

Комплексная характеристика дистракционного регенерата костей предплечья в эксперименте

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

Complex characteristic of forearm distraction regenerated bone experimentally

M.E. Puseva, V.Iu. Lebedinskii, I.N. Mikhailov, P.V. Seliverstov, S.A. Lepekhova

¹ФГБУ "Научный центр реконструктивной и восстановительной хирургии" СО РАМН, г. Иркутск
(директор – д.м.н., профессор, член-корреспондент РАМН Е.Г. Григорьев),

²ГБОУ ДПО «Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования»
Минздрава РФ, г. Иркутск (ректор – д.м.н., профессор В.В. Шпрах)

³Национальный исследовательский Иркутский технический университет, г. Иркутск
(и.о. ректора – д. ф.-м. н., профессор А.Д. Афанасьев)

Цель. Изучить особенности регенераторного процесса при дистракционном остеосинтезе костей предплечья кролика в зависимости от локальных особенностей их строения с помощью денситометрии при МСКТ. **Материалы и методы.** В эксперименте изучали формирование и ремоделирование дистракционного регенерата у кроликов породы Шиншилла. Удлиняли одно из предплечий кролика по методу Илизарова на 10 мм. С помощью МСКТ измеряли плотность дистракционного регенерата. **Результаты.** Установлено, что дистракционный регенерат проходит ряд стадий, и его перестройка не завершается к 20 суткам фиксации аппаратом внешней фиксации. В центральной части прослойки имеются начальные признаки формирования костномозгового канала, о чем свидетельствует значительное снижение ее оптической плотности в центре по сравнению с передней и задней поверхностью. **Заключение.** Денситометрия при проведении МСКТ является объективным методом оценки регенерации костной ткани.

Ключевые слова: эксперимент, кролики, кости предплечья, остеотомия, удлинение, метод Илизарова, дистракционный регенерат, плотность, структура, денситометрия, мультиспиральная компьютерная томография.

Purpose. To study the peculiar properties of regeneration process for distraction osteosynthesis of rabbit forearm bones depending on the local features of their structure using densitometry during MSCT. **Materials and Methods.** Formation and remodeling of the distraction regenerated bone studied in Chinchilla rabbits. One of rabbit's forearms 10 mm lengthened by the Ilizarov method. The density of distraction regenerated bone measured with MSCT.

Results. The distraction regenerated bone established to go through a series of stages, and its reorganization is not completed by 20 days of fixation with an external fixator. There are initial signs of medullary canal formation in the central interlayer part as evidenced by a significant decrease in its optical density in the center comparing to the anterior and posterior surfaces. **Conclusion.** Densitometry during MSCT performance is an objective method for bone tissue regeneration assessment.

Keywords: experiment, rabbits, forearm bones, osteotomy, lengthening, the Ilizarov method, distraction regenerated bone, density, structure, densitometry, multispiral computed tomography.

ВВЕДЕНИЕ

Обзор литературы о регенерации костной ткани при дистракционном остеосинтезе представлен многочисленными работами на экспериментальных животных [2, 3, 4, 5, 16, 20, 21, 22].

Планируемая величина удлинения определяется не только размерами компенсации, но и репаративными возможностями организма в целом [1, 23, 24]. Темп дистракции – величина изменяемая и зависит от структуры и состояния костного регенерата, субъективных (болевого синдром) и объективных (отек мягких тканей, воспаление вокруг чрескостных элементов) причин. При изучении морфологических особенностей репаративного костеобразования в условиях чрескостного дистракционного остеосинтеза были выполнены серии экспериментальных исследований, в которых отмечено, что основное значение для успешной регенерации имеет стабильная фиксация костных отломков и сохранение внутрикостного кровоснабжения. Было показано, что при дистракционном остеосинтезе ведущая роль в репаративном костеобразовании принадлежит эндосту, а процесс новообразования костной ткани протекает по десмальному типу. Установлено, что в дистракционных регенератах при адекватном кровоснабжении и стабильной фиксации эндостальное костеобразование преобладает над периостальным [11, 14, 16, 24, 25].

В настоящее время основными и наиболее эффек-

тивными современными методами исследования характеристик дистракционного регенерата являются рентгенография и МСКТ. Однако оценка регенерата только по размеру и интенсивности тени не даёт точных и четких параметров зрелости костной ткани. Поэтому возможность использования денситометрии при МСКТ для количественной и качественной оценки дистракционного регенерата позволяет определить оптимально правильный темп дистракции в процессе лечения и сроки фиксации костных отломков аппаратом внешней фиксации (АВФ) [6, 7, 8, 9, 10, 12, 18].

