

КАЧЕСТВО КОСТИ ПО ДАННЫМ МУЛЬТИСРЕЗОВОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ (МСКТ) У БОЛЬНЫХ С УКОРОЧЕНИЕМ КОНЕЧНОСТИ ДО И ПОСЛЕ ЛЕЧЕНИЯ

*Г.В. Дьячкова – д.м.н., профессор, зав. лабораторией
К.А. Дьячков – к.м.н., вед. научный сотрудник
Т.А. Ларионова – к.м.н., ст. научный сотрудник
А.М. Аранович – д.м.н., профессор, зав. отделением

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- качество кости
- укорочение голени
- компьютерная томография
- удлинение голени

РЕЗЮМЕ:

В работе представлены данные о качестве кости у пациентов до и после удлинения голени методом чрескостного остеосинтеза.

Материалы и методы: у 168 больных с укорочением или деформацией конечности методом мультисрезовой компьютерной томографии изучены анатомические и рентгеноморфологические особенности костей голени до лечения и после удлинения.

Результаты: у больных ахондроплазией, врожденными и приобретенными укорочениями по данным рентгенографии и МСКТ имеет место исходное изменение структуры метадиафизарных отделов большеберцовой кости, которое усугубляется в процессе удлинения. У пациентов с субъективно низким ростом рентгеноморфологические изменения в коленном суставе возникали во время удлинения, проявлялись снижением плотности кости, появлением зон резорбции, изменением архитектоники и сохранялись в отдаленном периоде у больных старше 35 лет. Плотность корковой пластинки диафиза большеберцовой кости у больных с укорочением различной этиологии при исследовании методом МСКТ характеризуется возрастными, нозологическими и топографическими особенностями и является одним из важных показателей качества кости до и на различных этапах лечения. Максимальная плотность отмечена в средней трети диафиза. В процессе удлинения плотность и структура корковой пластинки изменяется. Критическим является снижение плотности корковой пластинки после удлинения на границе материнской кости и регенерата до 350 НУ.

Заключение: качество кости у больных с различной этиологией укорочения голени определяется как строением метаэпифизарных отделов, так и структурными и плотностными показателями корковой пластинки, которые в большей степени определяют прочностные параметры кости и изменяются при удлинении голени.

Для цитирования: Дьячкова Г.В., Дьячков К.А., Ларионова Т.А., Аранович А.М. «КАЧЕСТВО КОСТИ ПО ДАННЫМ МУЛЬТИСРЕЗОВОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ (МСКТ) У БОЛЬНЫХ С УКОРОЧЕНИЕМ КОНЕЧНОСТИ ДО И ПОСЛЕ ЛЕЧЕНИЯ». Журнал «Диагностическая и интервенционная радиология» 2018; 12(1):11–21.

BONE QUALITY ACCORDING TO DATA OF MULTISLICE COMPUTED TOMOGRAPHY (MSCT) IN PATIENTS WITH LIMB SHORTENING BEFORE AND AFTER TREATMENT

*Dyachkova G. V. – MD, PhD, professor
Dyachkov K. A. – MD, PhD
Larionova T. A. – MD, PhD
Aranovich A. M. – MD, PhD, professor

Federal State-Financed Institution «Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopedics» of the RF Ministry of Healthcare
6, M. Ulyanova Str, Kurgan, Russian Federation 640014

KEY-WORDS:

- bone quality
- shortening of shin
- computed tomography
- lengthening of the shin

ABSTRACT:

Study presents data about bone quality in patients before and after lengthening of shin by transosseous osteosynthesis method.

Materials and methods: 168 patients with shortening or limb deformity, before treatment and after lengthening, underwent multislice computed tomography, with estimation of anatomical and radiological-morphological features of shin.

Results: according to data of X-ray examination and MSCT, patients with diagnosed achondroplasia, congenital or acquired shortenings - have initial restructuring of meta-diaphyseal tibial bone, that worsen during lengthening. Patients with subjectively insufficient growth, radiological-morphological changes developed in knee joint during lengthening, which appeared as bone density

*Адрес для корреспонденции (Correspondence to): Дьячкова Галина Викторовна (Dyachkova G. V.), e-mail: dgu2003@list.ru

reduction, appearance of resorption areas, architectonics change and persisted in late period in patients older 35 years. Cortical plate density of tibial diaphysis in patients with shortening of different etiology, during MSCT, was characterized by age, nosological and topographic features and is one of the important parameter of the bone quality before and during treatment stages. Maximum density is marked in the middle third of diaphysis. Density and structure of cortical plate are changed during lengthening. Severe cortical plate density reduction is up to 350 HU on the line of maternal bone and regenerate.

Conclusion: bone quality in patients with different etiology of shin shortening, is determined by structure of meta-diaphyseal bone and structural and density features of cortical plate and determine, in the greater degree, strength bone criteria changing during lengthening of shin.

Введение

Вопросам определения качества кости уделяется сейчас большое внимание, однако, чаще всего речь идет об определении качества кости в связи с выявленным или предполагаемым остеопорозом, у пациентов перед эндопротезированием, у больных хроническим остеомиелитом, последствиями гематогенного остеомиелита [1-4]. Тем не менее, этот вопрос остается актуальным и при другой патологии с точки зрения планируемого хирургического лечения, поскольку от того, в каком состоянии находится зона интереса, зависит выбор метода, методики, инструментария, объема обследований [5-11]. Значение термина «качество кости» четко не сформулировано и различные авторы вкладывают в это термин как биомеханические, так и морфологические понятия [12-16]. Качество кости, по мнению Burr D.V., 2004, определяется, по меньшей мере, четырьмя факторами: скоростью обмена костной ткани; свойствами коллагена и минерального матрикса; накоплением микроповреждений; архитектоникой губчатой и кортикальной кости [17]. В одной из наиболее актуальных и обобщающих статей по качеству кости С. J. Hernandez, Т. М. Keaveny, (2006), авторы указывают, что термин «качество костной ткани» обычно используется по отношению к нескольким характеристикам кости [18].

Более продвинутыми являются исследования для определения качества кости в хирургической стоматологии, а компьютерная и конусно-лучевая компьютерная томография используются в настоящее время для изучения особенностей строения челюстно-лицевого скелета с целью определения качества кости на основе предложенных классификаций [19,20]. Что касается ортопедии, то аналогичных классификаций нет, и практически нет работ, в которых были бы приведены данные о плотности различных отделов длинных костей в норме, которая является не единственным, но одним из важных показателей, определяющих качество кости.

