

© Группа авторов, 2000

## **Состояние кровообращения конечности в условиях автоматической дистракции**

**В.И. Шевцов, Н.И. Гордиевских, С.А. Ерофеев**

### ***Limb circulation status in the conditions of automatic distraction***

**V.I. Shevtsov, N.I. Gordiyevskikh, S.A. Yerofeyev**

Государственное учреждение науки

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

В эксперименте при удлинении голени у 20 собак в условиях автоматической высокочеткой дистракции изучали гемодинамику икроножной мышцы и большеберцовой кости. В процессе удлинения выявили уменьшение отека конечности, увеличение пульсового кровенаполнения, периферического сопротивления кровеносных сосудов и увеличение периода оттока крови в икроножной мышце. После окончания дистракции отмечена нормализация периферического сопротивления сосудов и восстановление средней скорости оттока крови. Для удлиняемой кости характерно увеличение объема сосудистого русла, снижение тонуса резистивных сосудов на протяжении всего эксперимента. Характерной чертой уровня показателей гемодинамики при удлинении конечности в условиях высокочеткой автоматической дистракции являлась их стабильность, интенсивное костеобразование сопровождалось синхронными изменениями гемодинамики в мышце и регенерате.

Ключевые слова: эксперимент, голень, автоматическая дистракция, гемодинамика.

The hemodynamics of musculus gastrocnemius and that of tibia was studied experimentally in the process of leg elongation by automatic distraction of high division, using 20 dogs. During the process of elongation increase of the period of blood outflow in musculus gastrocnemius was revealed as well as decrease of limb edema, increase of blood pulse filling and peripheral resistance of blood vessels. There was noted normalization of vascular peripheral resistance and recovery of blood outflow mean rate after distraction ending. Increase of vascular bed space and tension decrease of resistive vessels all over the experiment is typical of the bone being elongated. The stability of the hemodynamic indices during limb elongation by automatic distraction of high division was a characteristic feature of their level, intense osteogenesis was accompanied by synchronous hemodynamic changes in muscle and regenerated bone.

Keywords: experiment, leg, automatic distraction, hemodynamics.

Широкое использование в клинической практике компрессионно-дистракционного остеосинтеза по Г.А. Илизарову настоятельно диктует необходимость изучения регионарного и местного кровообращения в связи с тем, что оно является одним из важнейших факторов, участвующих в создании благоприятных условий для успешного удлинения конечности. По мнению Г.А. Илизарова [1], хорошее кровоснабжение и минимальное повреждение остеогенных тканей, особенно костного мозга, играют исключительно важную роль в регенерации кости.

В последние годы при удлинении конечностей все чаще применяют автоматизированные дистракционные аппараты [2 - 6]. Их использование основано на экспериментальных исследо-

ваниях, которыми установлено, что автоматическая высокочеткая дистракция оказывает положительное влияние на генез тканей [7, 8]. В сравнении с другими режимами удлинения при автодистракции функциональное состояние удлиняемой конечности практически не страдает, репаративная регенерация кости протекает очень активно, а новообразование костных структур порой опережает суточный темп (1,0 мм) разведения отломков [9 - 12]. Это, вероятно, обусловлено определенным состоянием кровообращения в удлиняемой конечности, что и явилось основанием для изучения гемодинамики в мягких тканях и интрамедуллярного кровообращения в условиях автоматической дистракции.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперименты проведены на 20 беспородных собаках обоего пола в возрасте от 1 года до 3 лет, массой от 15 до 22 кг и длиной голени от 16,5 до 21,0 см. Животным на голень накладывали аппарат Илизарова, состоящий из объединенных в подсистемы двух дуг и двух колец, между которыми устанавливали автоматические дистракторы. В средней трети диафиза осуществляли закрытую флекссионную остеоклазию большеберцовой кости, в верхней трети – малоберцовой [13]. Удлинение начинали через 5 дней после операции и продолжали 28 дней с режимом 1,0 мм за 60 приемов (по 0,017 мм за одну подкрутку) в течение суток. Последующий период фиксации продолжался 30 дней.

Состояние кровообращения в икроножной мышце и большеберцовой кости изучали методом импедансной плетизмографии. Одновременно определяли интегральный показатель внутрикостного кровообращения – внутрикостное давление (ВКД).

