

свободном функционировании сопряженного сустава.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Недригайлова А.В. Иммобилизационные контрактуры (изменение строения тканей опорно-двигательного аппарата при иммобилизации) и восстановительные процессы под влиянием функции: Автореф. дис.... докт. мед. наук. — Харьков, 1957.
2. Структурные и цито-химические изменения скелетных мышц крыс при ограничении подвижности / Португалов В.В., Ильина-Какуева Е.И., Старостин В.И. и др. // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии — 1971. — Т.61, № 11. — С.82-91.
3. Португалов В.В., Рохленко К.Д., Савик З.Ф. Изменения камбаловидной (красной) мышцы при пониженной функции // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии — 1975. — Т.65, № 2. — С.11-18.
4. Booth F.W. Regrowth of atrophied skeletal muscle in adult rats after ending immobilization // J.Appl. Physiol. — 1978. — Vol.44. — P.225-230.
5. De Reuck J., Decoster W., Vander Eeken H. The target phenomenon in rat muscle following tenotomy and neurotomy // Acta Neuropathol. (Berl). — 1977. — Vol.37. — P.49-54.
6. Goldspink D.F. The influence of activity in muscle size and protein turnover // J.Physiol (London). — 1977. — Vol.264. — P.283-296.
7. Enzyme histochemical alterations in human skeletal muscles after tenotomy and after spontaneous rupture of the tendons / Jozsa L., Balint B.J., Demel S. et al. // Folia histochem. et cytochem. — 1979. — Vol.1. — P.37-41.
8. Margolis Ronald N., Baker James H. Ultrastructure and biochemical changes in rat soleus muscle following tenotomy // Anat. Rec. — 1983. — Vol.3. — P.239-245.

Рукопись поступила 11.11.93.

© Е.М.Ермак, А.М.Чиркова, С.А.Ерофеев, 1995

ЭХОГРАФИЧЕСКИЕ, МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАЛЛЕЛИ В ОЦЕНКЕ КОСТЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ УДЛИНЕНИИ КОНЕЧНОСТИ ПО ИЛИЗАРОВУ.

Е.М.ЕРМАК, А.М.ЧИРКОВА, С.А.ЕРОФЕЕВ

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

Проведен сопоставительный анализ данных эхографического, морфологического и рентгенологического исследования регенерата большеберцовой кости 6 экспериментальных животных при удлинении голени с помощью аппарата Илизарова. На основе полученных данных интерпретировано эхографическое изображение структуры регенерата кости в различные периоды его формирования. Результаты исследования будут полезны клиницистам при оценке активности остеогенеза и процесса перестройки регенерата на всех этапах удлинения конечности.

Ключевые слова: регенерация, ультразвуковая эхография, морфология, компрессионно-дистракционный остеосинтез.

В настоящее время накоплен большой клинично-экспериментальный материал по регенерации кости при удлинении конечности в условиях чрескостного компрессионно-дистракционного остеосинтеза по Илизарову [3, 4, 7, 11, 12, 13, 16]. Благодаря рентгенологическим и морфологическим исследованиям, большинство из которых выполнено в Российском научном центре "Восстановительная травматология и ортопедия", изучены особенности формирования и органотипической перестройки регенерата [5, 8, 9, 10, 15, 17]. Было установлено, что на протяжении всего периода дистракции в центральной части регенерата сохраняется соединительнотканная прослойка, на основе волокон которой идет рост костных отделов. Строение этой зоны и активность остеогенеза зависят от комплекса биологиче-

ских и механических факторов, составляющих основу метода Илизарова.

В последние годы в арсенал диагностических способов активно входит ультразвуковая эхография — высокоинформативный неинвазивный метод, обладающий высокой разрешающей способностью. Возможность использования ультразвуковой эхографии для изучения процесса костеобразования в условиях дистракционного остеосинтеза основана на том, что регенерат, до приобретения им свойств зрелой костной ткани, представляет собой акустически благоприятную среду [1, 2, 14, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24]. Применение этого метода для диагностики состояния регенерата дает объективную информацию о его структуре и в значительной мере решает проблему радиационной безопасности пациента.

Целью настоящего исследования является обоснование интерпретации эхографического изображения удлиняемого участка кости на основе сопоставления его гистологической

структуры, эхографического и рентгенологического изображения при разной активности остеогенеза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.

