

УДК 616.147.3-008.64:616.748-002.44-005.4:616-073.756.8

ДВУХЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ В КОНТРОЛЕ РЕПАРАТИВНОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ ПЕРЕЛОМОВ ТРУБЧАТЫХ КОСТЕЙ ГОЛЕНИ

¹Ю. Т. Игнатьев, ²С. А. Никитенко, ¹К. Ю. Рожков, ¹Л. Б. Резник, ²Н. Л. Крупко, ³Е. В. Пеньков¹Омский государственный медицинский университет, г. Омск, Россия²Клинический диагностический центр», г. Омск, Россия³Медико-санитарная часть № 4, г. Омск, Россия

DUAL-ENERGY COMPUTED TOMOGRAPHY IN THE CONTROL OF REPARATIVE REGENERATION OF LOWER LEG LONG BONE FRACTURES

¹Y. T. Ignatev, ²S. A. Nikitenko, ¹K. Y. Rozhkov, ¹L. B. Reznik, ²N. L. Krupko, ³E. V. Penkov¹Omsk State Medical University, Omsk, Russia²Clinical Diagnostic Center Omsk, Russia³Health Service № 4, Omsk, Russia

© Коллектив авторов, 2016 г.

Увеличение количества пациентов со сложными травматическими повреждениями костей и развитие новых методов их лечения делает актуальным развитие методики оценки результатов хирургической коррекции и процессов заживления костной ткани. Цель исследования: разработать критерии эффективности репаративной регенерации при переломах костей голени в условиях внеочагового чрескостного остеосинтеза по данным ДЭКТ для достоверного определения длительности фиксации травмированной кости. В исследование включены 18 пациентов, в возрасте от 18 до 55 лет с открытыми диафизарными переломами костей голени, которым был выполнен внеочаговый чрескостный остеосинтез. Пациенты разделены на две группы: основную и контрольную. В основной группе лечение сопровождалось стимуляцией регенерации контактным ультразвуковым воздействием. Для оценки результатов терапии и прогноза длительности лечения использовали ДЭКТ (методом быстрого переключения энергий на трубке (Discovery 750 HD GE Healthcare) для оценки зрелости костной мозоли по концентрации кальция в ней. Исследование показало, что ДЭКТ позволяет визуально оценить выраженность костной мозоли, дать количественную оценку регенерата в единицах HU, а также количественно оценить зрелость костной мозоли по концентрации кальция. Содержание кальция в формирующейся костной мозоли (определяемое на основании спектральных данных полученных при ДЭКТ) — является более точным показателем консолидации перелома и коррелирует с клинической пробой опороспособности. Концентрация кальция 260 мг/см³ и выше в костной мозоли по данным нашего исследования является показателем восстановления опороспособности конечности и определяет минимальный необходимый срок внешней фиксации. Применение контактного ультразвука при лечении открытых переломов костей голени способствует ускоренной регенерации костных фрагментов и способствует менее выраженному развитию функционального остеопороза.

Ключевые слова: двухэнергетическая компьютерная томография, репаративная регенерация переломов костей, лечение переломов, концентрация кальция, контактное ультразвуковое воздействие, костная мозоль, Discovery 750 HD.

The problem of improving the health care of patients with injuries of the musculoskeletal system every year is becoming increasingly important due to the number of casualties and the levels of disability from injuries in people of working age. The aim of our research was to demonstrate that Dual-Energy Computed Tomography with Rapid kV-Switching (DECT, discovery 750 HD, GE Healthcare) could be used for the callus maturity evaluation and to develop accurate criteria for the effectiveness of reparative regeneration and determine the bone fixation time. The study included 18 patients aged from 18 to 55 years with open diaphyseal tibia fractures, all treated with extrafocal transosseous osteosynthesis. The patients were divided into two groups: those treated with the contact ultrasound regeneration stimulation and control group with no additional treatment. All patients underwent dual energy CT to evaluate treatment result. The callus calcium concentration was quantified with DECT to detect signs of delayed consolidation. Studies shown that calcium concentration is better indicator of the fracture consolidation and well correlates with the clinical test of supporting ability. The calcium concentration 260 mg/cm³ and above can be accurate indicator of the callus maturity and an indication for removal of external fixation. The use of contact ultrasound in the treatment of open tibial fractures promotes rapid regeneration of bone fragments.

Key words: Dual-Energy Computed Tomography, reparative regeneration, treatment of fractures, calcium concentration, contact ultrasound, callus, Discovery 750 HD.

