

Количественная оценка репаративного костеобразования при удлинении конечностей у больных ахондроплазией

М.А. Корабельников, Г.В. Дьячкова, А.М. Аранович, А.А. Щукин, К.А. Дьячков, А.В. Ковалева

Quantitative evaluation of reparative osteogenesis for limb lengthening in patients with achondroplasia

M.A. Korabelnikov, G.V. Diachkova, A.M. Aranovich, A.A. Shchoukin, K.A. Diachkov, A.V. Kovaliova

Федеральное государственное учреждение науки
«Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова Росздрава», г. Курган
(директор — заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАМН, д.м.н., профессор В.И. Шевцов)

Изучены количественные показатели дистракционного регенерата и прилежащих участков материнской кости по данным компьютерной томографии длинных трубчатых костей нижних конечностей 22 больных ахондроплазией в возрасте от 7 до 23 лет, лечившихся в I ортопедическом отделении ФГУН РНЦ «ВТО» за период с 2001 по 2005 год. Исследования проводили на догоспитальном этапе, в процессе лечения, в ближайшие и отдаленные сроки после лечения. Результаты работы показали, что площадь «зоны роста» регенерата в периоде дистракции увеличивалась более чем вдвое, но в процентном соотношении находилась в пределах 23-33 % от общей площади регенерата. В периоде дистракции отмечалось снижение плотности кортикальных пластинок материнской кости в среднем на 200-300 HU, в периоде фиксации — на 400-500 HU. Плотность регенерата к 60-му дню фиксации на бедренной и большеберцовой костях колебалась от 210 ± 11 до 241 ± 17 HU. Сравнение показателей плотности кортикальных пластинок бедренной и большеберцовой костей, участков костей в зоне предполагаемой остеотомии до лечения и участков сформированных регенератов через 1-2 года после лечения показало практически полное соответствие, отмечена завершенная рентгеноморфологическая перестройка костной ткани, что говорит о функциональной полноценности новообразованной кости, позволяет судить о корректности проведенного удлинения.

Ключевые слова: ахондроплазия, регенерат, количественная оценка.

The quantitative measurements of distraction regenerate bone and those of adjacent parts of maternal bone were studied by the data of computer tomography (CT) of lower limb long tubular bones in 22 patients with achondroplasia at the age of 7–23 years, who were treated in I orthopaedic department of the Federal State Science Institution - Russian Ilizarov Scientific Center "Restorative Traumatology and Orthopaedics" (FSSI RISC "RTO") within the period from 2001 till 2005. The studies were performed before hospitalization, in the process of treatment, in the immediate and long-term periods of treatment and observation. The results of the work showed, that the area of regenerate bone "growth zone" during distraction increased more than two-fold, but its percentage ratio was within 23–33% of the total area of regenerate bone. There was a decrease of the density of maternal bone cortical plates, which on the average came to 200-300 HU in distraction period and 400-500 HU – in fixation period. The density of regenerate bone for femur and tibia by 60th day of fixation varied from 210 ± 11 to 241 ± 17 HU. The comparison of the measurements of cortical plate density in femur and tibia, in bone parts of contemplated osteotomy zone before treatment and the parts of the regenerate bones formed in 1-2 years after treatment demonstrated almost complete conformity, completed roentgen-and-morphologic reorganization of bone tissue was observed, thereby pointing to proper functional ability of newly formed bone and allowing to judge the correctness of the lengthening performed.

Keywords: achondroplasia, regenerate bone, quantitative evaluation.

В настоящее время общепринятыми лучевыми методами исследования дистракционного регенерата являются классическая рентгенография в стандартных проекциях, ультрасонография, прямая и косвенная денситометрия. Ряд методов исследования (ультрасонография и денситометрия) позволяют провести количественный анализ процессов костеобразования [2-5, 7, 8, 10, 12, 16].

Способ количественной оценки очага костеобразования по результатам косвенной компьютерной денситометрии обзорных рентгенограмм не исключает погрешностей количественного анализа дистракционного регенерата и костной

мозоли, а единицы измерения, использованные для оценки интенсивности костеобразования по результатам косвенной денситометрии, не являются общепринятыми.

