

**ГЕМОДИНАМИКА В МЯГКИХ ТКАНЯХ ПРИ УДЛИНЕНИИ ГОЛЕНИ  
МЕТОДОМ ОСТЕОСИНТЕЗА ПО ИЛИЗАРОВУ**

© Н. А. Кононович,\* Н. В. Петровская

РНЦ «ВТО» им. акад. Г. А. Илизарова Минздравсоцразвития, Россия, 640014, Курган,  
ул. М. Ульяновой, 6, \*e-mail: n.a.kononovich@mail.ru

У 12 взрослых беспородных собак в условиях чрескостного distractionного остеосинтеза удлиняли голень в области верхней трети диафиза берцовых костей на 14—18 % от длины сегмента с темпом 1.0 мм за 4 приема. Формирование механически прочного участка диафиза происходило через 35 суток аппаратной фиксации. В созданных условиях в мягких тканях сегмента происходят однонаправленные циклические изменения кровообращения и морфофункционального состояния, сильнее выраженные в мышцах группы разгибателей. Проведение лечебно-профилактических мероприятий, направленных на улучшение вязкоупругих свойств сосудов, позволит снизить степень нарушения гемодинамики удлиняемой конечности, что окажет положительное влияние на окончательный клинический результат.

*Ключевые слова:* distractionный остеосинтез, гемодинамика, мышцы.

Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. Т. 99. № 2. С. 00—00. 2013

*N. A. Kononovich, N. V. Petrovskaya.* HEMODYNAMICS IN SOFT TISSUES AFTER UPPER THIRD OF THE LEG LENGTHENING BY ILIZAROV OSTEOSYNTHESIS TECHNIQUE. Federal State-Financed Institution The Russian Ilizarov Scientific Center Restorative Traumatology and Orthopaedics of the RF Ministry of Healthcare and Social Development, Kurgan, 640014, M. Ulianova Str., 6, Russia, e-mail: n.a.kononovich@mail.ru.

An experimental study has been performed. The leg was lengthened in 12 adult mongrel dogs by transosseous distraction osteosynthesis in the zone of upper third of the leg bone shaft by 14—18 % of the segment length using the rate of 1.0 mm for 4 times. The formation of mechanically strong shaft part occurred after 35 days after device fixation. Under created conditions the unidirectional cyclic changes of blood circulation and morphofunctional state occurred in soft tissue segment, that were more marked in the extensor muscle group. Implementation of preventive-and-treatment measures directed to improvement of vascular elastotonic properties allowed to decrease the degree of disordering hemodynamics of the lengthened limb. This will have a positive effect on the final clinical outcome.

*Key words:* experiment, distraction osteosynthesis, hemodynamics, muscles.

RUSSIAN JOURNAL OF PHYSIOLOGY. V. 99. N 2. P. 00—00. 2013

Одним из традиционных методов восстановления длины конечностей при посттравматических укорочениях, врожденных заболеваниях и при субъективно недостаточном росте является чрескостный distractionный остеосинтез. Клас-

сическим вариантом удлинения голени считается дистракция в режиме 1.0 мм в сутки за 4 приема после остеотомии большеберцовой кости в верхней трети и малоберцовой кости в нижней трети их диафизов [2, 4].

Активность течения дистракционного остеогенеза в значительной степени зависит от кровоснабжения костной и окружающих мягких тканей. В свою очередь характер гемодинамических изменений определяет морфофункциональное состояние тканей удлиняемого сегмента [5].

В ряде работ было изучено состояние кровообращения в тканях при различных вариантах дистракционного остеогенеза как в клинике, так и при экспериментальных исследованиях [6, 8]. Однако отсутствуют данные об особенностях гемодинамики разных групп мышц в частности при увеличении субъективно недостаточного роста методом чрескостного дистракционного остеосинтеза костей голени после остеотомии долотом в верхней трети диафиза с суточным темпом удлинения 1 мм за 4 приема, что и явилось целью настоящего исследования.