Несмотря на значительное количество исследований по различным вопросам дистракционного остеосинтеза у экспериментальных животных, многие аспекты данной проблемы все еще недостаточно исследованы и дискуссионны. В доступной литературе нет данных об удлинении грудной конечности кролика, имеющей особенности биомеханики и строения, а известные факты формирования дистракционного регенерата являются общими и едиными для всех трубчатых костей, но есть и отличительные особенности.

В связи с этим сформирована следующая цель исследования: изучить особенности регенераторного процесса при дистракционном остеосинтезе костей предплечья кролика в зависимости от локальных особенностей их строения с помощью денситометрии при МСКТ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

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 [20].

Кролики (*Oryctolagus cuniculus*), на которых проводился эксперимент, относятся к классу млекопитающих (Mammalia), отряду грызунов (Rodentia), семейству заячьих (Leporidae), порода Шиншилла. Животные стандартизированы по полу (мужской), по возрасту (6-8 мес.), весу ($3,0 \pm 0,3$ 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 близкой к костной ткани, и движений относительно друг друга в сочленениях нет [17].

Прооперировано 14 животных по методу Г.А. Илизарова. Дистракцию начинали выполнять на 5 сутки со дня операции с темпом 1 мм в сутки дискретно во времени ($0,25$ мм \times 4 раза в сутки). Продолжительность дистракции составляла 10 суток. Сроки фиксации костных отломков – 10 и 20 суток – выбраны в соответствии с данными литературы [6].

Условия и методика эксперимента

Все животные прооперированы в условиях «чистой» операционной вивария ФГБУ «НЦРВХ» СО РАМН.

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) (рис. 1).



Рис. 1. Рентгенограмма предплечья кролика до операции

В работе использовался 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

Ø 45 мм, 10 болтовых спицефиксаторов, 6 стержней (длинной 50 мм – 3 шт., длинной 15 мм – 3 шт.). Также использованы гайки 37 шт., болты 3 шт., три шарнирных соединения, спицы Ø 1 мм – 5 шт., натяжение проводили тарированным спицеотягивателем 40 Н (рис. 2).

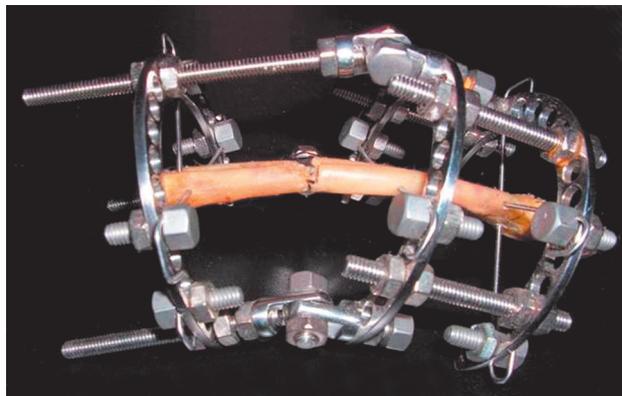


Рис. 2. Модель аппарата Илизарова на анатомическом препарате костей предплечья кролика

Чрескостный остеосинтез по методу Илизарова выполняли согласно методическим рекомендациям МУОЧО [19] по следующей методике. 1 этап – монтаж проксимальной базовой опоры. Первую спицу проводили, отступя дистально от вершины локтевого отростка на 18 мм (II уровень), через локтевую кость в косом направлении изнутри – кнаружи (4-10). Вторую спицу проводили на II уровне в косом направлении изнутри-кнаружи (5-11) через обе кости, начиная с локтевой кости. Обе спицы фиксировали к опоре $\frac{3}{4}$ кольца Ø 45 мм и натягивали.

В отверстия проксимальной базовой внешней опоры поочередно устанавливали три резьбовых стержня и фиксировали их с помощью гаек и гаечного ключа. На дистальные концы стержней на IV уровне (средняя треть диафиза костей предплечья) накладывали промежуточную внешнюю опору $\frac{3}{4}$ кольца Ø 45 мм. Третью спицу проводили в косом направлении изнутри-кнаружи (5-11) через обе кости, начиная с локтевой кости, фиксировали ее к внешней опоре и натягивали.

Учитывая анатомический антекурвационный изгиб (30°) костей предплечья кролика, дистальную базовую внешнюю опору $\frac{3}{4}$ кольца Ø 45 мм соединяли с промежуточной внешней опорой с помощью шарнирных устройств под углом 30° .

Проксимальнее линии сгиба кистевого сустава на 8 мм (VIII уровень) проводили четвертую спицу через обе кости в косом направлении снаружи-кнутри (8-2), начиная с лучевой кости. На этом же уровне проводили пятую спицу в косом направлении изнутри-кнаружи (4-10) через локтевую кость. Обе спицы фиксировали к дистальной базовой опоре $\frac{3}{4}$ кольца Ø 45 мм и натягивали. Затем на V уровне (на середине расстояния между средней и дистальной внешней опорой) выполняли поперечную остеотомию обеих костей предплечья.