Компьютерная томография (КТ) позволяет оценить структуру костного регенерата даже на ранних сроках его формирования во время дистракции остеотомированного фрагмента длинной трубчатой кости с помощью аппарата внешней фиксации. Для безартефактного денситометрического изучения были разработаны специальные рентгенонегативные узлы для аппарата Илизарова и способы обработки полу-

ченных при КТ данных [1, 6, 11, 13, 14].

Однако изучения дистракционного регенерата с количественной оценкой его в различные периоды формирования у больных ахондроплазией не проводили.

Цель исследования: изучить дистракционный регенерат и прилежащие участки бедренной и большеберцовой костей с количественной оценкой исследуемых параметров у больных ахондроплазией при удлинении бедра и голени.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа основана на анализе данных компьютерной томографии длинных трубчатых костей нижних конечностей больных ахондроплазией, лечившихся в I ортопедическом отделении ФГУН РНЦ «ВТО» за период с 2001 по 2005 год. Исследования проводили на догоспитальном этапе, в процессе лечения, в ближайшие и отдаленные сроки после лечения.

Исследования проведены 22 больным ахондроплазией в возрасте от 7 до 23 лет (14 женского и 8 мужского пола)

Больные ахондроплазией были распределены по возрастным периодам, согласно предложенной В.И. Садофьевой (1990) общей характеристике этапов постнатального формирования костно-суставной системы (табл. 1).

Таблица 1

Распределение больных ахондроплазией по возрасту и полу

Возрастной период	Пол		Всего
	мальчики	девочки	
от 7 до 10 лет	4	4	8
от 11 до 14 лет	2	2	4
от 15 лет и старше	2	8	10
Итого	8	14	22

Всего проведено 68 исследований, данные по этапам приведены в таблице 2.

Для объективной оценки плотностных характеристик новообразованной кости нами разработан способ количественной оценки дистракционного регенерата¹.

Определение степени зрелости регенерата проводили с использованием унифицированных единиц, исключая влияние окружающих мягких тканей, вне зависимости от их объема и плотностных характеристик.

Исследования проводили в положении больного лёжа на спине.

Технические условия проведения топограммы (обзорной цифровой рентгенограммы):

Программа – Extremity. Технические характеристики: а) напряжение 120 kV; б) сила тока 30 mA; в) толщина среза – slice [mm] 2; г) положение трубки – Tube Position AP, Lat; д) длина 256 или 350 mm в большинстве исследований.

Технические условия проведения спирального сканирования:

Программы – Hip, Knee, Foot. Технические характеристики: а) напряжение 120 kV; б) сила тока 50 mA; в) толщина среза – slice collimation [mm] 2-5; г) шаг спирали – pitch = 1,5; д) алгоритм – Kernel: Extremity 80 [Hip, Knee, Foot], High resolution.

Исследование начинали с обзорной цифровой рентгенограммы (топограммы). По топограмме производился выбор диапазона сканирования.

Выбор числа коллимации (толщины среза) пучка рентгеновского излучения при спиральном сканировании зависел от протяженности диапазона сканирования и колебался от 2 до 5 мм.

Обработку аксиальных срезов объекта исследования проводили в режиме мультипланарной реконструкции в сагиттальной и фронтальной плоскостях, с толщиной сечения, равной диаметру материнской кости в выбранной плоскости – режим MPR Thick.

Для детального изучения структур регенерата, степени органотипической перестройки на этапах дистракции и фиксации исследование исходных показателей до лечения и отдаленных результатов, обработку аксиальных срезов дистракционного регенерата проводили в режиме мультипланарной реконструкции в сагиттальной и фронтальной плоскостях, с толщиной сечения, равной толщине пучка рентгеновского излучения – режим MPR Thin.

Таблица 2

Распределение больных по количеству удлинённых сегментов нижних конечностей и периодам лечения

Сегмент	Период лечения и наблюдения						всего
	до лечения	дистракция	фиксация	после лечения	отдалённые результаты		
					1 год	2 года	
Бедро	17	1	2	1	5	8	34
Голень	13	5	1	1	8	6	34
Всего	30	6	3	2	13	14	68

¹ Способ количественной оценки дистракционного регенерата /Корабельников М.А. (РФ), Борзунов Д.Ю. (РФ), Щукин А.А. (РФ), Дьячков К.А. (РФ). Заявл. 15.06.2004., Заявка № 2004118143 РФ, МПК7 А 61 В 5/117, 8/00, В 17/56.

