

DOI: 10.18481/2077-7566-20-16-1-171-177

УДК: 616.465:546.821].03:616.314-089.28

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ТИТАНА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ

Шулятникова О. А.¹, Рогожников Г. И.¹, Порозова С. Е.², Рогожников А. Г.¹, Леушина Е. И.¹¹ ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. академика Е. А. Вагнера»

Минздрава России, г. Пермь, Россия

² ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, Россия

Аннотация

Предмет. Создание функциональных керамических покрытий на основе диоксида титана для изготовления ортопедических конструкций, в том числе дентальных имплантатов и систем для остеосинтеза, позволяет предупредить возможные осложнения при стоматологическом хирургическом и ортопедическом лечении за счет улучшения процессов остеоинтеграции.

Цель — разработка отечественной авторской технологии получения нанопорошка и функционального покрытия на основе диоксида титана, свободных от химических примесей, которые могут найти применение в практике ортопедической стоматологии для конструирования зубных и челюстных протезов, а также имплантационных систем.

Методология. Разработана и предложена авторская методика нанесения на изделия медицинского назначения, выполненных из титана, наноструктурированного поверхностного слоя диоксида титана. Для обеспечения доказательной базы преимуществ использования предложенного диоксидтитанового покрытия проведены экспериментальное исследование его химической однородности и свободы от примесей, а также оценка силы адгезии между оксидным слоем с нанесенным диоксидом титана в фазе анатаз и поверхностью титанового носителя.

Результаты. При спектроскопии комбинационным рассеянием света нанопорошка диоксида титана не констатированы посторонние химические примеси. По результатам метода тепловой десорбции азота удельная поверхность порошка диоксида титана составила 67–70 м²/г, средний рассчитанный размер частиц — 20–22 нм. Методом оптической микроскопии показано, что средняя толщина оксидного слоя (фаза рутил) составляет 15±5 мкм, анатаза — 70±10 мкм, сила адгезии между оксидным слоем (фаза рутил) и титановой основой — 6,3±0,1 МПа, при нанесении анатаза — 4,9±0,1 МПа. При исследовании силы адгезии функционального диоксидтитанового покрытия с титановой основой установлено, что начало отслоения происходит при нагрузке 8,6 Н.

Выводы. Проведенные исследования высокоразвитого функционального поверхностного слоя наноструктурированного диоксида титана свидетельствуют о широких возможностях его применения в практической деятельности врача-стоматолога.

Ключевые слова: диоксид титана, функциональное покрытие, сила адгезии, дентальная имплантация, нанопорошок

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Адрес для переписки:

Оксана Александровна ШУЛЯТНИКОВА

614007, г. Пермь, ул. Революции, д. 18, кв. 15

Тел.: +7 (902) 8386222

anasko06@mail.ru

Correspondence address:

Oksana A. SHULIATNIKOVA

614007, Perm, Revolution str., 18-15

Тел.: +7 (902) 8386222

anasko06@mail.ru

Образец цитирования:

Шулятникова О. А., Рогожников Г. И., Порозова С. Е.,

Рогожников А. Г., Леушина Е. И.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ТИТАНА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ
Проблемы стоматологии, 2020, т. 16, № 1, стр. 171—177

© Шулятникова О. А. и др. 2020

DOI: 10.18481/2077-7566-2020-16-171-177

For citation:

Shulyatnikova O. A., Rogozhnikov G. I., Porozova S. E.,

Rogozhnikov A. G., Leushina E. I.