Схема модели «АВФ – кости предплечья» согласно МУОЧО:

1	2	3	4	5
II, 4 – 10;	5 – 11(5 – 11)	III, 11 – 5(11 – 5)	VIII, (8 – 2)8 – 2;	4 – 10
$\frac{3}{4}$ 45		$\frac{3}{4}$ 45	$\frac{3}{4}$ 45	

После операции для контроля выполняли рентгенологическое исследование оперированной передней конечности в двух стандартных проекциях. Диастаз между костными фрагментами был минимальным и составлял 1 мм (рис. 3).

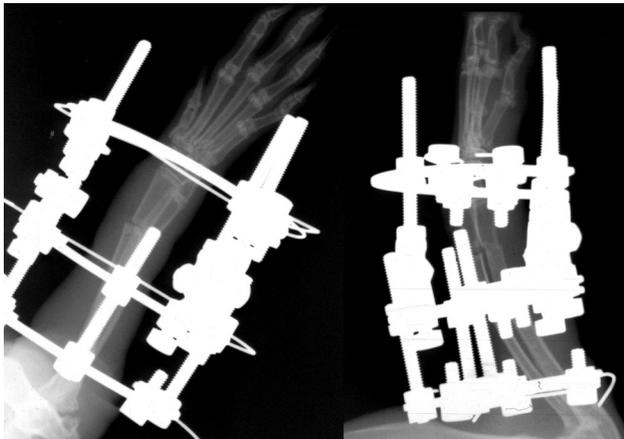


Рис. 3. Рентгенограммы костей предплечья после остеотомии. Кролик № 2

Для объективизации рентгенологических данных использовали визуальную описательную картину теневого изображения регенерата, согласно существующему алгоритму описания дистракционного регенерата [13, 15], исследуемого одним высококвалифицированным врачом-рентгенологом.

К началу периода дистракции (5-й день после операции) кролики адаптировались к аппарату, начинали передвигаться, у них к исходным показателям возвращался аппетит, поведение, они ограниченно нагружали оперированную конечность.

На 5 сутки после операции с помощью аппарата внешней фиксации начинали выполнять дистракцию между костными отломками обеих костей предплечья согласно условиям эксперимента дискретно 0,25 мм 4 раза в сутки ежедневно в течение 10 дней. К концу периода дистракции высота прослойки была равномерной и составляла 10 мм, а относительная величина сегмента была на 13,6-14,7 % больше его исходных размеров.

Для оценки расположения костных отломков, структуры и состояния прослойки выполняли рентгенологическое исследование оперированной конечности после операции в срок 5 и 10 суток дистракции, 10 и 20 суток фиксации костных отломков, а мультиспиральную компьютерную томографию (МСКТ) – в последние два срока (10 и 20 суток фиксации).

Технические условия МСКТ и методы статистической обработки

Для детального изучения взаимоотношений костных отломков и структуры дистракционного регенерата выполняли на 10 и 20 сутки фиксации мультиспиральную компьютерную томографию (МСКТ) на компьютерном томографе фирмы Siemens SOMATOM Sensation с первичной коллимацией 64×0.6, толщиной реформированных срезов 1,0-5,0 мм, PITCH-0.9, Smas-90 и последующим трехмерным анализом изображений в MPR, MIP и VRT реконструкциях.

Статистический анализ полученных результатов проведен с использованием непараметрической статистики. Сравнение изменений исследуемых признаков между выборками критерием Манна-Уитни описано в таблице 1.

При выполнении денситометрии (рис. 4) определяли размер и плотность прослойки в 9 точках пересечения следующих линий (рис. 5): в поперечном направлении – линия, проходящая через проксимальную часть прослойки; средняя линия центральной части прослойки; линия, проходящая через дистальную часть прослойки. В продольном направлении – передняя поверхность прослойки, средняя линия, соответствующая продольной оси прослойки (центр), и задняя поверхность прослойки.



Рис. 4. МСКТ правого предплечья кролика № 2

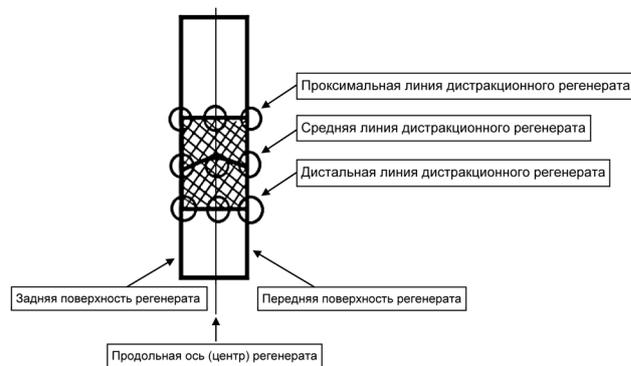


Рис. 5. Схема оценки информации о прослойке при проведении денситометрии

Оптическая плотность прослойки костей предплечья экспериментального животного показана в таблице 1.