Для изучения качества кости могут использоваться практически все современные методы лучевой диагностики: двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия, периферическая компьютерная томография с высоким разрешением (HR-pQCT), микрокомпьютерная томография (μ-CT), двухэнергетическая компьютерная томография (DECT), мультисрезовая

компьютерная томография (МСКТ), конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ), магнитно-резонансная компьютерная томография (МРТ) [21-27]. МСКТ относится в настоящее время к наиболее эффективным, доступным и информативным методам изучения кости и широко применяется в остеологии [28]. Однако, практически отсутствуют работы, касающиеся качества кости до и после удлинения конечности, оценка которого имеет большое значение для разработки реабилитационных программ.

Материалы и методы

Качественные и количественные характеристики материнской и новообразованной кости были изучены методами рентгенографии, мультисрезовой компьютерной томографии (МСКТ) у 88 больных ахондроплазией, 28 пациентов с субъективно низким ростом, у 43 с врожденным и приобретенным укорочением конечности. Среди больных ахондроплазией преобладали дети в возрасте до 14 лет. Следующая группа была представлена пациентами в возрасте 19-45 лет (субъективно низкий рост). В группе больных с врожденным укорочением конечности пациенты в возрасте старше 18 лет составили 64%. Наименьшей была группа больных с приобретенным укорочением голени, в основном это были взрослые пациенты мужского пола (66,7%).

Полипозиционная рентгенография до лечения и на различных этапах удлинения в динамике была выполнена всем 168 больным с укорочением и деформациями голени на рентгеновском диагностическом комплексе «Radiotex» серии UD150 (Shimazu) по цифровой технологии на оцифровщиках рентгеновских снимков CR 85X и DX-G (Agfa, Belgium) с использованием кассет с люминисцентными запоминающими экранами. Полученные изображения архивировались на сервере DCM 4CHEE DICOM Archive. По данным рентгенографии изучали архитектонику эпифизарных и метафизарных отделов длинных костей, уровень и величину деформаций, наличие изменений структуры кости в области диафиза, характер взаимоотношений в суставах. После лечения проводили анализ структуры материнской кости, смежных суставов, изучали состояние новообразованной кости.

Компьютерная томография (МСКТ) проведена на компьютерных томографах GE Light Speed VCT, Aquilion-64. Исследование начинали с выполнения топограммы исследуемого сегмента в прямой проекции. Технические условия проведения спирального сканирования: Программа – LowerExtremity.

Технические характеристики:

- а) напряжение 120 – 135kV;
- б) сила тока 100 – 250 mA;
- в) толщина среза – 3,0 мм;
- г) шаг спирали – pitch = 3,0 мм;
- д) постпроцессорная обработка с толщиной среза 0,5 мм, и инкрементом реконструкции 0,3 мм, алгоритм – Bonestandard, Highresolution;
- е) FOV 320.

Исследования большеберцовой кости у больных до начала оперативного лечения, на различных этапах его и в отдаленном периоде проводили с измерением плотности корковых пластинок и плотности участка материнской кости в зоне будущей остеотомии, проксимальнее и дистальнее границы регенерата и зоны его перестройки после удлинения в аксиальной плоскости и по MPR (рис. 1).

Для более детального исследования корковой пластинки материнской и новообразованной кости проводили обработку данных СКТ с использованием функции Цветовой карты (ColorMap). Измеряли общую плотность корковой пластинки (рис. 2).

Полученные данные сопоставляли со значениями плотности корковой пластинки на этом же участке кости, полученными при обследовании этого же пациента до лечения. Если плотность корковой пластинки по сравнению с дооперационным уровнем снижена менее чем на 40%, делали вывод о наличии умеренной резорбции, при снижении на 50-60% - о резорбции средней тяжести и при снижении более чем на 60% - о выраженной резорбции кортикальной пластинки. Для изучения различных слоев корковой пластинки методом МСКТ определяли локальную плотность корковой пластинки длинных костей (Патент РФ № 2539424) [29] (рис. 3).

Полученные данные, совпадающие с измерениями плотности корковой пластинки здоровой конечности пациентов, свидетельствовали о нормальном соотношении плотностных характеристик слоев корковой пластинки (наружный слой, остеонный слой, слой внутренних пластинок - 1:1,2:0,9), Патент РФ № Пат. 2484772 [30].

Результаты

Удлинение конечности с формированием дистракционного регенерата сопровождалось активными процессами ремоделирования не только в зоне новообразованной, но в прилежащих участках материнской кости, которые заключались в изменении качествен-

ных характеристик и плотности ее в различные периоды лечения.

Анализ плотности корковой пластинки диафиза большеберцовой кости у больных ахондроплазией в различных возрастных группах показал, что она до лечения оставалась практически одинаковой и составляла $1067,4 \pm 74,8$ HU ($M \pm \sigma$) на границе с метафиза и диафиза и $1238,6 \pm 175,2$ HU в средней трети диафиза. В области метафиза плотность корковой пластинки была значительно ниже и составляла для больных в возрасте 8-14 лет $553,7 \pm 96,4$ HU. Кроме того, плотность корковой пластинки по передней поверхности большеберцовой кости у всех больных в области метафиза и в зоне перехода в диафиз была ниже, чем по задней и отличалась на $218,3 \pm 76,5$ HU (табл. 1).

Изучение плотности корковой пластинки в проксимальной трети большеберцовой кости показало, что в области метафиза она имела минимальную плотность, дистальнее плотность увеличивалась и в проксимальной трети диафиза составляла $1238,6 \pm 175,2$ HU. Плотность кости в области метаэпифиза не превышала $218,5$ HU (табл. 2).

Минимальная плотность корковых пластинок на пораженной конечности была выявлена у больных с последствиями гематогенного остеомиелита – $923,0 \pm 27,9$ HU, с достоверно значимым (на $76,5 \pm 6,12\%$) ($M + \sigma$) снижением плотности по сравнению со здоровой конечностью

До удлинения плотность корковой пластинки у больных субъективно низким ростом находилась в пределах нормальных показателей, с отличиями в различных слоях (табл. 3).

Максимальные значения плотности корковой пластинки на пораженной конечности были выявлены у больных с посттравматическими, врожденными укорочениями и деформациями костей, которые составили $1478 \pm 163,5$ и $1388 \pm 198,6$ HU ($M \pm \sigma$) соответственно. У двух больных с посттравматическим и врожденным укорочением конечности плотность корковой пластинки достигала $2017 \pm 98,6$ HU.

