

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССОВ ОСТЕОИНТЕГРАЦИИ ИМПЛАНТАТОВ С КАЛЬЦИЙФOSФАТНЫМ ПОКРЫТИЕМ И ИМПЛАНТАТОВ С КАЛЬЦИЙФOSФАТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ, ОБОГАЩЕННЫМИ ГЕРМАНИЕМ

Е.А. Зеличенко, В.В. Гузеев, Я.Б. Ковальская, О.А. Гурова, Т.И. Гузеева

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, РФ

Введение. Процесс остеоинтеграции оказывает существенное влияние на срок биологического закрепления имплантатов и является важным показателем, на который ориентируются при их установке.

Цель: провести сравнительный анализ остеоинтеграции имплантатов из титанового сплава с различными покрытиями для определения оптимального состава покрытий с точки зрения остеогенеза.

Материалы и методы. Проведен сравнительный анализ остеогенных свойств имплантатов с химико-термической обработкой поверхности, с кальцийфосфатным покрытием и кальцийфосфатными покрытиями, обогащенными германием (3% и 5%), нанесенными электрохимическим методом. Реципиентами для вживляемых имплантатов являлись 29 беспородных кошек мужского пола в возрасте от 1,5 до 4 лет массой от 2500 до 3400 г. Из эксперимента животных выводили через 90 дней.

Результаты. Исследования гистологических срезов тканей методом световой микроскопии показали, что процессы регенерации костной ткани наиболее интенсивно шли в группе имплантатов, содержащих в составе кальцийфосфатного покрытия большее (5%) количество германия. В целом кальцийфосфатные покрытия, в том числе обогащенные германием, обеспечивали лучшую остеоинтеграцию, чем образцы, подвергнутые химико-термической обработке.

Ключевые слова: эндопротез, кальцийфосфатные покрытия, имплантаты, германий, остеоинтеграция, костная ткань, микродуговая обработка.

Comparative Characteristics of Osseointegration Processes of the Calcium Phosphate Coating Implants and Implants with Germanium Enriched Calcium Phosphate Coatings

E.A. Zelichenko, V.V. Guzeev, Ya.B. Koval'skaya, O.A. Gurova, T.I. Guzeeva

National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute),
Moscow, Russia

Introduction. Osseointegration process exerts considerable influence on the term of biological fixation of the implants and is an important parameter that is to be focused on at the implant placement.

Purpose: to conduct a comparative analysis of the osseointegration of the titanium alloy implants with different coatings for the determination of the optimum coating compound for osteogenesis.

Materials and methods. Comparative analysis of osteogenic properties of the implants with thermal chemical surface treatment, calcium phosphate coating and Germanium enriched (3% and 5%) calcium phosphate coatings applied by electrochemical technique was performed. Implant recipients were 29 not pedigree male cats aged 1.5 to 4.0 years with 2500 to 3400 g body weight. Experimental animals were euthanized in 90 days after surgical intervention.

Results. Histological study results showed that bone tissue regeneration was most active when implants with higher level (5%) of Germanium in calcium phosphate coating were used. Calcium phosphate coatings and Germanium enriched ones showed better osseointegration as compared to the implants with thermal chemical surface treatment.

Key words: endoprosthesis, calcium phosphate coatings, implant, Germanium, osseointegration, bone tissue, micro-arch treatment.

Введение. К настоящему времени широкое распространение в России и за рубежом получили операции замены больных суставов искусственными, в том числе при лечении пациентов с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями суставов [1, 2].

Известно, что средний срок службы эндопротезов тазобедренного сустава не превышает 11 лет, после чего возникает необходимость в замене эндопротеза. Ограниченный срок службы объясня-

ется асептической нестабильностью имплантата, возникающей и развивающейся из-за отсутствующей либо недостаточной остеоинтеграции этого имплантата [3–5].

Для выявления оптимальных показателей остеоинтеграции имплантатов был проведен ряд экспериментальных работ по исследованию материалов с нанесенными на них покрытиями различного состава. Результатом этих исследований явились обнадеживающие показатели остеоинтеграции

Для цитирования: Зеличенко Е.А., Гузеев В.В., Ковальская Я.Б., Гурова О.А., Гузеева Т.И. Сравнительная характеристика процессов остеоинтеграции имплантатов с кальцийфосфатным покрытием и имплантатов с кальцийфосфатными покрытиями, обогащенными германием. Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2017; 4: 38–42.