Введение. Совершенствование медицинской помощи больным с повреждением опорно-двигательной системы с каждым годом приобретает все большее значение в связи с ростом числа пострадавших и увеличением уровня инвалидности от травм у лиц трудоспособного возраста.

По инвалидизации от травм доминирующее положение занимают переломы бедренной кости и костей голени, демонстрируя тем самым определенную несостоятельность существующих методов лечения и реабилитации пострадавших. В отечественной травматологии в свое время был разработан целый ряд методов чрескостного и внутрикостного остеосинтеза, которые чаще всего применяются в лечении переломов трубчатых костей. При этом сроки фиксации костных фрагментов при остеосинтезе, как правило, бывают значительными, так как отсутствуют четкие критерии консолидации перелома трубчатых костей, позволяющие конечности выполнять опорную функцию [1]. Различные нарушения репаративной регенерации костной ткани при лечении открытых переломов, в свою очередь, являются актуальной проблемой. Частота неудовлетворительных результатов лечения таких переломов остается высокой и составляет до 30% [2].

Для контроля репаративной регенерации переломов костей преимущественно используют рентгенологические методы, в том числе и компьютерную томографию. В последние годы технологии компьютерной томографии неуклонно развиваются, появляются новые методы сканирования и постпроцессорной обработки данных. Особое место занимает методика двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ), которая открывает дополнительные возможности в исследовании органов и систем, в том числе и опорно-двигательного аппарата [3].

ДЭКТ позволяет одновременно изучать поглощение тканями рентгеновского излучения разной мощности, благодаря чему тканевые структуры могут быть разграничены не только на основании степени ослабления рентгеновского излучения одной мощностью (как это происходит при традиционном сканировании), но и по зависимости коэффициента поглощения от энергии рентгеновских лучей.

Облучение костной ткани на различных уровнях напряжения на рентгеновской трубке (80 и 120 кВ) создает два профиля абсорбции. Этот феномен позволяет определять точное содержание кальция в единице объема костной ткани.

В ряде исследований методика количественной компьютерной томографии показала высокие показатели информативности в измерении минеральной плотности костной ткани при диагностике, прогнозе и оценке эффективности лечения больных при остеопорозе [4].

Также следует признать актуальность определения минеральной плотности костной мозоли, прилежащих костных структур при репаративной регене-

рации переломов костей, в том числе и при лечении открытых переломов костей голени.

Рентгенография в данном случае позволяет оценить положение отломков, выраженность костной мозоли. Данная оценка визуальна субъективна, без наличия количественных плотностных характеристик формирующейся костной мозоли.

С появлением компьютерной томографии появилась возможность объективного определения плотности костной мозоли с количественной ее характеристикой в единицах Хаунсфилда. Тем не менее, диапазон показателей плотности костной мозоли, позволяющей кости нести осевую нагрузку и, соответственно, определять срок демонтажа аппарата внешней фиксации, по данным литературы, является достаточно широким — от 600 до 800 HU и выше [5], что требует дополнительных исследований и разработки более точных методов оценки процесса репарации кости.

Цель исследования: разработать критерии эффективности репаративной регенерации при переломах костей голени в условиях внеочагового чрескостного остеосинтеза по данным ДЭКТ и тем самым достоверно определять необходимое время фиксации травмированной кости.

Материалы и методы исследования. В исследование было включено 18 пациентов, в возрасте от 18 до 55 лет с открытыми диафизарными переломами костей голени II типа по классификации Gustilo и Anderson [6]. По используемой классификации II тип: рана длиной от 1 см до 5 см, без значительного повреждения мягких тканей.

Всем пострадавшим с переломами костей голени был выполнен внеочаговый чрескостный остеосинтез. Пациенты были разделены на две равные по количеству группы методом свободной выборки: основную и контрольную. В основной группе лечение на фоне внеочагового остеосинтеза сопровождалось стимуляцией регенерации контактным ультразвуковым воздействием в зону повреждения. В контрольной группе лечение заключалось только в фиксации костных фрагментов методом внеочагового чрескостного остеосинтеза. По данным литературы [7] при применении низкочастотного контактного ультразвука репаративная регенерация костной ткани происходит в более ранние сроки и на 13–14-й неделе конечность способна выполнять опорную функцию.

