

**Кровоснабжение конечности  
и показатели свертывающей системы крови  
при замещении дефектов костей голени в эксперименте**

**В.К. Камерин, А.Н. Дьячков, Л.И. Сбродова, Н.И. Гордиевских**

***Limb blood supply and measurements of blood coagulation system  
for experimental filling defects of leg bones***

**V.K. Kamerin, A.N. Diachkov, L.I. Sbrodova, N.I. Gordiyevskikh**

Федеральное государственное учреждение науки

«Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова Росздрава», г. Курган  
(генеральный директор — заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАМН, д.м.н., профессор В.И. Шевцов)

Изучали гемостаз в артериальной и венозной крови и кровоснабжение конечности при замещении дефектов костей голени в эксперименте. После снятия аппарата коагулирующие свойства крови и кровоснабжение конечности полностью восстанавливались. Замещение дефектов костей голени размером 15-30 % её длины сопровождается компенсаторными изменениями в сосудистой системе конечности, направленными на оптимальную регенерацию костной ткани при открытых повреждениях.

Ключевые слова: чрескостный остеосинтез, сосуды, дефекты, гемостаз.

Hemostasis of arterial and venous blood as well as limb blood supply was studied in the process of filling leg bone defects experimentally. Both blood coagulating properties and limb blood supply recovered completely after the fixator removal. Filling of leg bone defects the size of which is 15-30 % of bone length is accompanied by the compensatory changes in limb vascular system, directed to optimal regeneration of bone tissue for open injuries.

Keywords: transosseous osteosynthesis, vessels, defects, hemostasis.

## ВВЕДЕНИЕ

Известно, что состояние кровоснабжения является одним из важных факторов, влияющих на течение репаративной регенерации. Изучение изменений физиологического состояния циркуляторного аппарата конечностей при замещении дефектов длинных трубчатых костей представляет значительный интерес, так как система кровообращения наиболее активно участвует в

создании условий, обеспечивающих быструю перестройку жизнедеятельности тканей, необходимую для успешного остеогенеза [1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Поэтому задачей настоящего исследования явилось изучение в динамике состояния гемостаза, магистральных артерий и вен тазовых конечностей собак при замещении дефектов костей голени по Илизарову.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа выполнена на 145 беспородных собаках обоего пола с соблюдением требований гуманного обращения с экспериментальными животными, правил асептики, обезболивания и эвтаназии.

У 110 животных резецировали участок диафиза пиллой Джигли, а в 35 опытах моделировали открытый многооскольчатый перелом костей голени, производили первичную хирургическую обработку раны с удалением свободных осколков, концам отломков придавали поперечную форму. Всем животным накладывали аппарат Илизарова, концы отломков сближали до контакта и в течение 7 суток осуществляли компрессию на стыке их. С 8-х суток начинали ди-

стракцию по 1 мм (0,25×4 раза в день) до восстановления длины и целостности берцовых костей. Фиксация в аппарате – от 15 до 120 суток. После этого аппарат снимали и за животными наблюдали в течение 1-12 месяцев.

Путём прижизненной ангиографии в динамике (до операции, в периодах компрессии, дистракции, фиксации и после снятия аппарата) исследовали состояние магистральных артерий и вен оперированной конечности, а также внутрикостных сосудов и их взаимосвязь с магистральными и периостальными сосудами. На артерио- и флебограммах изучали топографию, размеры и состояние коллатералей магистральных артерий и вен голени.

Состояние гемостаза определяли общепринятыми биохимическими методиками [2, 10]. Полученные данные обработаны статистически

с помощью программы Excel 7,0. Определяли средние, их ошибку, достоверность средних и их различие по Стьюденту.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рентгенографическими наблюдениями было отмечено, что сразу после операции, независимо от величины создаваемого диафизарного дефекта кости, происходит общее расширение артериальной сети конечности. Дилатация бедренной артерии на уровне отхождения составляла 21 % от исходного диаметра, на уровне мыщелков бедра – 12 %, передней большеберцовой на уровне мыщелков – 28 %, на уровне созданного дефекта – 18 % и на уровне перехода в тыльную артерию стопы – 9 % (табл. 1). Расширение подкожной артерии голени на 27 % выявлено на уровне созданного дефекта. В зоне контакта фрагментов кости расширение подкожной артерии составляло 20 % исходного диаметра.

