

МНОГОСРЕЗОВАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ ДИСТРАКЦИОННОГО РЕГЕНЕРАТА У ПАЦИЕНТОВ С СУБЪЕКТИВНО НИЗКИМ РОСТОМ И ВАРУСНОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ ГОЛЕНЕЙ

Г.В. Дьячкова¹, д. м. н., профессор, заведующая лабораторией рентгеновских
и ультразвуковых методов диагностики;

К.А. Дьячков¹, к. м. н., вед. науч. сотр.;

К.И. Новиков¹, д. м. н., вед. науч. сотр.;

Д.А. Алекберов², д. м. н., руководитель организационно-методического отдела;

Т.А. Ларионова¹, к. м. н., ст. науч. сотр.;

Э.С. Колесникова³, врач – травматолог-ортопед

¹ ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия»
им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России,
ул. М. Ульяновой, 6, Курган, 640014, Российская Федерация;

² Научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии Азербайджана,
ул. Саххата Аббаса, 32, Баку, AZ1007, Азербайджанская Республика;

³ ГКУ «Курганский областной противотуберкулезный диспансер»,
ул. Циолковского, 1, Курган, 640014, Российская Федерация

MULTISLICE COMPUTED TOMOGRAPHY OF DISTRACTED REGENERATION IN PATIENTS WITH SUBJECTIVELY SHORT STATURE AND VARUS DEFORMITY OF THE LOWER LIMB

G.V. Diachkova¹, MD, PhD, DSc, Professor, Head of Laboratory
of Radiological and Ultrasound Methods of Diagnostics;

K.A. Diachkov¹, MD, PhD, Leading Researcher;

K.I. Novikov¹, MD, PhD, DSc, Leading Researcher;

D.A. Alekberov², MD, PhD, DSc, Head of Organizational and Methodical Department;

T.A. Larionova¹, MD, PhD, Senior Researcher;

E.S. Kolesnikova³, Trauma and Orthopedic Surgeon

¹ Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics,
Ministry of Health of the Russian Federation,
ul. M. Ul'yanovoy, 6, Kurgan, 640014, Russian Federation;

² Azerbaijan Scientific Research Institute of Traumatology and Orthopedics,
ul. Sakhkhata Abbasa, 32, Baku, AZ1007, Azerbaijan Republic;

³ Kurgan Regional Antituberculous Dispensary,
ul. Tsiolkovskogo, 1, Kurgan, 640014, Russian Federation

Цель исследования – изучить особенности удлинения голени
в проксимальном отделе у больных с субъективно низким ростом
и варусной деформацией.

Материал и методы. С помощью компьютерной
томографии проанализированы особенности формирования
дистракционного регенерата в проксимальном отделе
большеберцовой кости у 65 больных с субъективно низким
ростом, укорочением и деформацией конечности различной
этиологии на разных этапах удлинения.

Результаты. Формирование регенерата при удлинении
голени с устранением варусной деформации отличается его
анатомическими особенностями при сохранении типичного
зонального строения. У 85% больных в возрасте старше 30 лет
характерно формирование по передней поверхности реге-
нерата зоны пониженной плотности, которая впоследствии
проявляется уменьшением диаметра кости, краевым дефектом
или образованием кисты. Органотипическая перестройка

Objective. To investigate the characteristics of lengthening
the lower limb in its proximal portion in patients with subjective-
ly short stature and varus deformity.

Material and methods. Computed tomography was used to
analyze the features of distracted regeneration in the proximal
tibia in 65 patients with subjectively short stature, limb shorten-
ing and deformity secondary to various etiologies at different
stages of leg lengthening.

Results. Regeneration in lengthening the leg and eliminating
varus deformity was characterized by its anatomical features while
maintaining the typical zonal structure. 85% of patients older than
30 years of age had a characteristic mass over the anterior surface of
the low-density regeneration area that was subsequently manifest-
ed by a reduction in the bone diameter, by a marginal defect, or by
formation of a cyst. Bone organotypic remodeling after lengthening
came to an end 1–3 years later, depending on the etiology of the dis-
ease and the magnitude of lengthening.

кости после удлинения завершается через 1–3 года в зависимости от этиологии заболевания и величины удлинения.