Материалом исследования послужили регенераты 6 взрослых беспородных собак, которым удлинляли голень с помощью аппарата Илизарова после закрытой флекссионной остеоклазии в средней трети диафиза берцовых костей. У трех животных голень удлинляли автоматическим дистрактором [6] в режиме 1 мм за 60 приемов. Сроки наблюдения: 14, 28 дней дистракции, 30 дней стабилизации. У трех других животных удлинение голени проводили 28 дней в режиме 1 мм за 1 прием; животных выводили из опыта через 30 дней стабилизации. Нужно отметить, что во всех опытах за исключением одного (дистракция 14 дней 1 мм за 60 приемов) в динамике измеряли внутрикостное давление и скорость кровотока. Для этого в костномозговую полость отломков неоднократно засверливали канюли-датчики, что, как правило, приводило к повреждению маги-

стральных сосудов и снижению активности остеогенеза в сравнении с аналогичными наблюдениями без повреждения внутрикостных сосудов.

Для исследования из большеберцовой кости выпиливали блок, включающий регенерат и концы отломков протяженностью 1,5-2 см. Проводили его рентгенографию во фронтальной и сагиттальной проекциях. Затем исследовали регенерат с помощью ультразвуковой эхографии. Для этого блок помещали в герметичный резервуар, заполненный гелем. Проводили продольное и поперечное сканирование линейным датчиком с частотой 7,5 мГц. После обычной гистологической обработки изготавливали фронтальные гистотопографические срезы, которые окрашивали гематоксилином-эозином и пикрофуксином по Ван Гизону.

РЕЗУЛЬТАТЫ.

В первой группе животных (темп дистракции 1 мм за 60 приемов) при рентгенологическом исследовании к 14 дням дистракции (рис. 1а) обнаруживали диастаз высотой 13 мм, заполненный регенератом зональной структуры. У концов отломков определяли нежные тени новообразованной кости. Протяженность проксимального и дистального костных отделов была одинакова и составляла 5-7 мм. "Зона роста" определялась в виде отдельных участков просветления высотой 4-5 мм. Тени периостальных частей регенерата, проникающие в диастаз, по высоте совпадали с эндостальными, но не сливались с ними.

Эхографически при продольном сканировании по всем поверхностям определяли диастаз протяженностью 13-14 мм, заполненный эхопозитивным регенератом, имеющим зональное строение (рис. 1б). Проксимальный и дистальный отделы протяженностью 5-7 мм состояли из продольно ориентированных структур повышенной эхогенности, чередующихся с участками сетчатого строения. В середине диастаза визуализировали зигзагообразную полосу, состоящую из тонких гипоехогенных продольно ориентированных структур. В проекции эндостального регенерата полоса местами перекрывалась продольно ориентированными структурами со стороны проксимального и дистального отделов. Протяженность ее была неравномерной и составляла 1-5 мм в

различных участках. В интермедиарной зоне визуализировали неоднородный неориентированный субстрат средней и пониженной эхогенности. В проекции периостального регенерата со стороны проксимального и дистального отделов визуализировали линейные гиперэхогенные продольно ориентированные сигналы в виде тяжей, протяженность которых с каждой стороны составляла 5-7 мм.

Гистологически в регенерате определяли два костных отдела — проксимальный высотой 7 мм, дистальный высотой 5-8 мм — и "зону роста" высотой 1-5 мм (рис. 1в). Рост костных трабекул происходил по всей поверхности опиала отломков, но был более выражен на уровне костномозгового канала со стороны дистального отломка. "Зона роста" регенерата была представлена малодифференцированной соединительной тканью, богатой капиллярами. На концах отломков определялись периостальные наслоения высотой 1-1,5 мм.

К 28 дню дистракции на рентгенограммах (рис. 2а) регенерат сохранял зональное строение. Протяженность теней проксимального костного отдела составляла 7-9 мм, дистального — 7-11 мм. Высота соединяющей их полосы просветления, пересеченной единичными тенями трабекул, составляла 5-8 мм. На уровне костных отделов регенерата определяли слабую тень формирующейся корковой пластинки.