Состояние гемодинамики в икроножной мышце исследовали до операции, через 5 дней после нее, во время дистракции с интервалом 7 дней и через 30 дней фиксации. Исследования, которые требовали дополнительного оперативного вмешательства (внутрикостная реовазография и внутрикостное давление), проводили до операции, в конце периодов дистракции и фиксации.

Для оценки кровообращения в икроножной мышце применяли внутримышечную реовазографию (РВГ). Для этого два игольчатых электрода вводили в икроножную мышцу на расстоянии 3,0 см друг от друга. Реограмму записывали с помощью реографа РГ4-01 и “Мингографа-82”. Для измерения внутрикостного давления и внутрикостной реовазографии использовали канюли, изготовленные из обычной инъекционной иглы. Их засверливали с помощью дрели в большеберцовую кость в проксимальный и дистальный отломки на расстоянии 1,0 – 2,0 см от линии перелома и подсоединяли к датчику давления. Запись проводили на “Мингографе-82”, величину давления выражали в мм.

рт. ст. Во всех случаях одновременно записывали ЭКГ, широкополосную и дифференцирующую реограммы.

При анализе реограмм использовали ряд показателей (рис. 1), которые хорошо воспроизводимы, наиболее информативны и широко применяются в научных исследованиях [14]. К ним относятся: базисное омическое сопротивление (R) тканей сегмента конечности, реографический индекс (РИ), индекс эластичности сосудов (ИЭ), индекс периферического сопротивления сосудов (ИПС), длительность анакротической фазы (а), длительность катакротической фазы (в).

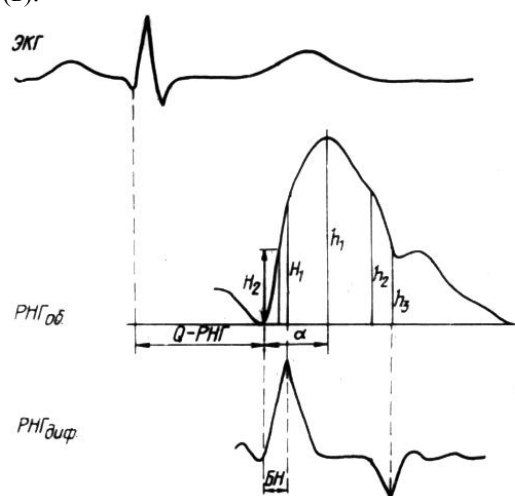


Рис. 1. Схема графического анализа реовазограммы

С помощью компьютера-цитофотометра-МОР Videoplan проводили измерение площадей реографической кривой в мм<sup>2</sup> (SaP, SvP) и вычисляли скорость притока и оттока крови [15].

Абсолютные значения гемодинамических показателей мы переводили в относительные единицы по отношению к дооперационным величинам. Полученные данные обработаны методом вариационной статистики для связанных между собой наблюдений с оценкой достоверности различий по Стьюденту [16].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По данным внутримышечной РВГ, на 5-й день после операции базисное сопротивление было снижено более чем наполовину, что объясняется как наличием отека, так и увеличением сосудистого бассейна. К концу первой недели удлинения (12 дней эксперимента) отек уменьшился, и наметилась тенденция к восстановлению базисного сопротивления. Однако даже

через месяц фиксации этот показатель не достигал исходной величины и составлял 81% (рис. 2).

Максимальное снижение реографического индекса (на 82%) отмечено также на 5-й день после операции (рис. 2). Начало дистракции сопровождалось увеличением его до 64% от первоначального значения и до конца удлинения

он оставался примерно на одном уровне. Через месяц фиксации РИ не только достигал исходной величины, но и на 36% превышал ее.