## МЕТОДИКА

Для решения поставленной цели была выбрана экспериментальная модель адекватная клиническим ситуациям. Эксперимент выполнен на 12 взрослых беспородных собаках. Наркотизированным животным в условиях операционной выполняли открытую поперечную остеотомию долотом на уровне верхней трети диафиза берцовых костей. Отломки фиксировали аппаратом Илизарова. Компоновка аппарата состояла из четырех опор (2 дуговые, 2 кольцевые), образующих между собой две подсистемы. Подсистемы соединялись резьбовыми стержнями с возможностью продольного перемещения (оперативные вмешательства выполнены с участием к. в. н Степанова М. А.).

Через 5 суток после операции осуществляли удлинение с темпом 1.0 мм в сутки за 4 приема на протяжении 28 суток. Величина удлинения составляла 14—18 % от нормальной длины сегмента. В созданных условиях формирование опороспособного участка диафиза происходило в среднем через  $33.8 \pm 2.0$  суток аппаратной фиксации.

Через 14, 28 суток дистракции, 15 суток фиксации, через 15 и 30 суток после демонтажа аппарата выполняли реографию передней большеберцовой (разгибатель голеностопного сустава) и икроножной мышцы (сгибатель голеностопного сустава и коленного сустава). Для этого использовали диагностический комплекс реограф-полианализатор РГПА-6/12 «РЕАН-ПОЛИ», элитная версия (МЕДИКОМ-МТД, Россия). В качестве электродов использовали иглы для инъекций [9]. Проводили количественную оценку реограмм. Полученные данные подвергали статистической обработке с использованием компьютерной программы AtteStat (Гайдышев И. П., 2003). Определяли средние величины и проверку нормальности распределений полученных данных. Для оценки различий двух групп показателей применяли критерий Вилкоксона, при нормальном распределении — *t*-критерий Стьюдента. Различия показателей считали достоверными при  $p \leq 0.05$ .

Анализировали динамику изменений показателей: базисный импеданс (БИ, Ом), время распространения пульсовой волны (ВРПВ, мс), максимальную скорость быстрого кровенаполнения (МСБКН, Ом/с), реографический индекс (РИ, Ом), среднюю скорость медленного кровенаполнения (ССМКН, Ом/с), дикротический индекс (ДКИ, %), диастолический индекс (ДСИ, %), индекс венозного оттока (ИВО, %).

В качестве контрольных значений использовали результаты исследований, проводимых до оперативного вмешательства, которые принимали за 100 %.

На основании изменений импеданса, значение которого обратно пропорционально электропроводности тканей и определяется количеством крови в межэлектродном пространстве, а также величины объемного пульсового кровенаполнения, косвенно судили о морфофункциональном состоянии каждой обследуемой мышцы [3].

Исследование проводили в утренние часы перед первым кормлением в помещении с постоянной температурой воздуха 28 °С. Всем собакам осуществляли премедикацию общепринятыми фармакологическими веществами, чем исключали влияние особенностей индивидуального темперамента. Животных укладывали на столе в боковом положении, показания снимали с участков, освобожденных от шерстного покрова.

Выполненные исследования были одобрены Комитетом по этике центра. Содержание и уход за животными осуществляли в соответствии с требованиями Министерства здравоохранения РФ к работе экспериментально-биологических клиник, а также «Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей» [1].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При реографическом обследовании передней большеберцовой мышцы через 14 суток distraction определили повышение тонуса магистральных артерий, сосудов крупного, среднего и мелкого калибра, о чем свидетельствовало достоверное уменьшение ВРПВ, ВБКН, ВМКН на 9—10 % и увеличение СРПВ на 12 %, МСБКН и ССМКН — на 30—32 % от их нормальных значений. В этот период артериолы находились в состоянии вазодилатации резкой степени выраженности (достоверное снижение ДКИ на 56 % от дооперационных значений). Импеданс был достоверно ниже на 19 %, а объемное пульсовое кровенаполнение на 33 % выше нормы. Отношение одного из этих параметров к другому говорило о превышении кровенаполнения передней большеберцовой мышцы на 50 % в единицу времени по сравнению с интактным объемом. При этом венозный отток был сохранен.