В процессе удлинения голени и фиксации конечности в аппарате показатели плотности корковой пластинки материнской кости уменьшались, что было связано с некоторым ограничением нагрузки на конечность, особенно у взрослых пациентов, явлениями резорбции, особенно в отделах, прилежащих к регенерату. В конце периода дистракции отмечали снижение плотности корковых пластинок материнской кости в среднем на $340,0 \pm 87,0$ HU (до 500) во всех группах больных. В периоде фиксации плотность корковой пластинки была значительно снижена в участках материнской кости, прилежащих к дистракционному регенерату и составляла 467 ± 52 HU при удлинениях не более 5 см. На расстоянии 2,5-4,0 см от регенерата плотность увеличивалась от 800 HU до нормальных показателей. Данные о плотности корковой пластинки через 1-3 дня

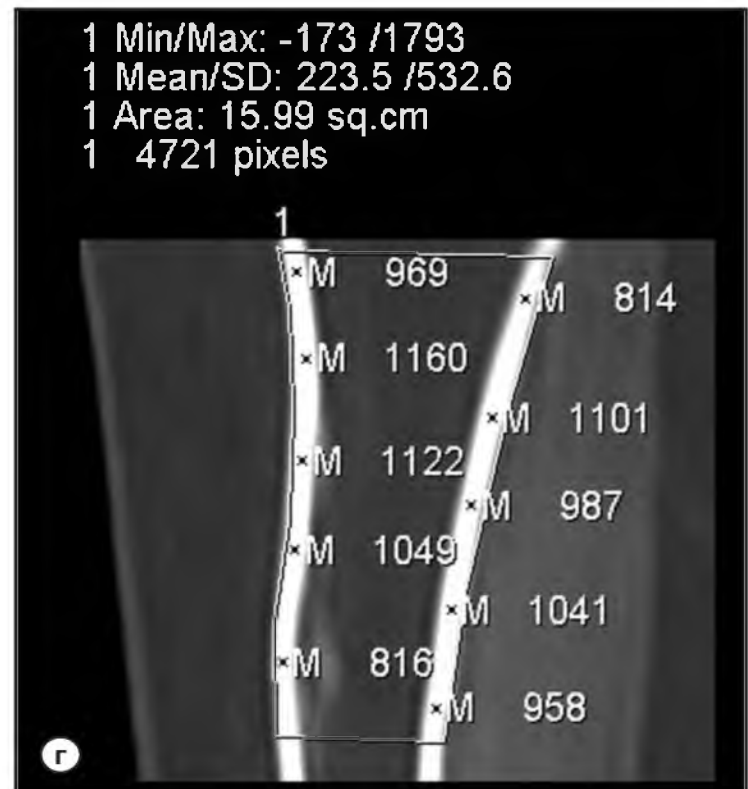
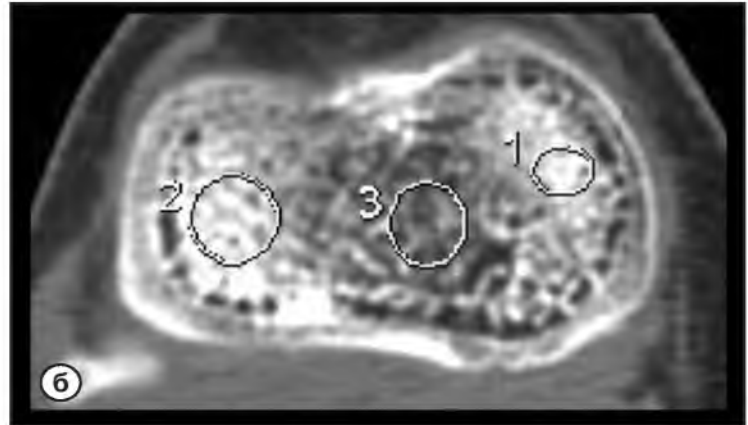
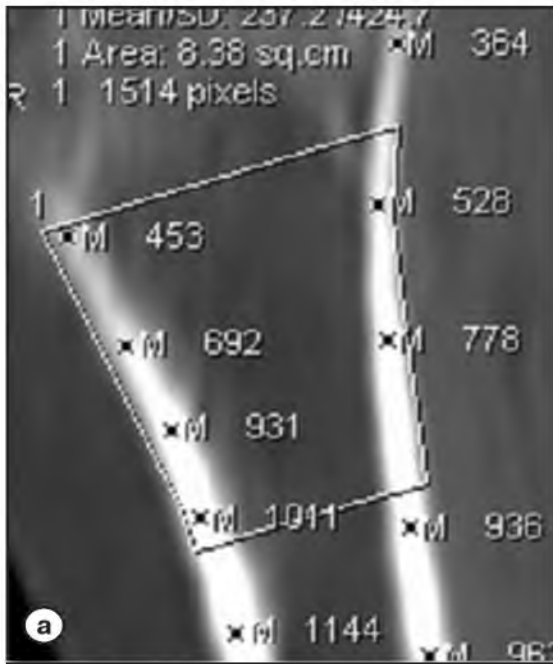


Рис. 1. КТ голени больного Н., 14 лет. Ахондроплазия. До лечения. МРР в сагиттальной плоскости. Определение плотности кости в зоне остеотомии и плотности корковой пластинки (а). МСКТ проксимального отдела большеберцовой кости больного Т. 14 лет. Последствия гематогенного остеомиелита. Аксиальный срез (б); МРР во фронтальной плоскости (в). КТ голени больного ахондроплазией после удлинения. Измерена плотность зоны новообразованной кости и корковой пластинки (г).

после демонтажа аппарата у больных с различной патологией представлены в **таблице 4**.

