

Изучение distractionного регенерата костей предплечья в эксперименте при помощи сцинтиграфии

Михайлов И.Н.¹, Лебединский В.Ю.², Пусева М.Э.^{1,3}, Селиверстов П.В.¹, Лепехова С.А.¹

¹ ФГБУ «Научный центр реконструктивной и восстановительной хирургии» СО РАМН, Иркутск, Россия

² ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет», Иркутск, Россия

³ ГБОУ ДПО «Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования» Министерства здравоохранения России, Иркутск, Россия

Study of Distraction Regenerate of Forearm Bones in Experiment Using Scintigraphy

Mikhaylov I.N.¹, Lebedinskiy V.Yu.², Puseva M.E.^{1,3}, Seliverstov P.V.¹, Lepekhova S.A.¹

¹ Scientific Center of Reconstructive and Restorative Surgery SB RAMS, Irkutsk, Russia

² National Research Irkutsk State Technical University, Irkutsk, Russia

³ Irkutsk State Medical Academy of Continuing Education, Irkutsk, Russia

Введение. При изучении особенностей репаративно-костеобразования в условиях эксперимента отмечено, что основное значение для успешной регенерации имеют стабильная фиксация костных отломков в правильном положении и сохранение внутрикостного кровоснабжения. Использование таких методов визуального контроля, как рентгенография, томография с денситометрией, не позволяет оценить степень васкуляризации регенерата. Высокая чувствительность и простота радионуклидных исследований в плане диагностики зрелости регенерата,

продолжительности периода фиксации позволяют охарактеризовать функциональное состояние конечности при размещении дефекта кости в зависимости от индивидуальных особенностей организма, что позволит сократить процент осложнений, связанных с повреждением сосудов или другими нарушениями трофики регенерата.

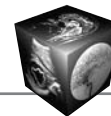
Цель исследования: в эксперименте оценить васкуляризацию distractionного костного регенерата при удлинении конечности с помощью гаммасцинтиграфии.

Для корреспонденции: Пусева Марина Эдуардовна – 664003 Иркутск, ул. Борцов Революции, 1. ФГБУ НЦРВХ СО РАМН. Тел. +7-3952-29-03-65. E-mail: puseva@rambler.ru

Михайлов Иван Николаевич – канд. мед. наук, научный сотрудник научно-клинического отдела травматологии ФГБУ НЦРВХ СО РАМН; **Лебединский Владислав Юрьевич** – доктор мед. наук, профессор, научный руководитель научно-исследовательской лаборатории мониторинга физического здоровья НИ ИргТУ; **Пусева Марина Эдуардовна** – канд. мед. наук, доцент, заведующая травматолого-ортопедическим отделением ФГБУ НЦРВХ СО РАМН, доцент кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии ИГМАПО; **Селиверстов Павел Владимирович** – доктор мед. наук, старший научный сотрудник отделения ультразвуковой диагностики и миниинвазивной хирургии с лабораторией МРТ ФГБУ НЦРВХ СО РАМН; **Лепехова Светлана Александровна** – доктор мед. наук, заведующая научным отделом экспериментальной хирургии с виварием ФГБУ НЦРВХ СО РАМН.

Contact: Puseva Marina Eduardovna – Bortsov Revolutsii str., 1, Irkutsk, 664003, Scientific Center of Reconstructive and Restorative Surgery SB RAMS. Tel. +7-3952-29-03-65. E-mail: puseva@rambler.ru

Mikhaylov Ivan Nikolaevich – cand. of med. sci., scientific officer of clinical research department of traumatology of Scientific Center of Reconstructive and Restorative Surgery SB RAMS; **Lebedinskiy Vladislav Yurievich** – dokt. of med. sci., professor, director of sciences of research laboratory of physical health monitoring of National Research Irkutsk State Technical University; **Puseva Marina Eduardovna** – cand. of med. sci., docent, head of traumatological and orthopedic department of Scientific Center of Reconstructive and Restorative Surgery SB RAMS, assistant professor of the chair of traumatology, orthopedics and neurosurgery of Irkutsk State Medical Academy of Continuing Education; **Seliverstov Pavel Vladimirovich** – dokt. of med. sci., senior research officer of the department of ultrasonic diagnosis and minimally invasive surgery with MRT laboratory of Scientific Center of Reconstructive and Restorative Surgery SB RAMS; **Lepekhova Svetlana Aleksandrovna** – dokt. of med. sci., head of scientific department of experimental surgery with vivarium of Scientific Center of Reconstructive and Restorative Surgery SB RAMS.