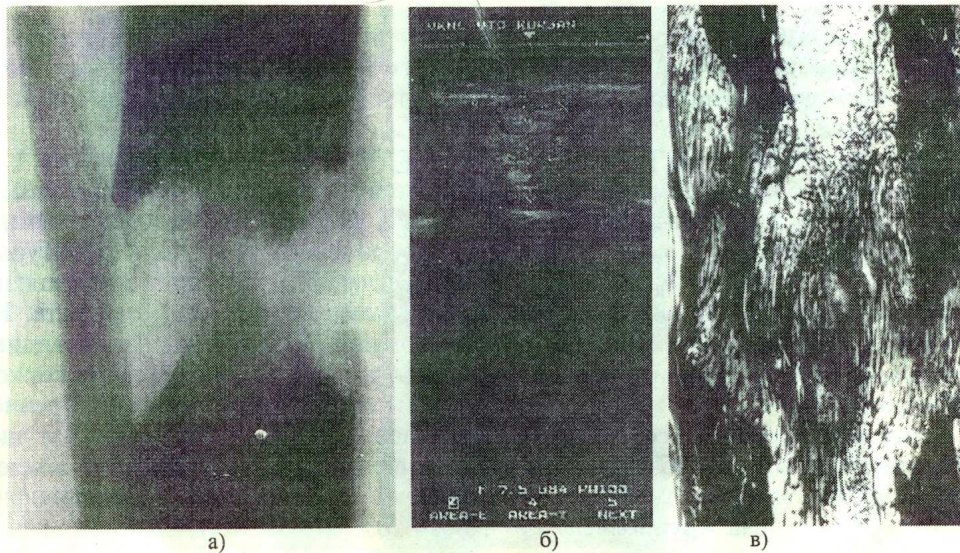


Рис. 1. Регенерат на 14 день дистракции (1 группа): а) рентгенограмма (прямая проекция), б) эхограмма продольного среза, в) гистотопограмма.

Эхографически (рис. 2б) определяли акустически неоднородный регенерат, проксимальный и дистальный отделы которого представляли собой акустически неблагоприятную среду. Визуализации были доступны вся интермедиарная часть регенерата, имеющего вид линейного гиперэхогенного сигнала, и срединная зона регенерата протяженностью 7-8 мм, которая представляла собой акустически благоприятную среду, в эндостальной части заполненную неоднородным субстратом, состоящим из продольно ориентированных структур средней и повышенной эхогенности.

На гистотопограммах (рис. 2в) протяженность проксимального костного отдела регенерата составляла 6-10 мм, дистального — 6-14 мм. Соединительнотканная прослойка, неравномерная по высоте, более выражена по внутренней поверхности кости. В прослойке определялись расширенные венозные сосуды, единичные кистозные полости, заполненные плазмой. Остеогенез слабо выражен. В регенерате и отломках костный мозг резко отечен, с расширенными синусоидами и венами. В этом случае спицей-датчиком была повреждена центральная диафизарная вена.