При удлинении на большую величину (6-7 см) или длительной фиксации у больных с замедленной регенерацией плотность материнской кости проксимальнее или дистальнее новообразованной кости уменьшалась до $459,7 \pm 44,9$ НУ. После снятия аппарата происходило

постепенное формирование трехзонального строения корковой пластинки и увеличение ее плотности у больных, как с врожденными, так и приобретенными укорочениями. Полученные данные показали, что наименьшие значения плотности корковых пластинок материнской кости в периоде сразу после снятия аппарата были отмечены у больных ахондропла-

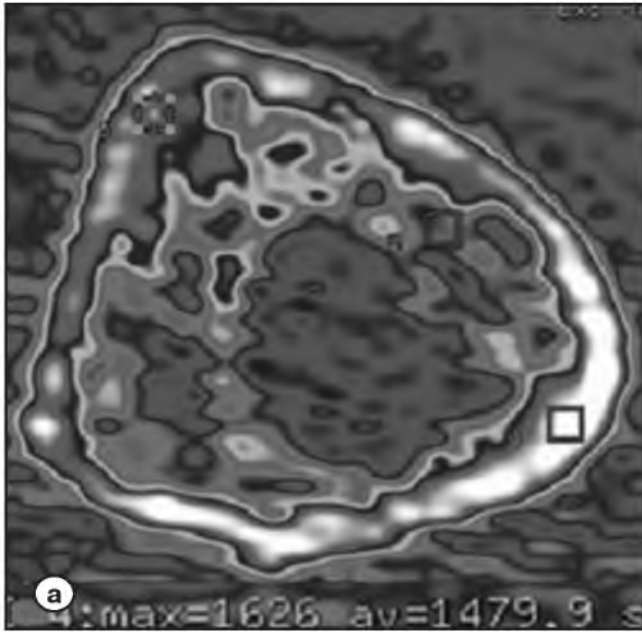


Рис. 2. МСКТ голени больного Б., 9 лет, через 1 год 3 месяца после удлинения. Аксиальный срез, цветовая карта, плотность корковой пластинки в зоне 4 (квадрат, белый цвет) больше, чем в зоне 6 (красный цвет) (а); Общая плотность корковой пластинки на аксиальном срезе по задней поверхности большеберцовой кости -1701,8 НУ(б).

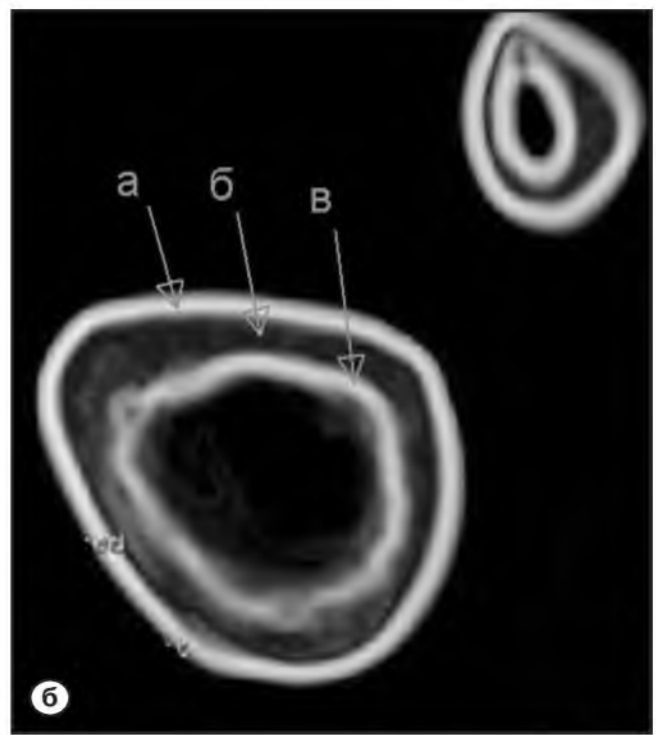
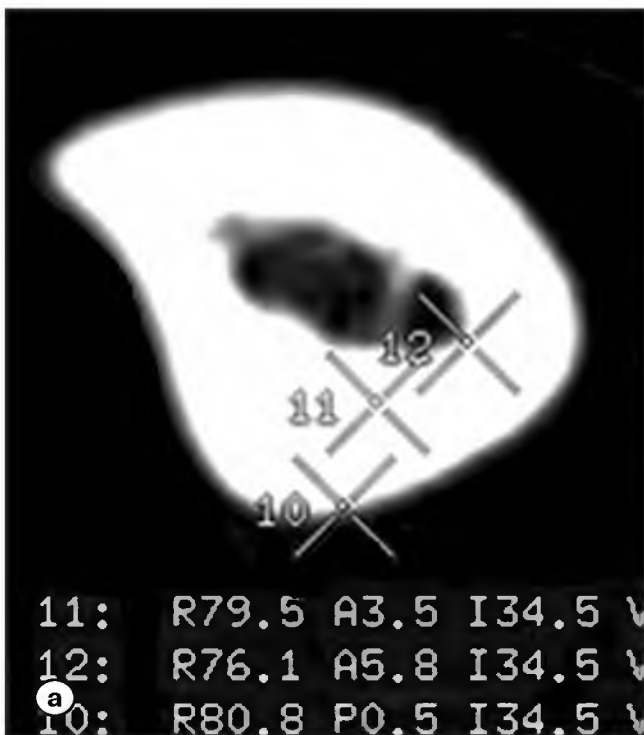


Рис. 3. МСКТ голени в средней трети. Аксиальный срез (а). Измерение плотности различных слоев корковой пластинки. Схема измерения плотности корковой пластинки: слой наружных костных пластинок (а), слой остеонов (б), слой внутренних костных пластинок (в), обработка на фильтре Hardware Enhancend (б).

зий, врожденными укорочениями и деформациями: $798 \pm 78,4$; $828,2 \pm 30,8$ НУ соответственно (табл. 5).

Более детальное исследование корковой пластинки у больных ахондроплазией после удлинения показало, что кроме уменьшения плотности изменялась структу-

ра корковой пластинки. На аксиальных срезах в ближайшее время после снятия аппарата плотность корковой пластинки на уровне регенерата была крайне неоднородной. В зоне, прилежащей к формирующемуся костно-мозговому каналу, плотность кости не

Таблица 1. **Плотность корковой пластинки (НУ) в проксимальном метаэпифизе большеберцовой кости по передней и задней поверхностям (сагиттальная плоскость) у больных ахондроплазией в возрасте от 6 до 14 лет (n=12)**

Локализация измерения(MPR, сагиттальная плоскость)	Плотность,НУ
По передней поверхности метафиза	513,7 ¹ ±96,4
По задней поверхности метафиза	726,5±122,4

Примечание: ¹p<0,05- отличие плотности корковой пластинки по передней и задней поверхностям.