Оптическая плотность костных структур предплечья до операции составляла в среднем в проксимальной трети диафизов в центре: -47,5 (-50,5 – -43) Nu, по передней поверхности – 1642,5 (1621–1654) Nu, а по задней поверхности – 1642,5 (1621–1653) Nu.

На уровне средней трети диафизов значения показателей оптической плотности были несколько выше, чем в проксимальной трети диафизов и составляли в среднем в центре -49,5 (-52 – -45,5) Nu, по передней поверхности диафиза – 1647 (1621,5–1656) Nu, а по задней поверхности были ниже – 1632 (1615–1651) Nu.

Оптическая плотность костных структур в дистальной трети предплечья составляла в центре в среднем -45,5 (-49,5 – -45) Nu, по передней поверхности 1631 (1614,5-1650,5) Nu, а по задней поверхности 1648 (1618-1653) Nu.

Таблица 1

Динамика показателей денситометрии дистракционного костного регенерата костей предплечья экспериментального животного, Ед Нц (Хаунсфилд)

Локализация	Диафиз – зона предполагаемой остеотомии	Регенерат	
		фиксация АВФ – 10 сут.	фиксация АВФ – 20 сут.
Проксимальная зона			
Передняя поверхность регенерата	1642,5 (1621–1654)	752,5 (740-793,5) $p \geq 0,05; p_i = 0,0771$	1119,5 (1098,5-1129,5) $p \geq 0,05; p_i \geq 0,05$
Центр регенерата	-47,5 (-50,5 – -43)	373 (368-379,5) $p \geq 0,05; p_i \geq 0,05$	34 (29,5-36,5) $p \geq 0,05; p_i \geq 0,05$
Задняя поверхность регенерата	1642,5 (1621–1653)	757,5 (740-787,5) $p \geq 0,05; p_i \geq 0,05$	1110 (1100-1128,5) $p \geq 0,05; p_i \geq 0,05$
Средняя зона			
Передняя поверхность регенерата	1647 (1621,5–1656)	222 (207,5-233) $p \geq 0,05; p_i \geq 0,05$	968,5 (954,5-981,5) $p \geq 0,05; p_i \geq 0,05$
Центр регенерата	-49,5 (-52 – -45,5)	208 (204-217,5) $p \geq 0,05; p_i \geq 0,05$	182,5 (161-196) $p \geq 0,05; p_i \geq 0,05$
Задняя поверхность регенерата	1632 (1615-1651)	217,5 (206-231,5) $p \geq 0,05; p_i \geq 0,05$	1110 (1068-1119,5); $p \geq 0,05; p_i \geq 0,05$
Дистальная зона			
Передняя поверхность регенерата	1631 (1614,5-1650,5)	762,5 (753-786) $p \geq 0,05; p_i \geq 0,05$	1115 (1098-1128,5) $p \geq 0,05; p_i \geq 0,05$
Центр регенерата	-45,5 (-49,5 – -45)	354 (339,5-362) $p \geq 0,05; p_i \geq 0,05$	34,5 (27,5-35,5) $p \geq 0,05; p_i \geq 0,05$
Задняя поверхность регенерата	1648 (1618-1653)	750 (742,5-782,5) $p \geq 0,05; p_i = 0,0771$	1104,5 (1088-1122) $p \geq 0,05; p_i \geq 0,05$

Примечание: p – значимость различий по сравнению с начальным этапом, p_i – значимость различий по сравнению с предыдущим этапом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рентгенограммах костей предплечья кроликов на 10 сутки (25 суток опыта) фиксации аппаратом внешней фиксации отмечено: концы костных отломков оставались нечеткими, размытыми. Диастаз между отломками 10 мм заполнен неоднородной по плотности тенью (рис. 6). Интенсивность теней все больше смещается к середине диастаза. Зазубренные их концы разделяет небольшая (1 мм) полоса просветления (рис. 6) неодинаковой оптической плотности. Плотность тени в проксимальной и дистальной прослойке регенерата сравнялась с его плотностью в центре.

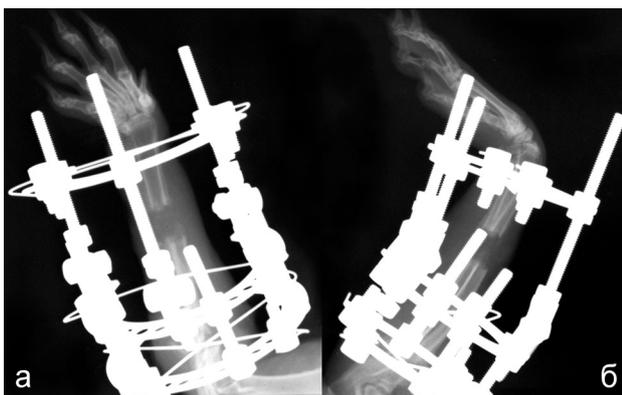


Рис. 6. Рентгенограммы правого предплечья кролика № 22 через 10 суток фиксации: а – прямая, б – боковая проекция

Показатели оптической плотности прослойки регенерата в точках определения при проведении МСКТ костей предплечья кролика (рис. 4) имеют характерные закономерности, локальные особенности и определенные различия.