Отмечена дилатация не только магистральных стволов артерий, но и их ветвей II-IV порядка, включая артерии внутрикостной системы.

На ангиограммах конечностей определяются невидимые в норме предшествующие коллатеральные связи и анастомозы между бассейном бедренной артерии и артериями голени. Артерии голени замыкаются между собой метафизарными, метадиафизарно-периостальными артериями большеберцовой кости и входят в единую систему кровоснабжения конечности. В этот период отчетливо контрастируются обе ветви питательной артерии большеберцовой кости (при повреждении нисходящей ветви). Проксимальная часть артерии образует расширенную сеть, анастомозирующую с артериями коленного сустава. Дистальная часть питательной артерии также расширена и анастомозирует посредством метафизарных артерий с артериями голеностопного сустава и стопы.

Одновременно с артериями расширяются и сопровождающие их вены; определяется ускоренный сброс контраста в венозную часть кро-

венозного русла оперированной конечности. По-видимому, это обусловлено ускорением артериального кровотока и раскрытием «резервных» артериовенозных шунтов на фоне замедленного венозного оттока.

В данный период четко изменяется ангиоархитектоника магистральных сосудов сегмента и их ветвей II-III порядка, передняя большеберцовая артерия на уровне стыка фрагментов делает изгиб. В ряде случаев артерия имеет «Г-образный» ход от начала проксимального отдела диафиза до нижней трети, либо винтообразно огибает кости голени на протяжении 4-5 см от уровня стыка фрагментов в проксимальном и дистальном направлениях. В некоторых случаях в зоне контакта фрагментов контуры большеберцовой артерии напоминают четки с диаметром перехватов до 0,5 мм на протяжении 10 мм выше и ниже стыка костных фрагментов. Ветви II порядка в проксимальном отделе меняют свой угол отхождения, увеличивая его на 10-12°. Однотипна изменчивость архитектоники и сопровождающих вен.

Подколенная артерия в большинстве наблюдений на уровне подколенной ямки дугообразно искривлена в сторону икроножной мышцы. Отмечается увеличение угла отхождения её от бедренной артерии на 5-10°.

Свертывание крови в послеоперационном периоде ускоряется, увеличивается потребление протромбина на 26 % и концентрация фибриногена на 164 %, время свободного гепарина и фибринолиз сокращается на 52 % и 23,2 % соответственно (табл. 2). Этаноловая проба становится положительной. В венозной крови отмеченные изменения более выражены. Например, концентрация свободного гепарина снижена на 65 %, тромботест – 7 степени (табл. 3).

Таблица 1

Изменения диаметра артерий в процессе замещения дефекта костей голени в эксперименте, мм

Этап операции	Наименование артерии и уровень измерения								
	бедренная		передняя большеберцовая			подкожная		артерия тыла стопы	
	уровень отхождения	на уровне мыщелков бедра	на уровне мыщелков б/б кости	зона регенерата	на уровне голеностопного сустава	зона регенерата	на уровне голеностопного сустава	на уровне таранной кости	на уровне головки плюсневых костей
До операции	3,3±0,02	2,5±0,2	1,8±0,12	1,1±0,1	1,1±0,2	1,1±0,1	0,9±0,1	0,8±0,2	0,5±0,1
После операции	4,0±0,1	2,8±0,1	2,3±0,1	1,3±0,1	1,2±0,12	1,4±0,05	0,9±0,1	1,0±0,22	0,7±0,2
Период компрессии	4,0±0,1	2,8±0,1	2,3±0,1	1,3±0,1	1,2±0,12	1,4±0,05	0,9±0,1	1,0±0,22	0,7±0,22
Дистракции	3,5±0,05	2,6±0,01	1,9±0,05	1,2±0,05	1,0±0,05	0,9±0,1	0,8±0,15	0,9±0,15	0,7±0,2
Фиксации	3,4±0,1	2,5±0,15	1,8±0,01	1,1±0,03	1,0±0,1	1,0±0,1	0,8±0,05	0,8±0,1	0,6±0,1
После снятия аппарата	3,2±0,03	2,5±0,1	1,7±0,1	1,0±0,1	1,0±0,1	0,8±0,2	0,8±0,05	0,9±0,1	0,5±0,1