Заключение. В периоде дистракции регенерат у больных с любой этиологией укорочения имел четко выраженное зональное строение с костными отделами и «зонами роста» – соединительнотканной прослойкой. В периоде фиксации регенерат был представлен трабекулярной костью с продольно или косо ориентированными костными трабекулами. У пациентов с субъективно низким ростом в возрасте старше 35 лет период органотипической перестройки продолжался 2–3 года. Полученные данные необходимо учитывать в процессе лечения и реабилитации.

Ключевые слова: компьютерная томография; голень; удлинение; дистракционный регенерат.

Для цитирования: Дьячкова Г.В., Дьячков К.А., Новиков К.И., Алекберов Д.А., Ларионова Т.А., Колесникова Э.С. Многосрезовая компьютерная томография дистракционного регенерата у пациентов с субъективно низким ростом и варусной деформацией голени. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2017; 98 (6): 297–302. DOI: 10.20862/0042-4676-2017-98-6-297-302

Для корреспонденции: Дьячкова Галина Викторовна; E-mail: dgv2003@list.ru

Введение

Формирование дистракционного регенерата при удлинении кости, в основе которого лежит принцип «напряжения–растяжения», сформулированный профессором Г.А. Илизаровым, – сложный и длительный процесс, состоящий из нескольких этапов и осуществляющийся с применением различных устройств и методик [1–7]. Успех и продолжительность лечения больных с укорочением конечности зависят от многих факторов, среди которых изучение качества новообразованной кости на различных этапах лечения методами лучевой диагностики имеет первостепенное значение. Особенно ценны эти данные в периоде дистракции, когда любые отклонения от нормального течения остеогенеза чреваты высокой вероятностью осложнений и неудачным исходом [8]. Наиболее объективным и информативным методом исследования дистракционного регенерата является компьютерная томография (КТ) [9, 10]. Применение КТ позволило получить данные о количественных показателях, характеризующих плотность различных зон регене-

рата и их площади, разработать алгоритм обследования больных с укорочением конечности на различных этапах лечения [10].

Цель настоящего исследования заключалась в изучении особенностей удлинения голени в проксимальном отделе у больных с субъективно низким ростом и варусной деформацией голени.

Материал и методы

Проведен анализ формирования дистракционного регенерата после удлинения голени методом дистракционного остеосинтеза аппаратом Илизарова у 65 больных с субъективно низким ростом и варусной деформацией голени с укорочением посттравматической этиологии. Рентгенография на различных этапах удлинения выполнена всем больным. Многосрезовая компьютерная томография (МСКТ) осуществлялась на компьютерных томографах Siemens Somatom AR-HP, GE Lihgt Speed VCT. Исследования большеберцовой кости у больных до начала оперативного лечения, на различных его этапах и в отдаленном периоде проводили с измерением плотности корковых пластинок и плотности

Conclusion. The findings showed that bone regeneration during distraction in patients with any etiology of shortening had a clearly marked zonal structure with bone portions and growth areas – a connective tissue layer. Bone regeneration during fixation was presented by a trabecular bone with longitudinally or obliquely oriented bone trabeculae. In patients with subjectively short stature at the age of over 35 years, the bone organotypic remodeling period lasted two or three years. The findings should be kept in mind during treatment and rehabilitation.

Index terms: computed tomography; leg; lengthening; distracted regeneration.

For citation: Diachkova G.V., Diachkov K.A., Novikov K.I., Alekberov D.A., Larionova T.A., Kolesnikova E.S. Multislice computed tomography of distracted regeneration in patients with subjectively short stature and varus deformity of the lower limb. *Vestnik Rentgenologii i Radiologii (Russian Journal of Radiology)*. 2017; 98 (6): 297–302 (in Russ.). DOI: 10.20862/0042-4676-2017-98-6-297-302

For correspondence: Galina V. Diachkova; E-mail: dgv2003@list.ru

Information about authors:

Diachkova G.V., orcid.org/0000-0003-1973-4680

Diachkov K.A., orcid.org/0000-0002-8490-3025

Novikov K.I., orcid.org/0000-0002-6522-5337

Alekberov D.A., orcid.org/0000-0003-3497-8296

Larionova T.A., orcid.org/0000-0002-0724-1339

Kolesnikova E.S., orcid.org/0000-0002-0438-7367

Acknowledgements. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received January 25, 2017

Accepted February 7, 2017

участка материнской кости в зоне будущей остеотомии, проксимальнее и дистальнее границы регенерата и зоны его перестройки после удлинения в аксиальной плотности и по MPR. Обработку результатов исследования выполняли с помощью программы Attestat, встроенной в Microsoft Excel. Для подтверждения выводов о различиях между полученными количественными результатами исследований в случаях с нормальным распределением использовали t-критерий Стьюдента. В том случае, когда распределение отличалось от нормального, использовали непараметрические критерии (критерий Вилкоксона). Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимался равным $p < 0,05$, где p – достигнутый уровень значимости. Все результаты представлены в виде $M \pm \sigma$, где M – выборочное среднее, σ – выборочное стандартное отклонение [11].

Исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации с поправками Минздрава РФ, одобрено этическим комитетом

РНЦ «ВТО» им. Г.А. Илизарова. Все больные подписали информированное согласие на публикацию данных без идентификации личности.

Результаты

Многосрезовая КТ дистракционного регенерата у пациентов с субъективно низким ростом и варусной деформацией голени показала, что в периоде дистракции формировался дистракционный регенерат типичной структуры, имеющий в своем составе костные отделы и «зону роста», показатели плотности которых представлены в таблице 1.

Учитывая, что у 35% пациентов с субъективно низким ростом имела место варусная деформация голени в проксимальном отделе и в процессе удлинения необходимо было ее устранить,

Плотность различных отделов регенерата в конце периода дистракции и в начале периода фиксации

Зона интереса	Показатели, НУ		
	М	σ	Ме
Проксимальный отдел регенерата	210,34*	21,17	212
Прослойка	78,24	12,36	82
Дистальный отдел регенерата	189,56	16,23	190

* $p < 0,01$ по сравнению с плотностью прослойки и $p > 0,05$ по сравнению с дистальным отделом регенерата.

во время дистракции производили трансформацию регенерата. Регенерат при этом не имел во фронтальной плоскости идеальной прямоугольной формы, как при удлинении без устранения деформации (рис. 1).

У больных с варусной посттравматической деформацией формировался клиновидный регенерат, который в проксимальном отделе занимал не всю пло-

щадь поперечного сечения большеберцовой кости (рис. 2).

В начале периода фиксации регенерат также имел зональное строение, но в нем преобладали структуры костной плотности. На аксиальном срезе регенерат представлен множественными образованиями округлой формы, имеющими плотность $201,2 \pm 34,5$ НУ (группы костных трабекул), разделенными промежутками непра-



Рис. 1. МСКТ голени больного П., 38 лет. МРР во фронтальной плоскости. Дистракционный регенерат на правой голени, ось голени (белая линия) и направление групп костных трабекул (стрелки) (а). При объемной реформации также визуализируется расположение групп костных трабекул под углом к продольной оси. На левой голени трансформация регенерата также имела место, что хорошо визуализируется при МРР (в) и объемной реформации (VRT) (б, г)

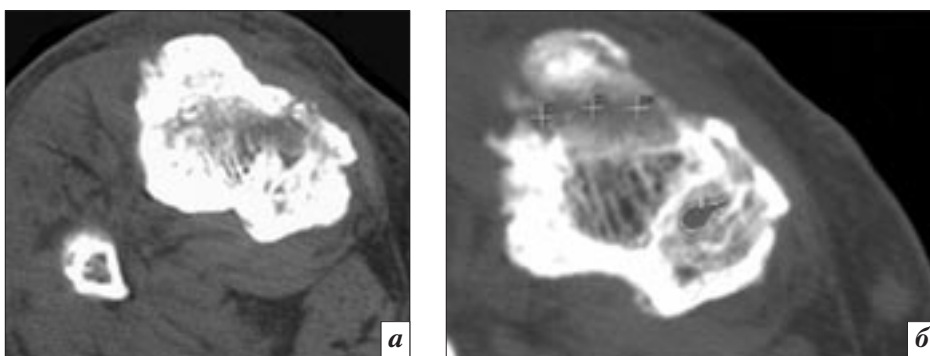


Рис. 2. МСКТ голени больного П., 47 лет, с посттравматической варусной деформацией большеберцовой кости. Аксиальные срезы на различных уровнях регенерата большеберцовой кости (а, б)

вильной формы плотностью 60–80 НУ. Средняя плотность регенерата на одном из аксиальных срезов составляла $243,7 \pm 14,4$ НУ (рис. 3).