В прослойке регенерата (рис. 7) на 10 сутки фиксации АВФ имеется снижение ее плотности. В проксимальной и дистальной частях прослойки регенерата по передней и задней поверхности отмечается снижение плотности

более чем в 2 раза, в центре проксимальной части прослойки регенерата она повышается более чем в 7 раз, а в центре дистальной части прослойки – более чем в 4 раза.

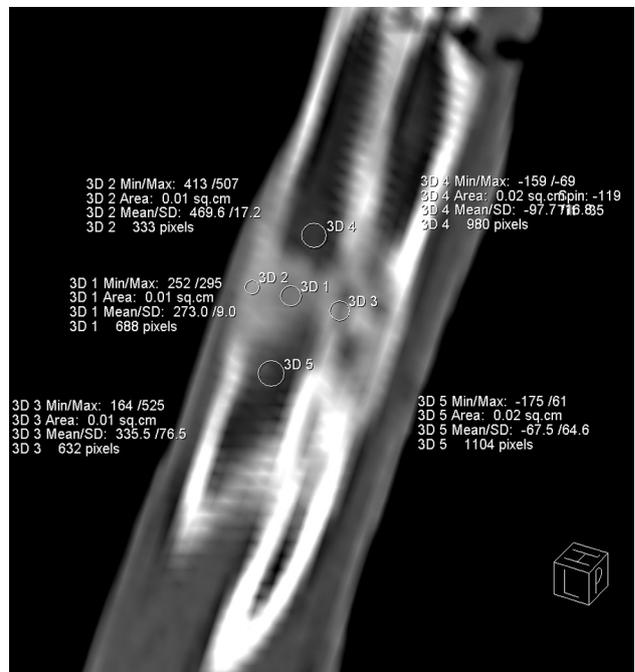


Рис. 7. МСКТ правого предплечья кролика № 2 через 10 суток фиксации

По передней и задней поверхности центральной части прослойки снижение плотности происходит почти в 8 раз, а в ее центре она увеличивается более чем в 5 раз по сравнению с исходной величиной.

На 20-е сутки (35 суток опыта) фиксации костей предплечья АВФ диастаз между костными отломками

заполнен однородной по плотности костной тканью (рис. 8). Линия перелома практически не определяется. В его центральной части сохраняется полоса просветления с нечеткими контурами и различной оптической плотностью. Начинает формироваться костномозговой канал и кортикальный слой костей.



Рис. 8. Рентгенограмма правого предплечья кролика на 20 сутки фиксации АВФ

При проведении МСКТ предплечья кролика на 20 сутки фиксации (рис. 9) диастаз между костными отломками костей предплечья заполнен зрелым регенератом с формирующимся костномозговым каналом.

Анализ результатов денситометрии на 20 сутки фиксации показал снижение более чем в 10 раз плотности в центральной части прослойки регенерата по сравнению с его другими частями, но оно менее выражено в ее центре.



Рис. 9. МСКТ правого предплечья кролика (№ 15) через 20 суток фиксации

В проксимальной и дистальной части прослойки регенерата по передней и задней поверхности плотность увеличивается почти в 1,5 раза по сравнению с предыдущим сроком (10 суток фиксации), но не достигает значений в интактной кости и в 1,5 раза меньше.

В средней части прослойки регенерата по передней и задней поверхности его плотность увеличивается в сравнении с предыдущим сроком (10 суток фиксации) почти в 8 раз, но в 1,5 раза ниже, чем в контроле.

В середине (центре) центральной части прослойки регенерата отмечается незначительное (около 10 %) снижение его плотности, что может свидетельствовать о начале формирования костномозгового канала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Динамика перестройки дистракционного регенерата костей предплечья в эксперименте последовательно проходит ряд стадий и полностью не завершается в сроки проведенного эксперимента. В центральной части прослойки регенерата имеются только начальные признаки образования костномозгового канала. Об этом также свидетельствует значительное уменьшение плотности регенерата в его центре по сравнению с передней и задней поверхностями. Кроме того, получены количественные параметры оценки его формирования в диафизе костей предплечья экспериментальных жи-

вотных (кролики), которые имеют не только особенности биомеханики при функционировании, но и локальные варианты их строения.