Каждые четыре недели всем пациентам проводился рентгенологический контроль на цифровом рентгеновском аппарате с оценкой соотношения отломков, наличия фиброзно-костной мозоли, ее выраженности и относительной оценкой ее плотности в условных единицах. Всем пациентам обеих групп на сроке 12 недель с момента операции выполнялась МСКТ на аппарате GE Healthcare 750 HD Discovery в режиме двухэнергетического сканирования (80 и 120 кВ) с мультипланарными реконструкциями по 0,625 мм. Пациентам, у которых клиническая проба выявляла несостоятельность опороспособной функции конеч-

ности на 12-й неделе, выполнялась повторная МСКТ на 15-й неделе. Измерения минеральной плотности костной мозоли проводились по аксиальным срезам и на сагиттальных реформатах в межотломковых и периостальных участках костной мозоли. Кроме того, измерения выполняли и в неизмененном корковом веществе диафиза на расстоянии не менее 5 мм от линии перелома для оценки остеопороза и сопоставлялись с аналогичными участками контралатеральной конечности. В каждой зоне выбиралось по 3 поля измерений. Всего у каждого пациента было по 9 полей измерений (рис. 1, 2). Размер поля измерения колебался от 1 до 4 мм и захватывал только зону консолидации. Плотность выражалась в единицах НУ, а концентрация Са в $\text{мг}/\text{см}^3$. Концентрацию кальция в $\text{мг}/\text{см}^3$ определяли на основании спектрального анализа среза в программах обработки ДЭКТ по изображениям разделения материалов на картах распределения кальция. Пациентам, имеющим плотность костной мозоли выше 600 НУ, выполнялась клиническая проба опороспособности — определение готовности кости нести осевую нагрузку без аппарата внешней фиксации, путем ослабления фиксации штанг в кольцах аппарата возле места перелома.

Для статистической обработки полученных данных использованы методы непараметрической ста-

тистики (медиана, верхний и нижний квартили, U-критерий Манна—Уитни), так как выборка была небольшой по количеству и получалось распределение отличное от нормального по другим методам (Шапиро—Уилка).

Результаты и их обсуждение. По данным рентгенологических исследований у всех пациентов обеих групп положение отломков было удовлетворительным, ось кости восстановлена. На 8-й и 12-й неделях визуализировалась фиброзно-костная мозоль различной степени минерализации. Отмечалось постепенное увеличение плотности костной мозоли на цифровых рентгенограммах, которая на 8-й неделе составила в среднем 132 у. е., а на 12-й неделе в среднем 174 у. е.

Результаты исследования у пациентов основной группы. По данным МСКТ, выполненной на 12-й неделе у всех пациентов основной группы, костная мозоль формировалась в основном в субпериостальной области и имела одинаковую плотность — более 600 НУ; 632 НУ [667; 621] Ме [НҚ LQ], содержание кальция в этих же участках было $255 \text{ мг}/\text{см}^3$ [271; 239] Ме [НҚ LQ] (рис. 3, 4). В межотломковой части плотность регенерата колебалась от 350 до 500 НУ, в среднем 434 НУ, концентрация кальция в среднем составляла $194 \text{ мг}/\text{см}^3$.

У 4 пациентов основной группы аппарат внешней фиксации был демонтирован, так как клиническая проба показала состоятельность опороспособности конечности. Плотность костной субпериостальной мозоли в данных наблюдениях составила 641 НУ [678; 619] Ме [НҚ LQ], а содержание кальция — $257 \text{ мг}/\text{см}^3$ [261; 248] Ме [НҚ LQ].

У других 4 пациентов при проведении клинической пробы опороспособности конечности появились боль, отек конечности, после чего клиническая проба опороспособности была прекращена. Плотность субпериостальной костной мозоли у этих пациентов составляла 632 НУ [659; 621] Ме [НҚ

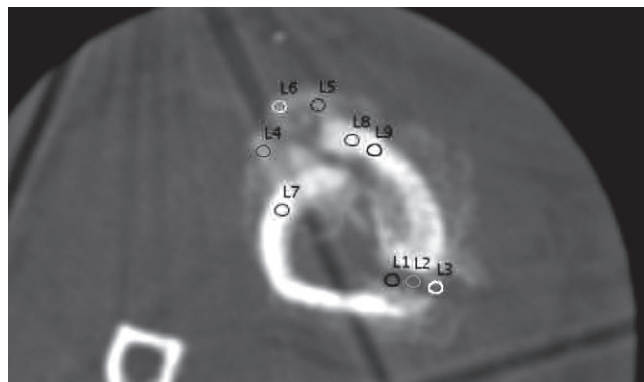


Рис. 1. Методика измерения плотности костной мозоли (аксиальный скан). 1, 2, 3 — межотломковый участок мозоли; 4, 5, 6 — субпериостальный участок мозоли; 7, 8, 9 — неизменная костная ткань.