Таблица 2. **Плотность проксимального метаэпифиза большеберцовой кости и корковой пластинки у больных ахондроплазией в возрасте от 6 до 14 лет(n=12)**

Локализация измерения	Плотность (НУ), М±σ
Проксимальный метаэпифиз	218,5±71,4
Корковая пластинка:	
- в области метафиза	553,7±96,4
-на границе диафиза и метафиза	1067,4 ¹ ±74,8
-в проксимальной трети диафиза	1238,6±175, 2

Примечание: ¹p<0,05-отличия плотности на границе диафиза и метафиза от плотности в области метафиза.

Таблица 3. **Плотность различных слоев корковой пластинки большеберцовой кости у пациентов с субъективно низким ростом (до удлинения)**

Зона интереса	Плотность , НУ
Локальная плотность	
Наружные костные пластинки	1453,5±69,7
Остеонный слой	1760,1±37,3 ¹
Внутренние костные пластинки	1269,8±66,8
Общая плотность	
Метафиз	1182,3 ± 85,1 ²
Диафиз	1432,6±77,1

Примечание: ¹ p<0,05- отличие плотности корковой пластинки в остеонном слое от плотности в области внутренних пластинок
² – p < 0,05 (разница между плотностью корковой пластинки метафиза и диафиза).

Таблица 4. **Плотность корковой пластинки новообразованного участка большеберцовой кости у больных с различной этиологией укорочения**

Зона интереса	Плотность , НУ
Ахондроплазия (n=29)	494,2 ±32,4
Приобретенные укорочения и деформации (n=10)	537,4 ±19,5
Субъективно низкий рост (n=12)	381,7 ¹ ±41,3
Врожденные укорочения и деформации (n=11)	417,3±25,6

Примечание: ¹ p<0,05- отличие плотности корковой пластинки больных субъективно низким ростом от плотности у больных ахондроплазией, приобретенными укорочениями

Таблица 5. Плотность корковой пластинки материнской кости у больных с врожденными и приобретенными укорочениями голени (M±σ)

Зона интереса	Плотность, НУ
Ахондроплазия (n=29)	798,2 ¹ ±78,4
Посттравматические укорочения (n=10)	1154,1 ±98,5
Последствия гематогенного остеомиелита (n=12)	1119,6 ±33,2
Врожденные укорочения и деформации (n=11)	828,2±30,8

Примечание: ¹ p<0,05- отличие плотности корковой пластинки у больных ахондроплазией от плотности у больных с посттравматическими укорочениями и последствиями гематогенного остеомиелита.

Таблица 6. Плотность проксимального метаэпифиза большеберцовой кости и корковой пластинки у больных ахондроплазией в возрасте от 10 до 16 лет после лечения (n=10)

Локализация измерения на протяжении корковой пластинки	Плотность (НУ)		
	М	Me	σ
- в области метафиза	549,4 ¹	551	63,5
-на границе диафиза и метафиза	996,5	995	86,1
-в средней трети диафиза	1317,5	1320	165,8

Примечание: ¹ p<0,05-отличие плотности в области метафиза от других локализаций



Рис. 4. МСКТ голени больного М., 17 лет. VRT, корковая пластинка на границе с эпифизом.

превышала 669,8НУ. По наружной поверхности проксимального отдела регенерата плотность достигала 1105НУ. Проксимальнее зоны новообразованной кости в структуре корковой пластинки имели место участки разрежения различной формы и величины. На границе с эпифизом структура большеберцовой кости

приближалась к нормальной, определялось трехзональное строение корковой пластинки, за исключением бугристости, где кость имела груботрабекулярное строение (рис. 4).

Увеличение плотности корковой пластинки после удлинения было относительно равномерным для различных групп больных с достоверным отличием (p<0,05) ее после демонтажа аппарата и в отдаленном периоде для больных ахондроплазией и врожденным укорочением. Через месяц после демонтажа аппарата локальная плотность корковой пластинки дистальнее новообразованной кости (на расстоянии 1,5 см от регенерата) составляла от 876,7±143,6 НУ и 1474,8±76,9 НУ на 3,5-4 см дистальнее регенерата. В области регенерата плотность корковой пластинки не превышала 489,5±34,7 НУ, формирование ее по передней поверхности было не завершено. После удлинения голени на 7 см корковая пластинка на уровне регенерата имела неоднородное строение, но в проксимальной и дистальной его частях начинала дифференцироваться на слои (слой наружных пластинок, остеонный слой, слой внутренних костных пластинок). В остеонном слое плотность была больше, достигая в некоторых участках 1141НУ (точка 2- рис 5в), в области материнской кости - 1902НУ (точка 2-рис.5б) (рис. 5).

Через 1,5 года корковая пластинка имела однородное строение и плотность, соответствующую дооперационным значениям, на границе с метафизом плотность ее, как и до лечения, меньше, чем в средней трети диафиза (табл. 6).