Полученные результаты экспериментального исследования изменения плотности костного вещества при дистракционном остеосинтезе позволяют отметить, что они позволяют отразить структурные изменения регенерата при использовании различных приемов стимуляции регенераторного процесса, а денситометрия при проведении МСКТ является объективным методом их оценки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алекберов Д.А., Ковалева А.В. КТ-диагностика перестройки костной ткани после удлинения и устранения деформаций в проксимальном отделе большеберцовой кости // Клиника, диагностика и лечение больных с врожденными аномалиями развития : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Курган, 2007. С. 14–15
Alekberov DA, Kovaleva AV. Klinika, diagnostika i lechenie bol'nykh s vrozhdennymi anomaliami razvitiia: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. [Clinical picture, diagnostics and treatment of patients with congenital developmental anomalies: Materials of All-Russian Scientific-and-Practical Conference]. Kurgan, 2007:14-15.
2. Барабаш А.А. Свободная костная пластика дистракционного регенерата при ортопедической патологии (экспериментально-клиническое исследование) : автореф. дис... канд. мед. наук. Иркутск, 1998. 24 с.
Barabash AA. Svobodnaia kostnaia plastika distraktsionnogo regenerata pri ortopedicheskoi patologii (eksperimental'no-klinicheskoe issledovanie) [Free osteoplasty of distraction regenerated bone for orthopaedic pathology (an experimental-and-clinical study)] [avtoref. diss... kand. med. nauk]. Irkutsk, 1998. 24 s.
3. Барабаш А.А. Костеобразование и перестройка дистракционного регенерата при замедленном остеогенезе после имплантации в него ал-