При анализе данных МСКТ (MPR в сагиттальной плоскости) у 85% больных в средней трети регенерата на большеберцовой кости формировалась слабо- или неминерализованная зона. Площадь этого участка зависела от многих факторов и могла колебаться в значительных пределах (плоскость исследования, толщина коркового слоя, этиология укорочения, возраст больных). Формирование этой зоны чаще наблюдалось у больных с субъективно низким ростом, у взрослых больных с варусной деформацией голени, когда остеотомия выполнялась под бугристостью большеберцовой кости, где толщина корковой пластинки достигала 0,7–1,2 см, а плотность была значительно ниже, чем в области диафиза.

Формирование дистракционного регенерата, сопровождающееся нарушением (замедлением) процессов костеобразования по передней поверхности большеберцовой кости, хорошо визуализировалось на аксиальных срезах и MPR, где неминерализованные зоны дистракционного регенерата, занимающие различную площадь на аксиальных срезах, имели плотность не более $58,6 \pm 6,9$ НУ, тогда как плотность других отделов регенерата составляла 518,0 НУ.

В периодах дистракции и фиксации, при исследовании дистракционного регенерата методом КТ в сагиттальной плоскости, профиль «зоны роста» по передней и задней поверхностям отличался по высоте, форме и плотности, что подтверждало факт замедленной оссификации в данной области. По передней поверхности высота прослойки всегда была выше, чем по задней. Поскольку величина удлинения большеберцовой кости была различной, соотношение высоты про-

слойки по передней и задней поверхностям представлено в процентном соотношении (табл. 2).

При этом площадь «зоны роста» у 78% больных не превышала 32% от общей площади регенерата, что укладывалось в норматив-

ные показатели. В 30% случаев высота прослойки по передней поверхности в 2 и даже 3 раза превышала таковую по задней. В периоде фиксации у трех больных по переднемедиальной поверхности регенерата в средней

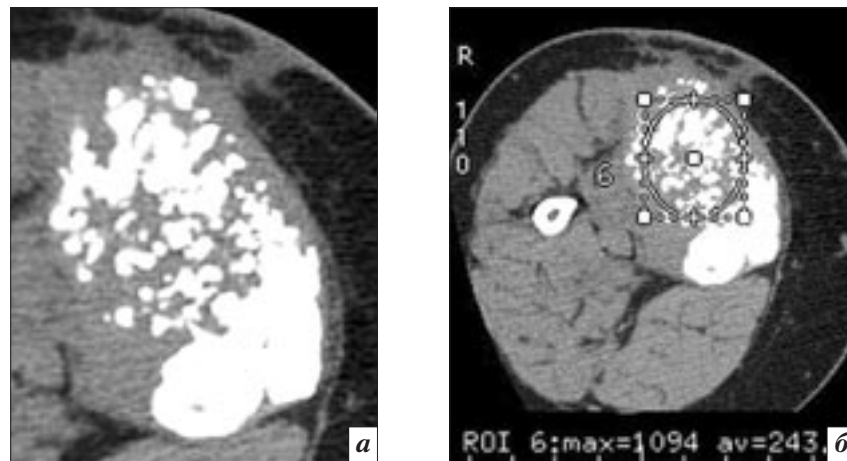


Рис. 3. МСКТ голени больной Р., 22 лет. Удлинение голени на 4 см. Фиксация – 4 мес. Аксиальные срезы: *а* – вид регенерата в средней трети в периоде фиксации; *б* – плотность регенерата 243,7 НУ

Таблица 2

Соотношение высоты прослойки по передней и задней поверхностям большеберцовой кости у больных с различной величиной удлинения

Средняя величина удлинения, см/%	Высота прослойки по задней поверхности (в % от высоты прослойки по передней поверхности)
4,09 / 10,9 ± 2,83	71,4
6,34 / 17,5 ± 1,49	55,6
8,07 / 23,2 ± 2,48	43,5



Рис. 4. МСКТ голени больной А., 27 лет. Удлинение на 5 см. 14 дней после демонстрации аппарата: *а* – MPR, высота зоны пониженной плотности по передней поверхности регенерата составляет 26,4 мм; *б* – объемная реконструкция, хорошо визуализируется дефект по передней поверхности регенерата (неминерализованная зона)

его трети присутствовали только структуры с плотностью не более $56,7 \pm 5,4$ HU, тогда как степень минерализации задних отделов регенерата при измерении на аксиальных срезах составляла 685–826 HU, что хорошо визуализировалось при MPR в сагитальной плоскости. Сформированный в периоде фиксации по передней поверхности более высокий «пик» прослойки определялся в виде гиподенсивной зоны, которая сохранялась в периоде после снятия аппарата Илизарова. Плотность ее при измерении на аксиальных срезах (46,0 HU) и при MPR (46,5 HU) была одинаковой. Гиподенсивная зона хорошо визуализировалась при объемной реформации (рис. 4).