Таблица 2

Изменения в свертывающей системе артериальной крови при замещении дефектов костей голени в эксперименте

Показатели	До операции	Компрессия	Дистракция				Фиксация 1 месяц	Без аппарата 1 месяц
			7 суток	14 суток	21 сутки	28 суток		
ВСК с	491,1±73,1	452,5±88,4	260,2**±67,4	220,3**±48,4	234,5**±45,2	194,1**±59,0	295,3**±60,1	445,0±80,2
ВРП с	134,3±33,7	86,8**±37,1	67,8**±24,1	86**±18,1	113,8**±12,4	100,4**±8,4	90,6**±9,1	144,7±8,2
ПВ с	42,4±1,8	31,2**±2,2	37,8±1,7	27,8**±1,8	28,3**±2,1	32,1**±2,2	37,2±1,6	32,3**±2,6
ТПП с	306,6±19,4	134,3**±18,6	75,2**±18,1	110,8**±13,1	138,6**±21,5	148,8**±21,6	170,6**±19,4	244,5±25,6
ФГ г/л	2,266±0,84	5,98**±0,824	6,304**±0,944	5,695**±0,766	5,216**±0,784	4,663**±0,992	4,982**±0,802	2,552±0,7
ТВ с	33,6±1,9	31,6±0,5	33,4±0,4	30,6±0,9	28,3±0,9	31,1±1,3	29,6±2,1	38,5±2,3
СГ с	15,8±2,3	7,6**±0,8	4,6**±0,7	5,2**±0,6	5,8**±0,8	7,2**±0,9	10,2**±2,4	10,2**±2,3
ТТ	3-4	6	7	7	7	7	6	4
ФА %	29,5±4,1	6,3**±0,1	5,8**±0,5	7,6**±0,9	7,1**±0,7	13,1**±0,8	7,1**±0,9	29,4±1,2
Этанол	-	3+	2+	3+	3+	3+	2+	-

Таблица 3

Изменения в свертывающей системе венозной крови при замещении дефектов костей голени в эксперименте

Показатели	До операции	Компрессия	Дистракция				Фиксация 1 месяц	Без аппарата 1 месяц
			7 суток	14 суток	21 сутки	28 суток		
ВСКс	361,1±76,5	310,2±71,2	155,2**±39,4	123,36**±22,1	102,4**±15,2	94,1**±23,3	171,4**±20,1	450,4±79,1
ВРПс	93,5±34,1	64,2**±13,1	41,8**±17,01	66,6**±13,4	79,8±12,4	75,8±6,3	68,4**±5,4	136,2±7,3
ПВс	33,4±2,1	27,1**±1,6	28,2**±1,9	24,2**±1,4	24,0**±1,9	22,3**±1,9	32,2±3,1	31,2±2,2
ТППс	188,4±29,4	95,6**±10,7	51,2**±14,3	76,0**±12,4	96,4**±13,2	91,3**±14,4	123,6**±18,7	279,3±21,4
ФГ г/л	2,20±0,794	5,093**±0,684	3,686**±0,574	4,49**±0,612	4,97**±0,654	3,64**±0,801	4,44**±0,981	2,0±0,9
ТВс	27,5±1,9	26,3±1,9	22,6**±1,2	24,3±1,3	22,6**±1,1	22,5**±1,1	25,6±2,3	28,1±2,2
СГс	9,1±2,3	3,2**±1,7	1,9**±0,8	2,10**±0,3	2,8**±0,8	3,2**±0,9	7,0**±1,3	10,2**±3,3
ТТ	4	6-7	7	7	7	7	7	3
ФА%	21,6±4,1	4,8**±0,1	4,1**±0,2	4,2**±0,4	4,1**±0,8	9,3**±0,7	16,1**±0,8	31,1**±5,7
А/В разность O <sub>2</sub>	53,5±4,3	40,2±4,2	40,7±3,1	38,2±2,8	32,2±2,2	35,2±2,4	48,9±3,8	52,3±4,1

\*p<0,05; \*\*p<0,01

Наблюдаемая дистония артериальных и венозных сосудов в послеоперационном периоде возникает в связи с укорочением голени при создании дефекта кости, вследствие чего происходит относительное укорочение мягких тканей (гофрирование). Сосуды, заключенные в фасциальные ложа и имеющие анатомические точки фиксации, изменяют свою архитектуру, в то время как на уровне голеностопного сустава ход артерий и её архитектура не изменяются.

