

© А. А. Ларионов, И. А. Имерлишвили, 1996.

Варианты перестройки несвободного костного фрагмента при замещении диафизарного дефекта удлинением кости

А. А. Ларионов, И. А. Имерлишвили

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

В эксперименте на 51 взрослой собаке (4 серии опытов), которым возмещали диафизарный дефект большеберцовой кости удлинением отломка, изучалась рентгенологическими и морфологическими методами перестройка перемещаемого фрагмента в зависимости от условий его кровоснабжения и интенсивности образования и минерализации дистракционного регенерата. Денситометрией и планиметрией костного вещества обнаруживалась связь перестройки перемещаемого фрагмента с формированием и трансформацией дистракционного регенерата в губчатую кость. Увеличение количества и минерализации нового костного вещества в регенерате сопровождалось усилением резорбтивных явлений во фрагменте. Остеопороз способствовал рециркуляции в перемещаемом фрагменте и восстановлению в нем русла питательной артерии после выключения остеотомией медуллярного кровоснабжения.

Ключевые слова: дистракционный остеосинтез, дефект, регенерация, костная ткань, перестройка.

При лечении больных с дефектами длинных трубчатых костей путем удлинения отломков по Илизарову [1] достигаются положительные исходы в 97,8% [2]. Высокая эффективность методики обеспечивается способностью кости к восстановлению за счет дистракционного регенерата, формирующегося при дозированном перемещении в дефект несвободного костного фрагмента, и высокими пластическими свойствами последнего. Экспериментальные исследования показали восстановление в нем даже внутрикостного сосудистого русла [3,4], чего не наблюдается без дистракционного остеосинтеза [5].

Нами была предпринята попытка изуче-

ния и объяснения этого феномена с позиции влияния пролонгированного костеобразования при дистракционном остеосинтезе на эволюцию фрагментов кости, связанных с окружающими тканями. С этой целью в эксперименте изучали перестройку несвободного костного фрагмента в зависимости от условий его исходного кровоснабжения и интенсивности костеобразования при удлинении кости.

Исследования были проведены на рентгено-морфологическом материале от 51 собаки (4 серии опытов), которым замещали диафизарный дефект берцовых костей за счет удлинения костного фрагмента.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В операционной под наркозом (25 мг тиопентала натрия на 1 кг массы животного) после обработки операционного поля на голень собаки накладывали аппарат Илизарова из 5 колец. Через разрез мягких тканей резецировали участок диафиза берцовых костей длиной 3 см. В дистальный конец проксимального фрагмента внедряли конец дистракционно-направляющей спицы, проведенной через внутреннюю лодыжку и костномозговую полость дистального фрагмента. Проксимальный фрагмент поперечно перепиливали проволоочной пилкой на расстоянии 4 см от костного дефекта. В I серии опытов (12 собак) линия остеотомии располагалась выше места входа питательной артерии в большеберцовую кость, а во II серии (23 собаки) она пересекала канальную часть питательной артерии.

В III серии опытов (5 собак) для замедления формирования дистракционного регенерата в межфрагментарное пространство помещали полиэтиленовую пленку, соответ-

ствующую по размеру площади торцевой поверхности фрагментов. Операционные раны зашивали. Свободный конец дистракционно-направляющей спицы закрепляли в тракционной приставке. Перемещение несвободного костного фрагмента в дефект начинали с 8-го дня после операции и проводили в течение 35 дней темпом 1 мм в день. После стыковки низведенного фрагмента с дистальным фрагментом большеберцовой кости усиливали жесткость фиксации костей на стыке проведением дополнительной пары перекрещивающихся спиц через перемещенный фрагмент.

В IV серии опытов (11 собак) производили остеотомию обоих костных фрагментов. Перемещение их в дефект перекрещивающимися спицами также начинали с 8-го дня опыта и продолжали 15 дней. Через 60 дней после окончания периода дистракции аппарат снимали и удаляли дистракционно - направляющую спицу. Наблюдение за животными длилось до 1,5 лет. Животных эвтаназировали

внутривенным введением раствора тиопента-ла натрия.

