

В.П. Попов ¹, Т.В. Дружинина ², Я.А. Каменчук ², В.Д. Завадовская ¹, О.Е. Акбашева ¹

ЛЕЧЕНИЕ ПЕРЕЛОМОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА С БИОАКТИВНЫМ ПОКРЫТИЕМ

¹ ГБОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (Томск)² ФГУП «Экспериментально-производственные мастерские» ФМБА (Москва)

Целью работы было внедрение в практику лечения переломов глинных трубчатых костей имплантатов с биоактивным покрытием и проведение оценки темпов консолидации в сравнении с биоинертными конструкциями с использованием клинических данных, лучевых и биохимических методов исследования. Применение биоактивных кальций-фосфатных покрытий, полученных методом микродугового оксидирования, для остеосинтеза глинных трубчатых костей сопровождается более эффективной консолидацией зоны перелома, по сравнению с титановыми пластинами. Через 4 месяца после операции с использованием биоактивных имплантатов активное формирование и сформированную костную мозоль имели 95,2 % пациентов и лишь у 4,8 % отсутствовали признаки консолидации. В те же сроки при фиксации биоинертными пластинами сращение перелома не наблюдали в 24,0 % случаев. Основной механизм позитивного действия биоактивных имплантатов связан с увеличением депо кальция в крови и снижением маркеров резорбции кости в первые месяцы после их установки.

Ключевые слова: остеосинтез, биоактивные покрытия, инертные пластины, консолидация, маркеры резорбции и ремоделирования кости, ультразвук

TREATMENT OF FRACTURES WITH PLATE OSTEOSYNTHESIS WITH BIOACTIVE COATING

V.P. Popov ¹, T.V. Druzhinina ², Ya.A. Kamenchuk ², V.D. Zavadovskaya ¹, O.E. Akbasheva ¹¹ Siberian State Medical University, Tomsk² Experimental-Industrial Workshops, Moscow

The aim of the work was to introduce implants with bioactive coating in the practice of treatment of long tubular bones and to assess speed of consolidation in comparison with bioinert constructions with use of clinical data, radiation and biochemical methods of examination.

Use of bioactive calcium-phosphate coatings obtained by the method of microarc oxidation for the osteosynthesis of long tubular bones is accompanied by more effective consolidation of fracture area in comparison with titanium plates. In 4 months after the operation with use of bioactive implants 95,2 % of patients had active formation and formed callus and only 4,8 % of patients didn't have signs of consolidation. In the same terms at the fixation by bioinert plates adhesion of fracture didn't happen in 24 % of cases. Main mechanism of positive action of bioactive implants is connected with increase of calcium depot in blood and decrease of markers of bone resorption in the first months after their installation.

Key words: osteosynthesis, bioactive coatings, inert plates, consolidation, markers of bone resorption and remodeling, ultrasound

ВВЕДЕНИЕ

При лечении переломов на костный остеосинтез, в сравнении с другими методами, имеет ряд преимуществ за счет максимально точной репозиции отломков и жесткости фиксации. Однако количество осложнений и неудовлетворительных результатов остается высоким и достигает 37 % случаев [6]. Это происходит потому, что возможности биомеханического подхода для решения проблемы консолидации переломов практически исчерпаны. Среди средств, способных активно влиять на интенсивность остеогенеза, наибольшего внимания заслуживают конструкции с кальций-фосфатными (КФ) покрытиями, благодаря своим высоким биосовместимым характеристикам с костной тканью, а также способности к остеоинтеграции [2, 10, 12]. Наряду с прочной фиксацией имплантата с костью минимизируются отрицательные реакции организма на чужеродное тело. Поскольку взаимодействие покрытия с организмом зависит от его химического состава, размера и морфологии

кристаллов, в последние годы были предложены различные методы нанесения КФ-слоя (электрохимическое осаждение, магнетронное и плазменное напыления и др.), позволяющие повысить их биоактивность и остеогенность [3]. Пористая КФ поверхность, сочетающая высокую биологическую совместимость и адгезивную прочность, может быть получена при микродуговом оксидировании. Структура таких покрытий формируется слоями и состоит из плотного оксидного подслоя и верхнего основного слоя с пористой поверхностью, основными компонентами которого являются сферолиты [3].