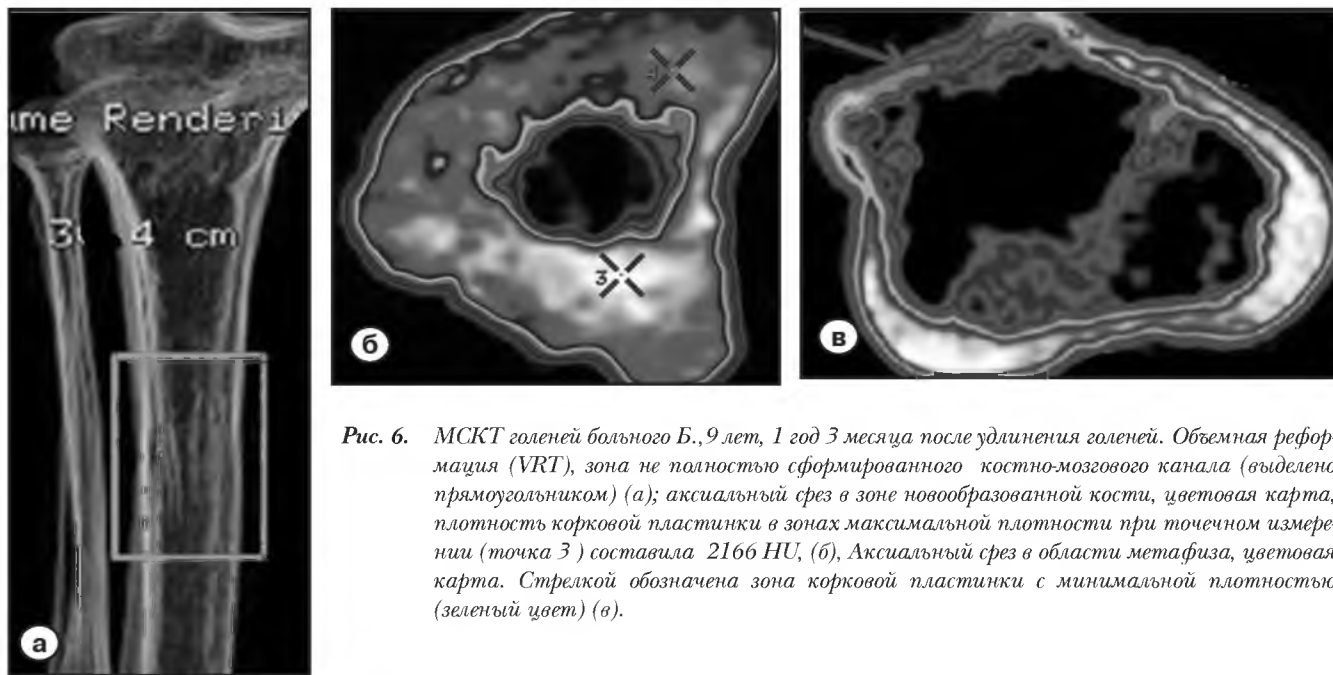


Рис. 6. МСКТ голени больного Б., 9 лет, 1 год 3 месяца после удлинения голени. Объемная реформация (VRT), зона не полностью сформированного костно-мозгового канала (выделено прямоугольником) (а); аксиальный срез в зоне новообразованной кости, цветовая карта, плотность корковой пластинки в зонах максимальной плотности при точечном измерении (точка 3) составила 2166 HU, (б), Аксиальный срез в области метафиза, цветовая карта. Стрелкой обозначена зона корковой пластинки с минимальной плотностью (зеленый цвет) (в).

Таблица 7. Плотность различных слоев корковой пластинки большеберцовой кости у больных ахондроплазией различного возраста в отдаленном после удлинения периоде, HU

Возраст больных, лет	Зона интереса		
	Слой наружных костных пластинок	Остеонный слой	Слой внутренних костных пластинок
8-9	1406,19±152,61	1902,57±99,14	1245,31±82,43 ¹
10-13	1435,72±111,18	1971,76±188,17	1299,14±102,41 ¹
14-17	1592,36±165,45	2087,56±211,23	1317,62±221,17 ¹

Примечание: ¹p<0,05 (отличие плотности слоя внутренних костных пластинок от плотности остеонного слоя и слоя наружных костных пластинок)

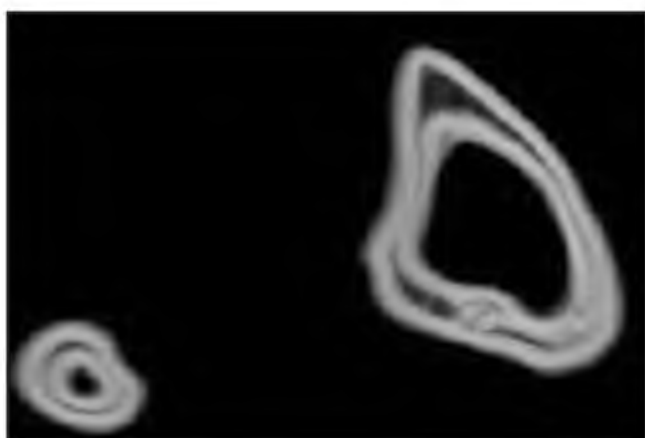


Рис. 7. МСКТ голени больного М., 17 лет, верхняя треть, большеберцовая и малоберцовая кости через 1 год после удлинения. Объемная реформация (VRT).

После завершения процесса ремоделирования в проксимальном и дистальном отделах регенерата хорошо видны слои корковой пластинки и различная плотность в той части новообразованной кости, которая соответствовала центральной зоне регенерата. Плотность

корковой пластинки в центральных отделах регенерата, где полностью процесс перестройки не завершен, колебалась от 1766 до 2166 HU (точки 3 и 4) на рисунке 6б (рис.6).

Через 1,5-2 года после удлинения корковая пластинка в верхней трети диафиза имела нормальное, четко выраженное трехзональное строение, хорошо визуализированное при постпроцессорной обработке с использованием специальных фильтров рабочей станции (рис.7).

В таблице приведены данные обработки данных о плотности различных слоев корковой пластинки большеберцовой кости у больных ахондроплазией в отдаленном после удлинения периоде (табл. 7).

Обсуждение

Плотность корковой пластинки, как один из основных показателей, определяющих прочность и качество длинных костей, имела у больных с укорочением голени возрастные, топографические и нозологические особенности. Исследование большеберцовой кости

методом МСКТ у пациентов с различной этиологией укорочения до лечения впервые выявило различную плотность корковой пластинки как на протяжении кости, так на различных ее поверхностях. Максимальные значения отмечены в средней трети диафиза, где плотность достигала 1200-1300НУ. Корковая пластинка в области новообразованной кости начинала формироваться в проксимальном и дистальном отделах регенерата в периоде фиксации. К моменту демонтажа аппарата корковая пластинка у 90 % больных была сформирована со всех сторон, но имела меньшую толщину. У 10% больных по передней поверхности новообразованной кости формирование корковой пластинки было замедлено на различном протяжении и дефект ее после демонтажа аппарата сохранялся у 5 больных. Перестройка кости после удлинения и устранения деформаций завершалась через 1-3 года, при этом в метафизе наблюдалась характерная мелкочаеистая структура, а в диафизе – сформированный костномозговой канал и корковая пластинка, плотность которых соответствовала плотности компактной кости пациентов соответствующего возраста с колебаниями в зависимости от этиологии заболевания, функции конечности. Плотность корковой пластинки во время удлинения и в периоде фиксации снижалась на 340 ± 87 НУ (до 500 НУ), а после снятия аппарата увеличивалась на 300-400 НУ, что свидетельствовало о нормальном течении процессов ремоделирования костной ткани после удлинения. Снижение плотности корковой пластинки, прилежащей к регенерату, сопровождалось специфическим изменением ее строения, проявляющееся формированием в периоде distraction зон резорбции различной формы и размеров, которые в

отдаленном периоде не определялись и корковая пластинка имела однородное строение с плотностью кости более высокой в остеонном слое.