Костеобразование и перестройку несвободного костного фрагмента исследовали рентгенологическими и морфологическими методами. Объективизация рентгеновского изображения костей достигалась денситографией рентгеновских снимков, которую производили на микрофотометре ИФО-451. Цифровые данные выражали в относительных единицах оптической плотности (ОП). Показатель ОП костного вещества в исследуемом участке рентгенограммы после операции принимали за 100% и рассчитывали величину его отклонения от исходного значения. Дополнительно рассчитывали корково -

медуллярный индекс (КМИ), представляющий отношение ОП кортикального слоя к ОП костного вещества в проекции костномозговой полости. Статистическая обработка результатов денситометрии проводилась методом сравнительной оценки [6].

Формирование дистракционного регенерата оценивали количественно планиметрическим показателем, представляющим отношение проекционной площади костной части регенерата к его общей площади, выраженное в процентах. Гистотопографические препараты костей для морфологического исследования готовили по общепринятой методике и окрашивали гематоксилином - эозином и по ван - Гизону.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В I серии опытов при сохранении медуллярного кровоснабжения в несвободном костном фрагменте к 7-му дню после операции в зоне остеотомии проксимального фрагмента рентгенологически обнаруживалась нежная облаковидная тень низкой плотности. Контуры костных фрагментов сохранялись ровными и четкими. Кортикальный слой имел высокую интенсивность изображения. КМИ равнялся 1,3. Морфологически обнаруживалось незначительное диффузное расширение сосудистых каналов кортикальной пластинки. На поверхности ее и в костномозговой полости располагалась мелкопетлистая сеть остеонидных балочек периостального и эндостального происхождения, покрытых слоем функционирующих остеобластов.

Дозированное низведение несвободного костного фрагмента в дефект сопровождалось образованием в диастазе дистракционного регенерата, состоявшего из двух костных отделов и соединительнотканной прослойки. Количественная оценка костеобразования характеризовалась постепенным расширением общей проекционной площади дистракционного регенерата и прибавкой в ней костной части. Доля костного вещества увеличивалась с 69,5% на 14-й день дистракции до 92,4% к 28-му дню. Одновременно повышалась степень минерализации новообразованной кости, вызывающая нарастание ее ОП с $73,3 \pm 2,8\%$ до $82,5 \pm 3,1\%$ ($p \leq 0,05$).

Перемещаемый фрагмент подвергался перестройке. Рентгеноденситометрические изменения выражались сглаживанием краев опилов, нечеткостью контуров, равномерным снижением интенсивности изображения кортикального слоя, уменьшением ОП на $20,2 \pm 3,4\%$ ($p \leq 0,05$). КМИ уменьшался до 1,1. Морфологически обнаруживалось диффузное расширение большинства сосудистых каналов. Костномозговая полость заполнялась

сетью молодых костных балок. Межбалочные промежутки в костномозговой полости и в периостальных наслоениях заполнялись фиброретикулярным и жировым мозгом.

Замещение дефекта завершалось перестройкой дистракционного регенерата в губчатую кость и сращением низведенного фрагмента с дистальным фрагментом большеберцовой кости. Окостенению регенерата сопутствовало расширение площади костного вещества до 96% и повышение его минерализации до $97,5 \pm 3,3\%$ ($p \leq 0,05$). Средняя часть регенерата, соответствующая смыканию костных отделов, имела повышенную до 105 - 112% ОП, которая снижалась после образования общей костномозговой полости. Перемещенный фрагмент подвергался дальнейшей перестройке, сопровождавшейся исчезновением линий опилов, резорбцией периостальных наслоений и нарастанием остеопороза. Оптическая плотность кости уменьшалась на $34,3 \pm 3,0\%$ ($p \leq 0,01$). КМИ снижался до 1,0. Морфологически наблюдалась спонгизация кортикальной пластинки, компактизация периостальных наслоений и разрежение сети костных балок в костномозговой полости. В течение одного года новообразованный сегмент приобретал строение, присущее диафизу. Восстанавливалась единая костномозговая полость, компактизировалась и утолщалась кортикальная пластинка.