Результаты. Оценена динамика васкуляризации при перестройке дистракционного регенерата костей предплечья с помощью гаммасцинтиграфии. К 10-м суткам фиксации костных отломков аппаратом внешней фиксации начинает возрастать кровоток в зоне регенерата, о чем свидетельствуют цифровые результаты во 2-й фазе кровоснабжения, и ускоряется рост костной ткани, что подтверждает показатель дельта в скелетную фазу исследования. Но к 20-м суткам фиксации показатель дельта в фазы кровоснабжения в 2 раза ниже, чем у интактной кости, а его цифровые характеристики могут свидетельствовать о незавершившемся формировании сосудов в зоне регенерата. В скелетную фазу к концу эксперимента показатель дельта увеличивается, но он на 25% ниже, чем у интактной конечности, что также свидетельствует о незавершившемся костеобразовании.

Выводы. Полученные результаты экспериментального исследования васкуляризации дистракционного костного регенерата методом гаммасцинтиграфии показывают структурные изменения его и количественных характеристик степени кровоснабжения регенерата на различных стадиях перестройки.

Ключевые слова: чрескостный остеосинтез, костный дистракционный регенерат, васкуляризация, денситометрия, МСКТ, гаммасцинтиграфия.

Introduction. It was registered while studying peculiarities of reparative osteogenesis in experimental conditions that stable fixation of bone fragments in correct position and conservation of intraosseous blood supply were the most important for successful regeneration. Use of such visual control methods as X-ray imaging and tomography with densitometry doesn't allow to estimate degree of vascularization of the regenerate. High response and simplicity of radionuclide researches at the diagnostics of regenerate's maturity, duration of fixation period allows to describe functional state of an extremity when replacing bone defect depending on individual qualities of an organism that allows to decrease percentage of complications connected with vessels injury or other regenerate's trophism disorders.

Aim of the research: to estimate in experiment vascularization of distraction bone regenerate when lengthening an extremity with use of gamma-scintigraphy.

Results. The dynamics of vascularization when restructuring distraction regenerate of forearm bones was estimated with use of gamma-scintigraphy. By the 10th day of fixation of bone fragments with external fixation device blood flow in the area of the regenerate begins to increase which is proved by digital results of gamma-scintigraphy on the 2nd stage of blood supply and also growth of bone tissues becomes faster which is proved by delta parameter during skeletal stage of the research. However by the 20th day of fixation bone tissue growth during the stages of blood circulation is 2 times slower than in intact bone, and its digital characteristics can testify about incomplete formation of vessels in the area of the regenerate. During skeletal stage by the end of the experiment delta parameter is larger, but it is 25% lower than that one of intact extremity, which is also an evidence of incomplete bone formation.

Conclusion. Obtained results of experimental research of vascularization of distraction bone regenerate by the method of gamma-scintigraphy show structural changes of the regenerate and of quantity characteristic of the degree of blood supply on different stages of restructuring.

Key words: transosseous osteosynthesis, bone distraction regenerate, vascularization, densitometry, multispiral computed tomography, gamma-scintigraphy.

Введение

При изучении особенностей репаративного костеобразования в условиях чрескостного дистракционного остеосинтеза были выполнены серии экспериментальных исследований, в которых отмечено, что основное значение для успешной регенерации имеют стабильная фиксация костных отломков и сохранение внутрикостного кровоснабжения [1–3]. Для динамического исследования регенерата с целью оценки его зрелости активно использовали и используют рентгенографию [1, 2, 4–7]. С развитием КТ оценка регенерации и плотности костной ткани стала более объективной. Полученные результаты экспериментального исследования методом гаммасцинтиграфии изменения плотности костного вещества при дистракционном остеосинтезе отражают структурные изменения регенерата при использовании различных приемов стимуляции регенераторного процесса, денситометрия при проведении МСКТ является объективным методом их оценки, но не дает точных параметров кровообращения регенерата на различных сроках фиксации [8, 9]. Преимуществом сцинтиграфии является не только информация об остеобластической функции, но и получение количественных характеристик степени кровоснабжения регенерата на различных стадиях.

Возможность регулирования данных процессов при помощи изменения темпа дистракции в зависимости от индивидуальных особенностей организма позволит сократить процент осложнений, связанных с повреждением сосудов или другими нарушениями трофики регенерата.

Цель исследования

В эксперименте оценить васкуляризацию дистракционного костного регенерата при удлинении конечности с помощью гаммасцинтиграфии.

Материал и методы

Экспериментальные животные – кролики (*Oryctolagus cuniculus*) относятся к классу млекопитающих (Mammalia), отряду грызунов (Rodentia), семейству заячьих (Leporidae), порода Шиншилла. Животные стандартизированы по полу (мужской), по возрасту (6–8 мес), массе тела ($3,0 \pm 0,3$ кг), длине предплечья ($7,0 \pm 0,5$ см). Из особенностей строения скелета предплечья кролика следует отметить, что лучевая и локтевая кости между собой соединены межкостной мембраной по плотности,



Динамика показателей скинтиграфии на этапах эксперимента

Локализация	До операции	Фиксация 10 сут	Фиксация 20 сут
Скелет	1,03 (0,92–1,09)	0,5 (0,42–0,64) p = 0,013	0,77 (0,6–0,83) p = 0,069
Кровь	0,96 (0,93–1,06)	0,545 (0,43–0,59) p = 0,025	0,48 (0,45–0,535) p = 0,028

близкой к костной, и движений относительно друг друга в сочленениях нет [10].