Cite as: Zelichenko E.A., Guzeev V.V., Koval'skaya Ya.B., Gurova O.A., Guzeeva T.I. Comparative characteristics of osseointegration processes of the calcium phosphate coating implants and implants with germanium enriched calcium phosphate coatings. Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova. 2017; 4: 38–42.

имплантатов с покрытиями определенного состава и рекомендации к дальнейшему их изучению и применению, однако внедрение имплантатов такого вида в практическое здравоохранение до сих пор не является завершённым, а покрытия, имеющие идеальные свойства, все еще не разработаны [6–8]. В этих работах установлено, что кальцийфосфатные соединения обладают наибольшим сродством к костной ткани, а исследования, направленные на улучшение их связи с костью реципиента, продолжаются до сих пор. В работе [9] отмечено заметное улучшение характеристик кальцийфосфатных соединений при введении в их состав органических и неорганических модифицирующих компонентов, например, хитозана или кремния.

Введение германия в состав кальцийфосфатных покрытий имплантатов представляет интерес с точки зрения влияния такой модифицирующей добавки на результаты остеоинтеграции имплантатов и процессы остеогенеза в организме реципиента [10, 11]. Установлено, что германий в качестве микроэлемента принимает участие в метаболических процессах и оказывает антигипоксическое, антиоксидантное и обезболивающее действие. В работах [12, 13] было показано, что недостаток германия негативно влияет на функционирование желудочно-кишечного тракта, иммунной системы организма и на липидный обмен. Существуют сведения о том, что этот микроэлемент способствует лечению артрита, остеопороза, кандидоза и многих вирусных инфекций, активируя Т-лимфоциты и выработку у интерферонов [14]. Германий обнаружен почти во всех видах пищи растительного и животного происхождения, достигая максимального содержания не менее 3 мкг/г в некоторых целебных растениях (женьшень, алоэ, чеснок), томатном соке, бобах и рыбе. Таким образом, совокупность химических и биологических свойств германия обуславливает перспективность применения этого микроэлемента в качестве добавки в состав кальцийфосфатных покрытий имплантатов.

Цель исследования: провести сравнительный анализ остеоинтеграции имплантатов из титанового сплава с различными покрытиями для определения оптимального состава покрытий с точки зрения остеогенеза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для экспериментов были использованы имплантаты, изготовленные из титанового сплава ВТ6, представляющие собой штифты круглого сечения длиной 20 мм и диаметром 4 мм.

Поверхность штифтов первой экспериментальной группы была подвергнута химико-термической обработке с образованием наноструктурного поверхностного слоя, состоявшего преимущественно из карбоксинитрида титана [8, 15].

Поверхность штифтов второй, третьей и четвертой экспериментальных групп была обработана с помощью микродугового метода [15, 16].

Сущность метода заключается в пропускании тока высокой плотности через границу раздела фаз металл–раствор электролита, что приводит к возникновению на поверхности металлических имплантатов микроплазменных разрядов с высокими локальными температурами и давлениями. Результатом действия этих разрядов является формирование пористых наноструктурных покрытий, обладающих высокой износостойкостью и улучшенными физико-механическими характеристиками.

Раствор электролита для микродугового нанесения покрытия включал в себя: кислоту ортофосфорную, ГОСТ 10678-76 квалификации «х.ч.» концентрацией 15%; гидроксипатит, порошок полидисперсный с размером частиц от 20 нм до 400 мкм; германий, порошок квалификации «ос.ч.» дополнительно окисленный с размером частиц 20–100 нм.

Раствор электролита представлял собой суспензию порошков гидроксипатита и германия с содержанием германия 3% и 5%. Для формирования качественных покрытий раствор перемешивали барботированием инертным газом.

Поверхностный слой обработанных штифтов второй группы представлял собой кальцийфосфатное покрытие, сформированное в электролите, содержащем соли кальция и фосфора. Поверхностный слой обработанных штифтов третьей и четвертой групп представлял собой аналогичное кальцийфосфатное покрытие, полученное из электролита, содержащего 3% и 5% германия соответственно. Ограничение содержания германия в электролите связано с тем, что германий является микроэлементом и повышение его концентрации в электролите и, соответственно, в покрытии может привести к негативным последствиям для организма.