Во II серии опытов при выключении медуллярного кровоснабжения в несвободном костном фрагменте рентгеноденситометрические изменения в нем не отличались от таковых в предыдущей серии опытов накануне дистракции. Морфологически же определялась гибель остеонидов во внутренних отделах кортикальной пластинки и некроз костного мозга. Кортикальная пластинка сохраняла компактность. В отдельных пристеночных участках костномозговой полости наблюдалось образование единичных остеонид-

ных балочек.

Особенности формирования дистракционного регенерата у животных этой серии опытов явились основанием для их разделения на две группы. В первую группу (15 собак) были включены животные, у которых наблюдалось преобладание эндостального костеобразования со стороны проксимального фрагмента, за счет чего широкая соединительнотканная прослойка смещалась к перемещаемому фрагменту [7]. Доля костного вещества в регенерате прибавлялась медленно. Планиметрический показатель новообразованной кости с 22,1% на 14 день дистракции увеличивался до 60,7% к 30 дню.

Перемещенный фрагмент претерпевал незначительные изменения в виде резорбции краев опилов и снижения четкости изображения контуров. Показатель ОП в проекции костномозговой полости достоверно не отличался от исходной величины. КМИ не изменился. Морфологически определялась компактная кортикальная пластинка, покрытая местами периостальными наслоениями. Сосудистые каналы в субпериостальной зоне были умеренно расширены. Вокруг них сохранились жизнеспособные остециты. Субмедуллярные же отделы кортекса были представлены безостеоцитной костью. Костномозговая полость частично заполнялась мелкопетливой сетью костных балочек. В межбалочных пространствах обнаруживались облитерированные ветви питательной артерии. Просвет отдельных артерий мелкого калибра был заполнен плазмой.

Сращению низведенного фрагмента с фрагментом большеберцовой кости сопутствовали увеличение количества костного вещества в дистракционном регенерате и перестройка его в губчатую кость. Параллельно усиливались перестроечные процессы в перемещенном фрагменте в виде резорбции костного вещества, приводящей к снижению его ОП на $19,0 \pm 2,4\%$ ($p \leq 0,05$). Морфологически определялась спонгиозная кортикальная пластинка, покрытая губчатыми периостальными наслоениями. На стенках расширенных сосудистых каналов откладывался тонкий слой молодой кости. Кортикальная пластинка пронизывалась периостально - медуллярными артериальными анастомозами. Костномозговая полость содержала редкие атрофичные костные балки и обширные поля соединительной ткани с очагами фиброретикулярного и жирового мозга. В отдельных облитерированных ветвях питательной артерии обнаруживались "столбики" эритроцитов, указывающие на восстановление кровотока в прежнем сосудистом русле. После снятия аппарата в течение одного года наблюдалось ремоделирование костных структур диафиза. Старая костная основа замещалась

новой костью. Восстанавливался магистральный тип внутрикостного кровоснабжения кости на уровне перемещенного фрагмента.

Вторую группу (8 собак) этой серии опытов составляли животные с равномерным формированием дистракционного регенерата от обоих костных фрагментов. Планиметрический показатель костеобразования увеличивался с 50,6% на 14 день дистракции до 73,0% к ее концу. Восстановление анатомической целостности кости сопровождалось более выраженным остеопорозом перемещенного фрагмента. Показатель ОП его костного вещества снижался на $26,3 \pm 3,4\%$ ($p \leq 0,01$). КМИ уменьшался до 1,0.

В III серии опытов после интерпозиции полиэтиленовой пленки в межфрагментарное пространство образование дистракционного регенерата значительно замедлялось в сравнении с предыдущими сериями опытов. Количественная характеристика костеобразования заключалась в увеличении площади костной части регенерата до 34,6% к окончанию дистракции. ОП новообразованной кости не превышала 61,0%. Перемещаемый несвободный фрагмент мало изменялся: края опилов закруглялись, на поверхности кортикального слоя имела периостальная реакция. ОП незначительно увеличивалась в проксимальном отделе. КМИ оставался прежним. После стыковки перемещенного фрагмента с костями голени между ними формировалось костное сращение. Костеобразование в диастазе характеризовалось увеличением площади новообразованного костного вещества только до 50%. ОП его не увеличивалась. Морфологически обнаруживалось, что костные части регенерата разделялись широкой соединительнотканной прослойкой, не имевшей четкой ориентации своих волокон. Апикальные концы их покрывались тонкой замыкательной пластинкой. Кортикальная пластинка перемещенного фрагмента была умеренно порозной в периферических отделах, а в центральных — сохраняла свою компактность. Остециты в ее составе сохранились в виде небольших групп возле отдельных умеренно расширенных сосудистых каналов. В костномозговой полости выявляются редкие артерии мелкого калибра. Костномозговые пространства заполнялись частично некротизированным мозгом с участками пролиферации скелетогенной ткани в пристеночных отделах.

