

© Группа авторов, 1999

Теоретические аспекты дистракционного остеосинтеза. Значение режима дистракции

А.А. Шрейнер, С.А. Ерофеев, М.М. Щудло, А.М. Чиркова, Н.Р. Карымов

Theoretical aspects of distractional osteosynthesis. Importance of distraction mode

A.A. Shreiner, S.A. Yerofeyev, M.M. Chtchoudlo, A.M. Chirkova, N.R. Karymov

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 экспериментах на 105 собаках рентгено- и морфологически изучены остеогенез и изменения мягких тканей при разных режимах удлинения конечности аппаратом Илизарова. Установлено, что форсированная скорость и/или недостаточная дробность дистракции сопровождаются расстройствами микроциркуляции и тракционными повреждениями, низкой активностью репаративных процессов. При дистракции со скоростью не более 1,0 мм/сутки и до 0,25 мм за 1 прием в тканях развиваются деформационные напряжения, индуцирующие, в полном соответствии с известным "эффектом Илизарова", активную регенерацию (в т.ч. остеогенез) и процессы интеркалярного роста в параоссальных структурах.

Ключевые слова: эксперимент, собака, режим дистракции, рентгенология, морфология.

Osteogenesis and changes of soft tissues for different modes of limb elongation with the Ilizarov apparatus are studied experimentally by roentgenologic and morphologic methods, using 105 dogs. It is established, that forced rate of distraction and/or its inadequate division are accompanied by microcirculation disorders and traction lesions, low activity of reparative processes. In case of distraction rate below 1,0 mm/day and to 0,25 mm per a time deformation stresses develop in tissues, inducing active regeneration (osteogenesis including) and processes of intercalary growth in paraosseous structures in conformity with the known "Ilizarov effect".

Keywords: experiment, dog, mode of distraction, roentgenology, morphology.

Дистракционный остеосинтез по методу Г.А.Илизарова находит широкое распространение в клинической практике и в связи с этим заслуженно привлекает внимание многих ученых. Многолетними исследованиями, проведенными в Курганском научном центре под руководством академика Г.А. Илизарова, установлено, что конечный результат, успех лечебных мероприятий, связанных с дистракцией костных отломков и растяжением параоссальных тканей, зависят от ряда биологических и механических

(стабильность фиксации, функция конечности, сохранность кровоснабжения и остеогенных тканей) факторов [1]. К их числу относится и режим дистракции, т.е. ее скорость и дробность. Скорость дистракции характеризуется величиной суточного удлинения (мм в сутки), дробность — количеством дистракционных перемещений за сутки. Этими двумя факторами определяется еще один важный показатель — величина разового удлинения (мм).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью изучения влияния различных режимов дистракции на остеогенез и состояние параоссальных тканей обобщены экспериментальные исследования, проведенные нами на 105 беспородных собаках, близких по возрасту (1 - 3 года) и массе тела (14 - 16 кг).

Оперативные вмешательства выполняли под внутривенным наркозом препаратами барбитуровой кислоты. Нарушения целостности большеберцовой кости достигали путем флекссионной остеотомии, заключающейся в статическом

изгибе кости с помощью специального аппарата до получения поднадкостничного перелома с сохранением костного мозга, экстра- и интраоссальных сосудов [2]. Фиксацию костных фрагментов производили аппаратом Илизарова, состоящим из четырех опор. Через 5 дней после операции начинали удлинение голени, которое во всех случаях осуществляли на одинаковую величину - 28 мм, но в разных режимах.

В соответствии со скоростью и дробностью дистракции все оперированные животные рас-

пределены на 5 серий (таблица).