Животным (14 особей) выполнен дистракционный чрескостный остеосинтез по методу Г.А. Илизарова. Дистракцию начинали выполнять на 5-е сутки со дня операции, с темпом 1 мм в сутки дискретно во времени (0,25 мм × 4 раза в сутки). Продолжительность дистракции составляла 10 сут. Сроки фиксации костных отломков – 10 и 20 сут – выбраны в соответствии с данными литературы [1, 3].

Содержание животных, оперативные вмешательства и эвтаназию осуществляли согласно требованиям приказа МЗ СССР №755 от 12.08.1977 г., а также руководствуясь требованиями, изложенными в “Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях”, с соблюдением этических норм и гуманного отношения к объектам изучения [11].

Условия и методика эксперимента

В предоперационном периоде проводили рентгенографическое исследование передней конечности кроликов в специальном кабинете, отвечающем требованиям ГОСТа, на аппарате ЕДР 750Б при напряжении 45 кВ и фокусном расстоянии до изучаемого объекта 100 см, экспозиции 50 mAs в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (прямой и боковой проекциях) [6, 7, 9].

В работе использовали стандартный набор для чрескостного остеосинтеза по Илизарову. Вес аппарата в собранном виде составил 180 г, т.е. 5% от массы тела кролика. Аппарат состоял из трех секторов $\frac{3}{4}$ кольца диаметром 45 мм, 10 болтовых спицефиксаторов, 6 стержней (длиной 50 мм – 3 шт., длиной 15 мм – 3 шт.), 37 гаек, трех болтов, трех шарнирных соединений, пяти спиц диаметром 1 мм, натяжение проводили тарированным спиценатягивателем 40 Н [6, 7, 12].

Все животные прооперированы в условиях “чистой” операционной вивария ФГБУ НЦРВХ СО РАМН. Ход операции, дистракционный период, исследования описаны ранее [6, 7, 9, 13].

Чрескостный остеосинтез по методу Илизарова выполняли согласно методическим рекомендациям МУОЧО [13–15] по следующей схеме:

1 II, 4–10; 2 5–11 (5–11) _ III, 11–5 (11–5) _ VIII, (8–2) 8–2; 3 4–10; 4 3/4 45; 5 3/4 45

Для оценки расположения костных отломков, структуры и состояния прослойки выполняли рентгенологическое исследование оперированной конечности после завершения операции, в срок 5 и 10 сут дистракции, 10 и 20 сут фиксации костных отломков, а денситометрию на мульти-спиральном компьютерном томографе (томограф фирмы Siemens SOMATOM) в режиме 64 среза в последние два срока: 10 и 20 сут фиксации. Результаты этих исследований описаны в ранее опубликованных работах [6, 7].

При проведении скинтиграфии внутривенно животным вводили технефор 0,5 мл вещества с радиоактивной меткой (технеций-99m), с активностью 1–15 МБк, которое по сосудистому руслу распространялось по организму и избирательно накапливалось в костной ткани. Накопление регистрировалось детектором (кристалл NaI) гамма-камеры DiACAM (Simenes, Германия). Постпроцессинговая обработка с использованием программы “1,2,3 FaseBone ICON” (Simenes, Германия) создавала изображение скелета в интересующей нас области. Первые 2 фазы позволяли оценить кровоснабжение, а 3-я фаза – “скелетного накопления” отображала накопление радиофармпрепарата костной тканью. Изучаемой зоной являлась область регенерата и симметрично соответствующая область интактной конечности. Обе зоны исследовались в 2 фазы кровотока и в фазе скелетного накопления. При помощи программного обеспечения проводились математические вычисления, где единицей измерений была дельта – отношение значений показателей зоны интереса интактной кости к зоне регенерата. Показатель дельта до операции в первые 2 фазы кровоснабжения в среднем составил 0,96 (0,93–1,06), а в скелетной фазе – 1,03 (0,92–1,09) (рис. 1).

Результаты

Показатели васкуляризации костного вещества дистракционного регенерата определяли при проведении гаммаскintiграфии костей предплечья кролика, которые имеют характерные закономерности, локальные особенности и определенные различия (см. таблицу).