FUNCTIONAL NANOSTRUCTURED MATERIALS BASED ON TITANIUM DIOXIDE FOR USE IN ORTHOPEDIC DENTISTRY
Actual problems in dentistry, 2020, vol. 16, № 1, pp. 171—177

© Shulyatnikova O. A. et al. 2020

DOI: 10.18481/2077-7566-2020-16-171-177

DOI: 10.18481/2077-7566-20-16-1-171-177

FUNCTIONAL NANOSTRUCTURED MATERIALS BASED ON TITANIUM DIOXIDE FOR USE IN ORTHOPEDIC DENTISTRY

Shulyatnikova O. A.¹, Rogozhnikov G. I.¹, Porozova S. E.², Rogozhnikov A. G.¹, Leushina E. I.¹

¹ Perm State Medical University named after Academician E. A. Wagner, Perm, Russia

² Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

Abstract

Subject. The creation of functional ceramic coatings based on titanium dioxide for the manufacture of orthopedic structures, including dental implants and systems for osteosynthesis, helps to prevent possible complications during dental surgical and orthopedic treatment by improving the processes of osseointegration.

The goal is to develop domestic proprietary technology for producing nanopowders and functional coatings based on titanium dioxide, free of chemical impurities, which can be used in the practice of orthopedic dentistry for the construction of dental and maxillary prostheses, as well as implant systems.

Methodology. The authors developed and proposed a method for applying to medical devices made of titanium, a nanostructured surface layer of titanium dioxide. To provide an evidence base for the advantages of using the proposed titanium dioxide coating, an experimental study was made of its chemical uniformity and freedom from impurities, as well as an assessment of the adhesion force between the oxide layer deposited by titanium dioxide in the anatase phase and the surface of the titanium support.

Results. During Raman spectroscopy, titanium dioxide nanopowder did not detect extraneous chemical impurities. According to the results of the method of thermal desorption of nitrogen, the specific surface of the titanium dioxide powder was 67-70 m²/g, and the average calculated particle size was 20-22 nm. It was shown by optical microscopy that the average thickness of the oxide layer (rutile phase) is 15 ± 5 μm, anatase is 70 ± 10 μm, the adhesion force between the oxide layer (rutile phase) and the titanium base is 6.3 ± 0.1 MPa, at applying anatase — 4.9 ± 0.1 MPa. In the study of the adhesion force of a functional titanium dioxide coating with a titanium base, it was found that the onset of peeling occurs at a load of 8.6 N.

Conclusions. Studies of a highly developed functional surface layer of nanostructured titanium dioxide indicate the wide possibilities of its use in the practice of a dentist.

Keywords: titanium dioxide, functional coating, adhesion force, dental implantation, nanopowder

The authors declare no conflict of interest.

Введение

Прогресс в области создания высокофункциональных покрытий способствует совершенствованию конструкционных материалов в ортопедической стоматологии и реконструктивно-восстановительной хирургии челюстно-лицевой области. Так, в последнее десятилетие широкое применение находят имплантационные системы из титана, циркония, полимеров, керамики [1—9]. Следует отметить, что при изготовлении эндопротезов определенным интересом представляет именно пористая керамика, которая хорошо переносится тканями организма и обеспечивает улучшенные остеоинтеграционные процессы. Однако ее активное применение ограничено высокой твердостью, низкой механической прочностью и склонностью к образованию трещин [10]. В связи с этим особое значение и перспективы приобретает нанесение на металлические основы имплантационных систем и систем для остеосинтеза поверхностных керамических функциональных покрытий, обладающих хорошей биосовместимостью, улучшенными остеоинтеграционными свойствами с высокими прочностными характеристиками [11, 12]. Одним из таких функциональных керамических покрытий является диоксид титана [13, 14].

В настоящее время область применения диоксида титана достаточно широка: от нефтехимической промышленности, систем обеспечения экологической безопасности до конструкционных материалов, используемых в медицине и, в частности, стоматологии. Данный факт связан с уникальным комплексом свойств диоксидтитановой керамики. При этом, кроме компактированных керамических конструкционных материалов, для стоматологического материаловедения особый интерес представляет использование нанопорошка диоксида титана и материалов на его основе, что открывает новые перспективы в ортопедической стоматологии при конструировании зубных и челюстных протезов [15—19].