Между тем, несмотря на определенный прогресс, достигнутый в оптимизации сроков лечения повреждений трубчатых костей, многие вопросы консолидации переломов еще остаются открытыми. В отечественной травматологии и ортопедии не достаточно освещены результаты остеосинтеза при использовании биоактивных и биоинертных пластин. В частности, не изучена динамика кон-

солидации в зависимости от типа покрытия, вида перелома и метода фиксации отломков.

Целью настоящей работы явилось внедрение в практику лечения переломов длинных трубчатых костей имплантатов с биоактивным покрытием и проведение оценки темпов консолидации в сравнении с биоинертными конструкциями с использованием клинических данных, лучевых и биохимических методов исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для накостного остеосинтеза были использованы титановые имплантаты: с напылением оксидом титана (инертные пластины) или кальций-фосфатным покрытием (биоактивные пластины). Покрытия получали методом микродугового оксидирования (производство ООО «Биотехника» (Томск) и ФГУП «ЭПМ» ФМБА (Москва)). Микро- и макрорельеф поверхности изучали посредством растрового электронного микроскопа Philips SEM 515. Биоактивное покрытие на титановых имплантатах формируется из КФ глобул диаметром от 80 нм до 150 мкм и состоит из сферолитоподобных кристаллов, образующих макрорельеф поверхности с размером пор в диапазоне от 5 до 100 мкм (рис. 1). Изолированные поры локализуются в сферолитах, сквозные поры располагаются на границах сферолитов.

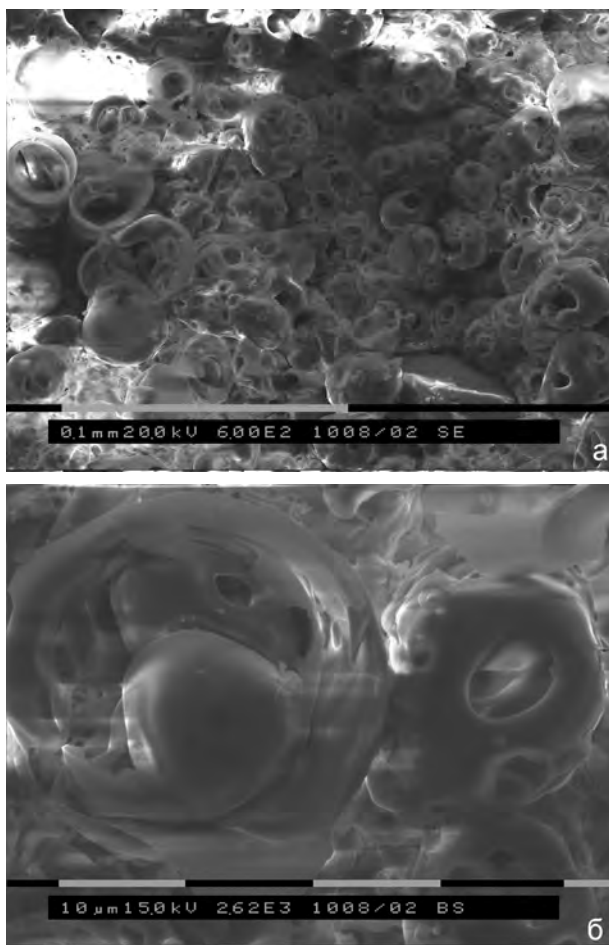


Рис. 1. Микрофотографии КФ-покрытий, полученные методом электронной микроскопии при разном увеличении: а – ув. $\times 600$; б – ув. $\times 2620$.

Полученное биоактивное КФ-покрытие обладает развитой удельной поверхностью и представляет собой смесь кристаллической и аморфной фаз, близких к составу человеческой кости, что может существенно улучшить биологические свойства имплантатов.