В IV серии опытов костеобразование на проксимальном и дистальном уровнях удлинения отломков развивалось однотипно. Рентгеноденситометрическая картина и планиметрические показатели формирования дистракционных регенератов принципиально не отличались от количественной оценки

остеорепарации у животных второй группы II серии опытов. Перестройка несвободных костных фрагментов, перемещаемых навстречу друг другу, развивалась одинаково, на что указывало отсутствие достоверных различий в их ОП и КМИ.

Сравнительное рентгено - морфологическое изучение изменений несвободного костного фрагмента при замещении диафизарного дефекта берцовых костей их удлинением по Илизарову выявило различные варианты перестройки перемещаемого фрагмента в зависимости от условий кровоснабжения и интенсивности костеобразования. Сохранением медуллярного кровоснабжения в несвободном фрагменте (I серия опытов) обеспечивались жизнеспособность остеоцитов и высокая регенеративная активность костеобразующих элементов при дистракции. Формирование дистракционного регенерата происходило равномерно от обоих фрагментов и сопровождалось увеличением планиметрического показателя новообразованной кости до 92,4%. Перестройка фрагмента осуществлялась на фоне рано проявляющегося и прогрессирующего остеопороза. Денситометрический показатель ОП фрагмента снижался на $34,3 \pm 3,0$ ($p \leq 0,01$). Развитие максимального остеопороза отмечалось в период перестройки регенерата в губчатую кость. Этому соответствовало наибольшее повышение количества новообразованного костного вещества и степени его минерализации, что указывает, по нашему мнению, на связь остеопороза с пролонгированным костеобразованием. С данным положением согласуются сообщения о повышении концентрации паратиреоидного гормона и кальция в крови при дистракционном остеосинтезе [8, 9, 10].

Влияние пролонгированного костеобразования на развитие резорбтивных процессов в кости подтверждалось и динамикой перестройки несвободного костного фрагмента во II серии опытов. При выключении в нем медуллярного кровоснабжения изменялось течение остеорепарации. Формирование ди-

стракционного регенерата у части животных замедлялось и характеризовалось низким (до 60,7%) планиметрическим показателем. Замедленному костеобразованию сопутствовали незначительные изменения перемещаемого фрагмента, которые усиливались при нарастании количества новообразованной кости в период фиксации и приводили к снижению его ОП на $19,0 \pm 2,4\%$ ($p \leq 0,05$). Кортикальная пластинка приобретала спонгиозную структуру, а безостеоцитные участки замещались новой костью. У животных с относительно равномерным образованием дистракционного регенерата и планиметрическим показателем до 73% изменения фрагмента происходили на фоне значительного остеопороза и завершались органотипической перестройкой.

Моделирование одновременного выключения медуллярного кровоснабжения в несвободном костном фрагменте и замедления формирования дистракционного регенерата (III серия опытов) препятствовало перестройке перемещаемого фрагмента и восстановлению его внутрикостного кровотока по магистральному типу. Однотипное формирование дистракционных регенератов на разных уровнях удлинения кости (IV серия опытов) сопровождалось одинаковой перестройкой перемещаемых несвободных костных фрагментов.