К окончанию периода удлинения относительно предыдущего срока сохранялось состояние вазоконстрикции со стороны магистральных артерий и вазодилатация артериол. Тонус сосудов распределения, артерий среднего и мелкого калибра снижался (уменьшение МСБКН, ССМКН на 11.6 и 7.2 %), однако по отношению к норме оставался повышенным на 15—21 %. Значения параметров ДСИ и ИВО снижались на 50 % от нормы, что указывало на улучшение венозного оттока. Величина кровенаполнения передней большеберцовой мышцы в этот период оставалась повышенной на 33 %.

Период фиксации сопровождался улучшением вязкоупругих свойств всех звеньев артериального русла по сравнению с этапом удлинения, однако полной нормализации гемодинамики передней большеберцовой мышцы не происходило. Венозный отток при этом не изменялся. Об этом свидетельствовало сохранение ВРПВ на прежнем уровне, увеличение МСБКН и ССМКН до верхней границы нормальных значений и повышение ДСИ и ИВО на 60 % от предыдущего периода.

По окончании фиксации параметры ВРПВ, МСБКН и ССМКН достоверных отличий от дооперационных значений не имели. Тонус артериол умеренно повышался (ДКИ больше нормы на 12 %). Однако в этот период появлялись признаки, косвенно указывающие на развитие морфофункциональных изменений передней большеберцовой мышцы. В частности, импеданс увеличивался на 43 % от нормальных значений, а объем кровенаполнения снижался на 5.4 % от предыдущего срока обследования, но был выше дооперационного уровня.

В ранний период после прекращения аппаратной фиксации (через 15 суток) происходили наиболее выраженные изменения функционального состояния сосудов микроциркуляторного русла передней большеберцовой мышцы по сравнению со всеми прочими этапами обследования. Происходило уменьшение параметров: ССМКН — на 42.86 %, ДКИ — на 124 %, МСБКН — на 37 % и увеличение ДСИ и ИВО на 96 % от их нормальных значений. Вязкоупругие свойства магистральных артерий сохранялись в достигнутом состоянии. Базисный импеданс сохранялся повышенным, а объемное кровенаполнение резко снижалось (на 24.5 % от дооперационных значений).

Через 1 месяц после прекращения фиксации отмечалось восстановление параметров МСБКН, ССМКН и ИВО, что указывало на улучшение гемодинамики обследуемой мышцы. Повышался ДКИ, но оставался ниже дооперационных значений, указывая на сохранение вазодилатации артериол. В этот период происходило достоверное увеличение ВРПВ на 6—10 % от физиологической нормы, что

свидетельствовало о снижении тонуса магистральных артерий. Повышение БИ на 72 % при нормальном значении РИ являлось признаком усугубления гистоструктурных изменений передней большеберцовой мышцы.

На протяжении всего эксперимента в икроножной мышце изменения гемодинамики были менее выражены по сравнению с передней большеберцовой мышцей.

Через 14 суток distraction значения параметров, характеризующих электрические свойства сосудов крупного и среднего калибра достоверных отличий от дооперационных величин не имели. ДСИ и ИВО были снижены более чем на 63.5 %. Регистрировали достоверное ( $p \leq 0.01$ ) уменьшение ВРПВ на 8.98 % и ДКИ на 51.3 % от их нормальных значений, что свидетельствовало о незначительном повышении тонуса магистральных артерий и вазодилатации со стороны артериол.

К окончанию периода удлинения значения параметров РИ, ВРПВ повышались по отношению к предыдущему сроку на 15 и 13 % соответственно, что свидетельствовало о достаточном объеме кровенаполнения обследуемой области и восстановлении функциональных возможностей магистральных артерий. Сосуды крупного и среднего калибра находились в состоянии вазоконстрикции средней степени выраженности (увеличение МСБКН на 17.4 %, ССМКН на 24 %,  $p \leq 0.05$ ). Регистрировали снижение тонуса артериол. На это указывало уменьшение ДКИ на 18 % по сравнению с предыдущим периодом обследования. Венозный отток сохранялся.