На полученных изображениях выделяли исследуемую область, автоматически высчитывалась площадь (см²) и плотность области интереса в единицах Хаунсфилда (HU) (рис. 1).

Проводили оценку материнской кости до лечения, участков материнской кости и дистракционного регенерата на этапах остеосинтеза, при изучении ближайших и отдалённых результатов лечения.

В периоде дистракции определяли также площадь и плотность соединительнотканной прослойки (зоны роста) проксимального и дистального отделов регенерата (рис. 4, 5).

Исследования бедренной и большеберцовой костей у больных ахондроплазией проводили до

начала оперативного лечения с измерением плотности кортикальных пластинок костей в зоне будущей остеотомии, на этапах дистракции и фиксации с измерением плотности и площади дистракционного регенерата и его отделов при наличии зонального строения с измерением плотности кортикальных пластинок материнской кости в прилежащих к регенерату и удалённых отделах, в отдалённом периоде с измерением плотности кортикальных пластинок регенерата и участков материнской кости (проксимального и дистального) с оценкой степени органотипической перестройки регенерата, восстановления костномозгового канала.

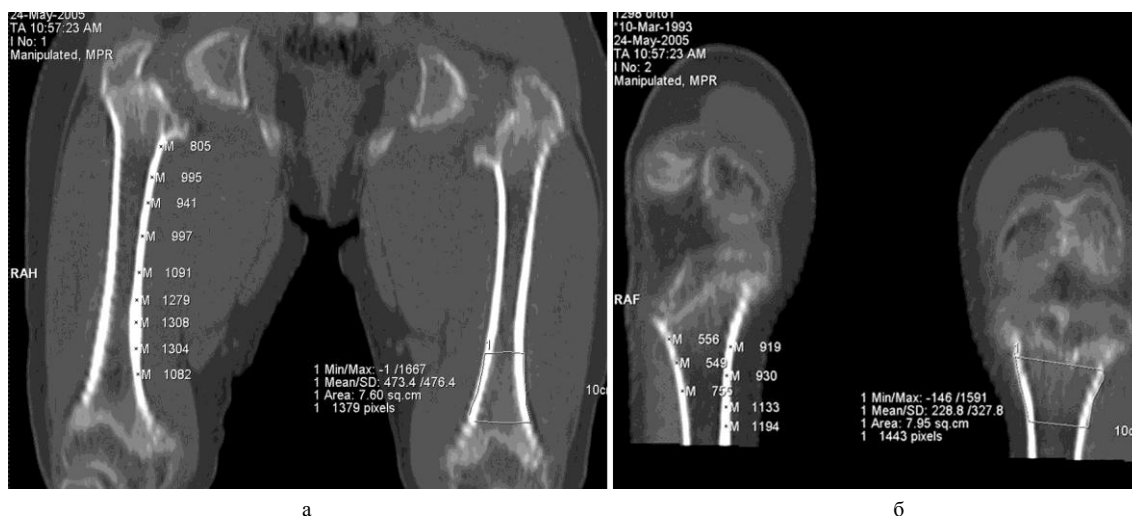


Рис. 1. Произведены промеры площади и плотности зон будущих остеотомий, плотности кортикальных пластинок костей на разных уровнях у больной А., 8 лет: а) фронтальная реконструкция (MPR Thin) бедер до лечения; б) фронтальная реконструкция (MPR Thin) голеней до лечения

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования бедренной и большеберцовой костей у больных ахондроплазией до начала оперативного лечения показали, что с возрастом уменьшается плотность бедренной и большеберцовой кости в области проксимального метафиза и практически не изменяется в области диафиза (рис. 2).

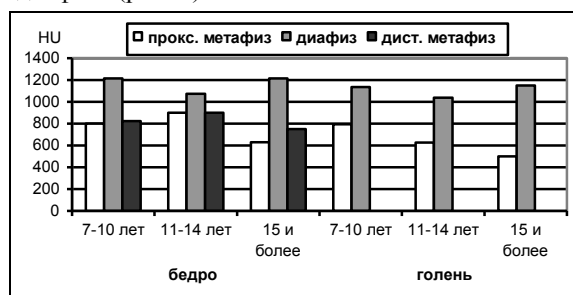


Рис. 2. Средние показатели плотности (HU) кортикальных пластинок бедренной и большеберцовой костей до лечения

Плотность проксимального метафиза большеберцовой кости также значительно снижалась

с возрастом, для бедренной кости достоверных отличий не получено (рис. 3).