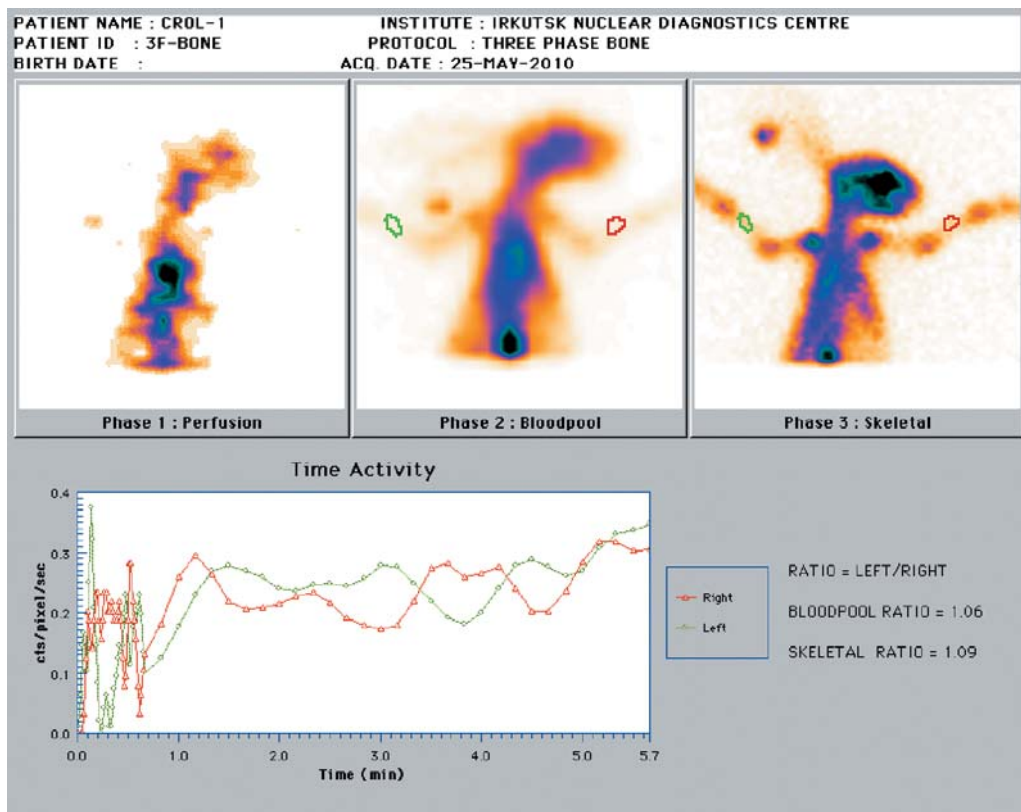
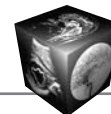


Рис. 1. Зоны интереса при проведении гаммасцинтиграфии.

После операции (рис. 2) показатель дельта начал снижаться в 1,5 раза в первые 2 фазы кровоснабжения и был равен в среднем 0,67 (0,57–0,88), в скелетной фазе незначительно снижился и составлял в среднем 0,9 (0,84–0,97).

В процессе distraction показател дельта продолжал снижаться и к 10-м суткам distraction в фазы кровоснабжения он снижлся в 2 раза и составлял 0,47 (0,425–0,58), в скелетной фазе к концу distraction показател дельта был равен 0,385 (0,355–0,44), что показывает значимое снижение более чем в 2,5 раза (рис. 3).

На этапе фиксации показател дельта начал увеличиваться и в фазы кровоснабжения к 10-м суткам фиксации в среднем составил 0,545 (0,43–0,59), в скелетной фазе – 0,5 (0,42–0,64), что свидетельствует о процессе васкуляризации регенерата и костеобразовании в нем (рис. 4).

К 20-м суткам фиксации (рис. 5) костных отломков удлиняемого предплечья показател дельта не менялся в сравнении с 10-ми сутками фиксации и в фазы кровоснабжения составил 0,48 (0,45–0,535), что ниже нормы на 50%, а в скелетную фазу он продолжал увеличиваться и становился равным 0,77 (0,60–0,83), что на 25% ниже нормы.

Динамика формирования и ремоделирования distractionного костного регенерата костей

предплечья в эксперименте последовательно проходит ряд стадий и полностью не завершается в сроки проведенного эксперимента – к 20-м суткам фиксации.

За период фиксации с 10-х по 20-е сутки не происходит явного усиления кровоснабжения в регенерате. Показател дельта в фазы кровотока на 20-е сутки фиксации в 2 раза ниже, чем у интактной кости, а рост его цифровых характеристик может свидетельствовать о незавершившемся формировании сосудов в зоне регенерата.

В скелетную фазу к концу эксперимента показател дельта увеличивается, но остается на 25% ниже, чем у интактной конечности, что также свидетельствует о незавершившемся костеобразовании.

Согласно методическим рекомендациям, разработанным в научном центре “Восстановительная травматология и ортопедия” им. акад. Г.А. Илизарова, известно, что в течение первых 2 нед удлинения конечности значительно возрастает накопление остеотропного соединения в регенерате и прилегающих участках кости, более выраженные величины наблюдаются в центре регенерата и меньше у концов [4]. Обусловлено это незрелостью коллагена и кристаллов гидроксиапатита, имеющих большую поверхность, чем зрелые.