В периоде компрессии (после операции 7-10 суток) картина тотального расширения магистральных сосудов конечности сохраняется, однако по сравнению с послеоперационным периодом более выражено расширение подкожной артерии относительно передней большеберцовой на всех уровнях измерения. В этот период сохраняются ускорение фазы венозного контрастирования, относительное уменьшение функционирующих капилляров в связи с гиподинамией и укорочением сегмента конечности (дефекта кости). Этим, по-видимому, можно объяснить и ускорение артериального кровотока в конечности в целом.

Свертывающая система в артериальной и венозной крови активизируется во всех её фазах. В вене больной конечности время свертывания крови ускорено и составляет 43 %, толерантность гепаринизированной плазмы повышена на 73 %, концентрация свободного гепарина – на 21 %, количество фибриногена выше на 68 % от исходного уровня.

В начале периода дистракции архитектура магистральных стволов остается прежней. Внутрикостные артерии и их анастомозы с метафизарными сплетениями контрастируются более четко, количество ее на уровне контактирующих концов фрагментов к 7-м суткам дистракции возрастает, строение их приобретает петлевидную форму. Возрастает количество сосудов, связывающих метафизарную систему с околосуставным бассейном, как в проксимальном, так и в дистальном отделах. Между стволами передней большеберцовой и подкожной артерий появляются прямые анастомозы, которые оплетают кость и соединяются с периостальными сосудами.

Показатели гемокоагуляции проявляют тенденцию к восстановлению до исходного значения, сохраняясь на повышенных значениях.

В последующем периоде дистракции, по мере восстановления целостности кости и длины голени, происходит восстановление архитектуры и диаметра всех сосудов, претерпевших изменения: сглаживаются изгибы подколенной артерии, исчезает «штопорообразность» большеберцовой артерии с уменьшением углов на месте отхождения от магистральных до исходного. Параллельно с этим постепенно уравниваются фазы контрастирования оперированной и интактной конечностей как результат восстановления кровообращения.

Внутрикостные сосуды остаются расширенными, количество петлеобразных артерий у концов костных фрагментов возрастает и по мере форми-

рования костного distractionного регенерата они проникают в него. К 21-28-м суткам distraction обе ветви питательной артерии образуют единый внутрикостный бассейн. Связи между ветвями питательной артерии в этот период представлены многочисленными сосудами разного калибра, проходящими через регенерат параллельно продольной оси голени. Определяется система питательной артерии, широко анастомозирующей с проксимальными и дистальными метафизарными сосудами, которые анастомозируют с сосудами мягких тканей, получающих кровоснабжение из подкожной и передней большеберцовой артерий.

В крови сохраняется гиперкоагуляция. Коагуляционная активность крови оперированной конечности более выражена: ускорены время её свертывания, рекальцификации плазмы, тромбиновое и время свободного гепарина, выше степень тромботеста и толерантность плазмы к гепарину, больше потребность протромбина. Количество фибриногена в региональном кровотоке на 29 % ниже, чем в общем, а фибринолитическая активность - в 1,4 раза.

В периоде фиксации в кровеносном русле изменения касаются в основном сосудов III-IV порядка мягких тканей и внутрикостной сосудистой системы. Мелкие сосуды мягких тканей голени, околосуставных сумок, периоста и собственно кости в зоне distractionного регенерата подвергаются постепенной редукции. Сосудистая сеть разрезается, остаются более крупные сосуды, которые, проходя через регенерат, анастомозируют с ветвями питательной артерии.

По мере формирования костномозговой полости регенерата сеть внутрикостных сосудов упорядочивается, непрерывность ветвей питательной артерии полностью восстанавливается.

К концу фиксации наблюдается тенденция к нормализации коагулирующей активности крови, а фибринолиз восстанавливается до исходного уровня.

