

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА ЗАЖИВЛЕНИЯ КОСТЕЙ ТАЗА И БЕДРА ПРИ ИХ СОЧЕТАННОЙ ТРАВМЕ И ОДНОМОМЕНТНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ МЕТОДОМ ЧРЕСКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА

Силантьева Т.А.¹, Краснов В.В.²

¹ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, e-mail: tsyl@mail.ru;

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений» ФАНО России, Москва, e-mail: v.v.krasnov@mail.ru

На экспериментальной модели сочетанной травмы таза и бедра у 12 беспородных собак обоего пола весом $17 \pm 1,3$ кг в возрасте $1,7 \pm 0,4$ года изучена динамика репаративной регенерации при лечении переломов шейки бедренной, тела и ветви седалищной костей в условиях внешней стабильной фиксации аппаратом. Использованы методы рентгенографического, светооптического микроскопического исследования и рентгеновского электронно-зондового микроанализа. Установлено, что заживление данных переломов протекает по вторичному типу. Через 14 суток после травмы в диастазе между отломками располагается реактивно измененная рыхлая волокнистая соединительная ткань, васкуляризированная полнокровными капиллярами синусоидного типа. На 28-35-е сутки отмечается фиброзно-хрящевое сращение отломков бедренной и седалищной костей. В отломках костей наблюдаются нарушения кровоснабжения и адаптивная перестройка губчатого и компактного вещества. Период консолидации отломков проксимального метафиза бедренной кости составляет 35-65 суток, множественных переломов седалищной кости – более 65 суток при длительности периода аппаратной фиксации 35 суток с момента травмы. На 125-215-е сутки после операции в костном веществе головки бедренной кости отсутствуют признаки остеонекроза, однако в суставном гиалиновом хряще и субхондральной костной пластинке отмечены дистрофические изменения, соответствующие I стадии остеоартроза. Развитие суставной патологии сопровождается минерализацией матрикса гиалинового хряща, сопряженной с резорбцией и деминерализацией субхондральной костной пластинки. Полученные данные свидетельствуют о создании условий для эффективного репаративного процесса, достаточных для восстановления органотипического строения костей таза и бедра через 4-7 месяцев после травмы. Однако сопутствующие нарушения кровоснабжения костного вещества отломков сопровождаются его активным remodelированием, что в совокупности является причиной развития начальной стадии суставной хондропатии.

Ключевые слова: перелом, седалищная кость, шейка бедренной кости, суставной хрящ, репаративная регенерация.

MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF HEALING PROCESS OF THE PELVIC AND FEMORAL BONES FOR THEIR CONCOMITANT INJURY AND IN CASE OF THEIR ACUTE RECONSTRUCTION BY TRANSOSSEOUS OSTEOSYNTHESIS METHOD

Silanteva T.A.¹, Krasnov V.V.²

¹FSBI Russian Ilizarov Scientific Center “Restorative Traumatology and Orthopaedics” of the RF Ministry of Health, Kurgan, e-mail: tsyl@mail.ru;

²FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants of Federal Agency of Scientific Organizations of Russia, Moscow, e-mail: v.v.krasnov@mail.ru

The authors studied the dynamics of reparative regeneration in treatment of femoral neck fractures, those of ischial body and ramus under external stable fixation with a device in 12 mongrel dogs, males and females, at the age of 1.7 ± 0.4 years weighting 17 ± 1.3 kg using the experimental model of concomitant pelvic and femoral injury. They used the methods of radiography, light-optical microscopy, and X-ray electron-probe microanalysis. They found the healing of such fractures to proceed according to the secondary type. The reactively changed loose fibrous connective tissue vascularized with plethoric capillaries of sinusoidal type was located in the diastasis between the fragments 14 days after the injury. The fibrocartilaginous consolidation of femoral and ischial fragments was observed by Day 28-35. Blood supply disorders and adaptive reorganization of spongy and compact bone substance occurred in the bone fragments. The consolidation period for the proximal femoral

metaphysis was 35-65 days, that for multiple ischial fractures – above 65 days when the duration of device fixation was 35 days from the time of the injury. There were no signs of osteonecrosis in the femoral head bone substance by 125-215 days, however, dystrophic changes conforming to Stage I osteoarthritis were noted in the joint hyaline cartilage and subchondral bone plate. The development of articular pathology was accompanied by the hyaline cartilage matrix mineralization associated with resorption and demineralization of the subchondral bone plate. The obtained data indicated the creation of the conditions for efficient reparative process, which were sufficient to restore the organotypic pelvic and femoral structure 4-7 months after the injury. However, the associated blood supply disorders in bone substance of the fragments led to their active remodeling that was the cause of developing the initial stage of articular chondropathy in total.