На сегодняшний день известно, что свойства субмикронных порошков диоксида титана зависят от условий его получения. Тем не менее, несмотря на значительное число работ, посвященных синтезу диоксида титана, тема не потеряла своей актуальности. Кроме этого, встречаются отдельные работы по изучению консолидации и спекания отечественных нанопорошков для получения компактированного диоксида титана и наноструктурированных функциональных поверхностей на его основе [20, 21].

Цель данной работы — разработка отечественной авторской технологии получения нанопорошка и функционального покрытия на основе диоксида титана, свободных от химических примесей, которые могут найти применение в практике ортопедической стоматологии для конструирования зубных и челюстных протезов, а также имплантационных систем.

Материалы и методы исследования

Оригинальная технология синтеза диоксида титана была осуществлена из водно-этанольного раствора хлорида титана (III) с полимерными добавками обратным осаждением аммиачно-ацетатным буферным раствором (pH=5). Следует отметить, что использованные полимерные добавки (агар-агар, поливиниловый спирт) за счет комплексообразования с гидроксидом титана позволяли стабилизировать размер частиц

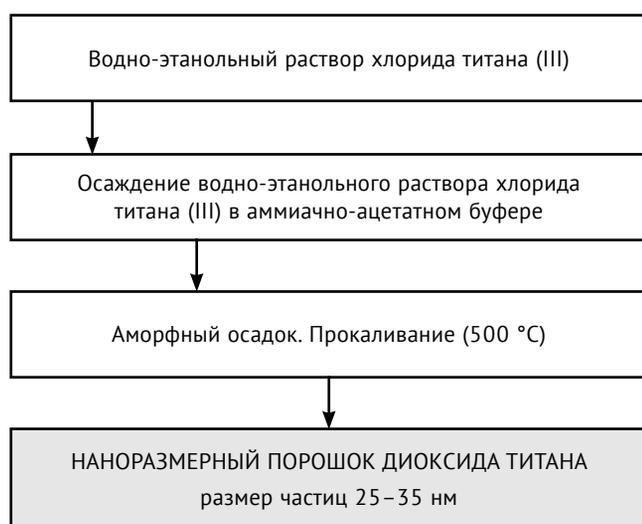


Рис. 1. Схема этапов получения наноразмерного порошка диоксида титана

Fig. 1. The scheme of the stages of obtaining nanoscale titanium dioxide

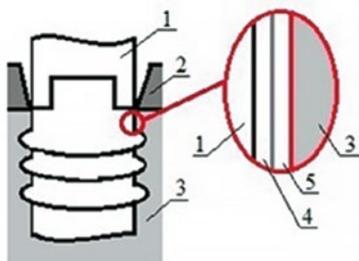


Рис. 2. Схема конструкции титанового имплантата с модифицированной поверхностью:

1 — имплантат; 2 — кортикальный слой кости;
3 — губчатый слой кости; 4 — слой оксида титана (фаза рутил); 5 — слой оксида титана (фаза анатаз)

Fig. 2. Design scheme of a titanium implant with a modified surface:

1 — implant; 2 — cortical layer of bone; 3 — layer of bone; 4 — layer of titanium oxide (rutile phase); 5 — layer of titanium oxide (anatase phase)

синтезируемого нанопорошка, а этанол — улучшить распределение продуктов реакции в объеме жидкости [22]. Схема этапов получения наноразмерного порошка диоксида титана представлена на рис. 1.

Синтезированный нанопорошок диоксида титана требовал материального подтверждения химической однородности и свободы от примесей, так как они могут оказывать негативное влияние на физико-механические свойства конструкционного материала, его наноструктуру и вызывать нежелательные реакции со стороны организма. Для этого исследовали фазовый состав диоксида титана, полученного при разложении осадка нанопорошка методом спектроскопии комбинационного рассеяния света (КР-спектроскопии). Кроме этого, методом тепловой десорбции азота определяли удельную поверхность нанопорошка диоксида титана.