Критериями включения пациентов в исследование являлись закрытый перелом длинной трубчатой кости только на одной из нижних конечностей, необходимость применения для остеосинтеза пластин, информированное согласие больного. Критериями исключения стали: политравма, использование аппарата внешней фиксации, остеопоротические переломы, наличие сопутствующих заболеваний, влияющих на костный метаболизм (эндокринные, ревматические, онкологические, гематологические и другие).

В исследование включено 92 пострадавших (60 мужчин и 32 женщины) в возрасте $39,3 \pm 12,4$ лет. Из них с переломом костей голени – 55 (59,8 %), бедра – 37 (40,2 %). Наиболее частыми были повреждения типа С (43,4 %) и В (35,9 %), полученные в результате автодорожных травм и падений с высоты. Одной группе, состоящей из 42 (45,4 %) больных, операция выполнена с применением имплантатов с биоактивным КФ-покрытием (БАП), другой группе (50 (54,3 %) пациентов) – с применением биоинертных пластин, покрытых оксидом титана (БИП). Группы пациентов были сопоставимы по возрасту, полу и локализации переломов. Распределение больных по группам носило случайный характер.

Консолидацию определяли на основании клинических данных, рентгенографии и ультразвукового (УЗ) исследования области перелома (датчик 7,5 МГц, Sonoline-SL450, Siemens) в сроки 2, 4, 6 и 12 месяцев после операции. Результаты лечения оценивали как хорошие, удовлетворительные или плохие, используя критерии С.А. Muller et al. (1999).

Уровни остеокальцина (ОК), CrossLaps (CL), кортизола, соматотропного гормона (СТГ) определяли на автоматическом анализаторе «ElecSys1010» («Roche Diagnostics», Германия). Активность щелочной фосфатазы (ЩФ), ее костного изофермента, содержание кальция и фосфора измеряли на биохимическом анализаторе Hitachi. В качестве контроля использовали показатели 26 здоровых доноров в возрасте $38,5 \pm 5$ лет.

Результаты исследований были обработаны в пакете программы STATISTICA 6.0 с использованием критериев Хи-квадрат и Фишера с условиями их применения. Для сравнения количественных показателей в группах применяли критерии Манна – Уитни. Уровень значимости принимали равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Внедрение имплантатов с КФ покрытием для накостного остеосинтеза дало результаты, представленные в таблице 1.

При остеосинтезе с БИП хороший результат отмечен у 62,0 % прооперированных больных, удовлетворительный – в 34 %, и 4 % случаев он расценен как плохой. У 2 больных образовался ложный сустав,

Таблица 1

Клиническая оценка оперативного лечения переломов голени и бедра

Критерии	Хорошо		Удовлетворительно		Плохо	
	БИП	БАП	БИП	БАП	БИП	БАП
Несращение	–	–	–	–	2 (4,0 %)	–
Нейроваскулярные нарушения	29 (58,0 %)	33 (78,6 %)	18 (36,0 %)	9 (21,4 %)	3 (6,0 %)	–
Варус / вальгус	47 (94,0 %)	40 (95,2 %)	3 (6,0 %)	2 (4,8 %)	–	–
Антекурвация / рекурвация	47 (94,0 %)	40 (95,2 %)	3 (6,0 %)	2 (4,8 %)	–	–
Ротация	48 (96,0 %)	41 (97,6 %)	2 (4,0 %)	1 (2,4 %)	–	–
Укорочение	47 (94,0 %)	40 (95,2 %)	2 (4,0 %)	2 (4,8 %)	1 (2,0 %)	–
Движения в коленном суставе	26 (52,0 %)	29 (69,0 %)	16 (32,0 %)	13 (31,0 %)	8 (16,0 %)	–
Движения в голеностопном суставе	26 (52,0 %)	31 (73,8 %)	18 (36,0 %)	11 (26,2 %)	6 (12,0 %)	–
Боль	30 (60,0 %)	31 (73,8 %)	18 (36,0 %)	11 (26,2 %)	2 (4,0 %)	–
Ходьба	26 (52,0 %)	31 (73,8 %)	18 (36,0 %)	11 (26,2 %)	2 (4,0 %)	–