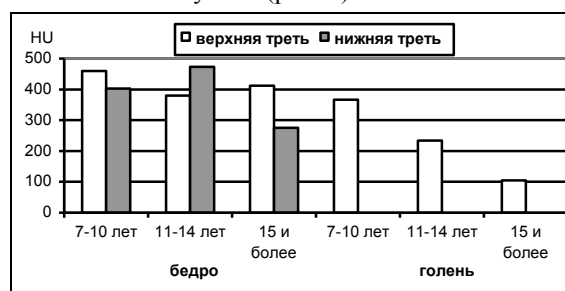


Рис. 3. Средние показатели плотности (HU) участков материнской кости в зоне будущей остеотомии бедренной и большеберцовой костей

При исследовании регенерата в начале дистракции определяли высоту межотломкового диастаза, плотность кортикальной пластинки материнской кости.

В виду частого наличия в диастазе мелких костных фрагментов, организующейся гематомы в области проведенной остеотомии, толщина

среза мультипланарной реконструкции выбиралась минимальной, проведение измерений требовало особой тщательности.

По результатам проведенных исследований выявлено, что в периоде дистракции, на 5-7-й день, площадь и плотность регенерата в среднем составили $0,86 \pm 0,24 \text{ см}^2$ и $221 \pm 73 \text{ HU}$ соответственно. Зональности строения регенерата не отмечено. Достоверных изменений плотности кортикальной пластинки материнской кости не выявлено.

На 14-й день дистракции площадь регенерата увеличилась до $2,4 \pm 0,5 \text{ см}^2$, плотность регенерата уменьшилась до $200 \pm 75 \text{ HU}$, площадь и плотность соединительнотканной прослойки были равны $0,56 \text{ см}^2$ и 95 HU соответственно. Таким образом, “зона роста” регенерата составила около 23 % от общей площади регенерата. При гипопластическом типе развития регенерата показатели плотности находились в диапазоне 10-70 HU (рис. 4).

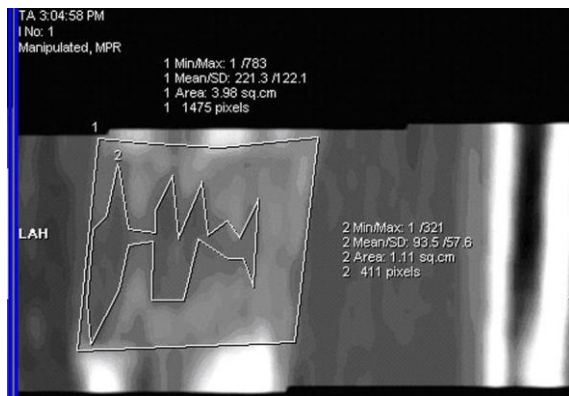


Рис. 4. Мультипланарная реконструкция дистракционного регенерата большой К., 8 лет. Верхняя треть правой голени, дистракция 19 дней

К 28-му дню дистракции площадь регенерата в среднем составила $4,05 \pm 0,05 \text{ см}^2$, плотность – $217,5 \pm 3,5 \text{ HU}$. Соединительнотканная прослойка площадью $1,2 \text{ см}^2$ четко визуализировалась, на всем протяжении ее пересекали продольно ориентированные, повышенной плотности трабекулярные тени. Плотность соединительно-тканной прослойки составляла 89 HU , а её площадь – около 29 % от общей площади регенерата.

На 59-60-й день дистракции площадь регенерата увеличилась до $8,8 \pm 0,65 \text{ см}^2$, а плотность не превышала $177,5 \pm 2 \text{ HU}$. Соединительнотканную прослойку площадью $2,88 \text{ см}^2$, которая занимала около 33 % от общей площади регенерата, на всем протяжении пересекали продольно ориентированные, повышенной плотности трабекулярные тени. Плотность ее не превышала 82 HU (рис. 5).