Исследования структуры поверхности полученных покрытий проводили методом растровой электронной микроскопии с помощью цифрового микроскопа Levenhuk D870T (ОАО «Левенгук», Россия) и лабораторного оптического микроскопа Stemi 2000-C («Carl Zeiss AG», Германия). Обработку полученных микрофотографий осуществляли с помощью программного обеспечения Levenhuk Lite.

Реципиентами для вживляемых имплантатов являлись 29 беспородных кошек мужского пола в возрасте от 1,5 до 4 лет массой от 2500 до 3400 г. Выбор был обусловлен достаточными размерами костей, схожей с человеческой формой бедренной кости, характером движения их в пространстве и выживаемостью этих животных при одновременном хирургическом вмешательстве на двух задних конечностях. Содержание животных и уход за ними осуществляли согласно требованиям «Европейской Конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях» (Страсбург, 18 марта 1986 г.), методическим рекомендациям по содержанию лабораторных животных в вивариях науч-

но-исследовательских институтов и учебных заведений, приказу Минздрава СССР от 12.08.1977 г №755 и «Всемирной декларации прав животных» от 23.09.1977 г.

Операции проводили под внутримышечным наркозом золетилом в дозировке 15 мг/кг с предварительной медикаментозной подготовкой атропина сульфатом в дозировке 0,04 мг/кг подкожно и 0,2% раствором рометара в дозировке 0,1 мл на 100 г массы тела. В верхней трети тазовой конечности выполняли разрез кожи и подлежащих тканей с открытием межвертельной ямки, где сверлом диаметром 4 мм высверливали канал длиной 20 мм в дистальном направлении бедренной кости. С помощью специального импактора в канале устанавливали штифт. Аналогичное хирургическое вмешательство осуществляли на противоположной задней конечности, после чего раны послойно ушивали.

Через 90 дней животных выводили из опыта с соблюдением правил и рекомендаций ветеринарной и биомедицинской этики. Под внутримышечным наркозом золетилом в дозировке 15 мг/кг в нижнюю полую вену реципиентов вводили 20 мл 10% раствора магнезии; после остановки дыхательной и сердечной деятельности проводили изъятие кости и готовили макропрепараты, которые затем помещали в 10% раствор формалина. Для исследования морфологии зоны имплантации штифтов на основе проксимальных отделов бедренных костей были приготовлены поперечные пластины толщиной 5 мм. Декальцинацию осуществляли в течение 21 сут в 4% растворе азотной кислоты при температуре 18–22°C, затем фрагменты кости извлекали из раствора кислоты, обезжизивали последовательно в 60, 80 и 96% растворах этанола в течение 24 ч в каждом спирте и просветляли в ксилоле. Материал заливали пластифицированным парафином и на-

резали микротомом. Гистологические срезы материала толщиной 7–10 мкм окрашивали гематоксилином и эозином.

Исследования гистологических срезов проводились методом световой микроскопии на микроскопах Carl Zeiss («Carl Zeiss AG», Германия) и БИОЛАМ (ОАО «ЛОМО», Россия).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Поверхность штифтов первой группы, подвергнутая химико-термической обработке, имела наноструктурный поверхностный слой, состоящий преимущественно из карбоксинитрида титана, обладающего в сравнении с необработанной поверхностью имплантатов улучшенными механическими характеристиками, в том числе повышенной твердостью (рис. 1, а) [8]. Поверхностный слой обработанных штифтов второй группы представлял собой кальцийфосфатное покрытие, которое было сформировано сферолитоподобными кристаллами, при этом изолированные поры локализовались в сферолитах, а сквозные поры — на границах сферолитов (рис. 1, б). Покрытие, полученное из электролита с концентрацией германия 5%, имело более сглаженный рельеф по сравнению с таковым при концентрации германия 3% (рис. 1, в, г).