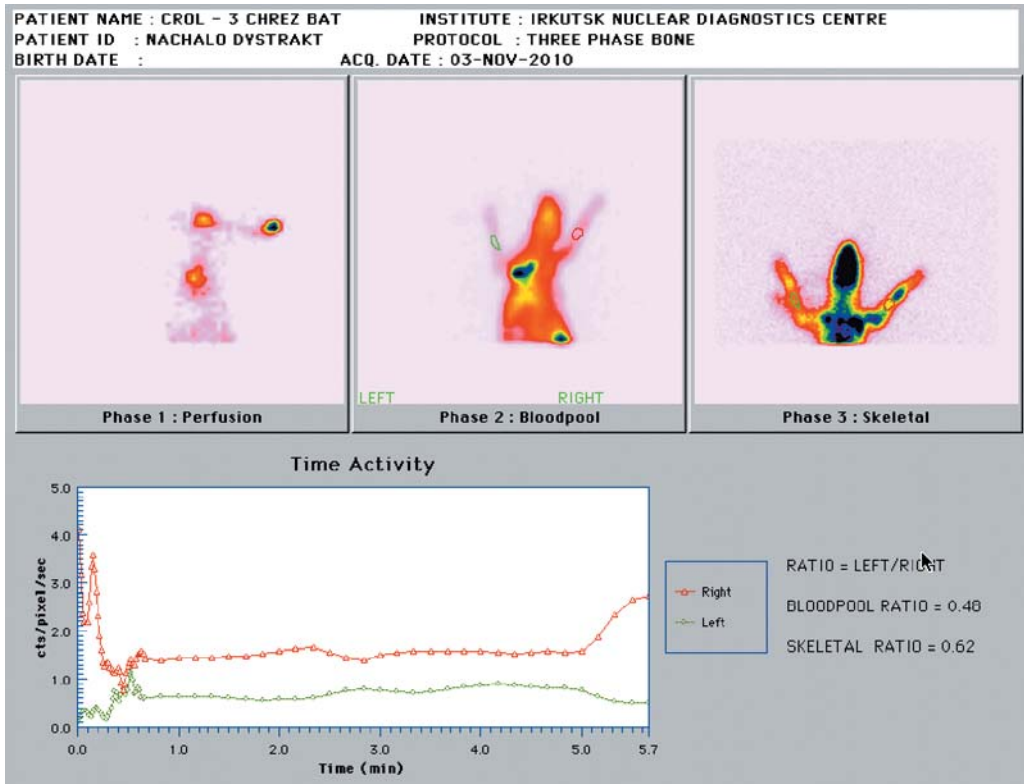


Рис. 2. Остеосцинтиграмма после операции (кролик №20).

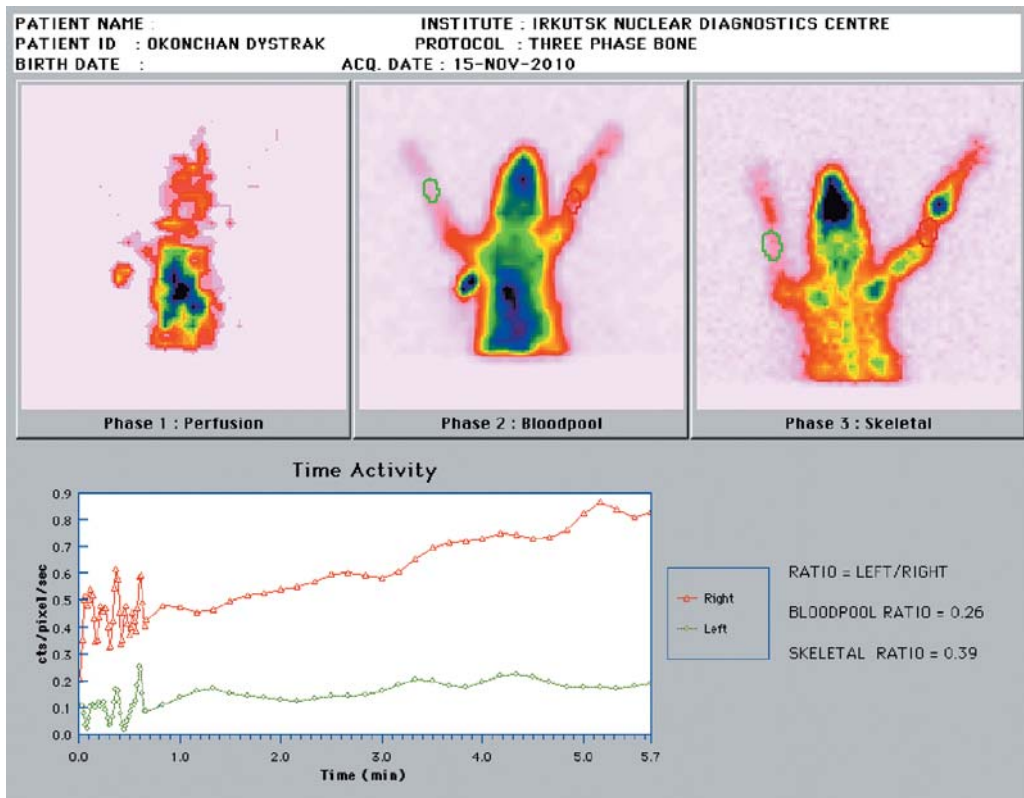


Рис. 3. Остеосцинтиграмма на 10-е сутки дистракции (кролик №6).