При сравнении этих показателей с 14-го по 28-й день и с 28-го по 60-й день дистракции отмечено, что площадь “зоны роста” регенерата увеличивалась более чем вдвое, но в процентном соотношении находилась в пределах 23-33 % от общей площади регенерата. Плотность соединительнотканной прослойки незначительно снижена, показатели общей плотности регенерата со-

вершали незначительные колебания и свидетельствовали об относительно стабильной степени минерализации дистракционного регенерата на разных этапах его формирования. В периоде дистракции отмечалось снижение плотности кортикальных пластинок материнской кости в среднем на 200-300 HU, что можно объяснить явлением резорбции.



Рис. 5. Мультипланарная реконструкция (MPR Thin) дистракционных регенератов верхней трети голени на этапе дистракции 60 дней и нижней трети голени на этапе фиксации 14 дней. Произведены промеры площади и плотности зон регенератов.

К 14-му дню фиксации диастаз заполнен регенератом неоднородной структуры с небольшими участками просветления. На 30-й день фиксации регенерат частично сохраняет трабекулярное строение, идёт формирование кортикальных пластинок.

В связи с разными величинами удлинения показатель площади регенерата в абсолютных числах не оценивали.

Плотность регенерата в периоде фиксации (30 дней) составила $146 \pm 29 \text{ HU}$, прослойки $66,5 \pm 14 \text{ HU}$ (рис. 6).

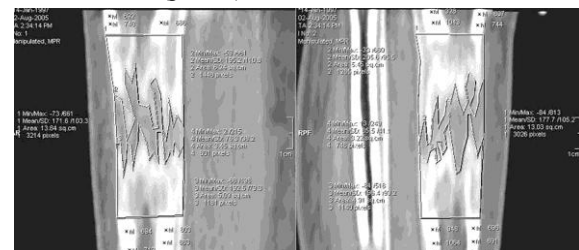


Рис. 6. Мультипланарная реконструкция дистракционного регенерата большой К., 8 лет. Верхняя треть правой голени, фиксация 30 дней

Плотность регенерата к 60-му дню фиксации составила $241 \pm 17 \text{ HU}$. Прослойка практически не определялась.

Повышение плотности в периоде фиксации более чем в полтора раза характеризует значи-

тельную минерализацию дистракционного регенерата.

Прослойка к этому времени не имела четких контуров, площадь прослойки дистального дистракционного регенерата к 30-му дню фиксации уменьшалась до 24 %, а ее плотность практически не изменилась.

В периоде фиксации отмечено дальнейшее снижение плотности кортикальных пластинок материнской кости в среднем на 400-500 HU по сравнению с исходными показателями.

В периоде после снятия аппарата дистракционные регенераты претерпевали дальнейшую органотипическую перестройку, связанную, прежде всего, с увеличением осевой нагрузки на удлинённый сегмент конечности. Общая плотность дистракционного регенерата начинала снижаться в результате формирования костномозговой полости и резорбции трабекулярной кости. Параллельно возрастала плотность кортикальных пластинок новообразованной кости (рис. 7).

Изучение плотности кортикальных пластинок бедренной и большеберцовых костей через

1 год после снятия аппарата показало, что соответствие показателей дооперационным величинам отмечено для голени в возрастной группе 7-10 лет (рис. 8).

Однако через 2 года отличия в плотности кортикальных пластинок в сравнении с дооперационными показателями отмечены только в проксимальном метафизе голени в возрастной группе 15 лет и старше (рис. 9).

Сравнение диаграмм на рисунке 4 (до лечения) с диаграммами на рисунках 10, 11 (после лечения) в соответствующие возрастные периоды показало практически полное соответствие показателей плотности участков костей в зоне предполагаемой остеотомии и участков сформированных регенератов через 1-2 года после лечения. В большинстве наблюдений через один год и во всех наблюдениях через два года после снятия аппарата отмечена завершённая рентгеноморфологическая перестройка костной ткани, что говорит о функциональной полноценности новообразованной кости, позволяет судить о корректности проведенного удлинения (рис. 10, 11).