Таблица
Распределение экспериментальных животных
по сериям

СЕРИИ	I	II	III	IV	V
Скорость distraction (мм в сутки)	0,5	1,0	2,0	1,0	1,0
Дробность distraction (раз в день)	4	4	4	1	60
Величина разового удлинения (мм)	0,125	0,25	0,5	1,0	0,017
Количество животных	5	35	14	30	21

В первых четырех сериях удлинение достигали путем ручного поворота гаек на резьбовых стержнях аппарата, а в пятой - с помощью автоматических дистракторов конструкции Г.А. Илизарова, А.П. Предеина, В.М. Быкова [3]. После прекращения distraction костные фрагменты фиксировали аппаратом до форми-

рования корковой пластинки в регенерате, затем аппарат снимали и животных наблюдали еще в течение месяца. В ходе опыта проводили клинические наблюдения и рентгенологический контроль. На этапах эксперимента (конец distraction, 30 – 45 дней фиксации и через 1 мес. после снятия аппарата) животных выводили из опыта путем передозировки барбитуратов. Морфологическое исследование distractionного костного регенерата, нервных стволов, мышц и фасций удлинённой конечности осуществляли с использованием общих и специальных гистологических, гистохимических методик на светооптическом и электронномикроскопическом уровнях. Для статистической обработки продолжительности сроков периода фиксации использовали методику вычисления средней арифметической невзвешенного ряда [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рентгенологическое и морфологическое изучение регенерации кости показало, что в I серии опытов при скорости distraction 0,5 мм в сутки у 3-х животных из 5 (у 2-х – на 2-й неделе удлинения) наступила преждевременная оссификация соединительно-тканной прослойки - так называемой "зоны роста" регенерата - вследствие опережающего прироста костной ткани, что не позволяло получить заданную величину удлинения.

В сериях со скоростью 1 мм в сутки наиболее интенсивно процесс костеобразования протекал у животных с автоматической distraction (V серия). В этих опытах к концу удлинения апикальные концы костных отделов регенерата участками соединялись за счет трабекул, пересекающих соединительно-тканную прослойку. Последняя была выражена нечетко и состояла преимущественно из клеток остеобластического ряда, редко расположенных тонких пучков коллагеновых волокон и многочисленных капилляров. В некоторых случаях костеобразование протекало настолько активно, что к 16-21-му дню происходило преждевременное сращение костных отделов регенерата, причем настолько прочное, что при продолжении distraction регенерат разрывался, как правило, вблизи одного из концов отломков. В данной серии эксперимента при удлинении голени на 28 мм период фиксации составил 15 – 35 дней (в среднем - $28 \pm 3,4$ дн.; $P > 99\%$).

При удлинении голени со скоростью 1 мм в сутки за 4 приема (II серия) прирост костных отделов и перестройка регенерата происходили адекватно удлинению, но менее активно, чем при автоматической distraction, что обусловило несколько большую продолжительность периода фиксации - 30–61 день (в среднем $43,5 \pm 6,2$ дн.; $P > 99,9\%$). Во II и V сериях опытов

остеогенез протекает без предварительного образования фиброзной или хрящевой модели.

В IV серии опытов с режимом distraction 1 мм за 1 прием вследствие травматического, большой величины разового перемещения отломков, процесс остеогенеза протекал значительно медленнее. Соединительно-тканная прослойка регенерата была высокой, состояла из широких, плотно лежащих пучков коллагеновых волокон, клеток фибробластического ряда, узких капилляров. В прослойке определялись очажки старых и свежих кровоизлияний и свободно расположенные среди волокон эритроциты. Подобное состояние прослойки при этом режиме distraction наблюдали и другие авторы [5]. В этой серии период фиксации составил 90 – 154 дня (в среднем $115,4 \pm 11,82$ дн.; $P > 99,9\%$).

В III серии опытов, при скорости distraction 2 мм в сутки за 4 приема, так же, как и в опытах IV серии, наблюдался замедленный остеогенез. Большая часть диастаза к концу distraction была заполнена зрелой соединительной тканью фиброзного характера, нередко с мелкими кистозными полостями. В апикальных концах костных отделов регенерата обнаружены значительные участки остеоида, на поверхности костных трабекул выявлялись нефункционирующие остеобласты. В этих опытах формирование костных отделов регенерата происходило замедленно, на основе грубых пучков коллагеновых волокон. Последующий срок фиксации составил 90 – 150 дней (в среднем $120 \pm 4,0$ дн.; $P < 95\%$). В III и IV сериях остеогенез протекает на основе зрелой соединительной ткани. Некоторые исследователи [6, 7] при превышении скорости distraction также наблюдали замещение центральной части диастаза фиброзной тканью с участками хондронидной.