Оригинальная методика синтеза нанопорошка диоксида титана явилась базой для отработки технологии получения наноструктурированного функционального покрытия, которое может быть использовано в конструкциях имплантационных систем, зубных и челюстных протезов. Так, с целью улучшения остеоинтеграционной активности и эксплуатационных характеристик ортопедических конструкций в агрессивной среде организма предложена дополнительная поверхностная технологическая обработка сплава титана. Основной задачей при этом стало получение равномерного функционального покрытия, не содержащего токсичных компонентов и примесей [23, 24].

На подготовительном этапе получения функционального диоксидтитанового покрытия экспериментальные образцы из сплава титана выдерживали в 5М-растворе ортофосфорной кислоты (pH=4) при комнатной температуре в течение 1 часа. Следует отметить, что фосфатирование титана приводит к глубокой пассивации поверхности и существенно замедляет скорость оксидирования титана. Далее образцы тщательно промывали в дистиллированной воде до исчезновения кислой реакции среды, обрабатывали этиловым спиртом, сушили и прокаливали при температуре 800 °C для формирования оксидированного слоя на их поверхности. Все манипуляции проводили, избегая контакта с не прошедшими предварительную очистку поверхностями. Полученный наноструктурированный слой диоксида титана отличался высокой плотностью и равномерным распределением по поверхности металла, что легко идентифицировали по характерной для тонких слоев рутила на поверхности титана синеватой окраске.

Охлажденные после термической обработки экспериментальные образцы помещали в золь, полученный гидролизом тетрахлорида титана, и выдерживали в течение 60 минут при постоянном перемешивании. Образцы с нанесенным слоем сушили в эксикаторе до постоянного веса и нагревали в муфельной печи

до температуры 500—550 °С в воздушной атмосфере для перехода продуктов гидролиза тетрахлорида титана в наиболее активную низкотемпературную форму наноструктурированного диоксида титана — анатаз. При этом получали прочно связанный с поверхностью рутила слой анатаза. Основным преимуществом данного способа явилась легкость осуществления, не требующая применения дополнительного дорогостоящего оборудования. Схема модифицированной поверхности дентального имплантата представлена на рис. 2.

Важно не допускать прямого контакта кортикальной кости с собственно имплантатом, поэтому во время медицинского вмешательства (операции дентальной имплантации) основной контакт резьбовой части имплантата осуществляется с губчатой костью, прочность которой равна 1,2 МПа, пористость — не более 40 %. С целью изучения возможности применения разработанного покрытия в реальных условиях дентальной имплантации или операции остеосинтеза была рассчитана сила адгезии между оксидным слоем с нанесенным анатазом и поверхностью титанового имплантата. Адгезию покрытия определяли методом нанесения царапины (*scratch-test*) на приборе Revatest Scratch XpressPlus (CSM Instruments, Switzerland) с применением алмазного индентора (радиус — 200 мкм).

Результаты и их обсуждение

При исследовании КР-спектров нанопорошка диоксида титана не констатированы посторонние химические примеси, а на пике температуры в 310 °С была зафиксирована только низкотемпературная форма диоксида титана — анатаз, который отличается высоким уровнем кристаллизации. Появление наряду с анатазом высокотемпературной формы диоксида титана (рутила) было отмечено при прокаливании до 900—950 °С. По результатам метода тепловой десорбции азота удельная поверхность порошка диоксида титана составила 67-70 м²/г (средний рассчитанный размер частиц — 20-22 нм). На рис. 3 приведено СЭМ-изображение порошка, полученное на сканирующем электронном микроскопе ULTRA 55 (Carl Zeiss, Германия) с размером агломератов 300—600 нм, а частиц — 30—35 нм.