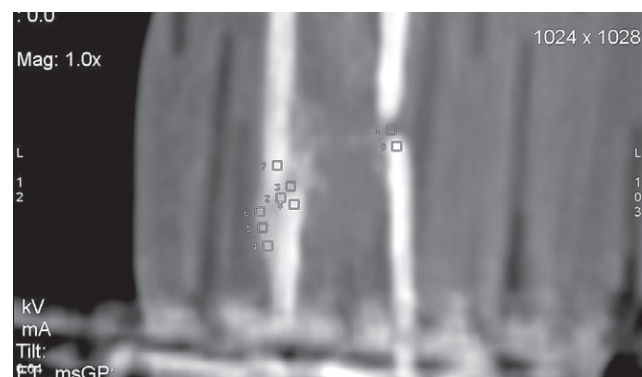


Рис. 2. Методика измерения плотности костной мозоли (сагиттальная реформация). 1, 2, 3 — межотломковый участок мозоли; 4, 5, 6 — субпериостальный участок мозоли; 7, 8, 9 — неизменная костная ткань.



Рис. 3. Аксиальный скан большеберцовой кости на уровне перелома у пациента основной группы на 12-й неделе чрескостного внеочагового остеосинтеза. Плотность в субпериостальной области костной мозоли трех зонах равняется 664, 665, 657 НУ.

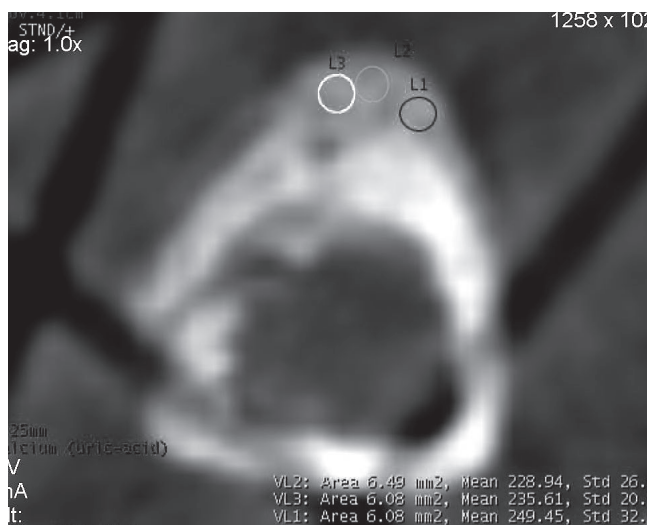


Рис. 4. Аксиальный скан большеберцовой кости на этом же уровне у этого же пациента основной группы на 12-й неделе чрескостного внеочагового остеосинтеза. Концентрация кальция в тех же трех зонах субпериостальной области костной мозоли составляет соответственно 228, 235, 249 мг/см³.

LQ], содержание кальция — 209 мг/см³ [225; 202] Me [HQ LQ]. Значимых различий по плотности костной мозоли между пациентами с различными показателями клинической пробы опороспособности конечности ($p=0,885$) не выявлено, а по содержанию кальция между этими же пациентами получены значимые различия ($p=0,03$). У пациентов, которые имели состоятельную опороспособную функцию конечности, содержание кальция в костной мозоли было достоверно выше.

У четырех пациентов основной группы с несостоятельной опороспособной функцией выполнена контрольная МСКТ и проведены повторные клинические пробы опороспособности на 15-й неделе и аппарат внешней фиксации был демонтирован. Плотность периостальной костной мозоли в этот период составляла 643 HU [660; 631] Me [HQ LQ], содержание кальция — 259 мг/см³ [265; 248] Me [HQ LQ].

В кортикальном слое костей голени травмированной конечности отмечалась меньшая концентрация кальция при сравнении с костной тканью контралатеральной, интактной конечности. Концентрация кальция на 12-й неделе лечения в большеберцовой кости оперированной конечности в среднем составила 366 мг/см³, неоперированной конечности — 406 мг/см³, дефицит кальция на 12-й неделе составил около 10%.