Keywords: fracture, ischium, femoral neck, articular cartilage, reparative regeneration.

Сочетанная травма таза и бедра относится к одним из наиболее тяжелых повреждений тазового пояса как в гуманитарной, так и в ветеринарной медицине [1; 2]. Наиболее часто для лечения подобных травм, сопровождающихся нарушением целостности и нестабильностью тазового кольца, используют погружной остеосинтез наkostными пластинами или внутрикостными стержнями [2; 3]. Применение погружного остеосинтеза в раннем посттравматическом периоде обеспечивает стабильную фиксацию и сокращение периода консолидации отломков, однако увеличивает риск инфекционного воспалительного процесса. Погружной остеосинтез отломков бедренной кости снижает частоту развития асептического некроза ее головки; тем не менее данная патология развивается более чем в 20% случаев [3]. В гуманитарной медицине известны немногочисленные работы, посвященные обоснованию одномоментной радикальной реконструкции костей таза и тазовой конечности с использованием устройств для чрескостного остеосинтеза [4; 5]. Однако экспериментальное изучение особенностей репаративного морфогенеза при лечении сочетанных повреждений костей таза и бедра в данных условиях не проводилось.

Целью исследования явилось экспериментально-морфологическое обоснование эффективности одномоментной реконструкции при сочетанной травме таза и бедра с применением управляемого чрескостного остеосинтеза.

Материалы и методы исследования

Эксперимент проведен на 12 животных (беспородные собаки в возрасте $1,7 \pm 0,4$ года, вес $17 \pm 1,3$ кг). Животных содержали в виварии с индивидуальными маркированными боксами площадью 3 м^2 при свободном доступе к питьевой воде и получении стандартного сбалансированного корма 2 раза в сутки. Все манипуляции производились в соответствии с положениями Европейской конвенции по защите позвоночных животных и требованиями Минздрава России к работе экспериментально-биологических клиник.

Сочетанные переломы тазовых и бедренных костей моделировали в операционной под общим наркозом (5%-ный раствор тиопентала натрия внутривенно). Последовательно производили дорсальные доступы к телу и ветви седалищной кости и шейке бедренной

кости, после чего осуществляли их поперечную остеотомию (рис. 1а). Затем выполняли репозицию и чрескостный остеосинтез поврежденных структур скелета по оригинальным разработанным методикам (рис. 1б) [6].

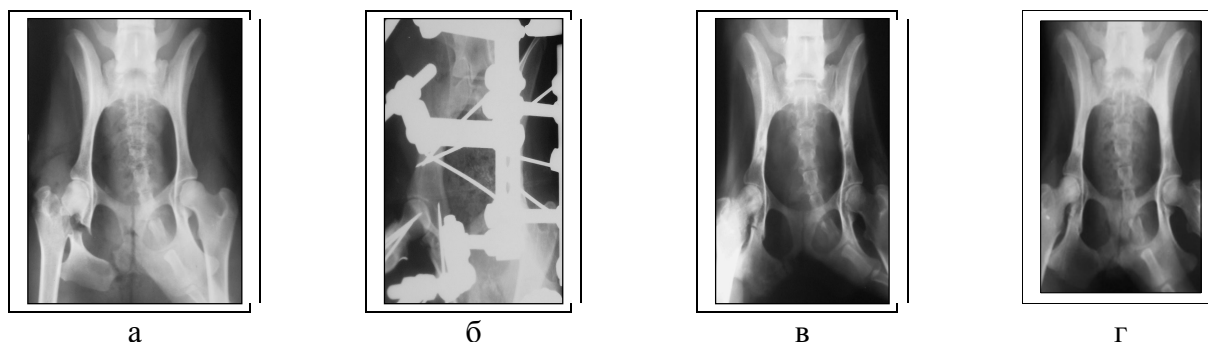


Рис. 1. Рентгеновский снимок таза, прямая проекция: а - получение экспериментальной модели сочетанных переломов тела и ветви седалищной кости, шейки бедра; б - чрескостный остеосинтез таза и бедра, срок эксперимента 14 суток; в - срок эксперимента 35 суток (окончание периода фиксации); г - срок эксперимента 65 суток (30 суток после демонтажа аппарата)

Рентгенографию осуществляли с помощью стационарного рентгеновского аппарата Premium Vet (Sedecal, Испания) в дорсо-вентральной и латеральной проекциях через 14, 28, 35 суток в периоде фиксации аппаратом, а также через 30, 90 и 180 суток после его демонтажа. В указанные сроки животных выводили из эксперимента путем внутривенного введения 5%-ного раствора тиопентала натрия.