- логенного деминерализованного костного трансплантата // Сибир. мед. журн. (г. Иркутск). 2004. Т. 46, № 5. С. 24-26.
Barabash AA. Kosteobrazovanie i perestroika distraktsionnogo regenerata pri zamedlennom osteogeneze posle implantatsii v nego allogennogo demineralizovannogo kostnogo transplantata [Bone formation and reorganization of distraction regenerated bone for delayed osteogenesis after implantation of allogeneous demineralized bone graft into it]. Sibir Med Zhurn (Irkutsk). 2004;46(5):24-26.
4. Барабаш А.П. Некоторые итоги экспериментальных разработок компрессионно-дистракционного остеосинтеза по Илизарову // Вопросы чрескостного остеосинтеза по Илизарову : сб. науч. тр. Курган, 1981. С. 12.
Barabash AP. Nekotorye itogi eksperimental'nykh razrabotok kompressiionno-distraktsionnogo osteosinteza po Ilizarovu [Some results of experimental developments of the compression-distraction osteosynthesis according to Ilizarov]. In: Voprosy chreskostnogo osteosinteza po Ilizarovu: sb. nauch. trudov. Kurgan, 1981:12.
 5. Барабаш А.П. Оптимизация условий управления репаративным процессом при замещении дефектов трубчатых костей по Илизарову // Материалы IV Всероссийского съезда травматологов-ортопедов. Куйбышев, 1984. С. 167.
Barabash AP. Materialy IV Vserossiiskogo s'ezda travmatologov-ortopedov [Materials of IV All-Russian Congress of traumatologists and orthopedists]. Kuibyshev, 1984:167.
 6. Барабаш А.П. Чрескостный остеосинтез при замещении дефектов длинных костей. Иркутск, 1995. 208 с.
Barabash AP. Chreskostnyi osteosintez pri zameshchenii defektov dlinnykh kostei [Transosseous osteosynthesis in long bone defect filling]. Irkutsk, 1995. 208 s.
 7. Барабаш А.П., Барабаш Ю.А. Биомеханические аспекты в системах чрескостной фиксации при лечении диафизарных дефектов длинных костей // Вопросы травматологии и ортопедии : тез. юбил. науч.-практ. конф. Иркутск, 1996. С. 33-34.
Barabash AP, Barabash YuA. Voprosy travmatologii i ortopedii: tez. iubil. nauch.-prakt. konf [Problems of traumatology and orthopaedics: Abstracts of Anniversary Scientific-and-Practical Conference]. Irkutsk, 1996:33-34.
 8. Барабаш А.П., Соломин Л.Н. К проблеме биомеханического обеспечения качества лечения при чрескостном остеосинтезе // Травматология и ортопедия России. 1995. № 4. С. 32-56.
Barabash AP, Solomin LN. K probleme biomekhanicheskogo obespecheniia kachestva lecheniia pri chreskostnom osteosinteze [The problem of biomechanical assurance of treatment quality in transosseous osteosynthesis]. Travmatologiya i ortopediya Rossii. 1995;(4):32-56.
 9. Барабаш А.П., Соломин Л.Н. Совершенствование методики чрескостного остеосинтеза при лечении повреждений костей предплечья // Травматология и ортопедия России. 1995. № 4. С. 26-30.
Barabash AP, Solomin LN. Sovershenstvovanie metodiki chreskostnogo osteosinteza pri lechenii povrezhdenii kostei predplech'ia [Improvement of transosseous osteosynthesis technique in treatment of forearm bone injuries]. Travmatologiya i ortopediya Rossii. 1995;(4):26-30.
 10. Барабаш А.П., Соломин Л.Н. «Эсперанто» проведение чрескостных элементов при остеосинтезе аппаратом Илизарова. Новосибирск : Наука, 1997. 188 с.
Barabash AP, Solomin LN. «Esperanto» provedenie chreskostnykh elementov pri osteosinteze apparatom Ilizarova ["Esperanto" insertion of transosseous elements during osteosynthesis with the Ilizarov fixator]. Novosibirsk: Nauka, 1997. 188 s.
 11. Девятков А.А. Чрескостный остеосинтез. Кишинев : Штиинца, 1990. 317 с.
Deviatov AA. Chreskostnyi osteosintez [Transosseous osteosynthesis]. Kishinev: Shtiintsa, 1990. 317 s.
 12. Способ прогнозирования перестройки дистракционного регенерата методом компьютерной томографии: мед. технология / Г.В. Дьячкова, А.В. Ковалева, Д.А. Алекберов, Л.В. Суходолова. Курган, 2010. 12 с.
D'yachkova GV, Kovaleva AV, Alekberov DA, Sukhodolova LV. Sposob prognozirovaniia perestroiki distraktsionnogo regenerata metodom komp'yuternoi tomografii: med. tekhnologiya [A procedure for predicting the reorganization of distraction regenerated bone by computer tomography technique: a medical technology]. Kurgan, 2010. 12 s.
 13. Алгоритм описания дистракционного регенерата / Г.В. Дьячкова, Е.С. Михайлов, С.А. Ерофеев, К.А. Дьячков // Реабилитация больных с повреждениями и заболеваниями костей таза. Новые технологии в лечении повреждений и заболеваний опорно-двигательной системы : материалы респ. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 2003. С. 162-163.
D'yachkova GV, Mikhailov ES, Erofeev SA, D'yachkov KA. Reabilitatsiia bol'nykh s povrezhdeniiami i zabolevaniiami kostei taza. Novye tekhnologii v lechenii povrezhdenii i zabolevanii oporno-dvigatel'noi sistemy : materialy resp. nauch.-prakt. konf [Rehabilitation of patients with injuries and diseases of pelvic bones. New technologies in treatment of the locomotor system injuries and diseases: Materials of Republican Scientific-and-Practical Conference]. Ekaterinburg, 2003:162-163.
 14. Илизаров Г.А. Основные принципы остеосинтеза компрессионного и дистракционного // Ортопедия, травматология и протезирование. 1971. № 1. С. 7-11.
Ilizarov GA. Osnovnye printsipy osteosinteza kompressiionnogo i distraktsionnogo [The main principles of osteosynthesis – compression and distraction one]. Ortop Travmatol Protez. 1971;(1):7-11.
 15. Ковалева А.В. Количественная и качественная оценка дистракционного регенерата при удлинении конечностей : автореф. дис... канд. мед. наук. Курган, 2007. 22 с.
Kovaleva AV. Kolichestvennaya i kachestvennaya otsenka distraktsionnogo regenerata pri udlinenii konechnostei [Quantitative and qualitative evaluation of distraction regenerated bone for limb lengthening] [avtoref. diss... kand. med. nauk]. Kurgan. 2007. 22 s.
 16. Лаврищева Г.И., Оноприенко Г.А. Морфологические и клинические аспекты репаративной регенерации опорных органов и тканей. М. : Медицина, 1996. 208 с.
Lavrishcheva GI, Onoprienko GA. Morfolozicheskie i klinicheskie aspekty reparativnoi regeneratsii opornykh organov i tkanei [Morphological and clinical aspects of reparative regeneration of support organs and tissues]. M: Meditsina, 1996. 208 s.
 17. Ноздрачев А. Д., Поляков Е. Л., Федин А. Н. Анатомия кролика. СПб. : Изд-во С.-петерб. ун-та, 2009. 356 с.
Nozdrachev AD, Poliakov EL, Fedin AN. Anatomia krolika [Anatomy of the rabbit]. SPb: Izd-vo S-Peterb. un-ta, 2009. 356 s.
 18. Компьютерная визуализация чрескостного остеосинтеза / Слободской А.Б., Котельников Г.П., Островский Н.В., Осинцев Е.Ю., Попов А.Ю. Самара : Офорт, 2004. 200 с.
Slobodskoi AB, Kotel'nikov GP, Ostrovskii NV, Osintsev Elu, Popov Alu. Komp'yuternaia vizualizatsiia chreskostnogo osteosinteza [Computer visualization of transosseous osteosynthesis]. Samara: Ofort, 2004. 200 s.
 19. Соломин Л.Н. Основы чрескостного остеосинтеза аппаратом Г.А. Илизарова. СПб.: МОПСАР АВ, 2005. 544 с.
Solomin LN. Osnovy chreskostnogo osteosinteza apparatom G.A. Ilizarova [Basics of transosseous osteosynthesis with the Ilizarov fixator]. SPb: MORSAR AV, 2005. 544 s.
 20. Спиркина Е.С., Матвеева Е.Л., Степанов М.А. Биохимические исследования показателей пероксидации в сыворотке крови собак с моделью дегенеративно-дистрофических изменений в суставах // Гений ортопедии. 2013. № 2. С. 106-108
Spirkina ES, Matveeva EL, Stepanov MA. Biokhimicheskie issledovaniia pokazatelei peroksidatsii v syvorotke krovi sobak s model'iu degenerativno-distroficheskikh izmenenii v sustavakh [Biochemical studies of the values of peroxidation in canine blood serum with the model of degenerative-and-dystrophic changes in joints]. Genij Ortop. 2013;(2):106-108.
 21. Шевцов В.И., Попков А.В., Попков Д.А. Стимуляция репаративного процесса кости при дистракционном остеосинтезе : метод. рекомендации / МЗ РФ, РНЦ «ВТО». Курган, 2001. 11 с.
Shevtsov VI, Popkov AV, Popkov DA. Stimulatsiia reparativnogo protsessa kosti pri distraktsionnom osteosinteze: metod. rekomendatsii [Stimulation of bone reparative process under distraction osteosynthesis: technique recommendations]. MZ RF, RNTs «VTO». Kurgan, 2001. 11 s.