Результаты исследования у пациентов контрольной группы. В контрольной группе пациентов с переломами костей голени без стимуляции остеогенеза контактным ультразвуковым воздействием периостальная костная мозоль на 12-й неделе была менее выраженной по сравнению с пациентами основной группы. В периостальной части плотность регенерата была неоднородной, составила менее 600 HU, 499 HU [514; 436] Me [HQ LQ], $p=0,0004$. Содержание кальция было 193 мг/см³ [204; 186] Me [HQ LQ], $p=0,0004$.

В межотломковой части плотность регенерата колебалась от 205 HU и до 399 HU, в среднем 352 HU, концентрация кальция в среднем 154 мг/см³.

У всех пациентов контрольной группы до 15-й недели аппарат внешней фиксации не был демонтирован, и им выполнялась повторная МСКТ в режиме двухэнергетического сканирования. При этом плотность костной мозоли составила 651 HU [690; 625] Me [HQ LQ], содержание кальция было 248 [265; 214] Me [HQ LQ]. Всем пациентам на 15-й неделе проведена клиническая проба опороспособности: у 5 пациентов болевых ощущений и отека не возникло, аппарат внешней фиксации был демонтирован, плотность костной мозоли 659 HU [690; 624] Me [HQ LQ], содержание кальция было 261 мг/см³ [278; 256] Me [HQ LQ]. У 3 пациентов возникли боль и отек, функциональная проба опороспособности была прекращена. Плотность костной мозоли у этих пациентов составила 646 HU [678; 630] Me [HQ LQ], содержание кальция — 215 мг/см³ [228; 207] Me [HQ LQ]. Значимых различий по плотности костной мозоли у пациентов с положительной и отрицательной клинической пробой не выявлено ($p=0,83$). По содержанию кальция отмечены значимые различия ($p=0,01$). У этих трех пациентов аппарат внешней фиксации был демонтирован на 17-й неделе при наличии клинической опороспособности конечности.

В кортикальном слое большеберцовой кости травмированной конечности пациентов контрольной группы отмечена меньшая концентрация кальция по сравнению с большеберцовой костью контралатеральной, интактной конечности. Концентрация кальция на 12-й неделе лечения в большеберцовой кости оперированной конечности в среднем была 313 мг/см³, не оперированной конечности 399 мг/см³, дефицит кальция на 12-й неделе составил около 22%.

На 15-й неделе соответствующие показатели равнялись 303 мг/см³ и 401 мг/см³, дефицит кальция в кости оперированной конечности составил 25%.

Полученные данные показывают, что ДЭКТ позволяет объективизировать оценку минерализации костной мозоли и выявить признаки замедленной консолидации. У пациентов без проведения ультразвуковой стимуляции остеогенеза на 12-й неделе лечения имеются признаки замедленной консолидации (плотность костной мозоли менее 600 HU), при стимуляции остеогенеза с помощью контактного ультразвукового воздействия плотность костной мозоли выше 600 HU. Несмотря на это, у половины пациентов основной группы костная мозоль не способна нести осевую нагрузку без аппарата внешней фиксации. При анализе содержания кальция в костной мозоли у пациентов с положительной и отрицательной пробой получены значимые различия данных показателей. При отрицательной пробе (конечность опороспособна) концентрация кальция составляла 257 мг/см³ [261; 248] Me [HQ LQ], при положительной пробе (конечность не опороспособ-

на) — 209 мг/см³ [225; 202] Me [HQ LQ]. Значимых различий в плотности костной мозоли между данными пациентами на 12-й неделе не получено ($p \leq 0,05$). Аналогичные данные получены и при проведении МСКТ на сроке 15 недель. При плотности костной мозоли выше 600 HU и содержанием кальция в среднем 261 мг/см³ клиническая проба опороспособности отрицательная (конечность опороспособна). У пациентов с плотностью костной мозоли выше 600 HU, а содержанием кальция в среднем 215 мг/см³ клиническая проба опороспособности положительная (конечность не опороспособна). То есть конечность опороспособна при концентрации кальция в субпериостальной части в среднем 260 мг/см³ и выше и практически не зависит от плотностных характеристик костной мозоли. Во всех случаях выраженность минерализации костной мозоли была достоверно выше в субпериостальной части по сравнению с межотломковой зоной.