Исследования гистологических срезов показали, что в зоне введения первой группы штифтов внутренняя поверхность трубчатой кости содержала небольшое количество разрушенных балок. Гаверсовы каналы на внутренней трети кости не обнаружены, однако в наружном отделе кости они присутствовали. На гибель отдельных клеток указывает некроз некоторых гаверсовых каналов и запустение части костных лакун. Остециты внутренней части костной трубки местами располагались хаотично, местами — упорядочено. Выявленные

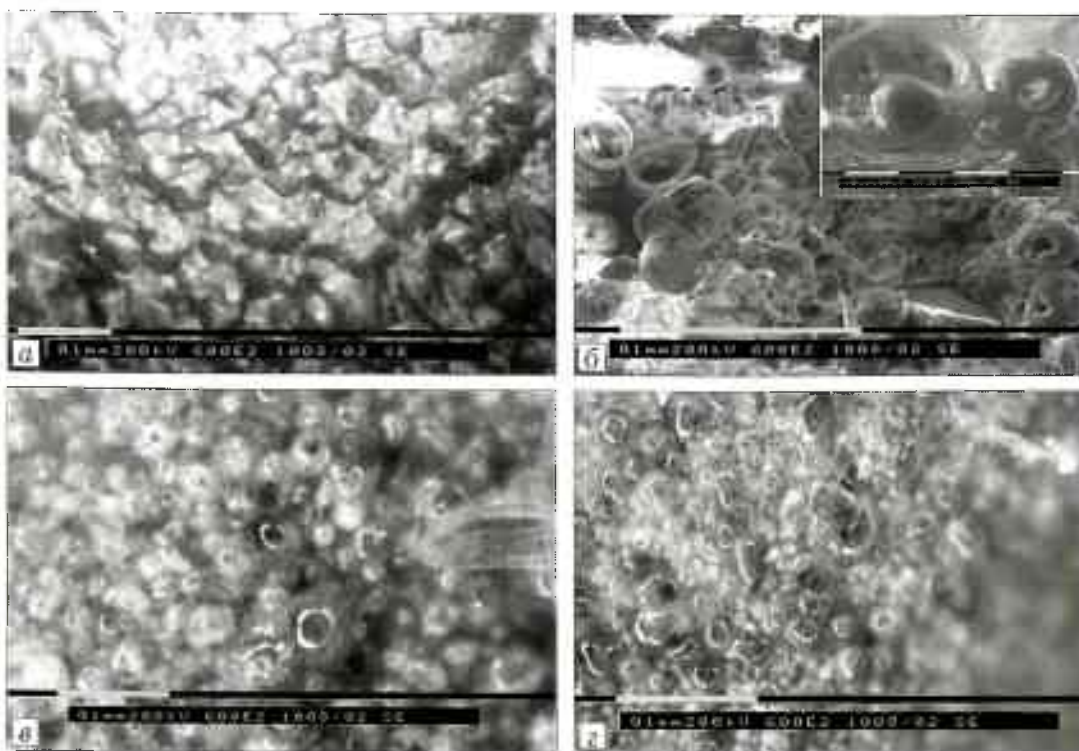


Рис. 1. Микрофотографии поверхности покрытий штифтов четырех экспериментальных групп.

а — после химико-термической обработки; б — кальцийфосфатное покрытие, сформированное микродуговым методом; кальцийфосфатное покрытие с содержанием германия 3% (в) и 5% (г), сформированное микродуговым методом.

изменения, очевидно, были проявлением структурной перестройки костной ткани, что подтверждается также слоистой структурой внутренней поверхности кости в нескольких местах из-за напластования молодой активно формирующейся костной ткани (рис. 2).

Во второй группе гистологический материал представлял собой фрагменты трубчатой кости с явными морфологическими изменениями. На внутренней поверхности кости обнаруживались скопления молодых костных балок с беспорядочно расположенными остеоцитами. Гаверсовы каналы, сформированные упомянутыми балками, содержали на внутренней поверхности прерывистый неравномерный слой мелкозернистого базофильного вещества, что, вероятно, является признаком зачаточного включения материала в регенерирующую костную ткань. Об образовании, перестройке и биорезорбции костной ткани также свидетельствовали скопления остеобластов и остеокластов (рис. 3).

Образцы третьей группы исследуемых материалов характеризовались более явными изменениями, сопутствующими перестройке и биологической резорбции молодой костной ткани. Слой мелкозернистого базофильного вещества обнаруживался на всей внутренней поверхности трубчатой кости и был включен во внутреннюю поверхность гаверсовых каналов (рис. 4). Он был равномерно распределен по поверхности и имел большую толщину. Наружная часть трубчатой кости с концентрически ориентированными системами остеоцитов и костных пластин представляла собой зрелую костную ткань. Прогрессивный рост остеоцитов и остеобластов в слое базофильного вещества свидетельствует о том, что германий с высокой долей вероятности активизировал процесс регенерации костной ткани.