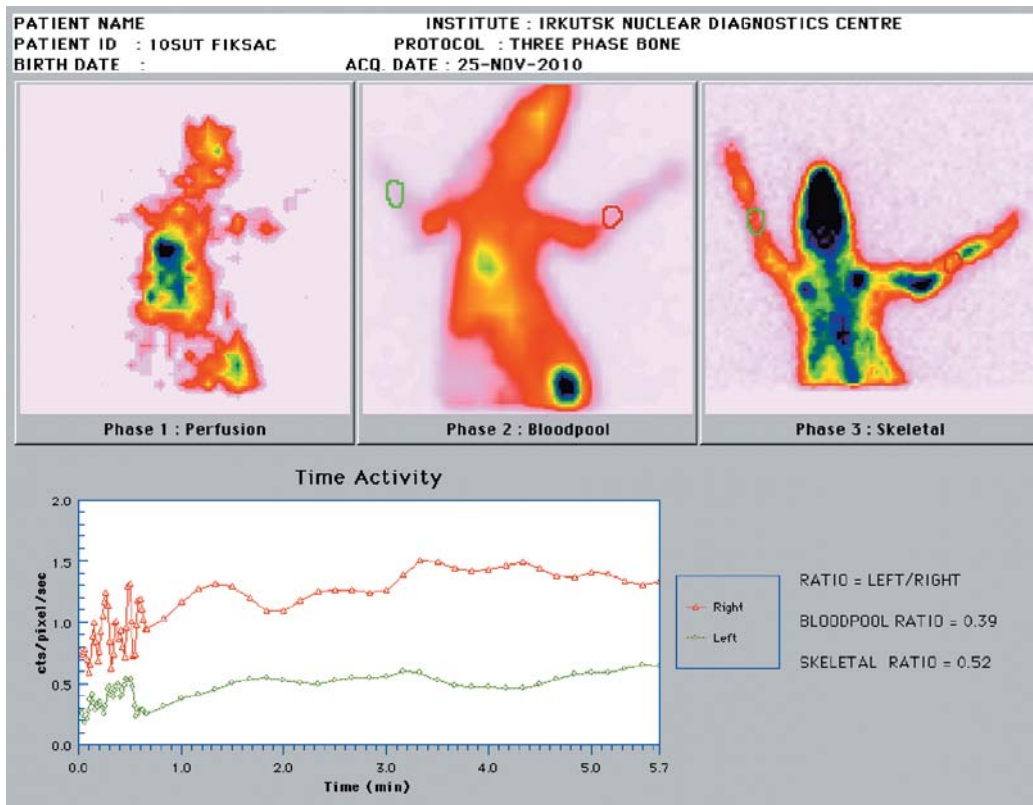


Рис. 4. Остеосцинтиграмма 10-х суток фиксации (кролик №8).