Ипсилатеральные седалищные кости и тазобедренные суставы вычленили и фиксировали в течение 14 суток в 10%-ном нейтральном формалине. Гистологическую обработку костных блоков производили по стандартным методикам [7]. Часть блоков декальцинировали в смеси соляной и муравьиной кислот, обезвоживали и заливали в целлоидин. Гистотопографические срезы толщиной 10-15 мкм окрашивали гематоксилином и эозином, а также по Ван Гизону. Гистологические препараты исследовали в стереомикроскопах AxioScope.A1, Stemi 2000-C с использованием цифровой камеры AxioCam ICc 5 и программного обеспечения Zen blue (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Германия).

Часть костных блоков обезвоживали и уплотняли в эпоксидных смолах для электронно-микроскопических исследований. Исследование минерального состава суставной выстилки и подлежащей костной пластинки выполняли методом рентгеновского электронно-зондового микроанализа (РЭМА) с применением энергодисперсионного спектрометра INCA Energy 200 (Oxford Instruments Analytical, Великобритания), смонтированного на

сканирующем электронном микроскопе JSM-840 (JEOL, Япония). В образцах оценивали массовое содержание химических элементов кальция (Ca_w , %), фосфора (P_w , %), магния (Mg_w , %) и серы (S_w , %). В качестве контроля использовали аналогичным образом подготовленные фрагменты проксимальных эпиметафизов бедренных костей трех интактных животных.

Статистический анализ полученных данных был выполнен с использованием программы AtteStat 13.1 (надстройка программного продукта Microsoft Excel, свидетельство № 2002611109 от 28.06.2002, Россия). Проверка гипотезы о статистической значимости межгрупповых различий производилась с применением непараметрических критериев Вилкоксона и Манна-Уитни для независимых выборок при уровне значимости $p \leq 0,01$.

Результаты исследования и их обсуждение

Опороспособность тазовой конечности на стороне повреждения восстанавливалась на 2-5-е сутки после операции и сохранялась на протяжении всего эксперимента. Рентгенографически сращение отломков костей таза и бедра характеризовалось снижением плотности теней корковых пластинок в зоне перелома на протяжении 3-5 мм и развитием слабо выраженной периостальной реакции на 14-е сутки после операции (рис. 1б). К концу периода фиксации аппаратом на 35-е сутки после операции зоны повреждения были перекрыты тенями средней и высокой интенсивности (рис. 1в). Через 30-180 суток после демонтажа аппарата структура и плотность теней регенератов приближалась к таковым материнской кости (рис. 1г).

В результате гистологического исследования было установлено, что через 14 суток фиксации аппаратом диастазы между отломками тазовой и бедренной костей заполняла рыхлая волокнистая соединительная ткань с высокой клеточной плотностью, богатая полнокровными синусоидными капиллярами. В её составе преобладали фибробластоподобные клетки, определялись элементы моноцитарно-макрофагального ряда.

Через 28-35 суток фиксации аппаратом в зонах повреждения седалищной кости формировалось интермедиарное соединительнотканно-хрящевое сращение отломков, в средней части которого определялись щелевидные полости и очаги кровоизлияний. При заживлении перелома шейки бедренной кости, в двух наблюдениях сращение отломков было соединительнотканно-хрящевым, в других случаях наблюдали полное костное сращение, сформированное мелкопетливой сетью грубоволокнистых трабекул. В межтрабекулярных промежутках располагалась фиброретикулярная ткань либо красный костный мозг. Расширенные просветы сосудов гемоциркуляторного русла артериального типа заполняла плазма, синусоидного типа – эритроциты.