Заключение

Качество кости у больных с различной этиологией укорочения голени определяется как строением метаэпифизарных отделов, так и структурными и плотностными показателями корковой пластинки, которые в большей степени определяют прочностные параметры кости. У больных ахондроплазией, врожденными и приобретенными укорочениями отмечается исходное изменение структуры метадиафизарных отделов большеберцовой кости, которое усугубляется в процессе удлинения. У пациентов с субъективно низким ростом рентгеноморфологические изменения в коленном суставе возникают во время удлинения, проявляются снижением плотности кости, появлением зон резорбции, изменением архитектоники и сохраняются в отдаленном периоде у больных старше 35 лет. Плотность корковой пластинки диафиза большеберцовой кости у больных с укорочением различной этиологии при исследовании МСКТ характеризуется возрастными, нозологическими и топографическими особенностями и является одним из важных показателей качества кости до и на различных этапах лечения. Критическим является снижение плотности корковой пластинки после удлинения на границе материнской кости и регенерата до 350 НУ.

В работе не имеется финансового и другого конфликта интересов, который может повлиять на результаты или интерпретацию рукописи. ■

Список литературы/References

1. Александров, Ю.М., Алекберов Д.А., Дьячков К.А. Рентгеноморфологические особенности длинных костей и перестройка их структуры при устранении деформации коленных суставов у детей с последствиями гематогенного остеомиелита. *Вестник хирургии им. Грекова*. 2014;173(2):61-65.

Aleksandrov Yu.M., Alekberov D.A., D'yachkov K.A. Rengenomorfologicheskie osobennosti dlinnykh kostey i perestroyka ikh struktury pri ustranении deformatsii kolennykh sustavov u detey s posledstviyami gematogennogo osteomyelita [Roentgenomorphological features of long bones and reorganization of their structure when correction of the knee deformities in children with hematogenous osteomyelitis consequences]. *Vestnik khirurgii im. Grekova*. 2014;173(2):61-65 [In Russ].

2. Родионова С.С., Торгашин А.Н., Солод Э.Н. и др.

Структурные параметры проксимального отдела бедренной кости в оценке ее прочности. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2014;1:77-81.

Rodionova S.S., Torgashin A.N., Solod E.N. et al. Strukturnye parametry proksimal'nogo otdela bedrennoy kosti v otsenke ee prochnosti [Structural parameters of the proximal femur in the evaluation of its strength]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova*. 2014; (1):77-81 [In Russ].

3. Bala Y., Chapurlat R., Cheung A.M. et al. Risedronate slows or partly reverses cortical and trabecular microarchitectural deterioration in postmenopausal women. *J. Bone Miner. Res.* 2014; 29 (2):380-388.

4. Baum T., Grande Garcia E., Burgkart R. et al. Osteoporosis imaging: effects of bone preservation on MDCT-based trabecular bone microstructure parameters and finite element models. *BMC Med. Imaging*. 2015; 15:22.

5. Гаркавенко Ю.Е., Янакова О.М., Бергалиев А.Н. Комплексный мониторинг процессов остеогенеза дистракционного регенерата у детей с последствиями гематогенного остеомиелита при удлинении нижних конечностей. *Травматология и ортопедия России*. 2011;1(59):106-111.

Garkavenko Yu.E., Yanakova O.M., Bergaliev A.N. Kompleksnyy monitoring protsessov osteogeneza distraktsionnogo regenerata u detey s posledstviyami gematogenного osteomyelita pri uddlenenii nizhnikh konechnostey [Complex monitoring of the processes of distraction regenerated bone osteogenesis in children with hematogenous osteomyelitis consequences during the lower limb lengthening]. *Травматология и ортопедия России*. 2011;1(59):106-111 [In Russ].

6. Гостищев В.К., Липатов К.В., Писаренко Л.В. и др. Прогнозирование изменений прочности длинных трубчатых костей в хирургии хронического остеомиелита. *Хирургия. Журн. им. Н.И. Пирогова*. 2010;2:4-6.

Gostishchev V.K., Lipatov K.V., Pisarenko L.V. et al. Prognozirovanie izmeneniy prochnosti dlennykh trubchatykh kostey v khirurgii khronicheskogo osteomyelita [Predicting changes in long tubular bone strength in chronic osteomyelitis surgery]. *Khirurgiya. Zhurn. im. N.I. Pirogova*. 2010;(2):4-6 [In Russ].

7. Дьячков К.А., Дьячкова Г.В., Новиков К.И. и др. Динамика показателей костной плотности бедренной и большеберцовой костей у больных после удлинения нижней конечности. Илизаровские чтения: Материалы науч.-практ. конф. Курган. 2012: 107-108.

D'yachkov K.A., D'yachkova G.V., Novikov K.I. et al. Dinamika pokazateley kostnoy plotnosti bedrennoy i bol'shebertsovoy kostey u bol'nykh posle uddleneniya nizhney konechnosti [Dynamics of femoral and tibial bone density values in patients after lower limb lengthening]. *Iilizarovskie chteniya: materialy nauch.-prakt. konf. [Iilizarov readings: materials of scientific-practical conference]*. Kurgan. 2012; 107-108 [In Russ].

8. Ступина Т.А., Щудло Н.А., Петровская Н.В. и др. Гистоморфометрический анализ суставного хряща и синовиальной оболочки коленного сустава при метадиафизарном удлинении голени: (экспериментально-морфологическое исследование). *Травматология и ортопедия России*. 2013;1:80-86.

Stupina T.A., Shchudlo N.A., Petrovskaya N.V. et al. Gistomorfometricheskyy analiz sustavnogo khryashcha i sinovial'noy obolochki kolennogo sustava pri metadiafizarnom uddlenenii goleni: (eksperimental'no-morfologicheskoe issledovanie) [Histomorphometrical analysis of the knee articular cartilage and synovium for metadiaphyseal lengthening of the leg: (an experimental and morphological study)]. *Травматология и ортопедия России*. 2013;1:80-86 [In Russ].

9. Ahmed L.A., Shigdel R., Joakimsen R.M. et al. Measurement of cortical porosity of the proximal femur improves identification of women with nonvertebral fragility fractures. *Osteoporos. Int*. 2015; 26 (8): 2137-2146.

10. Bala Y., Bui Q.M., Wang X.F. et al. Trabecular and cortical microstructure and fragility of the distal radius in women. *J. Bone Miner. Res*. 2015; 30(4): 621-629.