Результаты рентгено-морфологического исследования изменений несвободного костного фрагмента при замещении дефекта удлинением кости позволяют думать о зависимости исходов перестройки перемещаемых костных фрагментов от активности и продолжительности костеобразования. Резорбтивные явления в кости усиливаются с увеличением количества и минерализации новообразованного костного вещества. Структурные изменения кости (спонгизация) при дистракционном остеосинтезе способствуют рециркуляции по ранее существующему внутрикостному руслу несвободных костных фрагментов, что обеспечивает их высокие пластические свойства.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 313533 СССР, МКИ³ А61 В17 / 00. Способ замещения дефекта длинной трубчатой кости / Г.А. Илизаров (СССР). — № 1124269 / 31 - 16; Заявлено 07.01.67; Опубл. 07.09.71, Бюл. № 27. — С. 8.
2. Макушин В.Д., Куфтырев Л.М. Лечение костных дефектов по Илизарову // Эксперим. - теорет. и клин. аспекты, разработ. в КНИИЭКОТ метода чрескост. остеосинтеза: Тез. докл. Всесоюз. симпозиума с участ. иностр. специалистов. — Курган, 1983. — С. 127-129.
3. Ларионов А.А. Васкуляризация большеберцовой кости при возмещении диафизарного дефекта удлинением одного из отломков по методике Г.А.Илизарова // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. — 1989. — № 11. — С.21-26.
4. Ларионов А.А., Имерлишвили И.А. Возможности свободной костной пластики с дистракционным остеосинтезом при замещении дефекта длинной трубчатой кости // Вестник хирургии им. И.И. Грекова. — 1991. — № 2. — С.74-78.
5. Проскура В.В. Сосудистое русло отломков двойного перелома длинной кости в эксперименте // Эксперим. - теорет. и клин. аспекты чрескост. остеосинтеза, разработ. в КНИИЭКОТ: Тез. докл. Международной конф. — Курган, 1986. — С.130-131.
6. Ойвин И.А. Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований // Пат. физиология. — 1960. — № 4. — С.76-85.
7. Барабаш А.П., Ларионов А.А. Роль механических и биологических факторов в образовании костной ткани при замещении дефектов трубчатых костей методом билакального дистракционно-компрессионного остеосинтеза по Илизарову

- // Лечение ортопедо-травматол. больных в стационаре и поликлинике методом чрескост. остеосинтеза, разработ. в КНИИЭКОТ: Тез. докл. Всесоюз. науч. - практ. конф. — Курган, 1982. — Ч. 11. — С. 155-158.
8. Изучение репаративного костеобразования в условиях чрескостного остеосинтеза по Г.А. Илизарову радионуклидными методами / А. А. Свешников, Т. П., Березовская, А. В. Попков, Л. А. Смотрова и др. // Эксперим. - теорет. и клин. аспекты чрескост. остеосинтеза, разрабатываемого в КНИИЭКОТ: Тез. докл. Международной конф. — Курган, 1986. — С.136-137.
9. Клинико-биохимические показатели у больных при удлинении конечности по Илизарову / В. Н. Матвеев, А. В. Попков, С. Н. Лунова, М. Е. Матвеев // Ортопед. травматол. — 1989. — № 4. — С.35-38.
10. Ларионов А. А., Офицерова Н. В. Некоторые аспекты нейрогормональной регуляции костеобразования при чрескостном остеосинтезе // Травматология и ортопедия России. — 1994. — № 2. — С.121-129.

Рукопись поступила 18.10.95 г.



EFORT

BARCELONA, April 24-27, 1997

**III КОНГРЕСС ЕВРОПЕЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ НАЦИОНАЛЬНЫХ
АССОЦИАЦИЙ ОРТОПЕДИИ И
ТРАВМАТОЛОГИИ**

**III CONGRESS OF THE
EUROPEAN FEDERATION OF
NATIONAL ASSOCIATIONS OF
ORTHOPAEDICS AND
TRAUMATOLOGY**

Congress Organizer:

Prof. Antonio Navarro Quilis
Cátedra Traumatología y COT.
Hosp. Univ. de Traumatología y Rehabilitación.
Vall d'Hebron. Barcelona



**SOCIEDAD ESPAÑOLA
DE CIRUGÍA ORTOPÉDICA
Y TRAUMATOLOGÍA**



Organizing Secretary:

GRUPO GEYSECO
Muntaner, 77
Barcelona 08011 (Spain)
Phone: 34 3 453 92 89 / 451 08 86
Fax: 34 3 453 24 94

