6. Стецула В.И., Боер В.А., Мудрый С.П., Торбенко Г.Г. //Экспресс-информация. Новости медицины и меди-цинской техники. — 1979. — Вып. 6. — С. 1–25.
7. Шевцов В.И., Бунов В.С., Гордиевских Н.И. //Син-гральная хирургия. — 2000. — № 4. — С. 36–41.
8. Щуров В.А., Шейн А.П., Калякина В.И., Левитина Л.Х. //Чрескостный компрессионный, дистракцион-ный и компрессионно-дистракционный остеосинтез в травматологии и ортопедии. — Челябинск, 1976. — Вып. 2. — С. 96–99.
9. Физиология кровообращения: Физиология сосудис-той системы /Под ред. Б.И. Ткаченко. — Л., 1984. — С. 108–109, 127–129.
10. Физиология человека: Пер. с англ. /Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. — М., 1986. — Т. 3. — С. 113, 118, 128–130, 249.