Таблица 2

Динамика консолидации переломов по данным рентгенологического и ультразвукового исследования

Сроки исследования	Состояние консолидации	Исследуемые группы		Уровень значимости (p)
		БИП (n = 50)	БАП (n = 42)	
2 мес.	Отсутствие консолидации	40 (80,0 %)	16 (38,1 %)	0,058
	Процесс консолидации	10 (20,0 %)	26 (61,9 %)	0,012
4 мес.	Отсутствие консолидации	12 (24,0 %)	2 (4,8 %)	0,053
	Процесс консолидации	23 (46,0 %)	11 (26,2 %)	0,254
	Сформированная костная мозоль	15 (30,0 %)	29 (69,0 %)	0,042
6 мес.	Отсутствие консолидации	4 (8 %)	0	0,095
	Процесс консолидации	26 (52,0 %)	7 (16,7 %)	0,023
	Сформированная костная мозоль	20 (40,0 %)	35 (83,3 %)	0,052
12 мес.	Признаки ложного сустава	2 (4,0 %)	0	0,303
	Процесс консолидации	–	–	–
	Сформированная костная мозоль	48 (96,0 %)	42 (100 %)	0,990

что потребовало дополнительных оперативных вмешательств. Консолидация перелома сопровождалась исчезновением болевого синдрома у 60 % пациентов. В остальных случаях оставались умеренные и постоянные боли при пальпации и осевой нагрузке, у 2 пострадавших с ложным суставом они были постоянными. Умеренные и выраженные нейроваскулярные изменения присутствовали в 42 % наблюдений. Полностью восстановить походку не смогли 40 % больных. Увеличение подвижности в суставах происходило медленнее. Так, в коленном суставе при сращении перелома только у 52 % больных синтезированных БИП амплитуда была более 100°.

В группе больных, оперативное лечение которых проводили с использованием БАП, сращение перелома, подтвержденное клиническими, рентгенологическими и ультразвуковыми данными, получили у всех пациентов. У 69,0 % результат расценен как хороший. В области перелома отсутствовали боли, полностью восстановлен объем движений в коленном суставе и нормализовалась походка, исчезли отеки. Итоги лечения были удовлетвори-

тельными у 31,0 %. Помимо невыраженных нейроваскулярных нарушений, сохранялись умеренные боли и незначительная хромота. Уменьшение болей в поврежденной конечности в период 2 – 4 месяцев позволило раньше приступить к активной реабилитации в этой группе. При оперативном лечении были полностью устранены все смещения у большинства пострадавших. Отклонения оси конечности не более чем на 10° наблюдали в 7 случаях. Инфекционных осложнений не отмечено.

Данные УЗ-исследования соответствовали результатам рентгенографии, а в период от 2 до 4 месяцев позволяли получить дополнительную информацию о процессе формирования костной мозоли. Через 2 месяца после фиксации перелома БАП, признаки активного формирования костной мозоли выявлены у большинства больных (табл. 2). После остеосинтеза, который был проведен с использованием БИП, признаки консолидации отсутствовали у 80 %, и только у 20 % зафиксирована активная фаза консолидации. Через 4 месяца после операции с использованием БАП активное фор-

мирование и сформированную костную мозоль имели 95,2 %, и лишь у 4,8 % отсутствовали признаки консолидации. В те же сроки при фиксации БИП сращение перелома не наблюдали в 24 % случаев. При обследовании пациентов с БАП через 6 месяцев после операции во всех случаях была картина сформированной или формирующейся костной мозоли. Прооперированные больные с использованием БИП признаков консолидации не имели 4 человека (8 %).

Диагностическая ценность УЗИ контроля заключалась в ранней, до этапов оссификации, регистрации процесса консолидации. Ультразвуковая картина характеризовалась уменьшением диастаза отломков и глубины щели перелома с увеличением количества тонких линейных эхопозитивных включений, продольно ориентированных по оси конечности. Отсутствие УЗ-признаков ложного сустава у исследуемых пациентов также свидетельствовало в пользу более эффективного действия на репаративный процесс конструкций с биоактивным видом покрытий.