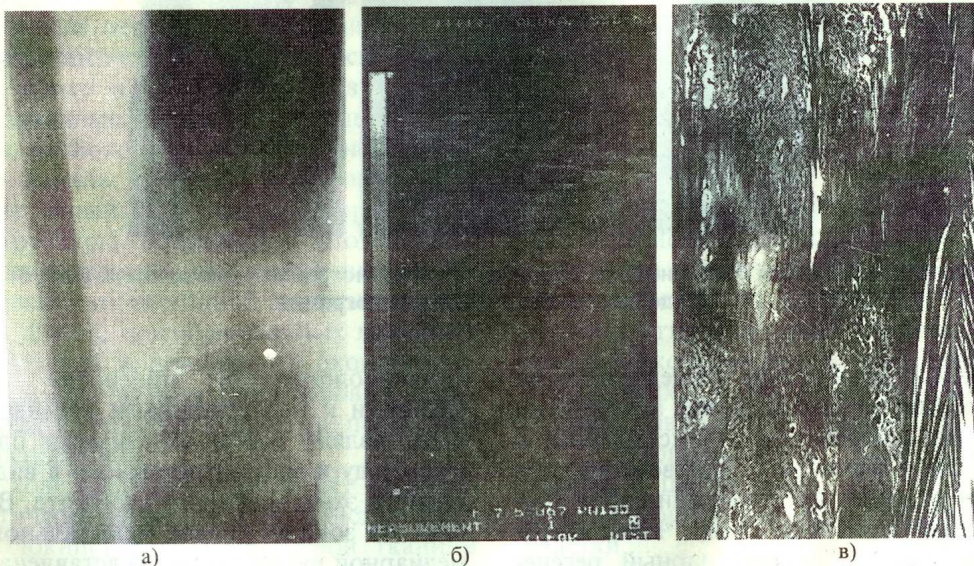


Рис. 2. Регенерат на 28 день дистракции (1 группа): а) рентгенограмма (прямая проекция), б) эхограмма продольного среза, в) гистотопограмма.

К 30 дням стабилизации рентгенологически (рис. 3а) диастаз высотой 27 мм был заполнен тенями продольно исчерченной структуры. На уровне костномозговой полости "зона роста" была замещена трабекулярными тенями разной плотности. В интермедиарном про-

странстве высота ее была равна 1-4 мм. Тень формирующейся корковой пластинки не перекрывала диастаз.

Эхографически (рис. 3б) определяли частично эхопозитивный регенерат длиной 2,7-2,8 см, интермедиарные отделы которого по

наружной поверхности имели вид продольных линейных гиперэхогенных сигналов с расположенными между ними участками средней эхогенности. На уровне эндостального регенерата определяли субстрат, имеющий губчатую структуру, на фоне которого были расположены отдельные продольно ориентированные структуры средней и повышенной эхогенности. Звукопроводимость всех отделов была снижена. Поперечные срезы регенерата визуализировали в виде серии полуокружностей с неоднородным контуром, состоящим из зон высокой и средней эхогенности.

При гистологическом исследовании (рис. 3в) регенерат состоял из губчатой, преимущественно незрелой, костной ткани, которая ближе к отломкам имела крупноячеистое строение, в межтрабекулярных пространствах содержался отечный кровотворно-жировой костный мозг. В центральной части диастаза, на месте "зоны роста", располагались мелкие продольно ориентированные костные трабекулы, очажки соединительной и хрящевой ткани.

В интермедиарном пространстве по наружной и внутренней поверхностям сохранялись участки фиброзной ткани размерами 7x1,5 мм и 8x2 мм.

Во второй группе (1мм за 1 прием, 30 дней стабилизации) на рентгенограммах в двух случаях диастаз был заполнен тенями регенерата продольно-исчерченной структуры. Полоса просветления на уровне эндостальной части была замещена тенями регенерата. На уровне интермедиарных отделов были видны единичные тонкие тени трабекул. Тень корковой пластинки определялась только на уровне костных отделов. В одном случае (рис. 4а) диастаз был заполнен тенями регенерата, имеющего зональное строение: тени проксимального костного отдела высотой 12-15 мм и дистального высотой 10-12 мм были разделены полосой просветления высотой 3-7 мм, которую пересекали единичные тени трабекул. Тень корковой пластинки формировалась по задней и медиальной поверхностям, частично перекрывая диастаз.

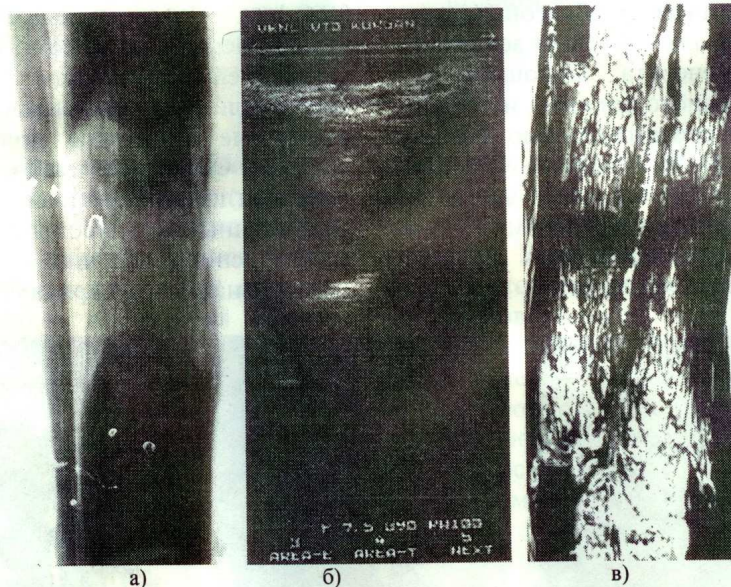


Рис. 3. Регенерат через 30 дней стабилизации (1 группа): а) рентгенограмма (прямая проекция), б) эхограмма продольного среза, в) гистотопограмма.