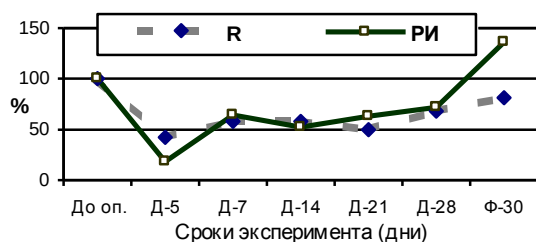


Рис. 2. Динамика базисного сопротивления и реографического индекса икроножной мышцы удлиняемой конечности

Индекс эластичности сосудов (табл. 1) несколько снижался после операции, затем восстанавливался на 2-й неделе distraction, а в конце эксперимента наблюдалось вновь некоторое его снижение. Индекс периферического сопротивления сосудов у животных увеличивался сразу после операции и сохранялся на этом уровне до конца distraction, после чего возвращался к норме (табл. 1).

Средняя скорость притока крови в сосудах икроножной мышцы (табл. 1) на 5-й день эксперимента резко снижалась и составляла 18% от исходного уровня. Начало удлинения привело к резкому подъему ее до 72%. На таком уровне величина этого показателя оставалась до конца distraction. Через месяц фиксации скорость притока крови превышала дооперационное значение на 42%.

Средняя скорость оттока крови (табл. 1) после операции также резко снижалась до 22%, но с началом distraction намечалась тенденция к ее восстановлению.

Таким образом, объем сосудистого бассейна в икроножной мышце оперированной конечности

увеличивался сразу после операции, но в первые дни удлинения он сокращался. К концу эксперимента кровенаполнение мышцы приближалось к исходному значению.

Пульсовое кровенаполнение резко уменьшалось после операции, с началом удлинения резко увеличивалось и оставалось примерно на таком уровне до конца distraction. Через месяц фиксации величина этого показателя не только достигала дооперационной величины, но и на 36% превышала ее.

Тонус артериальных сосудов в икроножной мышце удлиняемой конечности был низким до конца первой недели distraction. Восстановление его отмечено со второй недели удлинения и до начала периода фиксации. Через месяц фиксации отмечено повторное его снижение.

Периферическое сопротивление сосудов току крови в икроножной мышце было увеличено на протяжении всего эксперимента, за исключением периода фиксации. Приток крови замедлен до конца distraction.

При исследовании гемодинамики большеберцовой кости установлено, что через 28 дней distraction (33 дня эксперимента) базисное сопротивление снижено наполовину, и только через месяц фиксации выявлена тенденция к его восстановлению. Реографический индекс был снижен более чем наполовину и оставался примерно на таком уровне до конца эксперимента (рис. 3). Индекс эластичности к четвертой неделе distraction снизился на 66% и через месяц после прекращения удлинения так и не достиг своего первоначального значения. Периферическое сопротивление внутрикостных сосудов превышало дооперационное на всем протяжении эксперимента (табл. 2).

Таблица 1.

Показатели гемодинамики икроножной мышцы удлиняемой конечности

| Показатели | Сроки исследования (дни) |         |                     |       |       |        |       |       |       |       |          |        |
|------------|--------------------------|---------|---------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|----------|--------|
|            | 5                        |         | 12                  |       | 19    |        | 26    |       | 33    |       | 63       |        |
|            | До distraction           |         | Д и с т р а к ц и я |       |       |        |       |       |       |       | Фиксация |        |
|            | к                        | о       | к                   | о     | к     | о      | к     | о     | к     | о     | к        | о      |
| ИЭ         | 1,142                    | 1,105   | 1,132               | 1,104 | 1,162 | 1,165  | 1,164 | 1,153 | 1,113 | 1,105 | 1,155    | 1,107  |
| M ± m      | 0,049                    | 0,035   | 0,040               | 0,033 | 0,053 | 0,069  | 0,049 | 0,039 | 0,034 | 0,030 | 0,053    | 0,020  |
| ИПС        | 0,363                    | 0,404   | 0,372               | 0,475 | 0,350 | 0,476* | 0,391 | 0,422 | 0,356 | 0,479 | 0,383    | 0,379  |
| M ± m      | 0,075                    | 0,056   | 0,066               | 0,052 | 0,057 | 0,061  | 0,070 | 0,038 | 0,058 | 0,063 | 0,051    | 0,049  |
| SaP        | 4,741                    | 0,944** | 3,630               | 2,685 | 4,239 | 2,976  | 4,153 | 2,751 | 4,416 | 3,604 | 4,406    | 6,955  |
| M ± m      | 0,645                    | 0,225   | 0,613               | 0,552 | 0,523 | 0,780  | 0,611 | 0,908 | 0,606 | 0,634 | 0,555    | 1,716  |
| SvP        | 10,131                   | 1,513** | 7,636               | 7,297 | 9,024 | 6,262  | 8,437 | 7,708 | 8,493 | 8,104 | 8,626    | 14,021 |
| M ±m       | 2,010                    | 0,293   | 1,619               | 1,651 | 1,465 | 1,600  | 1,826 | 1,935 | 1,437 | 1,217 | 1,392    | 3,648  |

\* p < 0,05; \*\* p < 0,01; к - контроль; о - опыт.