Морфологическая картина образцов четвертой группы характеризовалась наиболее выраженными процессами регенерации костной ткани: на внутренней поверхности трубчатой кости обнаружены объемные скопления крупнозернистого базофильного вещества. Вростание остеобластов в это вещество свидетельствует о начале процесса формирования новых костных балок. Прочное соединение новообразовавшихся костных балок с покрытием штифта приводило к их разрушению при извлечении имплантата, подтверждением чему служили фрагменты разрушенных костных балок на внутренней поверхности трубчатой кости (рис. 5). При этом клетки костного мозга, находившиеся в непосредственном контакте с германийсодержащим покрытием, не имели признаков разрушения.

Результаты проведенных исследований согласуются с ранее заявленными предположениями о

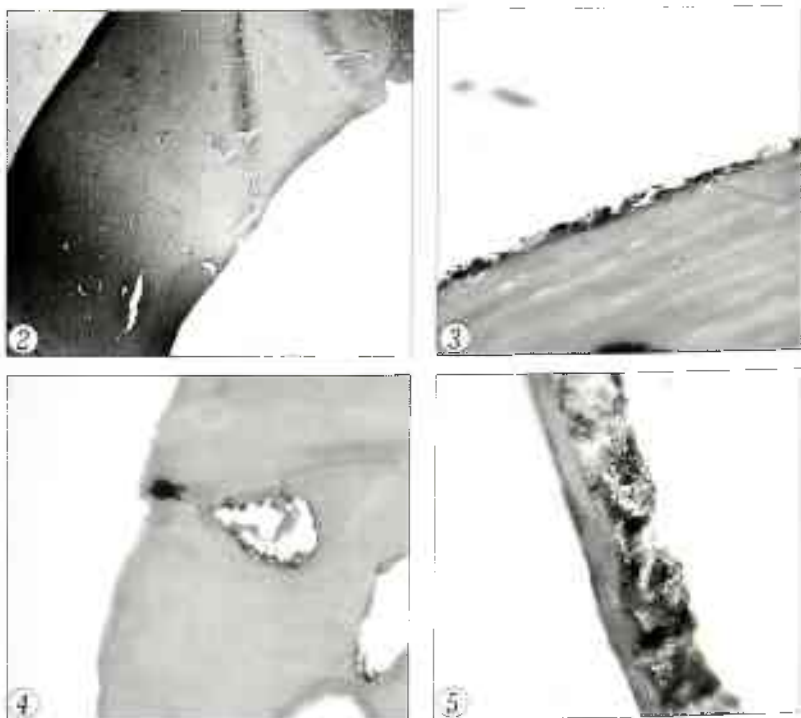


Рис. 2. Поверхность трубчатой кости первой группы с небольшими очагами молодых остеоцитов. $\times 150$.

Здесь и на рис. 4–6: окраска гематоксилином и эозином.

Рис. 3. Внутренняя поверхность трубчатой кости второй группы с неравномерным слоем мелкозернистого базофильного вещества. $\times 150$.

Рис. 4. Включение мелкозернистого базофильного вещества во внутреннюю поверхность гаверсовых каналов трубчатой кости третьей группы. $\times 150$.

Рис. 5. Внутренняя поверхность трубчатой кости четвертой группы с вростанием остеобластов молодой костной балки в крупнозернистое базофильное вещество. $\times 280$.

целесообразности применения германия для стимуляции пролиферации фибробластов [17]. Кроме того, можно предположить, что покрытие, содержащее германий, обладает более высокой поверхностной энергией, что коррелирует с данными других авторов [18].

Заключение. Наименее активную остеоинтеграцию демонстрируют имплантаты, подвергнутые химико-термической обработке. Введение в состав покрытия имплантатов гидроксиапатита активизирует процесс остеоинтеграции. В результате проведенных исследований установлено, что наиболее интенсивно процесс остеоинтеграции в организме реципиента протекает при введении имплантатов с покрытиями, полученными из электролита, содержащего гидроксиапатит и германий (5%). В целом кальцийфосфатные покрытия, в том числе обогащенные германием, обеспечивают лучшую остеоинтеграцию, чем образцы, подвергнутые химико-термической обработке.

Конфликт интересов: не заявлен.