У двух больных отмечалась перестройка гиподенсивной зоны с формированием кисты (рис. 5).

В периоде фиксации дистракционный регенерат был представлен трабекулярной костью с продольно или под углом $30-45^\circ$ ориентированными костными трабекулами, от которых в проксимальном и дистальном отделах отходили горизонтально расположенные костные трабекулы. Формирование костно-мозгового канала начиналось от проксимального и дистального концов регенерата по направлению к центру путем резорбции костных трабекул и минерализации межтрабекулярных пространств в области корковой пластинки (рис. 6).

После демонтажа аппарата и увеличения нагрузки на конечность постепенно формировался костно-мозговой канал, где плотность была меньше (136,5 HU), чем в центральных отделах регенерата, в которых remodelирование кости происходило в более поздние сроки. На аксиальных срезах, в центре регенерата, были видны зоны неопределенной формы, содержащие участки различной плотности и соответствующие формирующемуся костно-мозговому каналу. В дальнейшем

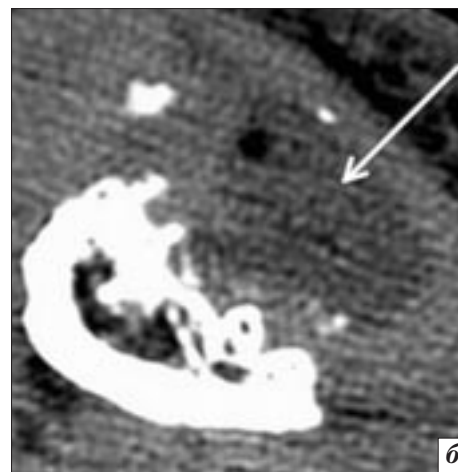


Рис. 5. Рентгенограмма голени в прямой проекции больной К., 50 лет: приобретенное укорочение конечности, удлинение на 4 см (а) и МСКТ голени (б): аксиальная проекция, визуализируется киста по передней поверхности новообразованной кости (стрелка)

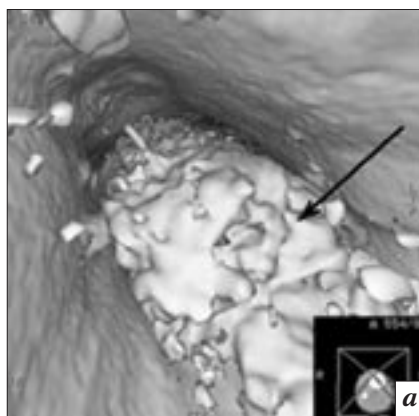


Рис. 6. МСКТ голени пациента Р., 28 лет. Удлинение голени на 6,5 см. 1 мес после демонтажа аппарата. VRT, навигация. Ремоделирование кости в зоне дистракционного регенерата (топография зоны навигации представлена в правом нижнем углу каждого изображения): а – дистальные отделы регенерата, видна часть нерезорбированных костных трабекул (стрелка); б – увеличенный фрагмент: визуализируются короткие горизонтально расположенные костные трабекулы в проксимальной части регенерата (стрелка)

процессы remodelирования завершались формированием костно-мозгового канала и корковой пластинки, однако продолжительность органотипической перестройки у больных с субъективно низким ростом была значительно больше и занимала 2–3 года.

Обсуждение

Результаты работы показали, что в периоде дистракции регенерат у больных с любой этиологией укорочения имел четко выраженное зональное строение, при этом визуализировались костные отделы, представленные

костными трабекулами, ориентированными вертикально или под углом $30-45^\circ$ к продольной оси голени, и «зона роста» – соединительнотканная прослойка. Площадь прослойки («зоны роста») регенерата в процентном соотношении в любом периоде дистракции и в начале фиксации у 80% больных была в пределах 23–33% от общей площади регенерата, а плотность прослойки – не меньше 88 ± 7 HU в периоде дистракции. Общая плотность регенерата в периоде дистракции составляла 210 ± 85 HU. В периоде фиксации дистракционный