В целом исследования костного регенерата

выявили существенные различия в активности и характере процесса костеобразования в зависимости от различий в скорости и дробности distraction. Режим distraction опосредованно, изменяя местные условия кровоснабжения, определяет направление дифференцировки скелетогенных клеточных элементов, структуру соединительно-тканной прослойки регенерата, активность остеогенеза и, в конечном счете, сроки формирования нового полноценного участка кости.

Рентгенологические и морфологические данные вполне согласуются с результатами гистохимических исследований distractionного регенерата кости, проведенных на описанном выше экспериментальном материале к.м.н. Т.С. Беркуцкой [8], которые свидетельствуют о том, что формирующийся distractionный регенерат обладает характерным для определенного режима удлинения конечности метаболическим профилем и распределением активности гистохимических реакций от прослойки к костным отделам регенерата.

Клинические особенности удлинения конечности в зависимости от режима distraction связаны, в первую очередь, с реакцией мягкотканых структур на растяжение, с развитием в них дистрофических, адаптационных и ростовых процессов. Наиболее благоприятная клиническая симптоматика складывалась в I и V сериях, где практически на протяжении всего эксперимента животные пользовались оперированной конечностью. Они плохо переносили как форсированную скорость (III серия), так и большую величину одноразового удлинения (IV серия). В этих опытах, в отличие от II серии, функция конечности не восстанавливалась даже в отдаленные сроки после прекращения distraction. Во II, III и IV сериях у собак возникала сгибательная контрактура коленного сустава, а стопа занимала эквинусное положение в связи с тем, что передняя, более слабая, группа мышц голени, в отличие от задней, подвергалась более выраженному растяжению. Животные III серии представляли некоторую особенность, у них в периоде distraction развивалась контрактура голеностопного сустава в физиологическом положении, переходившая в эквинусную в периоде фиксации. Максимальному растяжению экстраосальные ткани подвергались на уровне удлинения кости, о чем свидетельствовали локализация трофических расстройств кожи, изменение фасциального аппарата голени.

Гистологическое и гистохимическое изучение мышц (исследование выполнено к.м.н. Беркуцкой Т.С. [8]) показало, что при удлинении конечности в режимах 1 мм за 1 раз и 2 мм за 4 раза отмечено снижение числа ядер в мышечных волокнах, утолщение эндо- и перимизия, усиление фибробластической реакции. Во II и V сериях опытов эти явления были минимальны-

ми. Во всех сериях эксперимента установлена вариабельность гистохимических реакций на окислительно-восстановительные ферменты в смежных мышечных волокнах. Однако в III и IV сериях преобладали мышечные волокна с низким уровнем реакции как в передней большеберцовой, так и в икроножной мышцах. Капиллярная сеть была наиболее густой при удлинении в автоматическом режиме, а при высокой скорости и малой дробности distraction наблюдались признаки ишемических расстройств и выраженная неоднородность васкуляризации смежных пучков мышечных волокон: густая сеть капилляров в одних пучках сочетается с крайне редкой в соседних. Нормализация гистологической и гистохимической картин наступала после снятия аппарата, причем во II и особенно, в V сериях – в более ранние сроки. Во всех опытах развитие соединительной ткани в икроножной мышце было выражено меньше, чем в передней большеберцовой.