Наиболее выраженные изменения гемодинамики в икроножной мышце были выявлены к окончанию фиксации аппаратом. В этот период происходило увеличение ВРПВ на 4 % от нормы. Регистрировали повышение параметров РИ, ССМКН, ДКИ на 50 %, МСБКН — более чем на 75 %, ДСИ и ИВО — на 43.2 %.

Через 15 суток после прекращения фиксации ВРПВ уменьшалось на 6.5 %, МСБКН увеличивалась на 6.7 %, ДКИ и БИ снижались до нормальных значений, а ДСИ оставался повышенным. Объемное пульсовое кровенаполнение снижалось на 21 % по отношению к предыдущему периоду обследования, но оставалось достоверно выше контрольных значений до окончания эксперимента.

Через 30 суток после прекращения фиксации параметры, характеризующие вязкоупругие свойства магистральных артерий и венозный отток, достигали дооперационных значений. Показатели, отражающие тонус артерий крупного, среднего калибра и сосудов микроциркуляторного русла, оставались повышенными. Базисное сопротивление увеличивалось на 8 %, однако достоверных отличий по сравнению с предыдущим периодом обследования не имело.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные реографические исследования показали, что при удлинении голени в верхней трети диафиза на 14—18 % от исходной величины с темпом 1 мм за 4 приема после остеотомии долотом в мягких тканях сегмента на протяжении всего эксперимента происходили однонаправленные циклические изменения параметров гемодинамики, варибельность которых была более выражена в передней большеберцовой мышце.

Динамика изменений параметров, характеризующих функциональные свойства сосудов артериального звена, состояние венозного оттока, величина кровенаполнения обследуемого участка и импеданс тканей на разных сроках эксперимента представлены на рис. 1—5.

При анализе полученных результатов было выяснено, что на этапе удлинения происходило равномерное увеличение кровенаполнения мышц сгибателей и разгибателей. В передней большеберцовой мышце это было обусловлено в большей степени функциональным состоянием магистральных артерий, а в икроножной — сосудов распределения и артерий среднего калибра. Венозный отток обеспечивался

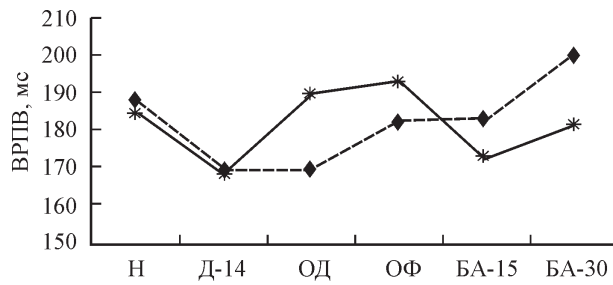


Рис. 1. Динамика изменения тонуса магистральных артерий в мышцах голени при удлинении в верхней трети диафиза берцовых костей на основании значений времени распространения пульсовой волны.

Передняя большеберцовая мышца — пунктирная линия, икроножная мышца — сплошная линия. Н — значения до оперативного вмешательства, Д-14 — дистракция 14 суток, ОД — окончание дистракции, ОФ — окончание фиксации, БА-15 — без аппарата 15 суток, БА-30 — без аппарата 30 суток.

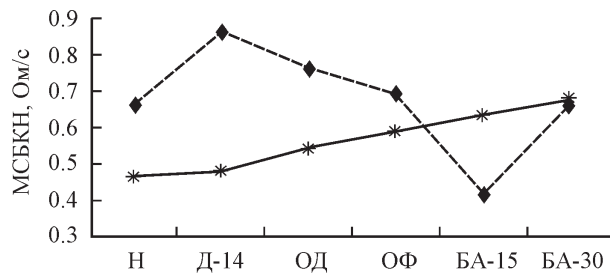


Рис. 2. Динамика изменения тонуса сосудов крупного и среднего калибра в мышцах голени при удлинении в верхней трети диафиза берцовых костей на основании значений максимальной скорости быстрого кровенаполнения.