Работа проведена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 год по мероприятию 1.2.1 «Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук» по направлению «Создание и обработка композиционных керамических материалов» по проблеме «Создание и исследование новых композиционных керамических материалов с улучшенными свойствами для медицины и ядерной промышленности».

ЛИТЕРАТУРА | REFERENCES |

1. Миронов С.П., Еськин Н.А., Андреева Т.М. Болезни костно-мышечной системы как социально-экономическая проблема. Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2012; 2: 3-7 [Mironov S.P., Es'kin N.A., Andreeva T.M. Musculoskeletal diseases as social and economic problem. Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova. 2012; 2: 3-7 (in Russian)].
2. Миронов С.П. Состояние ортопедо-травматологической службы в Российской Федерации и перспективы внедрения инновационных технологий в травматологию и ортопедию. Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2010; 4: 10-3 [Mironov S.P. State of orthopaedic-traumatologic service in the Russian Federation and perspectives for introduction of innovative technologies in traumatology and orthopaedics. Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova. 2010; 4: 10-3 (in Russian)].
3. Берглезов М.А., Андреева Т.М. Асептическое расшатывание эндопротеза тазобедренного сустава: механизмы остеолитического и потенциальная терапия. Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2010; 3: 82-8 [Berglezov M.A., Andreeva T.M. Aseptic loosening of total hip implant: mechanisms of osteolysis and potential therapy. Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova. 2010; 3: 82-8 (in Russian)].
4. Косяков А.Н., Розенберг О.А., Бондарь В.К. и др. Биосовместимость материалов эндопротеза нового поколения при тотальном эндопротезировании тазобедренного сустава. Ортопедия, травматология и протезирование. 2010; 4: 105-15 [Kosyakov A.N., Rozenberg O.A., Bondar' V.K., et al. Biocompatibility of materials in a new generation of endoprosthesis for total hip joint arthroplasty. Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye. 2010; 4: 105-15 (in Russian)].
5. Назаров Е.А., Рябова М.И. Применение отечественных имплантатов в эндопротезировании тазобедренного сустава. Российский медико-биологический вестник им. академика И.П. Павлова. 2007; 2: 13-20 [Nazarov E.A., Ryabova M.I. Using the implants, produced in Russia for total arthroplastic of hip. Rossiyskiy medicobiologicheskii vestnik im. akademika I.P. Pavlova. 2007; 2: 13-20 (in Russian)].
6. Баринов С.М. Керамические и композиционные материалы на основе фосфатов кальция для медицины. Успехи химии. 2010; 79: 15-32 [Barmov S.M. Calcium phosphate-based ceramic and composite materials for medicine. Uspekhi khimii. 2010; 79: 15-32 (in Russian)].
7. Легостаева Л.В., Комарова Е.Г., Шаркеев Ю.П., Уваркин П.В. Исследование влияния напряжений микродугового окисления на физико-химические свойства кальцийфосфатных покрытий на титане. Перспективные материалы. 2011; 13: 456-65 [Legostaeva L.V., Komarova E.G., Sharkeev Yu.P., Uvarkin P.V. The influence of voltage of micro-arc oxidation on physicochemical properties of calcium phosphate coatings on titanium. Perspektivnye materialy. 2011; 13: 456-65 (in Russian)].
8. Попков А.В. Биосовместимые имплантаты в травматологии и ортопедии (обзор литературы). Гений ортопедии. 2014; 3: 94-9 [Popkov A.V. Biocompatible implants in traumatology and orthopaedics (a review of literature). Geniy ortopedii. 2014; 3: 94-9 (in Russian)].
9. Каменчук Я.А., Зеличенко Е.А., Гузев В.В. и др. Сравнительный анализ свойств кальций-фосфатных и композитных кальций-фосфатных хитозановых покрытий, получаемых методом электрохимического осаждения, для ортопедических имплантатов. Перспективные материалы. 2009; 6: 66-71 [Kamenchuk Ya.A., Zelichenko E.A., Guzev V.V., et al. Comparison analysis of calcium-phosphate and composite calcium-phosphate chitosan coatings obtained by electrochemical deposition for orthopedic implants. Perspektivnye materialy. 2009; 6: 66-71 (in Russian)].