Через 65 суток послеоперационного периода (30 суток после демонтажа аппарата) формировалось костно-соединительнотканно-хрящевое сращение отломков седалищной кости (рис. 2 а, б). Костные отделы регенерата разделяла фиброзно-хрящевая прослойка с многочисленными очагами интрамембранозной и эндохондральной оссификации (рис. 2г). Массивные новообразованные трабекулы подвергались активному остеобластно-остеокластному ремоделированию. Частично кальцифицированный хрящевой матрикс зоны сращения отломков был инвазирован многочисленными сосудистыми комплексами.

В области перелома шейки бедренной кости наблюдали полное костное сращение отломков (рис. 2в), что соответствовало срокам консолидации изолированных переломов таза [8; 9]. Сеть пластинчатых трабекул новообразованного участка кости содержала красный костный мозг с включениями адипоцитов (рис. 2д), гиперемией синусоидов и запустением сосудов артериального типа.

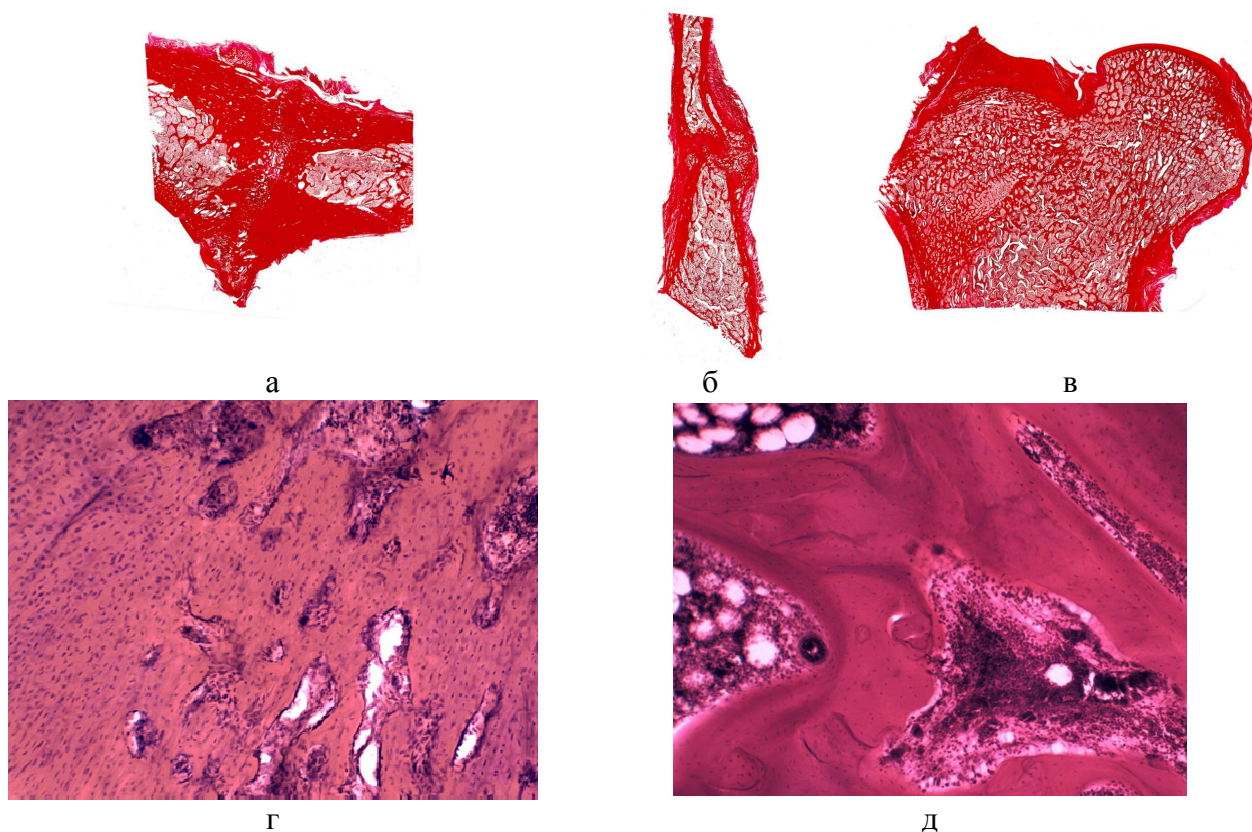


Рис. 2. Сращение отломков седалищной и бедренной костей через 30 суток после демонтажа аппарата. Гистотопографические препараты: а – тело седалищной кости, б – ветвь седалищной кости, в – проксимальный эпиметафиз бедренной кости. Микрофото: г – очаги эндохондральной и интрамембранозной оссификации в зоне сращения перелома ветви седалищной кости; д – губчатое костное вещество отломка в зоне сращения перелома шейки бедренной кости. А-в – целлоидиновые срезы, окраска по Ван Гизону; об. 0,65, ок. 10. Г, д – целлоидиновые срезы, окраска гематоксилином и эозином; об. 10, ок. 10