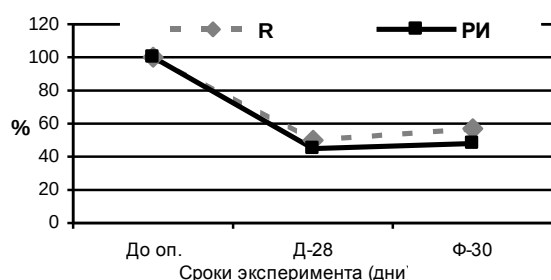


Рис. 3. Динамика базисного сопротивления и реографического индекса удлиняемой большеберцовой кости

Таблица 2.  
Показатели гемодинамики большеберцовой кости удлиняемой конечности

| Показатели | Сроки исследования (дни) |        |          |         |
|------------|--------------------------|--------|----------|---------|
|            | 33                       |        | 63       |         |
|            | Дистракция               |        | Фиксация |         |
|            | к                        | о      | к        | о       |
| ИЭ         | 1,137                    | 1,047* | 1,137    | 1,067*  |
| M±m        | 0,025                    | 0,018  | 0,025    | 0,021   |
| ИПС        | 0,345                    | 0,495  | 0,345    | 0,508** |
| M±m        | 0,077                    | 0,066  | 0,077    | 0,045   |
| SaP        | 11,879                   | 6,775  | 11,879   | 8,800*  |
| M±m        | 2,338                    | 1,606  | 2,338    | 2,028   |
| SvP        | 33,800                   | 16,956 | 33,800   | 22,076* |
| M±m        | 7,550                    | 3,963  | 7,550    | 7,429   |

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; к - контроль; о - опыт.

При анализе изменения времени наполнения сосудов отмечено, что систолический приток крови занимает более продолжительное время к

концу дистракции и на протяжении всего периода фиксации. Изменения периода оттока крови слабо выражены.

Средняя скорость притока крови (табл. 2) снижалась более чем наполовину при удлинении и значительно увеличивалась во время фиксации. Аналогичным образом менялась средняя скорость оттока крови.

Что касается других показателей гемодинамики в кости, то интерес представляет внутрикостное давление. ВКД в проксимальной части диафиза (рис. 4) было снижено до конца наблюдений. В дистальной части диафиза большеберцовой кости удлиняемой конечности к концу дистракции давление ниже исходного на 58%. В периоде фиксации прослеживалась тенденция его увеличения.

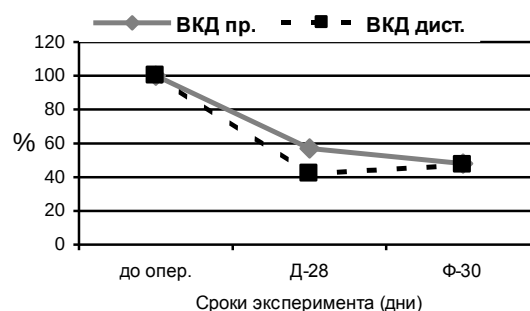


Рис. 4. Динамика интрамедуллярного давления в проксимальном и дистальном отломках большеберцовой кости

## ОБСУЖДЕНИЕ

Высокодетальная автоматическая дистракция сопровождалась уменьшением отека конечности с каждым этапом удлинения, увеличением пульсового кровенаполнения, периферического сопротивления кровеносных сосудов, что, вероятно, связано с повышением тонуса резистивных сосудов [17]. Это приводило, в свою очередь, к затруднению оттока крови в икроножной мышце. Но после окончания дистракции периферическое сопротивление сосудов у животных нормализовалось. Об этом же свидетельствует и средняя скорость оттока крови, которая постепенно восстанавливалась в процессе дистракции.