регенерат был представлен трабекулярной костью с продольно или косо ориентированными костными трабекулами, пересекающими зону роста, которая в конце периода фиксации имела мелко-трабекулярное строение. Плотность прослойки в периоде фиксации в регенерате, имеющем хорошие количественные показатели, была не меньше $66,5 \pm 14 \text{ HU}$. У 20% больных с субъективно низким ростом площадь соединительнотканной прослойки в периоде distraction и фиксации превышала 35% от общей площади регенерата, у 5% пациентов по передневыпуклой поверхности большеберцовой кости формировались зоны пониженной плотности с обедненным трабекулярным рисунком, или вообще не содержащие костных трабекул, что хорошо визуализировалось как при VRT, так и при использовании программы «Навигация» (Navg). У пациентов с субъективно низким ростом в возрасте старше 35 лет период органотипической перестройки продолжался 2–3 года.

Заключение

МСКТ, позволяя получать объективные данные о качестве distractionного регенерата и степени перестройки новообразованной кости, является методом выбора для решения тактических вопросов при выборе режима удлинения голени у больных с различной этиологией укорочения, продолжительности фиксации, разработке реабилитационных мероприятий, когда по данным рентгенографии эти вопросы решить невозможно.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература [References]

1. Bright A.S., Herzenberg J.E., Paley D., Weiner I., Burghardt R.D. Preliminary experience with motorized distraction for tibial lengthening. *Strateg. Trauma Limb Reconstr.* 2014; 9 (2): 97–100.
2. Green S.A. The Ilizarov method of distraction osteogenesis. In: Hamdy R.C., McCarthy J.J. (Eds). Management of limb length discrepancy. Rosemont, IL: American Academy of Orthopaedic Surgeons; 2011: 39–44.
3. Hamdy R.C., Rendon J.S., Tabrizian M. Distraction osteogenesis and its challenges in bone regeneration. In: Tal H. (Ed). Bone regeneration. InTech; 2012: 185–212.
4. Hasler C.C., Krieg A.H. Current concepts of leg lengthening. *J. Child Orthop.* 2012; 6 (2): 89–104.
5. Ilizarov G.A. Transosseous osteosynthesis. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag; 1992.
6. Iobst C. Limb lengthening combined with deformity correction in children with the Taylor Spatial Frame. *J. Pediatr. Orthop. B.* 2010; 19 (6): 529–34.
7. Sabharwal S., Rozbruch S.R. What's new in limb lengthening and deformity correction. *J. Bone Joint Surg. Am.* 2011; 93 (24): 2323–32.
8. Ирьянов Ю.М., Ирьянова Т.Ю., Петровская Н.В. Функциональная морфология грубоволокнистой костной ткани в distractionном регенерате большеберцовой кости при удлинении голени. Современные наукоемкие техно-
9. Дьячкова Г.В., Ковалева А.В., Алекберов Д.А., Суходолова Л.В. Способ прогнозирования перестройки distractionного регенерата методом компьютерной томографии. Патент РФ № 2342904; 2009. [D'yachkova G.V., Kovaleva A.V., Alekberov D.A., Sukhodolova L.V. A procedure for predicting reorganization of distraction regenerated bone by CT technique. Patent RF, № 2342904; 2009 (in Russ.).]
10. Дьячков К.А., Дьячкова Г.В., Аранович А.М., Ларионова Т.А., Васильев А.Ю. Диагностический алгоритм обследования больных с укорочением и деформациями конечности до, в процессе и после лечения с целью изучения качества кости. *Радиология – практика.* 2016; 4 (58): 8–18. [D'yachkov K.A., D'yachkova G.V., Aranovich A.M., Larionova T.A., Vasil'ev A.Yu. Diagnostic algorithm for examination of patients with limb shortening and deformity before, during and after treatment to study bone quality. *Radiologiya – Praktika (Radiology – Practice, Russian journal).* 2016; 4 (58): 8–18 (in Russ.).]
11. Гайдышев И.П. Программное обеспечение анализа данных AtteStat: рук. пользователя. Версия 13. 2012. URL: <http://biostatistics.pf/files/13.pdf> (дата обращения 09.10.2016). [Gaydyshov I.P. AtteStat software for data analysis. Available at: hands.the user. Version 13. 2012. URL: <http://biostatistics.rf/files/13.pdf> (accessed October 9, 2016) (in Russ.).]

Поступила 25.01.2017

Принята к печати 07.02.2017