В отдаленные сроки эксперимента, через 125 и 215 суток после операции (90 и 180

суток после демонтажа аппарата), интермедиарное сращение отломков седалищной и бедренной костей было сформировано губчатым костным веществом, ограниченным компактной пластинкой. Межтрабекулярные промежутки заполнял красный костный мозг с включением адипоцитов, отмечали нормализацию кровенаполнения сосудов микроциркуляторного русла. Плотность губчатого костного вещества головки бедренной кости визуально не отличалась от таковой интактных животных, некротически измененные и ишемизированные участки не обнаруживались.

На данном этапе эксперимента (125-215 суток после операции) субхондральная компактная пластинка головки бедренной кости включала многочисленные полости, содержащие обильно васкуляризированную рыхлую волокнистую соединительную ткань. В гиалиновом хряще суставной выстилки отмечали очаговую дезорганизацию волокнистого компонента, гипохромное окрашивание матрикса и снижение клеточной плотности хондроцитов поверхностной зоны. Колоночная организация средней зоны не претерпевала выраженных изменений, однако линия базофильного раздела была многоконтурной, зона кальцифицированного хряща сужалась. Дистрофические изменения суставной выстилки соответствовали макро- и микроскопически выявляемым признакам I стадии развития остеоартроза по шкалам OARSI и Outerbridge [10; 11]. В то же время хондропатия была менее выраженной в сравнении с последствиями внутрисуставных переломов, когда даже в условиях стабильной внешней фиксации отломков развивался остеоартроз II-III стадии [12].

Исследование методом РЭМА выявило тенденцию к увеличению весового содержания минерального компонента в суставной выстилке головки бедренной кости животных опытной группы в периоде 125-215 суток после операции (таблица).

Содержание остеотропных химических элементов в суставной выстилке
и субхондральной пластинке головки бедренной кости собак через 4-7 месяцев
после моделирования перелома

Концентрация Участок анализа	Интактная конечность (M± SD)				Оперированная конечность (M± SD)			
	Mg _w %	P _w %	S _w %	Ca _w %	Mg _w %	P _w %	S _w %	Ca _w %
Гиалиновый хрящ	0,02 ± 0,013	0,30 ± 0,060	0,22 ± 0,090	0,23 ± 0,094	0,06 ± 0,045*	0,62 ± 0,392	0,35 ± 0,211	0,30 ± 0,084
Поверхностная зона	0,02 ± 0,011	0,39 ± 0,165	0,16 ± 0,102	0,13 ± 0,042	0,04 ± 0,021*	0,43 ± 0,276	0,27 ± 0,181	0,25 ± 0,112*
Средняя зона	0,02 ± 0,014	0,32 ± 0,104	0,20 ± 0,096	0,20 ± 0,115	0,07 ± 0,040*	0,50 ± 0,221	0,47 ± 0,133*	0,36 ± 0,157*
Глубокая зона	0,02 ±	0,41 ±	0,24 ±	0,36 ±	0,07 ±	0,54 ±	0,39 ±	0,41 ±

	0,023	0,148	0,112	0,190	0,016*	0,235	0,153	0,096
Субхондральная кость	0,20 ± 0,023	8,4 ± 1,09	0,08 ± 0,050	17,4 ± 1,78	0,12 ± 0,048	7,0 ± 1,38	0,19 ± 0,141	14,8 ± 3,11

Примечание: * – межгрупповые различия со значениями показателя в суставной выстилке интактных животных значимы при $p < 0,01$.