11. Baumgärtner R., Heeren N., Quast D. et al. Is the cortical thickness index a valid parameter to assess bone mineral density in geriatric patients with hip fractures? *Arch. Orthop. Trauma Surg*. 2015;135(6): 805-810.

12. Дьячков К.А., Дьячкова Г.В. Ремоделирование кости при удлинении конечности: количественная и качественная оценка. *Журн. клинич. и эксперимент. ортопедии им. Г.А. Илизарова (Гений ортопедии)*. 2015; 4:53-60.

D'yachkov K.A., D'yachkova G.V. Remodelirovanie kosti pri uddlenenii konechnosti: kolichestvennaya i kachestvennaya otsenka [Bone remodeling during limb lengthening: a qualitative and quantitative evaluation]. *Zhurn. klinich. i eksperiment. ortopedii im. G.A. Ilizarova (Geniy Ortopedii)*. 2015; 4: 53-60 [In Russ].

13. Никитинская О.А. Роль кортикальной кости и ее микроструктуры в прочности кости. *Consilium Medicum*. 2010; 12 (2): 132-135.

Nikitinskaya O.A. Rol' kortikal'noy kosti i ee mikrostruktury v prochnosti kosti [The role of cortical bone and its microstructure in bone strength]. *Consilium Medicum*. 2010; 12 (2): 132-135 [In Russ].

14. Чуйко А.Н., Копытов А.А. Компьютерная томография и основные механические характеристики костных тканей. *Мед. визуализация*. 2012;1:102-107.

Chuyko A.N., Kopytov A.A. Komp'yuternaya tomografiya i osnovnye mekhanicheskie kharakteristiki kostnykh tkaney. [Computed tomography and basic mechanical features of bone tissues] *Med. vizualizatsiya*. 2012;1:102-107 [In Russ].

15. Chappard D., Baslé M.F., Legrand E. et al. New laboratory tools in the assessment of bone quality. *Osteoporos. Int*. 2011; 22(8):2225-2240.

16. Chen H., Zhou X., Shoumura S. et al. Age- and gender-dependent changes in three-dimensional microstructure of cortical and trabecular bone at the human femoral neck. *Osteoporos. Int*. 2010;21(4):627-636.

17. Burr D.B. Bone quality: understanding what matters. *J. Musculoskel. Neuronal Interact*. 2004;4(2):184-186.

18. Hernandez C.J., Keaveny T.M. A biomechanical perspective on bone quality. *Bone*. 2006; 39(6): 1173-1181.

19. Misch C.E. Bone density: A key determinant for clinical success. In: *Contemporary Implant Dentistry*. 2nd ed. (Ed. by C.E. Misch). *St Louis: Mosby*. 1999;109-118.

20. Rebaudi A., Trisi P., Cella R., Cecchini G. Preoperative evaluation of bone quality and bone density using a novel CT/microCT-based hard-normal-soft classification system. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*. 2010;25(1):75-85.

21. Дьячков К.А., Дьячкова Г.В., Аранович А.М. и др. Динамика ремоделирования кости у больных ахондроплазией после удлинения нижних конечностей по

данным МСКТ. *Гений ортопедии*. 2014; 4: 67-71.

D'yachkov K.A., D'yachkova G.V., Aranovich A.M. et al. Dinamika remodelirovaniya kosti u bol'nykh akhondroplaziey posle udlineniya nizhnikh konechnostey po dan-nyam MSKT [Dynamics of bone remodeling in patients with achondroplasia after lower limb lengthening according to MSCT data]. *Geniy ortopedii*. 2014;4:67-71 [In Russ].

22. Огарев Е.В., Морозов А.К. Диагностические возможности мультиспиральной компьютерной томографии в оценке состояния тазобедренного сустава у детей и подростков. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2013; 4:68-75.

Ogarev E.V., Morozov A.K. Diagnosticheskie vozmozhnosti mul'tispiral'noy komp'yuternoy tomografii v otsenke sostoyaniya tazobedrennogo sustava u detey i podrostkov [Diagnostic potentials of multispiral computed tomography in the evaluation of the hip condition in children and adolescents]. *Vestnik traumatologii i ortopedii im. N.N. Priorova*. 2013; 4: 68-75 [In Russ].

23. Chang G., Honig S., Liu Y. et al. 7 Tesla MRI of bone microarchitecture discriminates between women without and with fragility fractures who do not differ by bone mineral density. *J. Bone Miner. Metab.* 2015; 33(3): 285-293.

24. Tjong W., Nirody J., Burghardt A.J. et al. Structural analysis of cortical porosity applied to HR-pQCT data. *Med. Phys.* 2014;41(1):013701.

25. Wichmann J.L., Booz C., Wesarg S. et al. Quantitative dual-energy CT for phantomless evaluation of cancellous bone mineral density of the vertebral pedicle: cor-

relation with pedicle screw pull-out strength. *Eur. Radiol.* 2015; 25(6): 1714-1720.

26. Griffith J.F., Genant H.K. New imaging modalities in bone. *Curr. Rheumatol. Rep.* 2011;13(3):241-250.

27. Gee C.S., Nguyen J.T., Marquez C.J. et al. Validation of bone marrow fat quantification in the presence of trabecular bone using MRI. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2015; 42(2): 539-544.

28. Rubin G.D. Computed tomography: revolutionizing the practice of medicine for 40 years. *Radiology.* 2014; 273, 2 Suppl.: S45-S74.

29. Дьячков К.А., Дьячкова Г.В., Кутиков С.А. Способ определения локальной плотности корковой пластинки длинных костей. Патент РФ, № 2539424, 2015.

D'yachkov K.A., D'yachkova G.V., Kutikov S.A. Sposob opredeleniya lokal'noy plotnosti korkovoy plastinki dlinnykh kostey [A technique for determination of the local density of long bone cortical plate]. Patent RF, No 2539424, 2015 [In Russ].

30. Дьячков К.А., Дьячкова Г.В., Александров Ю.М. Способ определения степени резорбции кортикальной пластинки кости после дистракционного удлинения конечности. Патент РФ, № 2484772, 2013.

D'yachkov K.A., D'yachkova G.V., Aleksandrov Yu.M. Sposob opredeleniya stepeni rezorbtzii kortikal'noy plastinki kosti posle distraktsionnogo udlineniya konechnosti [A technique for determination of the degree of bone cortical plate resorption after limb distraction lengthening]. Patent RF, No 2484772, 2013 [In Russ].