В результате исследований силы адгезии функционального диоксидтитанового покрытия с титановой основой методом нанесения царапины (*scratch-test*) по описанной выше методике были получены график зависимости акустического сигнала от нагрузки (рис. 4а) и изображение поверхности с нанесенной царапиной (рис. 4б).

Установлено, что начало отслоения модифицирующего слоя от материала-основы происходит при нагрузке 8,6 Н. Расчет силы адгезии проводился по формуле, приведенной в «Справочнике оператора установок по нанесению покрытий в вакууме» [25]

$$F_{\text{адг}} = P / \pi a \sqrt{r^2 - a^2},$$

где P — нагрузка при отрыве; a — ширина канала царапины; r — радиус иглы.

Сила адгезии между оксидным слоем (фаза рутил) и титановой основой составила 6,3±0,1 МПа, после нанесения анатаза она уменьшилась до 4,9±0,1 МПа. Таким образом, сила адгезии покрытия больше прочности губчатой кости в 4 раза и при имплантации штифта в губчатую кость диоксидтитановое покрытие не будет подвергаться разрушению или отслоению.

Дополнительно был исследован фазовый состав поверхности после нанесения царапин (рис. 5). Установлено, что в центре (см. рис. 3б, зона 3), на границе (зона 2) и модифицированной поверхности (зона 1) канавки царапины присутствуют как характерные пики фазы рутил (609 и 446 см⁻¹), так и пики фазы

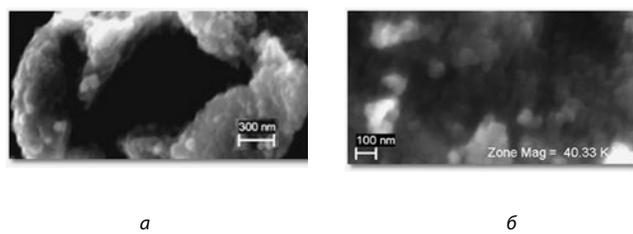


Рис. 3. СЭМ-изображения полученного нанопорошка диоксида титана: а — общий вид агломератов порошка, ×25000; б — частицы порошка, ×40000

Fig. 3. SEM-images of the obtained titanium dioxide nanopowder: a — general view of the powder agglomerates, × 25000; b — powder particles, × 40000

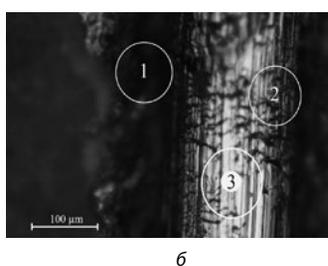
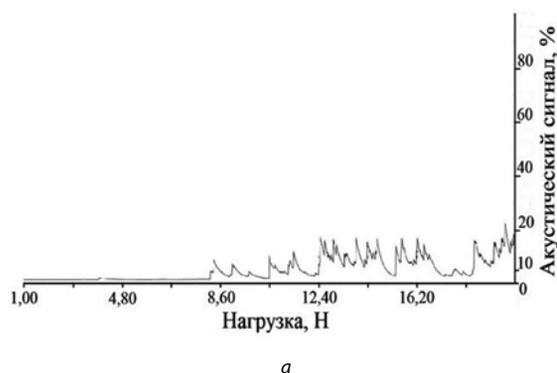


Рис. 4. Зависимость акустического сигнала от нагрузки (а) и изображение поверхности диоксидтитанового покрытия с нанесенной царапиной (б)

Fig. 4. The dependence of the acoustic signal on the load (a) and the surface image of the titanium dioxide coating with a scratch (b)