В интактном гиалиновом хряще наблюдалось равномерное распределение магния и градиентное – от поверхностной к глубокой зоне – увеличение массовой доли фосфора, серы и кальция. Через 4-7 месяцев после операции было выявлено статистически значимое 3-кратное возрастание $Mg_w\%$ в каждой из зон суставного хряща, 2,3-кратный прирост $S_w\%$ в его средней зоне и почти двукратное увеличение $Ca_w\%$ в поверхностной и средней зонах. В субхондральной костной пластинке, напротив, была отмечена тенденция к снижению массового содержания остеотропных элементов магния, кальция и фосфора и увеличению содержания серы в послеоперационном периоде (таблица). Полученные данные соотносились с морфологически подтвержденным процессом ее ремоделирования что, по мнению К.С. Десятниченко с соавт. [13], является причиной увеличения минерализации матрикса суставного гиалинового хряща.

Заключение

Проведенные исследования позволили установить, что консолидация множественных переломов таза и бедра в условиях чрескостного остеосинтеза у экспериментальных животных происходит по вторичному типу с формированием первичного фиброзно-хрящевого сращения отломков на 28-35-е сутки внешней фиксации аппаратом. Активизация интрамембранозного и эндохондрального остеогенеза в периоде после демонтажа стабилизирующего устройства завершается восстановлением органотипического строения костей в периоде 4-7 месяцев после травмы. При этом полное костное сращение отломков бедренной кости формируется к 35-65-м суткам послеоперационного периода, а репаративный процесс при заживлении множественных переломов седалищной кости характеризуется более замедленным течением. На момент окончания эксперимента в головке бедренной кости не выявлены признаки остеонекроза, однако развиваются типичные дистрофические изменения суставной выстилки и субхондральной костной пластинки, соответствующие I стадии остеоартроза.

Список литературы

1. Шапкин Ю.Г., Селиверстов П.А. Тактика лечения нестабильных повреждений таза при политравме // Новости хирургии. – 2015. – № 4. – С. 452-459.

2. Harasen G. Pelvic fractures // Can. Vet. J. 2007. Vol. 48. № 4. P. 427-428.
3. Gao Y.S., Zhu Z.H., Chen S.B. et al. Injury-to-surgery interval does not affect the occurrence of osteonecrosis of the femoral head: a prospective study in a canine model of femoral neck fractures // Med. Sci. Monit. 2012. Vol. 18. № 7. P. BR259-264.
4. Ортопедический damage-control при повреждениях таза у пациентов с политравмой / М.Ю. Ханин [и др.] // Практическая медицина. – 2011. – № 6 (54). – С. 122-125.
5. Гридасова Е.И. Роль раннего остеосинтеза в профилактике и лечении синдрома жировой эмболии // Травма. - 2013. - № 1. - С. 16-18.
6. Антонов Н.И., Краснов В.В., Кирсанов К.П. Аппарат для лечения собак при переломах костей таза // Ветеринарная патология. – 2008. – № 3. – С. 19-22.
7. Suvarna K.S., Layton C., Bancroft J.D. Bancroft's Theory and Practice of Histological Techniques. 7th ed. Churchill Livingstone Elsevier: Oxford, 2013. P. 654.
8. Репаративная регенерация костей и соединений таза в условиях управляемого чрескостного остеосинтеза (экспериментально-морфологическое исследование) / К.П. Кирсанов [и др.] // Гений ортопедии. – 2008. – № 4. – С. 32-38.
9. Силантьева Т.А. Репаративное костеобразование при заживлении перелома тазовой кости в области суставной (вертлужной) впадины (экспериментально-морфологическое исследование): дис. ... канд. биол. наук. – Курган, 2005. – 255 с.
10. Lasmar N.P., Lasmar R.C., Vieira R.B. et al. Assessment of the reproducibility of the Outerbridge and FSA classifications for chondral lesions of the knee // Rev. Bras. Ortop. 2015. Vol. 46. № 3. P. 266-269.
11. Pritzker K.P., Gay S., Jimenez S.A., Ostergaard K. et al. Osteoarthritis cartilage histopathology: grading and staging // Osteoarthritis Cartilage. 2006. Vol. 14. № 1. P. 13-29.
12. Репаративная регенерация при лечении центральных переломов вертлужной впадины с подвывихом головки бедра в условиях применения метода чрескостного остеосинтеза (экспериментально-морфологическое исследование) / Т.А. Силантьева [и др.] // Гений ортопедии. – 2011. – № 1. – С. 98-103.
13. Десятниченко К.С., Лунева С.Н., Матвеева Е.Л. О механизме патологического обызвествления суставного хряща при развитии дегенеративно-дистрофических изменений в тканях синовиальной среды // Гений ортопедии. – 1999. – № 2. – С. 24-27.