Обозначения те же, что и на рис. 1.

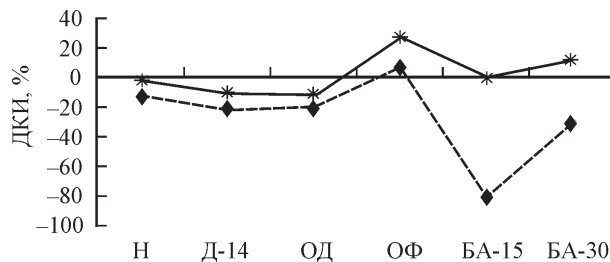


Рис. 3. Динамика изменения тонуса сосудов микроциркуляторного русла в мышцах голени при удлинении в верхней трети диафиза берцовых костей на основании значений дикротиического индекса.

Обозначения те же, что и на рис. 1.

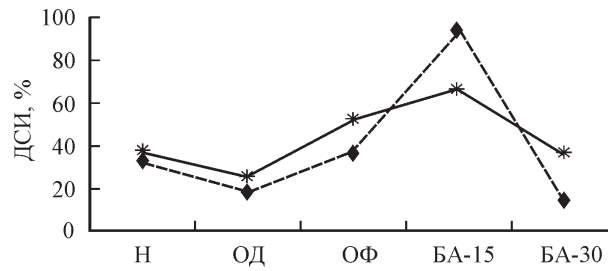


Рис. 4. Динамика изменения венозного оттока в мышцах голени при удлинении в верхней трети диафиза берцовых костей на основании значений диастолического индекса.

Обозначения те же, что и на рис. 1.

в достаточной степени за счет раскрытия артериовенозных анастомозов конечности, а также с участием сосудистых комплексов дистракционного регенерата [9].

После завершения удлинения (на этапах фиксации и после его прекращения) происходило постепенное снижение притока крови к передней большеберцовой мышце. Минимальный объем был достигнут в раннем реабилитационном периоде за счет снижения тонуса магистральных артерий и сосудов меньшего калибра. В икроножной мышце объем кровенаполнения продолжал увеличиваться как следствие повышения тонуса сосудов распределения и артерий среднего калибра.

Формирование опороспособного участка диафиза сопровождалось состоянием резко выраженной вазоконстрикции артериол в обеих обследуемых мышцах и затруднением венозного оттока. По всей видимости, это было связано с тем, что костный регенерат утрачивал шунтирующую функцию [7], а новообразованные в процессе удлинения артериовенозные модули в мягких тканях пока не могли обеспечить достаточный отток крови.

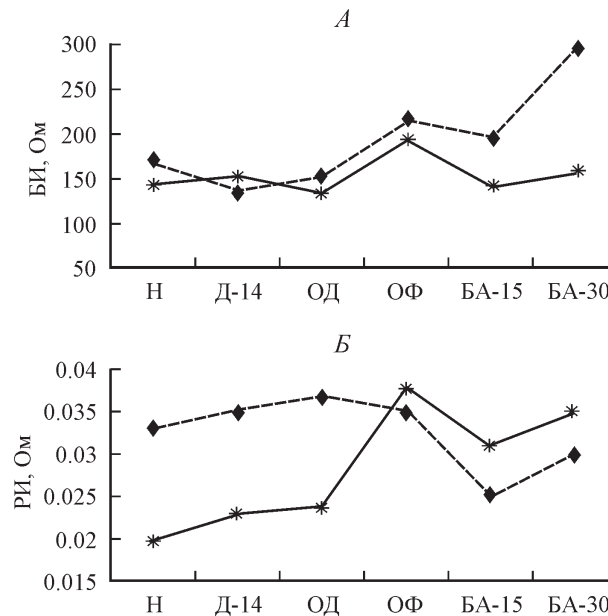


Рис. 5. Динамика изменения базисного импеданса (А) и величины кровенаполнения (Б) мышц голени при удлинении в верхней трети диафиза берцовых костей.

Обозначения те же, что и на рис. 1.