При эхографическом исследовании во всех случаях диастаз был заполнен акустически неоднородным регенератом. Проксимальная и дистальная зоны регенерата, соответствующие его костным отделам, представляли собой акустически неблагоприятную среду. Четко визуализировался только интермедиарный регенерат, представлявший собой линейный гиперэхогенный сигнал в виде тяжа. Эндостальный регенерат либо не визуализировался, и в его проекции определяли акустическую тень, либо слабо визуализировался в виде гипозэхогенного субстрата с нежной сетчатой структурой. Срединная зона регенерата, соответствующая кол-

лагено-волокнутой прослойке с прилегающими к ней вершинами костных отделов, представляла собой акустически благоприятную среду и визуализировалась в виде неоднородного эхопозитивного субстрата. В двух случаях эта зона на уровне эндостальной и интермедиарной частей была представлена утолщенными продольно ориентированными сигналами высокой и средней эхогенности. В одном случае (рис. 4б) эндостальная часть этой зоны высотой 4-7 мм в ряде срезов состояла из нежных тонких линейных продольно ориентированных структур средней эхогенности.

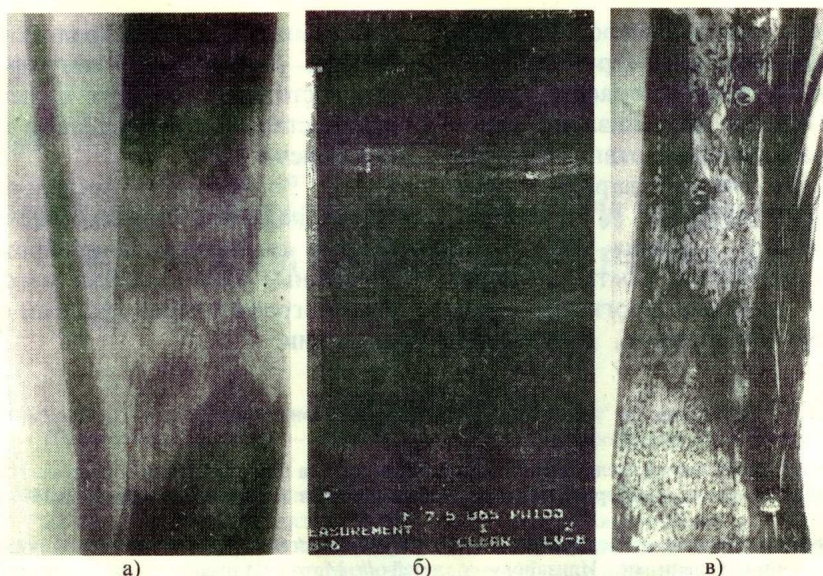


Рис. 4. Регенерат через 30 дней стабилизации (2 группа): а) рентгенограмма (прямая проекция), б) эхограмма продольного среза, в) гистотопограмма.

Гистологически регенерат сохранял зональную структуру (рис. 4в). "Зона роста", неравномерная по высоте (от 7 до 12 мм), состояла из грубых пучков коллагеновых волокон, участков хряща и остеоида, капилляров венозного типа с явлением стаза. В централь-

ных отделах костные трабекулы регенерата имели продольную ориентацию, а ближе к отломкам кость имела ячеистое строение. В межатрабекулярных пространствах содержался отечный жировой костный мозг с резко расширенными полнокровными синусоидами.

ОБСУЖДЕНИЕ.

Сопоставление эхографической, гистологической и рентгенологической картин формирующегося дистракционного регенерата позволило провести следующие параллели.

В начале периода дистракции весь регенерат представляет собой акустически благоприятную среду и является эхопозитивным. Новообразованные грубоволокнистые костные трабекулы, расположенные на уровне костномозгового канала, эхографически визуализируются как линейные продольно ориентированные структуры повышенной эхогенности. Соединительнотканная прослойка визуализируется в виде гипозоногенной полосы, состоящей из продольно ориентированных линейных структур средней и пониженной эхогенности, соответствующих пучкам коллагеновых волокон. Рентгенологически структура прослойки не дифференцируется.