Отток связан с притоком, и если сравнивать между собой показатель средней скорости притока на протяжении всего периода удлинения, то он наиболее стабилен, хотя и ниже исходного значения.

Выраженные изменения гемодинамики наблюдались в большеберцовой кости после флекссионной остеоклазии и последующего ее удлинения. В диастазе между отломками в конце четвертой недели удлинения объем сосудистого русла примерно в два раза больше, чем в боль-

шеберцовой кости до операции, что связано с особенностью состояния внутрикостной сосудистой сети дистракционного регенерата, в частности, наличием тканевых кист, щелей [18], развитой капиллярной сети [19]. Тенденция к восстановлению отмечена во время фиксации. Пульсовое кровенаполнение на этом фоне претерпевало синхронные с предыдущим показателем изменения. Периферическое сопротивление кровеносных сосудов в диастазе было высоким на протяжении всего периода эксперимента. Внутрикостное давление как интегральный показатель внутрикостного кровообращения свидетельствует о том, что интрамедуллярный кровоток усиливался во время фиксации, нарастало ВКД. Это согласуется с изменениями средней скорости притока крови в костный регенерат, а также с высоким периферическим сопротивлением сосудов.

Исследуя гемодинамику в кости, мы отметили, что для костного регенерата характерно увеличение объема сосудистого русла, что связано, по-видимому, с обильной его васкуляризацией и образованием новых сосудов. Тонус резистивных сосудов остается низким на протя-

жении всего эксперимента. Основной отличительной чертой уровня показателей гемодинамики при удлинении конечности в условиях высокоструктурной автоматической дистракции являлась их стабильность, что, по-видимому, и обусловило активный остеогенез на протяжении всего периода эксперимента, о чем свидетельствуют ранее проведенные рентгено-морфологические исследования [8, 10]. Следует также отметить, что изменения показателей кровообращения в кости были более существенными по сравнению с аналогичными в мягких

тканях.