К окончанию эксперимента происходило восстановление венозного оттока в тканях конечности, еще сохранялись нарушения эластико-тонических свойств сосудов артериального русла.

Различия в динамике базисного сопротивления более ярко проявлялись после окончания периода удлинения и были сильнее выражены в передней большеберцовой мышце, а к окончанию эксперимента только увеличивались. В икроножной мышце после прекращения аппаратной фиксации происходила постепенная нормализация этого параметра. Следовательно, в созданных условиях морфофункциональное состояние икроножной мышцы было более благоприятно по сравнению с передней большеберцовой мышцей.

Таким образом, анализ литературных данных и результатов собственных исследований позволил сделать предположение о том, что операционная травма (уровень и способ остеотомии) и в большей степени последующее дозированное растяжения тканей сегмента неизбежно приводит к изменениям кинезиологических характеристик мышц группы сгибателей и разгибателей разной степени выраженности. Также происходит изменение топографического расположения прочих мягкотканых компонентов, включая кровеносные сосуды, что в совокупности оказывает влияние на гемодинамику как удлиняемого сегмента, так и конечности в целом. При удлинении голени в верхней трети диафиза с целью увеличения субъективно недостаточного роста после остеотомии долотом с темпом 1 мм в сутки за 4 приема происходят изменения кровообращения и морфофункционального состояния мягких тканей сегмента сильнее выраженные в мышцах группы разгибателей. Проведение лечебно-профилактических мероприятий, направленных на улучшение вязкоупругих свойств сосудов позволит снизить степень нарушения гемодинамики удлиняемой конечности, что в свою очередь окажет положительное влияние на окончательный клинический результат.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Европейская конвенция по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей. Вопросы реконструктивной и пластической хирургии.* (4) : 34—36. 2003; (1) : 20—36. 2004; (2) : 29—31. 2004.
- [2] *Меньщикова Т. А., Новиков К. И.* Ультрасонографическая и рентгенологическая оценка структурного состояния distractionного регенерата большеберцовой кости. *Травматология и ортопедия России.* 38 (4) : 57—59. 2005.
- [3] *Николаев Д. В., Смирнов А. В., Бобринская И. Г., Руднев С. Г.* Биоимпедансный анализ состава тела человека. М. Наука. 2009.
- [4] *Пучков В. М., Галецкий В. С.* Опыт удлинения костей голени при дефекте — диастазе берцовых костей на базе травматологического отделения МУЗ гб 1 г. Братска. *Бюл. ВСНЦ СО РАМН.* 50 (4) : 274—277. 2006.
- [5] *Шевцов В. И., Асонов С. Н., Наумов А. Д., Ерофеев С. А., Гордиевских Н. И., Кузнецова Л. С., Филимонова Г. Н.* Состояние сосудистого бассейна мышц конечности при разных режимах удлинения (морфофункциональное исследование). *Гений ортопедии.* 2 : 5—11. 1997.
- [6] *Шевцов В. И., Борзунов Д. Ю., Долганова Т. И.* Комплексная рентгено-сонографическая оценка distractionного остеогенеза при полилокальном удлинении отломков у больных с дефектами длинных костей. *Гений ортопедии.* 3 : 36—41. 2004.
- [7] *Шевцов В. И., Бунов В. С., Гордиевских Н. И.* Влияние distractionного костного регенерата на кровообращение в конечности (эксперимент. исслед.). *Вестн. травматологии и ортопедии. им. Н. Н. Приорова.* 4 : 45—48. 2002.
- [8] *Шевцов В. И., Гордиевских Н. И., Бунов В. С., Петровская Н. В.* Изменения кровотока при утолщении большеберцовой кости по Илизарову. *Бюл. эксперимент. биологии и медицины.* 134 (12) : 611—613. 2002.
- [9] *Шевцов В. И., Щуров В. А., Бунов В. С., Гордиевских Н. И.* Влияние удлинения голени по Илизарову на кровообращение в конечности у собак. *Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова.* 88 (4) : 476—484. 2002.

Поступила 20 VII 2012  
После доработки 8 X 2012