В ходе дистракции регенерат приобретает акустически неоднородные свойства. Прослойка волокнистой соединительной ткани и прилежащие к ней продольно ориентированные костные трабекулы, представляющие апикальные отделы регенератов, являются акустически благоприятной средой и эхопозитивны в течение всего периода дистракции. Эндостальная часть регенерата, состоящая из новообразованной мелкопетливой губчатой кости, представляет собой акустически неблагоприятную среду. Визуализации доступна только распо-

ложенная над ней интермедиарная часть регенерата, представляющая собой линейный продольно ориентированный непрерывный сигнал повышенной эхогенности. Соединительная ткань, расположенная между костными отделами, имеет вид зигзагообразной гипозоногенной полосы, состоящей из продольно ориентированных линейных структур средней и пониженной эхогенности.

Соотношение эхопозитивной и "эхонегативных" зон регенерата в дистракционном периоде различно. Так, при пониженной активности остеогенеза большая часть регенерата остается эхопозитивной, формируется широкая гипозоногенная полоса. Новообразующиеся костные трабекулы приобретают вид утолщенных, удлинённых линейных структур средней, повышенной и высокой эхогенности.

Эхопозитивные участки, обнаруживаемые в центральных отделах регенерата в течение периода фиксации, представляют собой участки фиброзированной соединительнотканной прослойки.

Зрелый костный регенерат на всем протяжении является акустически неблагоприятной средой и визуализации доступен только его корковый слой.

Проведенные исследования позволяют обоснованно интерпретировать эхографическое изображение удлиняемого участка кости,

показывают полную сопоставимость его эхографической и гистологической структуры.

В отличие от рентгенографии эхография обеспечивает четкую визуализацию структуры регенерата на начальных этапах distraction, в частности, его интермедиарной и периостальной частей.

Эхографическая оценка состояния формирующегося регенерата кости обеспечивает возможность раннего прогнозирования степени активности остеогенеза, дает четкие

визуальные критерии зрелости костного регенерата. Применение эхографической оценки его состояния позволит существенно снизить количество рентгенографий в процессе удлинения конечностей.