Контактное ультразвуковое воздействие на область перелома способствует более быстрому формированию костной мозоли с восстановлением опороспособности травмированной конечности и снижает сроки фиксации методом внеочагового чрескостного остеосинтеза. Кроме того, это влияет на обмен кальция в костной ткани травмированной конечности и умень-

шает дефицит кальция в ее кортикальном слое, составляя до 10% по сравнению с пациентами контрольной группы, у которых дефицит кальция в травмированной кости составляет до 22% и более. Прослеживается закономерное прогрессирование дефицита кальция в оперированной конечности в зависимости от увеличения срока фиксации.

Выводы. ДЭКТ позволяет оценить визуальную выраженность костной мозоли, дать количественную оценку регенерата в единицах HU, а также количественно оценить зрелость костной мозоли по концентрации кальция, тем самым выявить признаки замедленной консолидации при лечении открытых переломов трубчатых костей. Содержание кальция в формирующейся костной мозоли является более точным показателем консолидации перелома и коррелирует с клинической пробой опороспособности. Концентрация кальция в 260 мг/см³ и выше в костной мозоли может являться показателем восстановления опороспособности конечности и определять минимальный необходимый срок внешней фиксации. Применение контактного ультразвука при лечении открытых переломов костей голени способствует ускоренной регенерации костных фрагментов и менее выраженному развитию функционального остеопороза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Миронов С. П., Тороценко В. В., Андреева Т. М., Попова М. М. Состояние травматолого-ортопедической службы в РФ и методы высоких технологий в диагностике и лечении травматолого-ортопедических больных // Травматология и ортопедия XXI века: сб. тезисных докладов VIII съезда травматологов-ортопедов России: в 2 т. — Самара, 2006. — Т. 1. — С. 95.
2. Петров Н. В. и др. Оптимизация лечения открытых переломов голени с тяжелой травмой мягких тканей // Хирургия. — 2013. — № 13. — С. 815–817.
3. Карлова Е. А., Меркулова Н. А., Савельева А. С., Малышкина П. В. Применение двухэнергетической компьютерной томографии для диагностики гепатоцеллюлярной карциномы у пациентки с циррозом печени: случай из клинической практики // Лучевая диагностика и терапия. — 2015. — Т. 6, № 4. — С. 69–74.
4. Рамешвили Т. Е., Труфанов Г. Е. Дегенеративно-дистрофические поражения позвоночника. — СПб.: ГЭОТАР, 2011. — 345 с.
5. Швецов В. И., Дьячкова Г. В. Количественная и качественная оценка репаративного костеобразования при лечении больных с переломами костей голени методом чрескостного остеосинтеза // Медицинская визуализация. — 2008. — № 1. — С. 96–101.
6. Gustilo R. B., Anderson J. T. Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: Retrospective and prospective analyses // J. Bone Joint Surg Am. — 1976. — Vol. 58. — P. 453–458.
7. Швецов В. И., Попков А. В., Аранович А. М. Влияние импульсного ультразвука на низкой интенсивности на течение репаративного остеогенеза // Гений ортопедии. — 2004. — № 1. — С. 81–88.

Поступила в редакцию: 2.02.2016 г.

Контакт: Игнатъев Ю. Т., ogma.ray@rambler.ru

Сведения об авторах:

Игнатъев Ю. Т. — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики ОмГМУ, 644111, г. Омск, Березовая ул., д. 3, БУЗ ОО «Областная клиническая больница», кафедра лучевой диагностики, e-mail: ogma.ray@rambler.ru;
Никитенко С. А. — врач-рентгенолог отдела рентгенологических методов исследований, БУЗ ОО «Клинический диагностический центр», 644099, г. Омск, ул. Ленина, д. 12, e-mail: 79139684444@yandex.ru;
Рожков К. Ю. — аспирант кафедры травматологии и ортопедии ОмГМУ, 644099, г. Омск, ул. Ленина, д. 12, e-mail: konsroj@yandex.ru;
Резник Л. Б. — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой травматологии и ортопедии ОмГМУ, г. Омск, 644099, ул. Ленина, д. 12, e-mail: omsktravma@mail.ru;
Крупко Н. Л. — заведующая отделом рентгенологических методов исследования БУЗ ОО «Клинического диагностического центра», Ильинская ул., д. 9, отдел ОРМИ, e-mail: nataliya-kрупко@yandex.ru;
Пеньков Е. В. — заведующий отделением травматологии БУЗ ОО «Медико-санитарная часть № 4», 644039, г. Омск, ул. Воровского, д. 62/1, e-mail: penkoff@list.ru.