Для выяснения взаимосвязи клинических и рентгенологических изменений с процессами, происходящими непосредственно в зоне повреждения, были оценены биохимические маркеры резорбции и синтеза кости (табл. 3). В группе больных, которым впоследствии был выполнен остеосинтез с использованием биоактивного покрытия, выявлено увеличение в 2,6 раз содержания CL — пептидов, образующихся при резорбции коллагена I типа, снижение на 16 % активности ЩФ — маркерного фермента остеобластов, уменьшение концентрации кальция в крови ($p < 0,05$) и незначительное (на 10 %) возрастание содержания ОК — показателя активации остеосинтетических процессов [1, 9]. Перелом длинных трубчатых костей и ранний послеоперационный период сопряжены с выраженным посттравматическим стрессом, сопровождающимся увеличением содержания кортизола в 1,8 раз и снижением на 64 % концентрации соматотропного гормона, что в целом оценивается как активация процессов катаболизма и снижение анаболических реакций организма в условиях развития травматической болезни [4]. Аналогичные изменения выявлены у пациентов, которым были

имплантированы биоинертные пластины: содержание CL возрастало в 3 раза, активность ЩФ снижалась на 25 %, СТГ — на 72 %, увеличение ОК и кортизола составило, соответственно, 14 % и 80 % относительно контроля.

Изменения биохимических показателей в ранние сроки после травмы подтверждают активацию резорбции кости и торможение процессов костеобразования, что проявляется изменением концентрации остеотропных гормонов. Доказано, что кортизол играет ключевую роль в реакциях организма на стрессовую ситуацию, в том числе и на травму кости. Он обладает мощным противовоспалительным действием, подавляет миграцию фагоцитов, секрецию цитокинов и лимфокинов, оказывает, в целом, адаптивное действие. Однако к эффектам кортизола относится и способность подавлять синтез коллагеновой матрицы кости, поэтому длительное увеличение концентрации кортизола может приводить к развитию остеопороза [8]. Соматотропный гормон гипофиза, напротив, активирует синтез белка, стимулирует линейный рост, увеличивает всасывание кальция в кишечнике, оказывает положительное влияние на азотистый и фосфорный баланс. Снижение концентрации гормона, очевидно, отражает низкий уровень синтетических процессов и преобладание катаболических реакций организма в ответ на травму [1, 7].

Через 2 месяца после операции с использованием БАП наблюдалось снижение концентрации CL на $0,027 \pm 0,017$ усл. ед./мес. ($p = 0,049$) и увеличение содержания кальция в сыворотке крови на $0,017 \pm 0,007$ усл. ед./мес. ($p = 0,011$). Репаративная регенерация костной ткани в динамике биоактивного наложения остеосинтеза, в сравнении с биоинертным, сопровождается более выраженным усилением анаболических процессов (повышение содержания СТГ, падение концентрации кортизола), повышением в периферической крови пациентов маркеров костеобразования — ОК и кальция. Остеокальцин — основной неколлагеновый белок кости, синтезируется остеобластами, участвует в связывании кальция и гидроксиапатитов и отражает метаболическую активность остеобластов. Его используют как показатель костеобразования

Таблица 3

Биохимические показатели сыворотки крови больных после операции с использованием биоактивного (БАП) и биоинертного (БИП) покрытия (Ме; Q1-Q3)