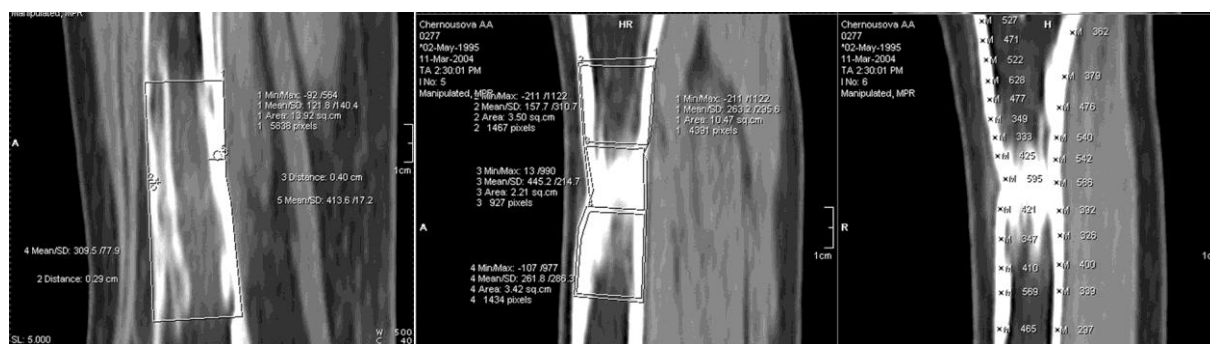


Рис. 7. MPR Thin дистракционных регенератов больной Ч., 8 лет. Нижняя треть правого бедра, сагиттальная реконструкция, фиксация – 53 дня. Верхняя треть левой голени, 21 день после снятия аппарата

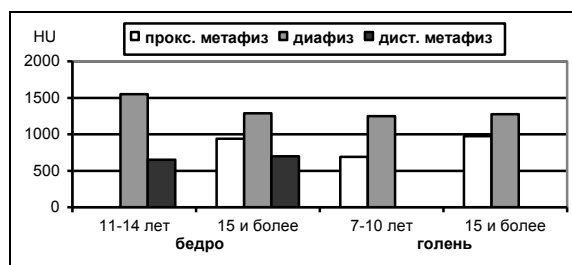


Рис. 8. Показатели плотности кортикальных пластинок бедренной и большеберцовой костей через 1 год после снятия аппарата

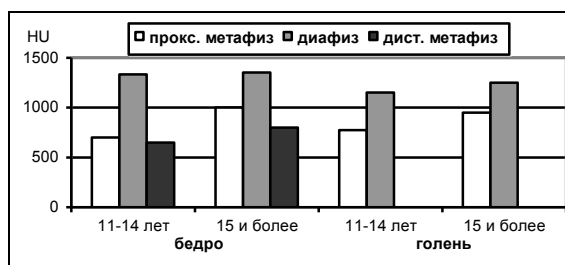


Рис. 9. Показатели плотности кортикальных пластинок бедренной и большеберцовой костей через 2 года после снятия аппарата

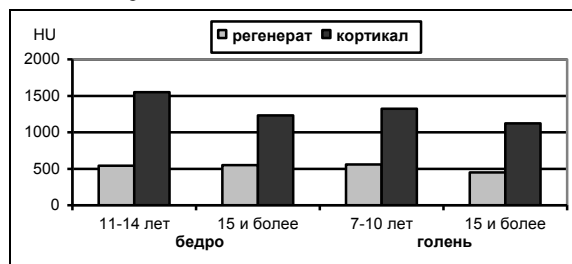


Рис. 10. Показатели плотности зоны регенерата, кортикальной пластинки регенерата бедренной и большеберцовой костей через 1 год после снятия аппарата

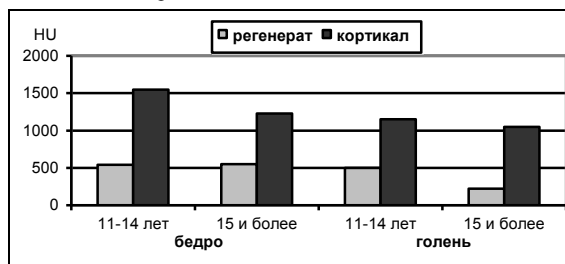


Рис. 11. Показатели плотности зоны регенерата, кортикальной пластинки регенерата бедренной и большеберцовой костей через 2 года после снятия аппарата

Полученные данные свидетельствуют о закономерностях в КТ-картине развития и формирования дистракционного регенерата при удлинении длинных трубчатых костей. Динамика изменений плотностных характеристик дистракционного регенерата в целом, его отделов, а также участков материнской кости подчиняется определенным закономерностям. Поскольку