Полученные в результате электронно-микроскопических исследований нервов данные [9, 10] также позволяют составить четкое представление о влиянии суточной скорости и дробности distraction (величины разового удлинения) на характер и степень выраженности изменений этих тканевых структур. Среди изученных вариантов наиболее благоприятным оказался режим автоматического удлинения (V серия). В данных опытах получены результаты, свидетельствующие об активном вставочном росте как нервных волокон, так и оболочек нервных стволов удлиняемого сегмента при отсутствии каких-либо морфологических признаков их тракционных повреждений. Во II серии удлинение также инициировало вставочный рост (интеркаляция), но при этом развивались и незначительные реактивные изменения в тканях нервных стволов, быстро исчезающие на этапе фиксации, так что и такой режим может быть рекомендован для использования в клинике. В III и IV сериях на первый план выходили дегенеративные и деструктивные изменения в тканевых компонентах нервных стволов. Признаки регенерации появлялись с опозданием – лишь на этапе фиксации, активность регенераторного процесса была низкой. В импрегнационных препаратах на светооптическом уровне аналогичные результаты получены к.м.н. А.Б. Кузнецовой [8] при изучении проводниковой части периферических нервов.

Таким образом установлено [9], что в тканях нервных стволов удлиняемого сегмента конечности могут развиваться разнохарактерные процессы: деструкция и дегенерация, регенерация, обратимые реактивные изменения и, наконец, вставочный тракционный рост (интеркаляция), причем в различных сочетаниях и разной степени выраженности в зависимости от режима distraction и этапа удлинения. Очевидно, что

фактором, стимулировавшим интеркаляцию в экспериментах I, II и V серий, явилось напряжение растяжения, возникшее в тканевых структурах при упругой деформации нервных стволов в ходе дозированной дистракции. Тракционный вставочный рост направлен по вектору растяжения и на клеточном уровне обеспечивается активизацией митохондриально-эргастоплазматического комплекса и (или) пролиферативных процессов с воспроизведением ряда морфологических признаков естественного онтогенетического роста [10].

В зависимости от режима дистракции картина изменений фасций и их сосудистого русла имела существенные особенности (исследования выполнены Н.С. Шеховцовой) [8]. Во II серии опытов, при удлинении конечностей с дробным ритмом, явления асептического воспаления в фасциях в ответ на травму и последующее растяжение были значительно меньше, чем в III и IV сериях. Для первой половины периода дистракции, особенно во II серии, было характерно новообразование коллагеновых волокон в пучках, скопление фибробластоподобных клеток, ориентированных длинной осью по ходу сил натяжения. В III и IV сериях, в отличие от II, после прекращения дистракции сохранялись явления очагового воспаления в фасциях и в последующем отмечался склеротический процесс. В V серии опытов в фасциях преобладали процессы фибриллогенеза и формирования новых пучков волокон основного слоя. В ходе дистракции во всех опытах в фасциях удлиняемой конечности обнаруживался процесс ангиогенеза, особенно выраженный во II и V сериях. Наблюдались картины вставания капилляров в брандиротные зоны и формирования новых сетей гемомикро-циркуляторного русла, что обеспечивало высокий уровень обменных процессов в фасциях и их адекватное функциональное состояние. После снятия аппарата происходила перестройка волокнистого каркаса и сосудистой сети в соответствии с новыми биомеханическими условиями.

Таким образом, режим дистракции, ее скорость и дробность, наряду с прочими механическими и биологическими факторами, имеет очень важное значение для полноценного течения процессов костеобразования и роста мягкотканых структур.

Величина рациональной скорости дистракции для регенерации костной ткани определяется, в первую очередь, местными условиями в зоне удлинения. Так, по экспериментальным данным после открытой остеотомии диафиза, а также остеозипфизеолита [6] оптимальной является скорость дистракции 0,5 мм в сутки (0,3% длины сегмента конечности), при удлиняющем артрорезе коленного сустава [11] и в наших опытах после остеоклазии (II серия) – 1,0 мм в сутки (0,5-0,7% длины конечности). Из этого

также следует, что нельзя без оговорок согласиться с рекомендованной некоторыми авторами [12, 13] методикой определения скорости удлинения относительно исходной длины сегмента конечности. Мы также далеки от мысли прямого переноса полученных результатов в клиническую практику, потому что в наших опытах регенерация костной ткани протекала в условиях максимального сохранения остеогенных тканей и кровоснабжения кости нормальной голени здоровой собаки [2].