Показатели	Контроль (n = 26)	БАП (n = 42)	p	БИП (n = 50)	p
Cross Laps	0,29 (0,23÷0,59)	0,76 (0,50÷2,30)	0,000000	0,88 (0,59÷1,61)	0,000000
ЩФ	214,5 (191,0÷239,0)	182,0 (157,0÷246,0)	0,000008	163,0 (145,0÷213,0)	0,000000
Кальций	2,29 (2,23÷2,40)	2,16 (1,98÷2,43)	0,000028	2,20 (2,08÷2,44)	0,003306
Остеокальцин	22,49 (20,18÷27,34)	24,93 (20,09÷32,35)	0,025416	25,69 (23,24÷30,22)	0,000050
Кортизол	13,63 (11,69÷21,12)	23,98 (19,21÷31,98)	0,000000	24,84 (19,96÷32,96)	0,000000
СТГ	1,62 (1,01÷3,05)	0,58 (0,28÷3,83)	0,000001	0,44(0,21÷3,12)	0,000000

Примечание: p — уровень значимости по сравнению с контролем, использован критерий Манна – Уитни.

и прогностический индикатор при мониторинге заболеваний кости [9].

Следует отметить, что среди пациентов, которым был проведен остеосинтез с использованием БИП, не было ни одного больного со снижением содержания СЛ, а увеличение концентрации кальция в крови обнаружено лишь у 15 % оперированных лиц.

Основной механизм позитивного действия имплантатов с нанесенным КФ слоем связан с увеличением депо кальция в организме и проявляется в первые месяцы после их установки. При этом результаты биохимического исследования полностью согласуются с данными лучевых методов исследования (рентгенографии и УЗИ), подтверждающими активное формирование костной мозоли при биоактивном остеосинтезе.

КФ-покрытие, применяемое в ортопедии, представляет собой хорошо развитую многоуровневую поверхность, позволяет воздействовать на процессы костеобразования, нормализовать минеральный обмен и состояние окружающих тканей. Системное регулирующее влияние на сращение переломов трубчатых костей биоактивными пластинами подтверждается клинической картиной, данными биохимического исследования, ультразвуковым мониторингом зоны перелома и показывает новые возможности для оптимизации регенерации костной ткани. Сопряжение концентраций маркеров костного ремоделирования и данных УЗИ свидетельствует в пользу остеосинтеза с применением имплантатов с КФ-покрытиями, стимулирующих репаративный процесс и тормозящих резорбцию кости.

ВЫВОДЫ

1. Улучшение клинической картины травматологической болезни более выражено при биоактивном варианте оперативного лечения: сращение перелома достигнуто во всех случаях, полностью восстановился объем движений в суставах и походка, а уменьшение болевого синдрома у всех больных в период от 2 до 4 месяцев позволило раньше приступить к активной реабилитации. У 69 % пациентов достигнут хороший результат. Удовлетворительную оценку лечения получили 31 %.

2. При использовании биоинертных покрытий только 60 % больных через 4 месяца после операции указали на полное отсутствие болей в сломанном сегменте, у 48 % имелись нарушения функций в смежных суставах и невосстановленная походка. Неудовлетворительный результат лечения с формированием ложного сустава отмечен у 4,0 % больных.

3. Процесс консолидации перелома, согласно лучевым методам исследования, протекал более активно при использовании КФ-покрытия, по сравнению с пластинами, покрытыми оксидом титана. При БАП через 2 месяца после операции сращения перелома наблюдали у 61 % больных, через 5 месяцев сформированную костную мозоль имели 83 %. При БИП аналогичные показатели зафиксированы у 40 % пациентов.