10. Назаров Е.А., Папков В.Г., Кузьманин С.А. и др. Сравнительная морфологическая оценка применения германиевых покрытий в имплантологии. В кн.: Материалы Всероссийской научно-практической конференции и конференции молодых ученых. М.; 2015: 188 [Nazarov E.A., Papkov V.G., Kuz'manin S.A., et al. Comparative morphologic evaluation of the use of Germanium coatings in implantology. In: Proc. All-Rus. Scient-Pract. Conf. and Conf. of Young Scientists. Moscow; 2015: 188 (in Russian)].
11. Папков В.Г., Назаров Е.А., Кузьманин С.А. и др. Экспериментальная оценка остеоинтеграции некоторых интрамедуллярных имплантатов. В кн.: Митрошин А.Н., Герашенко С.М., ред. Актуальные проблемы медицинской науки и образования (АПМНО-2015): сборник статей V Международной научной конференции. Пенза: ПГУ; 2015: 33-6 [Papkov V.G., Nazarov E.A., Kuz'manin S.A., et al. In: Actual problems of medical science and education (APMSE-2015): Proc. V Int. Scient. Conf. Penza: PGU; 2015: 33-6 (in Russian)].
12. Кудрин А.В., Скальный А.В., Жаворонков А.А. и др. Германий и иммунный ответ. В кн.: Кудрин А.В., Скальный А.В., Жаворонков А.А. и др. Иммунофармакология микроэлементов. М.: КМК; 2000: 386 [Kudrin A.V., Skalny A.V., Zhavoronkov A.A., et al. Germanium and immune response. In: Kudrin A.V., Skalny A.V., Zhavoronkov A.A., et al. Immune pharmacology of microelements. Moscow: KMK; 2000: 386 (in Russian)].
13. Комаров Б.А., Погорельская Л.В., Фролова М.А. и др. Почему необходим повсеместный контроль микроэлементного состава растительного сырья. Потенциал современной науки. 2014; 5: 27-35 [Komarov B.A., Pogorel'skaya L.V., Frolova M.A., et al. Why the control of the microelement composition of vegetable raw materials is needed everywhere. Potentsial sovremennoy nauki. 2014; 5: 27-35 (in Russian)].
14. Лукевич Э.Я., Гар Т.К., Игнатович Л.М., Миронов В.Ф. Биологическая активность соединений германия. Рига: Зинатне; 1990 [Lukevits E.Ya., Gar T.K., Ignatovich L.M., Mironov V.F. Biological activity of Germanium compounds. Riga: Zinatne; 1990 (in Russian)].
15. Снежко Л.А., Черненко В.И., Павлюс С.Г. Анодный процесс при формовке силикатных покрытий. Защита металлов. 1984; 20 (2): 292-5 [Snezhko L.A., Chernenko V.I., Pavlyus S.G. Anodic process at silicate coating moulding. Zashita metallov. 1984; 20(2): 292-5 (in Russian)].
16. McNeil W., Grass L.L. Anodic film growth by anion deposition in aluminate, tungstate and phosphate solution. J. Electrochem. Soc. 1964; 110 (8): 853-5.
17. Arakawa S. Effects of germanium dioxide D-fructose solution on the X-ray injury of mice. Tanken. 1959; 10: 289-13.
18. Вырва О.Е., Зыкова А.В., Сафонов В.И. Модификация поверхностных свойств материалов путем нанесения многослойных покрытий для их применения в ортопедии. Ортопедия, травматология и протезирование. 2009; 4: 62-5 [Vyryva O.E., Zyкова A.V., Safonov V.I. A modification of superficial properties of materials by means of application of multiple coatings for their use in orthopaedics. Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye. 2009; 4: 62-5 (in Russian)].

Сведения об авторах: Зеличенко Е.А. — канд. техн. наук, доцент каф. химии и технологии материалов современной энергетики; Гузев В.В. — доктор техн. наук, профессор, зав. лабораторией композитных и функциональных материалов; Ковальская Я.Б., Гурова О.А. — аспиранты кафедры химии и технологии материалов современной энергетики; Гузеева Т.И. — доктор техн. наук, профессор каф. химии и технологии материалов современной энергетики.

Для контактов: Зеличенко Елена Алексеевна. E-mail: zelichenko65@mail.ru.

Contact: Zelichenko Elena A. — cand. med. sci., ass. professor, chair of chemistry and material technology of modern energetics. E-mail: zelichenko65@mail.ru.