22. Шевцов В.И., Ерофеев С.А., Шрейнер А.А. Рентгенологическая динамика формирования дистракционного регенерата при удлинении конечности в условиях восьмикратной дробности дистракции // Гений ортопедии. 2003. № 2. С. 5-9.
Shevtsov VI, Yerofeyev SA, Shreiner AA. Rentgenologicheskaya dinamika formirovaniia distraktsionnogo regenerata pri udlinenii konechnosti v usloviiah vos'mikratnoi drobnosti distraktsii [The roentgenological dynamics of distraction regenerated bone formation during limb lengthening using eight-fold division of distraction]. Genij Ortop. 2003;(2):5-9.
23. Шевцов В.И., Попков А.В. Круглосуточное удлинение конечностей в автоматическом режиме. Курган, 2003. С. 1–16.
Shevtsov VI, Popkov AV. Kruglosutochnoe udlinenie konechnostei v avtomaticheskom rezhime [Round-the-clock limb lengthening in the automatic mode]. Kurgan, 2003. 16 s.
24. Шевцов В.И., Швед С.И., Сысенко Ю.М. Чрескостный остеосинтез при лечении оскольчатых переломов. Курган, 2002. 137 с
Shvtsov VI, Shved SI, Sysenko JuM. Chreskostnyi osteosintez pri lechenii oskol'chatykh perelomov [Transosseous osteosynthesis in treatment of comminuted fractures]. Kurgan, 2002. 137 s.
25. Теоретические аспекты дистракционного остеосинтеза. Значение режима дистракции / А.А. Шрейнер, С.А. Ерофеев, М.М. Щудло, А.М. Чиркова, Н.Р. Карымов // Гений ортопедии. 1999. № 2. С. 13-17.
Shreiner AA, Yerofeyev SA, Chichoudlo MM, Chirkova AM, Karymov NR. Teoreticheskie aspekty distraktsionnogo osteosinteza. Znachenie rezhima distraktsii [Theoretical aspects of distraction osteosynthesis. Importance of distraction mode]. Genij Ortop. 1999;(2):13-17.

Рукопись поступила 23.10.2013.

Сведения об авторах:

1. Пусева Марина Эдуардовна – ФГБУ «НЦРВХ» СО РАМН, заведующая травматологическим отделением, доцент кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии ИГМАПО, к. м. н., доцент.
2. Лебединский Владислав Юрьевич – НИ ИрГТУ, научный руководитель научно-исследовательской лаборатории мониторинга физического здоровья, д. м. н., профессор.
3. Михайлов Иван Николаевич – ФГБУ «НЦРВХ» СО РАМН, научно-клинический отдел травматологии, научный сотрудник, к. м. н.
4. Селиверстов Павел Владимирович – ФГБУ «НЦРВХ» СО РАМН, отделение ультразвуковой диагностики и мининвазивной хирургии, с. н. с., д. м. н.
5. Лепехова Светлана Александровна – ФГБУ «НЦРВХ» СО РАМН, заведующая научным отделом экспериментальной хирургии, д. б. н.