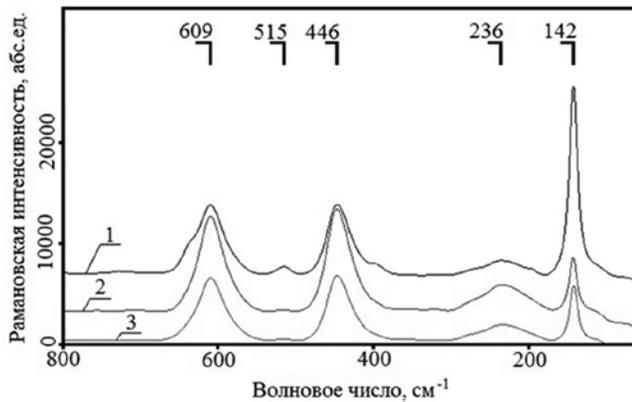


Рис. 5. КР-спектры в области scratch-теста. Нумерация спектров соответствует обозначениям на рис. 4

Fig. 5. Raman spectra in the scratch test area. The numbering of the spectra corresponds to the notation in fig. 4

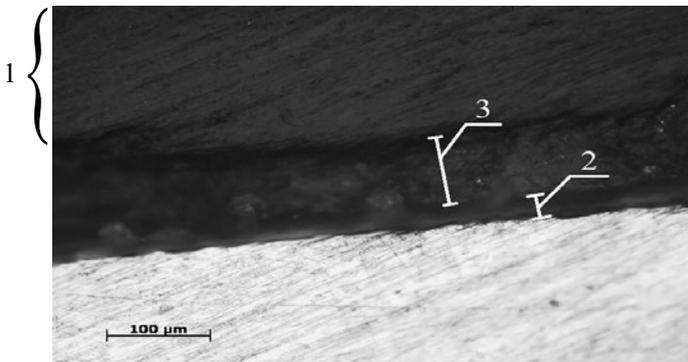


Рис. 6. Оптическая микроскопия профиля титанового дентального имплантата с модифицированной поверхностью: 1 — материал-основа (титан); 2 — оксидный слой (фаза рутил); 3 — оксидный слой (фаза анатаз)

Fig. 6. Optical microscopy of the profile of a titanium dental implant with a modified surface: 1 — base material (titanium); 2 — oxide layer (rutile phase); 3 — oxide layer (anatase phase)

анатаз (515 и 142 cm^{-1}). Наличие пиков рутила и анатаза указывает на то, что даже после значительного механического воздействия на поверхность титанового имплантата ее модифицирующие компоненты сохраняются.

С помощью оптического микроскопа (рис. 6) исследовали профиль титанового имплантата с моди-

фицированной поверхностью. При этом установлено, что средняя толщина оксидного слоя (фазы рутила) составляет 15 ± 5 мкм, средняя толщина слоя анатаза — 70 ± 10 мкм.

Известно, что размер структурной единицы компактного вещества костной ткани (остеона) составляет от 20 до 300 мкм, ультраструктуры костной ткани (остеоцита) — 15—45 мкм, от тел остеоцитов отходят длинные (50—60 мкм) цитоплазматические отростки толщиной 5–6 мкм. Кроме этого, ранее проведенные Путляевым В. И. исследования свидетельствуют о том, что для быстрого прорастания костной ткани в имплантат необходимо наличие в последнем пор размером 100—150 мкм [26]. Предварительно проведенная нами сканирующая электронная микроскопия экспериментальных образцов с поверхностным наноструктурированным слоем диоксида титана показала наличие ламеллярных структур с пористостью соответствующего размера, что может обеспечивать хорошую циркуляцию биожидкостей на границе костная ткань/конструкционный материал с адгезией остеобластов, а затем остеоцитов с их отростками в нано- и микропространстве имплантированного материала и формированием матрикса. Кроме этого, адгезия активных клеток крови также легче происходит на материалах, имеющих развитую поверхность в виде микрорельефа и «шероховатости», чем ускоряется процесс костеобразования (биологическая фиксация имплантата) с обеспечением биоинтеграционных и биосовместимых параметров.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о наличии высокоразвитого поверхностного слоя наноструктурированного диоксида титана, полученного по оригинальной технологии, который в состоянии обеспечить ускоренную посттравматическую регенерацию костной ткани с увеличением не только биосовместимости, но и прочности кости по сравнению с теми же процессами, происходящими при использовании стандартного титанового сплава, не имеющего функционального поверхностного слоя.