Процессы костеобразования и роста мягкотканых структур при удлинении конечности могут протекать активно лишь в том случае, если скорость дистракции устанавливается дифференцированно, с учетом первичного местного уровня трофики и изменениями активности костеобразования (скорость дистракции не должна превышать скорость прироста кости в регенерате), при минимальной травматизации мягкотканых структур.

Вопросу о рациональной дробности растягивающих воздействий при дистракционном остеосинтезе уделяется в литературе мало внимания. По нашим данным, максимальная активность остеогенеза и роста мягкотканых структур, минимальная выраженность в них дистрофических явлений наблюдаются при более дробном режиме удлинения и малой величине разового растяжения. В этих условиях суточная скорость удлинения может быть более высокой [14].

Проведенные нами исследования проливают свет и на механизм активизации процессов костеобразования и роста тканевых структур при дистракционном остеосинтезе. Согласно одной из концепций [12, 15], прогрессирование репаративного процесса в дистракционном диастазе обусловлено вторичными нарушениями микроциркуляции в результате повторяющегося травмирования новообразованных тканевых структур. По нашим данным, это в полной мере относится лишь к режимам удлинения с высокой суточной скоростью и малой дробностью дистракции, поэтому мы не можем согласиться с утверждением авторов рассматриваемой концепции об отсутствии существенных различий в характере и активности костеобразования в зависимости от суточной скорости дистракции или ее дробности.

В опытах с наиболее активным течением процессов костеобразования (скорость дистракции 1,0 мм в сутки и дробность – за 4 раза или в автоматическом режиме) мы не наблюдали нарушений микроциркуляции и признаков травматизации тканей в регенерате, характерных для III и IV серий, что вполне согласуется с результатами исследований других авторов [11, 16], применявших дробный режим дистракции. По нашим представлениям, вторичные острые нарушения микроциркуляции и “надрывы тка-

ней регенерата” возникают при нарушениях режима удлинения и не являются причиной активизации и прогрессирования репаративных процессов. Поэтому все меры, предпринимаемые для предотвращения травматизации, улучшения кровоснабжения и оксигенации дистракционного регенерата, приносят положительные результаты [17 - 20].

Наши данные подтверждают другую точку зрения - академик Г.А. Илизаров [21] – о том, что активизация процессов костеобразования и роста мягкотканых структур при дистракции обусловлена напряжением растяжения, возникающим в тканях под действием дозируемых механических усилий, развиваемых чрескост-