Таким образом, при автоматической высокоструктурной дистракции создаются наиболее благоприятные условия для репаративной регенерации кости. Все эти характерные изменения гемодинамики при автоматической высокоструктурной дистракции в сравнении с другими режимами удлинения являются оптимальными для дистракционного остеогенеза [20, 21]. Интенсивное костеобразование сопровождается синхронными изменениями гемодинамики в мышце и регенерате.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Илизаров Г.А. Значение комплекса оптимальных механических факторов в регенеративном процессе при чрескостном остеосинтезе // Экспериментально-теоретические и клинические аспекты разрабатываемого в КНИИЭКОТ метода чрескостного остеосинтеза: Тез. докл. Всесоюз. симпозиума. - Курган, 1983. - С. 5-15.
- Основные вопросы организации восстановительного лечения детей с заболеваниями опорно-двигательного аппарата: Сб. науч. работ. - Л., 1984. - С. 3-9.
- Андрианов В.Л., Рассохин В.М. Управляемые дистракторы для вытяжения костей и позвоночника при диспластических процессах // Воспалительные и дегенеративно-дистрофические процессы опорно-двигательного аппарата у детей: Сб. науч. работ. - Л., 1985. - С. 142-147.
- Автоматическое удлинение нижних конечностей / А.В. Попков, Г.В. Дьячкова, В.А. Щуров и др. // Метод Илизарова - достижения и перспективы: Тез. докл. Международ. конф., посвящ. памяти акад. Г.А. Илизарова. - Курган, 1993. - С. 168-170.
- Экспериментально-клинические аспекты удлинения конечности в автоматическом режиме / Г.А. Илизаров, С.А. Ерофеев, А.В. Попков и др. // Материалы VI съезда травматологов-ортопедов СНГ. - Ярославль, 1993. - С.363-364.
- Автоматический дистракционный остеосинтез / В.И. Шевцов, А.В. Попков, С.А. Ерофеев, А.М. Чиркова // Анналы травматол. ортопед. - 1995. - N 1. - С. 44-48.
- Регенерация и рост тканей конечности, удлиняемой автоматическими дистракторами по Илизарову (экспериментальное исследование) / С.А. Ерофеев, А.М. Чиркова, А.А. Шрейнер и др. // Метод Илизарова - достижения и перспективы: Тез. докл. Международ. конф., посвящ. памяти акад. Г.А. Илизарова. - Курган, 1993. - С.338-339.
- Чиркова А.М., Ерофеев С.А. Рентгено-морфологические особенности репаративного остеогенеза при автоматической дистракции // Травматол. ортопед. России. - 1994. - N 2. - С. 142-148.
- Илизаров Г.А., Ерофеев С.А., Чиркова А.М. Особенности костеобразования и функционального состояния удлиняемой конечности при различной дробности дистракции // Метод Илизарова: Теория, эксперимент, клиника: Тез. докл. Всесоюз. конф. - Курган, 1991. - С. 285-287.
- Ерофеев С.А. Значение дробности дистракции при удлинении конечности по Илизарову (эксперим. исследование): Автореф. дис...канд. мед. наук. - Пермь, 1994. - 23 с.
- Зависимость репаративной регенерации кости и функционального состояния удлиняемой конечности от дробности дистракции (экспериментальное исследование) / Г.А. Илизаров, С.А. Ерофеев, А.А. Шрейнер, А.М. Чиркова, Г.И. Шевченко // Гений ортопедии. - 1995. - N 1. - С. 8-12.
- Значение величины разового удлинения для состояния двигательной функции удлиняемой конечности / М.С. Сайфутдинов, С.А. Ерофеев, Н.Р. Карымов и др. // Гений ортопедии. - 1996. - № 2-3. - С. 141-142.
- Илизаров Г.А., Шрейнер А.А. Закрытая остеотомия трубчатых костей в эксперименте // Теоретические и практические аспекты чрескостного компрессионного и дистракционного остеосинтеза: Тез. докл. Всесоюз. науч.-практ. конф. - Курган, 1976. - С. 38-40.
- Реография и импедансная плетизмография / Под ред. Г.И.Сидоренко. - Минск: Беларусь, 1978. - 158 с.
- Гордиевских Н.И. Состояние кровообращения удлиняемой по Илизарову конечности в условиях разной дробности дистракции: (Эксперим. исслед.): Дис...канд. биол. наук. - Курган, 1994. - 170 с.
- Урбах В.Ю. Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях. - М.: Медицина, 1975. - 295 с.
- Myogenic vasoregulation overrides local metabolic control in resting rat skeletal muscle / G.A. Meininger, Ch.A. Mack, K.L. Fehr, H.G. Bohlen // Circ.Res. - 1987. - Vol. 60, N 6. - P. 861-870.
- Лаврищева Г.И., Михайлова Л.Н. Микроциркуляция в дистракционном регенерате при удлинении кости // Экспериментально-теоретические и клинические аспекты разрабатываемого в КНИИЭКОТ метода чрескостного остеосинтеза: Тез. докл. Всесоюз. симпозиума. - Курган, 1983. - С. 42-43.
- Штин В.П. Формирование путей кровотока в регенерате кости при ее удлинении в эксперименте // Экспериментально-теоретические и клинические аспекты разрабатываемого в КНИИЭКОТ метода чрескостного остеосинтеза: Тез. докл. Всесоюз. симпозиум с участием иностр. специалистов. - Курган, 1983. - С. 44-46.
- Влияние разных ритмов дистракции на костеобразование, концентрацию циклических нуклеотидов и гемодинамику в удлиняемой кости / А.Д. Наумов, Н.И. Гордиевских, С.А. Ерофеев, А.А. Свешников, Н.В. Офицерова // Гений ортопедии. - 1996. - № 1. - С. 34-36.
- Сравнительное морфофункциональное исследование сосудистого бассейна мышц конечности, удлиняемой при разных режимах дистракции / В.И. Шевцов, С.Н. Асонова, А.Д. Наумов, Н.И. Гордиевских, Л.С. Кузнецова, С.А. Ерофеев, Г.Н. Филимонова: Реф. докл. итог. науч. сессии РНЦ «ВТО» (15-16 марта 1996 г.) // Гений ортопедии. - 1996. - № 1. - С. 95.

Рукопись поступила 16.10.99.