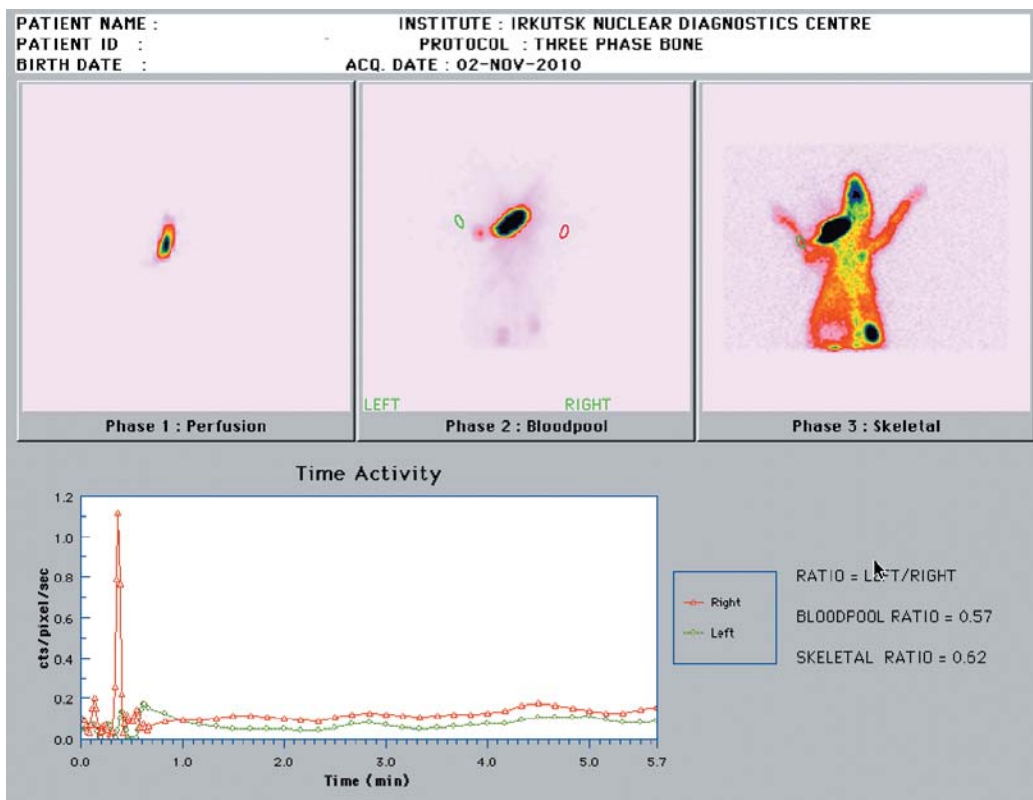


Рис. 5. Остеосцинтиграмма 20-х суток фиксации (кролик №12).



Существенно ускоряется кровообращение в конечности (в 4,1–4,3 раза), в частности в регенерате и прилежащих участках.

В 1-й месяц фиксации накопление радиофармпрепарата и кровенаполнение в области регенерата непрерывно уменьшаются. При анализе радионуклидных данных о репаративном костеобразовании следует руководствоваться комплексом количественных и качественных показателей. Проведенные экспериментальные исследования подтверждают необходимость разработки и внедрения стимулирующих методов регенерации костной ткани, применение которых ускорит органотипическую перестройку костного регенерата.

Таким образом, в соответствии с имеющейся информацией по исследованию костного регенерата при помощи сцинтиграфии у человека [4] обозначены определенные закономерности развития процесса регенерации. Проведенный ретроспективный анализ доступной отечественной и зарубежной литературы не обнаружил схожих исследований на животных.

В нашем эксперименте доказано, что формирование и ремоделирование distractionного костного регенерата костей предплечья последовательно проходят ряд стадий и полностью не завершаются в сроки проведенного эксперимента – к 20-м суткам фиксации. За период фиксации с 10-х по 20-е сутки не отмечается явного усиления кровоснабжения в регенерате. Показатель дельта в фазы кровообращения на 20-е сутки фиксации в 2 раза ниже, чем у интактной кости, а рост его цифровых характеристик может свидетельствовать о незавершившемся формировании сосудов в зоне регенерата. В скелетную фазу к концу эксперимента показатель дельта увеличивается, но остается на 25% ниже, чем у интактной конечности, что также свидетельствует о незавершившемся костеобразовании.

Заключение

Полученные результаты исследования distractionного костного регенерата при удлинении конечности являются объективным показателем контроля оценки его васкуляризации, по которым можно оценить степень зрелости регенерата.

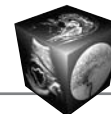
Список литературы

1. Илизаров Г.А. Основные принципы остеосинтеза компрессионного и distractionного. Ортопед., травматол. 1971; 1: 7–11.
2. Ковалева А.В. Количественная и качественная оценка distractionного регенерата при удлинении конечностей: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Курган, 2007. 24 с.