ным аппаратом. При оптимальных режимах дистракции механические изменения тканевых структур происходят по типу упругих деформаций и не достигают уровня пластических. Именно такой вид растяжения мягкотканых структур как дистракционный регенерат кости, так и параоссальных тканей закономерно стимулирует и поддерживает высокую активность процессов гисто- и ангиогенеза. Данная закономерность, которую в литературе принято называть “эффектом Илизарова”, лежит в основе происходящих во всех тканях удлиняемой конечности процессов и позволяет наиболее полно и достоверно объяснить их сущность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевцов В.И., Попков А.В. Оперативное удлинение нижних конечностей. – М.: Медицина, 1998. – 192 с.
2. Шрейнер А.А. Удлинение голени в условиях сохранения остеогенных тканей и кровоснабжения кости (эксперим. исслед.): Дис... канд. мед. наук. – Курган, 1978. – 263 с.
3. Пат. 4615338 США МКП 61 Г 5/04 Автоматический компрессионно-дистракционный аппарат / Г.А.Илизаров, А.П.Предеин, В.М.Быков (СССР). – Публ. 07.10.86; Т. 1071; № 1. Б. Изобрет. стран мира. – М., вып. 14, № 15. – С. 73.
4. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. – М.: Наука, 1984. – 424 с.
5. Штин В.П. Особенности костеобразования в зоне диастаза большеберцовой кости при удлинении голени аппаратом Илизарова (эксперим.-морфол. исслед.): Автореф. дис... д-ра мед. наук. – Новосибирск, 1979. – 41с.
6. Хавико Т.И. Закрытый дистракционный эпифизеолиз (эксперим.-клин. исслед.): Автореф. дис... канд. мед. наук. – Рига, 1977. – 17с.
7. Старцева И.А., Горбунова З.И. Влияние дистракционного эпифизеолиза на рост удлиняемой кости (эксперим. исслед.) // Ортопед. травматол. – 1982. - № 6. - С. 36-40.
8. Сравнительное изучение разных режимов удлинения конечности (эксперим. исслед.): Отчет о НИР (заключит.) МЗ РСФСР, Курганский НИИЭКОТ; руководитель Г.А. Илизаров. - № ГР 0183006814. Инв. № 0287.0018718. - Курган, 1986. – 75 с.
9. Значение ритма дистракции для реализации “эффекта Илизарова” в нервах удлиняемого сегмента конечности / Г.А. Илизаров, М.М. Шудло, Н.Р. Карымов, М.С. Сайфутдинов // Гений ортопедии. – 1995. - № 1. – С. 12-17.
10. Рекапитуляция признаков онтогенетического роста в оболочках нервных стволов при экспериментальном удлинении конечности у взрослых животных / Г.А. Илизаров, М.М. Шудло, А.Б. Кузнецова, А.А. Шрейнер // Проблемы чрескост. остеосинтеза в травматол. и ортопедии: Сб. науч. тр. – Курган, 1982. – Вып. 8. - С. 72-79.
11. Барабаш А.П. Удлиняющий артродез коленного сустава методом последовательного монолокального компрессионно-дистракционного остеосинтеза (эксперим. исслед.): Дис... канд. мед. наук. – Курган, 1974. – 172 с.
12. Биологические аспекты удлинения конечностей / В.И. Стецула, Г.И. Лаврищева, В.П. Штин, Л.И. Михайлова // Ортопед. травматол. – 1984. - № 9. – С. 21-26.
13. Котельников Г.П. Клинико-экспериментальное обоснование оптимальных режимов удлинения голени: Автореф. дис... канд. мед. наук. – Куйбышев, 1983. – 17с.
14. Ерофеев С.А. Значение дробности дистракции при удлинении конечности по Илизарову (эксперим. исслед.): Автореф. дис... канд. мед. наук. – Пермь, 1994. – 23 с.
15. Лаврищева Г.И., Оноприенко Г.А. Морфологические и клинические аспекты репаративной регенерации опорных органов и тканей. – М.: Медицина, 1996. – 208 с.
16. Берко В.Г. Оперативное удлинение бедра в эксперименте: Дис... канд. мед. наук. – Курган, 1977. – 179с.
17. Киппер С.Н. Полярографическое определение напряжения кислорода в формирующейся костной мозоли в различных условиях заживления перелома (эксперим. исслед.): Автореф. дис... канд. мед. наук. – Новосибирск, 1978. – 26с.
18. Петровская Н.В. Утолщение трубчатых костей по Илизарову (эксперим. исслед.): Автореф. дис... канд. мед. наук. – Новосибирск, 1985. – 26с.
19. Швецов А.А. Динамика костеобразования при удлинении конечностей в условиях гипербарической оксигенации // Ортопед. травматол. – 1984. - № 9. – С. 21-26.
20. К проблеме оптимизации условий костеобразования при удлинении конечности (эксперим. исслед.) / Г.А. Илизаров, А.А. Шрейнер, И.А. Имерлишвили и др. // Эксперим.-теорет. и клин. аспекты разработ. в КНИИЭКОТ метода чрескост. остеосинтеза: Тез. докл. Всесоюз. симпозиума с участием иностранных специалистов. – Курган, 1983. – С. 25-27.
21. Илизаров Г.А. Некоторые теоретические и клинические аспекты чрескостного остеосинтеза с позиций открытых нами общепризнанных закономерностей // Эксперим.-теорет. и клин. аспекты чрескост. остеосинтеза, разработ. в КНИИЭКОТ: Тез. докл. Международ. конф. – Курган, 1986. – С. 7-12.

Рукопись поступила 09.12.1998.