Возможность исследовать ткань регенерата *in vivo* и получать высококачественные, быстро сменяющиеся изображения дают несомненные преимущества методу ультразвуковой эхографии перед другими средствами визуализации.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Ермак Е.М. Эхографический метод исследования костного регенерата при удлинении голени по Илизарову // Материалы XXV юбилейной науч.-практ. конференции врачей Курганской обл. (Курган, 28-29 декабря 1992 г.). — Курган, 1992. — С.20-22.
2. Ермак Е.М. Основные особенности эхографического изображения костного регенерата на различных этапах его формирования при удлинении голени по Илизарову у детей // Метод Илизарова — достижения и перспективы: Тез.докл.международн. конф... Курган, 1993. — С.136-139.
3. Ерофеев С.А. Значение дробности distraction при удлинении конечностей по Илизарову (экспериментальное исследование): Автореф. дис... канд. мед. наук. — Пермь, 1994. — 23 С.
4. Илизаров Г.А. Некоторые вопросы теории и практики компрессионного и distractionного остеосинтеза // Материалы Всесоюз. симпозиума по вопр. компрессии и distraction в травматол. и ортопед. (Курган, 24-26 ноября 1970 г.). — М., 1970. — С.14-19.
5. Илизаров Г.А., Берко В.Г. Морфологическая характеристика регенерата, образующегося при удлинении бедра в эксперименте // Ортопед. травматол. — 1980. — № 7. — С. 54-59.
6. А.С. 1423114 СССР, МКИ⁴ А 61 В 17/58 Привод к компрессионно-distractionному аппарату / Г.А.Илизаров, А.П.Преден, В.М. Быков (СССР). — № 360 1258/13; Заявлено 06.04.83; Оpubл. 15.09.88 Бюл. № 34. — С.24.
7. Зависимость репаративной регенерации кости и функционального состояния удлиняемой конечности от дробности distraction (экспериментальное исследование) / Г.А. Илизаров, С.А. Ерофеев, А.А. Шрейнер, Чиркова А.М. // Гений ортопедии. — 1995. — № 1. — С.8-12.
8. Имерлишвили И.А., Бахлыков Ю.Н., Дьячкова Г.В. Морфологическая характеристика ранних стадий distractionного регенерата // Чрескостный компрес. и distraction. остеосинтез в травматологии и ортопедии: Сб. трудов КНИИЭКОТ. — Вып. 6. Курган, 1980. — С.90-96.
9. Имерлишвили И.А., Бахлыков Ю.Н., Чиркова А.М. Структурно-гистохимические особенности репаративных и перестроенных процессов в костной ткани при удлинении конечностей собак по методу Илизарова // Структура и биомеханика скелетно-мышечной и сердечно-сосудистой систем позвоночных: Труды науч. конф. — Киев, 1984. — С.45-47.
10. Ирьянов Ю.М. Функциональная морфология процессов костеобразования и ангиогенеза при удлинении конечностей по Илизарову // Ортопед. травматол. — 1994. — № 4. — С.76.
11. Калякина В.И. Удлинение плеча по Илизарову: Автореф. дис... докт. мед. наук. — Курган, 1988. — 22 с.
12. Попков А.В. Оперативное удлинение нижних конечностей у взрослых больных методом Илизарова: дис... докт. мед. наук в форме науч. доклада. — Иркутск, 1992. — 63 с.
13. Стецула В.И., Деватов А.А. Чрескостный остеосинтез в травматологии Киев: Здоров'я, 1987. — 200 с.
14. Шевцов В.И., Ермак Е.М. Возможности ультразвуковой эхографии в оценке репаративного костеобразования при удлинении конечностей по Илизарову // Травматол. ортопед. России. — 1995. — №2.
15. Шевцов В.И., Ирьянов Ю.М. Остеогенез и ангиогенез при distractionном остеосинтезе // Бюл. эксперим. биол. — 1995. — Т.118, № 7. — С.95-99.
16. Шрейнер А.А. Удлинение голени в условиях сохранения остеогенных тканей и кровоснабжения кости: Автореф. дис... канд. мед. наук. — Новосибирск, 1979. — 17 с.
17. Штин В.П. Особенности костеобразования в зоне диастаза большеберцовой кости при удлинении голени аппаратом Г.А. Илизарова (экспериментально-морфологическое исследование): Автореф. дис... докт. мед. наук. — Новосибирск, 1978. — 41 с.
18. Ilizarov G.A., Ermak E.M. Possibilities of Echography in Evaluation of distractional Regenerate Condition at Different Stages of its Formation // Method of Ilizarov: Theory, Experiment, Clinic: Abstr. Annivers. Sci. Conf. — Kurgan, 1991. — P.218-220.
19. Correlazioni eco-radiografiche delle varie Fasi del Rigenerato osseo negli allungamenti degli arti secondodi un Protocollo di indagine / R. Ciminari, S. Galletti, P. Pelotti, O. Donzelly // Giorn. Ital. ortoped. traumatol. — 1991. — V.XV11, N 3. — P.141-142.
20. Hupperts R., Pfeil J., Kaps H.-P. Sonografische Verlaufskontrollen von Verlangerungsosteotomien // Z.Orthop.1990. — Bd.128, N 1. — S.90-95.
21. Sonographic Evaluation of Bone Production at the Distraction Site in Ilizarov Limb-Lengthening Procedures / J.W.R.Young, I.S.Kostrubiak, C.S.Resnik et al. // AJR — 1990. — Vol.154, N 1. — P.125-128.
22. Ultrasonographic monitoring of limb lenthening / N. Maffuli, T. Hughes, J.A. Fixen // J.Bone It.Surg. — 1992. — Vol.74-B, N 1. — P.130-131.
23. Paley D. Problems, obstacles and complications of limb lenthening by the Ilizarov technique // Clin.Orthop. — 1990. — N 250. — P.81-104.
24. Gli allungamenti degli arti inferiori:il valore dell ecografia nella valutazione delle varie fasi rigenerato osseo / Peretti G., Memeo A., Formentoni A. et al. // Chir.Organi.Mov. — 1988. — Vol.73, N 1. — P. 53-58.

Рукопись поступила 24.11.95.