4. Биохимические изменения проявлялись в увеличении содержания кальция в крови и снижением маркера резорбции кости CrossLaps у больных при использовании биоактивного остеосинтеза. Полученные данные свидетельствуют о более эффективном применении биоактивных кальций-фосфатных конструкций, по сравнению с биоинертными, покрытыми оксидом титана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инвитро диагностика. Лабораторная диагностика / под ред. Е.А. Кондрашовой, А.Ю. Островского, В.В. Юрасова. — М.: Медиздат, 2009. — 560 с.
2. Карлов А.В., Хлусов И.А., Поженко Н.С., Чайкина М.В. Регуляция поведения клеток фосфатами кальция *in vitro* синтезированными механохимическим методом // Бюл. эксперим. биологии и медицины. — 2004. — Т. 138 (9). — С. 356—360.
3. Легостаева Е.В., Шаркеев Ю.П., Хлусов И.А., Кукаренко В.А. и др. Физико-химические и биологические свойства микродуговых кальцийфосфатных биопокровов // Новые технологии создания и применения биокерамики в восстановительной медицине: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. — Томск. 2010. — С. 79—88.
4. Свешников А.А. Современная диагностическая техника в ортопедо-травматологической клинике (обзор литературы) // Гений ортопедии. — 1997. — № 3. — С. 54—60.
5. Шахов В.П., Карлов А.В., Шахова С.С. Оценка биосовместимости кальций-фосфатных материалов методом розеткообразования с мононуклеарами периферической крови человека // Иммунология. — 2003. — Т. 24 (6). — С. 345—346.
6. Швед С.И., Сысенко Ю.М., Новичков С.И., Мальцева Л.В. Роль чрескостного остеосинтеза по Илизарову в системе реабилитации травматологических больных с множественными переломами костей // Гений ортопедии. — 2000. — № 2. — С. 5—9.
7. Хвостова С.А., Свешников К.А. Роль гормонов эндокринных желез в репаративном костеобразовании // Современные проблемы науки и образования. — 2008. — № 2. — С. 52—56.
8. Kim D., Yamagishi N., Devkota B., Furuhashi K. Effects of cortisol secreted via a 12-h infusion of adrenocorticotrophic hormone on mineral homeostasis and bone metabolism in ovariectomized cows // Domest. Anim. Endocrinol. — 2012. — Vol. 43 (3). — P. 264—269.
9. Lumachi F., Orlando R., Fallo S.F., Basso M.M. Relationship between bone formation markers bone alkaline phosphatase, osteocalcin and amino-terminal propeptide of type I collagen and bone mineral density in elderly men. Preliminary results // In vivo. — 2012. — Vol. 26. — P. 1041—1044.
10. Moroni A., Faldini C., Marchetti S., Manca M. et al. Improvement of the bone pin interface strength in osteoporotic bone using hydroxyapatite-coated tapered external fixator pin. A prospective randomized clinical study in wrist fractures // J. Bone Surg. Am. — 2001. — Vol. 83-A (5). — P. 717—721.

11. Muller C.A., Strohm P., Morakis Ph., Pfister U. Intramedullary nailing of the tibia: Current status of primary unreamed nailing. Part 1: Results for closed fractures // Injury. — 1999. — Vol. 30, N 3. — P. 39—43.

12. Sackett D.L., Straus S.E., Richardson W.S., Rosenberg W. et al. Evidence-based medicine: How to practice and teach EBM? / 2nd ed. — London: Churchill Livingstone, 2000. — P. 37—38.

Сведения об авторах

Попов Владимир Петрович — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии ГБОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (634050, г. Томск, Московский тракт, 2; тел.: 8 (903) 915-57-63; e-mail: ortopr@mail.ru)

Дружинина Татьяна Валентиновна — кандидат медицинских наук, начальник отдела биомедицинских технологий Санкт-Петербургского филиала ФГУП «Экспериментально-производственные мастерские» ФМБА (197183, г. Санкт-Петербург, ул. Саблинская, 37; тел.: 8 (905) 260-69-78; e-mail: drujininat@mail.ru)

Каменчук Яна Александровна — кандидат химических наук, начальник отдела композитных материалов Санкт-Петербургского филиала ФГУП «Экспериментально-производственные мастерские» ФМБА (197183, г. Санкт-Петербург, ул. Саблинская, 37; тел.: 8 (965) 758-21-03; e-mail: yana100@inbox.ru)

Завадовская Вера Дмитриевна — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии ГБОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (634050, г. Томск, Московский тракт, 2; тел.: 8 (3822) 53-20-31; e-mail: radiology@ssmu.ru)

Акбашева Ольга Евгеньевна — доктор медицинских наук, доцент, доцент кафедры биохимии и молекулярной биологии ГБОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (634050, г. Томск, Московский тракт, 2; тел.: 8 (903) 954-46-34; e-mail: akbashoe@yandex.ru)