определение степени зрелости регенерата проводили с использованием унифицированных единиц, исключая влияние окружающих мягких тканей, вне зависимости от их объема и плотностных характеристик, полученные в результате исследования средние значения плотностей в стандартных условиях позволяют получить объективную картину активности регенерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морфологический и компьютерно-томографический анализ репаративной регенерации большеберцовой кости при дистракционном остеосинтезе / Ю. А. Амирасланов [и др.] // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 1993. – С. 206-208.
2. Вроньски, С., Барчиньски, А., Войчеховски, П. Денситометрическое исследование в оценке костного регенерата при удлинении нижних конечностей методом Г.А. Илизарова. / С. Вроньски, А. Барчиньски, П. Войчеховски // Новые технологии в медицине : науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Курган, 2000. – С. 173.
3. Гюльназарова, С. В. Рентгенологическая динамика репаративной регенерации костной ткани в условиях дистракции псевдартроз / С. В. Гюльназарова, И. К. Надыршина // Ортопед., травматол. – 1971. – № 11. – С. 48-52.
4. Дьячкова, Г. В., Козьмина, Т. Е. Рентгенологические особенности регенерации коротких трубчатых костей при дистракционном остеосинтезе / Г. В. Дьячкова, Т. Е. Козьмина // Гений ортопедии. – 1998. – № 3. – С. 17-20.
5. Камерин, В. К. Рентгено-радионуклидная характеристика репаративного процесса при замещении дефектов длинных костей. / В. К. Камерин, А. А. Свешников, Л. А. Смотров / Новые технологии в медицине : науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Курган, 2000. – С. 183.
6. Компьютерная морфометрия остеогенеза. / А. В. Карлов [и др.] Новые технологии в медицине : тез. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Курган, 2000. – Ч. 1. – С. 186-187.
7. Клинико-рентгенологические особенности репаративного остеогенеза у больных со свежими и не сросшимися переломами голени при чрескостном остеосинтезе аппаратом Илизарова / И. В. Кадынцев [и др.] // Новые технологии в медицине : тез. науч.-практ. конференции с междунар. участием. – Курган, 2000. – Ч. 1. – С. 109-110.
8. Ковригин, П. В. Комплексное рентгенологическое исследование при диафизарных переломах костей голени / П. В. Ковригин // Закономерности морфогенеза опорных структур позвоночника и конечностей на различных этапах онтогенеза. – Ярославль, 1986. – С. 86-91.
9. Ревелл, П. А. Патология кости / П. А. Ревелл. – М. : Медицина, 1993. – 368 с.
10. Компьютерная обработка изображений новые диагностика репаративные возможности стандартных методов / Шевцов В. И [и др.] // Проблемы травматологии-ортопедии: материалы науч.-практ. конф. травматол.-ортопед. Ханты-Мансийского автоном. окр. – Сургут, 1998. – С. 177-183.
11. Прижизненная оценка процесса репаративного остеогенеза. / В. И Шевцов [и др.] // Новые технологии в медицине : науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Курган, 2000. – С. 210.
12. Шрейнер, А. А. Количественная оценка остеогенеза в изолированном дефекте кости по данным рентгенограмм / А. А. Шрейнер, И. В. Ручкина, Е. В. Осипова // Новые технологии в медицине : науч.-практ. конф. с междунар. участием – Курган, 2000. – С. 211-212.
13. Применение компьютерной томографии, 3D-визуализации, волюметрии и гистостереометрии для изучения костного регенерата. / М. М. Щудло [и др.] // Новые технологии в медицине : науч.-практ. конф. с междунар. участием – Курган, 2000. – С. 213-214.
14. Шевцов, В. И. КТ дистракционного регенерата / В. И. Шевцов, М. М. Щудло, С. А. Ерофеев // Гений ортопедии. – 1997. – № 1 – С. 80-81.
15. Шевцов, В. И. Оперативное удлинение нижних конечностей / В. И. Шевцов, А. В. Попков. – М. : Медицина, 1998. – 192 с.
16. Юрьев, П. В. Остеометрические и рентгенологические критерии эффективности восстановительного лечения больных с диафизарными переломами костей голени // Заболевания и повреждения опорно-двигательного аппарата у детей : сб. тез. докл. (Ростов-на-Дону) - Л., 1989. – С. 84-85.

Рукопись поступила 15.09.04.