После снятия аппарата кровоснабжение конечности полностью восстанавливается с вовлечением в кровоток новообразованных сосудов, возникших в процессе формирования и перестройки регенерата, а также всех коллатеральных связей между тканевыми структурами голени и сосудистого русла конечности в целом.

Свертывающая и фибринолитическая активность крови как в регионарном, так и в тотальном кровотоке через месяц после снятия аппарата достигает исходных значений.

Таким образом, замещение дефектов костей голени размером 15-30 % её длины сопровождается компенсаторными изменениями в сосудистой системе конечности, способствующими оптимальной регенерации костной ткани. Компенсаторные реакции выражаются в открытии пассивных и формировании новых коллатеральных связей, обеспечивающих эффективное кровоснабжение всей ткани поврежденной конечности. Изменения в свертывающей системе крови являются следствием механической и операционной травм и при соответствующих условиях не влияют на конечный результат замещения дефекта. При этом следует отметить, что ни величина костного дефекта, ни длительность его замещения не изменяют пластических свойств кровеносных сосудов. Используемый при исследовании метод прижизненной ангиографии позволяет объективно оценить состояние магистрального кровоснабжения в конечности в целом и формирующимся distractionным регенерате.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ангиографический контроль кровоснабжения регенерата и динамика регионарной гемокоагуляции при замещении дефектов костей голени по Илизарову / В. К. Камерин, [и др.] // Современные методы диагностики и контроля за эффективностью лечения заболеваний и повреждений опорно-двигательного аппарата : Респ. сб. науч. работ по проблеме «Травматол. и ортопед.». - Л., 1981. - С. 39-45.
2. Балуда, В. П. Лабораторные методы исследования системы гемостаза / В. П. Балуда, З. С. Баркаган, Е. Д. Гольдберг. - Томск, 1980. - 312 с.
3. Дьячков, А. Н. Замещение дефектов мышц методом дозированной distraction по Илизарову : дис. ... канд. мед. наук. / А. Н. Дьячков ; РНЦ «ВТО» им. акад. Г. А. Илизарова. - Курган, 1985. - 184 с.
4. Камерин, В. К. Замещение дефектов костей и мягких тканей методом монолокального компрессионно-distractionного остеосинтеза : дис. ... д-ра мед. наук / В. К. Камерин ; РНЦ «ВТО» им. акад. Г. А. Илизарова. - Курган, 1998. - 262 с.
5. Крупаткин, А. И. Функциональные исследования периферического кровообращения и микроциркуляции тканей в травматол. и ортопедии: возможности и перспективы / А. И. Крупаткин // Вестн. травматол. и ортопед. - 2000. - № 1. - С. 67-69.
6. Куприянов, В. В. Ангиогенез: Образование, рост и развитие кровеносных сосудов / В. В. Куприянов, В. А. Миронов. - М. : НИО «Квартет», 1993. - 170 с.
7. Рентгено-денситометрические и морфологические исследования костеобразования и кровообращения при distractionном остеосинтезе костей голени по Илизарову / А. А. Свешников [и др.] // Актуальные проблемы чрескостного остеосинтеза по Илизарову : сб. науч. тр., КНИИЭКОТ. - Курган, 1987. - Вып. 12. - С. 66-69.
8. Сидоренков, О. К. Рентгеновазография костного регенерата при удлиняющем артродезе коленного сустава / О. К. Сидоренков, Э. А. Лузь, Г. М. Медведев // Современные методы диагностики и контроля за эффективностью лечения заболеваний и повреждений опорно-двигательного аппарата : Республ. сб. науч. работ. - Л., 1981. - Вып. VII. - С. 88-93.
9. Шрейнер, А. А. Экспериментальные данные к обоснованию срока начала distraction фрагментов диафиза при сохранении остеогенных тканей и кровоснабжения кости / А. А. Шрейнер // Значение открытых Г. А. Илизаровым общепатологических закономерностей в регенерации тканей : сб. науч. тр. - Курган, 1988. - Вып. 13. - С. 98-102.
10. Функциональные и лабораторные тесты в интенсивной терапии / В. А. Корячкин [и др.] - СПб. : «Ольга», 1999. - 38 с.

Рукопись поступила 14.11.05.