3. Соломин Л.Н., Ячный О.А. Способ стимуляции distractionного регенерата: 2343852 Рос. Федерация. Б.И. 2009. 8 с.
4. Клинико-рентгено радионуклидная оценка репаративного костеобразования при возмещении диафизарных дефектов берцовых и бедренной костей методом удлинения одного из отломков по Илизарову. Метод. рекомендации. МЗ РСФСР, ВКНЦ “ВТО”. Сост.: А.А. Свешников, В.Д. Макушин, Л.М. Куфтырев и соавт. Курган, 1991. 19 с.
5. Шевцов В.И., Попков А.В. Круглосуточное удлинение конечностей в автоматическом режиме. Курган, 2003: http://www.reg-surgery.ru/1_2003/articles_ru/downloads/250503-004.pdf.
6. Пусева М.Э., Соломин Л.Н., Верховозина Т.К., Михайлов И.Н. Способ лечения поврежденных предплечья. №2373916 Рос. Федерация. Б.И. 2009. 32 с.
7. Пусева М.Э., Лебединский В.Ю., Михайлов И.Н. и др. Комплексная характеристика distractionного регенерата костей предплечья в эксперименте. Гений ортопедии. 2013; 4: 84–90.
8. Дьячкова Г.В., Дьячков К.А., Корабельников М.А. Способ прогнозирования перестройки distractionного регенерата методом компьютерной томографии: Мед.технология. Курган, 2010. 12 с.
9. Пусева М.Э., Михайлов И.Н., Лебединский В.Ю. и др. Особенности distractionного костного регенерата в эксперименте при хроническом раздражении биологически активных точек. Бюл. ВСНЦ СО РАМН. 2013; 2 (2): 152–160.
10. Ноздрачев А.Д., Поляков Е.Л., Федин А.Н. Анатомия кролика. СПб.: Санкт-Петербургский университет, 2009. 356 с.
11. Лепехова С.А. Программа стандартных операционных процедур: лабораторные животные (прием, содержание, уход и контроль здоровья животных в вивариях медицинского учреждения). Иркутск: НЦРВХ СО РАМН, 2012. 96 с.
12. Барабаш А.П., Соломин Л.Н. “Эсперанто” проведения чрескостных элементов при остеосинтезе аппаратом Илизарова. Новосибирск: Наука, Сибирское предприятие, 1997. 188 с.
13. Михайлов И.Н. Способ стимуляции перестройки distractionного регенерата при удлинении костей предплечья по Илизарову. Бюлл. ВСНЦ СО РАМН. 2008; 2: 93–94.
14. Барабаш А.П. Чрескостный остеосинтез при замещении дефектов длинных костей. Иркутск: ИТО ВСНЦ СО РАМН, 1995. 208 с.
15. Соломин Л.Н. Основы чрескостного остеосинтеза аппаратом Г.А. Илизарова. СПб.: МОРСАРАВ, 2005. 544с.

References

1. Ilizarov G.A. Basic principles of compression and distraction osteosynthesis. Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye. 1971; 1: 7–11. (In Russian)
2. Kovaleva A.V. Quantitative and qualitative assessment of distraction regenerate when lengthening the extremities: Avtoref. dis. ... kand. med. nauk. Kurgan, 2007. 24 p. (In Russian)



3. Solomin L.N., Yachniy O.A. Method of stimulation of distraction regenerate: 2343852 Rus. Federation. B.I. 2009. 8p. (In Russian)
4. Clinical X-ray radionuclide estimation of reparative osteogenesis at shinbone and femoral bone defects replacement with lengthening of one of the fragments by Ilizarov's method. Guideline. MZ RSFSR, VKNC 'VTO'. Compilers: A.A. Sveshnikov, V.D. Makushin, L.M. Kuftyrev et al. Kurgan, 1991. 19 p. (In Russian)
5. Shevtsov V.I., Popkov A.V. Around the clock lengthening of limbs on an automatic basis. Kurgan, 2003: http://www.reg-surgery.ru/1_2003/articles_ru/downloads/250503-004.pdf. (In Russian)
6. Puseva M.E., Solomin L.N., Verkhozina T.K., Mikhaylov I.N. Method of treatment of injuries of the forearm. 2373916.Rus. Federation. B.I., 2009. 32 p. (In Russian)
7. Puseva M.E., Lebedinskiy V.Yu., Mikhaylov I.N. et al. Complex description of distraction regenerate of forearm bones in the experiment. *Geniy ortopedii*. 2013; 4: 84–90. (In Russian)
8. Dyachkova G.V., Dyachkov K.A., Korabelnikov M.A. A method of prediction of restructuring distraction regenerate with computed tomography. *Medical technology*. Kurgan, 2010. 12 p. (In Russian)
9. Puseva M.E., Mikhaylov I.N., Lebedinskiy V.Yu. et al. Features of distraction bone regenerate in the experiment at chronic stimulation of biologically active points. *Byulleten VSNC SO RAMN*. 2013; 2 (2): 152–160. (In Russian)
10. Nozdrachyov A.D., Polyakov E.L., Fedin A.N. Anatomy of a rabbit. St. Petersburg: Sankt-Peterburgskii universitet, 2009. 356 p. (In Russian)
11. Lepekhova S.A. Program of standard operating procedures: laboratory animals (receiving, keeping, care and control of animals' health in the vivarium of a medical institution). Irkutsk: NCRVKH SO RAMN, 2012. 96 p. (In Russian)
12. Barabash A.P., Solomin L.N. "Esperanto" of navigating of transosseous elements at osteosynthesis by Ilizarov's apparatus. Novosibirsk: Nauka, Sibirskoe predpriyatie, 1997; 188 p. (In Russian)
13. Mikhaylov I.N. Method of stimulation of the restructuring of distraction regenerate when lengthening forearm bones by Ilizarov's method. *Byulleten VSNC SO RAMN*. 2008; 2: 93–94. (In Russian)
14. Barabash A.P. Transosseous osteosynthesis at the replacement of long bones defects. Irkutsk: ITO VSNC SO RAMN, 1995. 208 p. (In Russian)
15. Solomin L.N. Basics of transosseous osteosynthesis by Ilizarov's apparatus. St. Petersburg: MORSARAV, 2005. 544 p. (In Russian)