Литература

1. Баринов, С. М. Керамические и композиционные материалы на основе фосфатов кальция для медицины / С. М. Баринов // Успехи химии. — 2010. — № 1 (79). — С. 15–32. doi.org/10.1070/RC2010v079n01ABEH004098
2. Лебеденко, И. Ю. Использование отечественных сплавов благородных металлов в ортопедической стоматологии / И. Ю. Лебеденко, В. А. Парунов, С. В. Анисимова // Стоматология. — 2006. — № 5. — С. 52–55.
3. Улучшение функциональных характеристик интрамедулярных имплантатов путем нанесения многослойных биосовместимых покрытий / Н. Н. Богомолова, А. И. Мальнихина, Е. В. Шестериков, С. И. Твердохлебов [и др.] // Материалы III Международной научно-практической конференции. Особенности формирования наноструктурированных биокерамических покрытий. — Томск, 2013. — С. 17–21.
4. Жолудев, С. Е. Металлы и сплавы, применяемые в ортопедической стоматологии / С. Е. Жолудев. — Екатеринбург, 1995. — 70 с.
5. Кипарисов, Ю. С. Эффективность ортопедического лечения пациентов с приобретенными дефектами челюстно-лицевой области с применением дентальных мини-имплантатов / Ю. С. Кипарисов // Пермский медицинский журнал. — 2016. — № 3 (33). — С. 110–114.
6. Сплавы титана в ортопедической стоматологии / Г. И. Рогожников, В. А. Четвертных [и др.]. — Пермь: Пермская государственная медицинская академия, 2007. — 192 с.
7. Трофимов, В. В. Титан, сплавы титана и применение их в стоматологии / В. В. Трофимов, О. В. Федчишин, В. А. Клименов // Сибирский медицинский журнал. — 2009. — № 7 (90). — С. 10–12.
8. Prosthetic treatments for patients with oronasal communication / M. C. Goiato, D. M. dos Santos, A. J. Moreno [et al.] // Cranioface Surg. — 2011. — № 22 (4). — P. 1445–1447.

9. Clinical outcome of metal-ceramic crowns fabricated with laser-sintering technology/M.A. Tara, S. Eschbach, F. Bohlsen, M. Kern // *Int. J. Prosthodont.* – 2011. – № 24. – P. 46–48.
10. Анциферов, В. Н. Нанотехнологии и наноматериалы, риски/В. Н. Анциферов, И. В. Анциферова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2014. – 222 с.
11. Закономерности формирования биоактивных/биоинертных покрытий и их влияние на свойства медицинских титановых сплавов/Ю. Р. Колобов, Г. В. Храмов, С. И. Кудряшов, А. Ю. Колобова // *Материалы Международной научно-практической конференции «Новые технологии создания и применения биокерамики в восстановительной медицине»*. – Томск, 2010. – С. 107–112.
12. Формирование биосовместимых покрытий с заданными свойствами/В. П. Игнатов [и др.] // *Биоматериалы в медицине: сборник тезисов докладов. Всероссийское совещание*. – Москва, 2009. – С. 43–44.
13. Шулятникова, О. А. Морфологическое исследование органов и тканей экспериментальных животных при внутримышечной имплантации диоксидтитановых образцов с наноструктурированной поверхностью (экспериментально-лабораторное исследование)/О. А. Шулятникова, Г. И. Рогожников // *Уральский медицинский журнал*. – 2017. – № 3 (147). – С. 63–67.
14. Улучшение функциональных характеристик интрамедуллярных имплантатов путем нанесения многослойных биосовместимых покрытий/Н. Н. Богомолова, А. И. Мальчихина, Е. В. Шестериков [и др.] // *Материалы III Международной научно-практической конференции. Особенности формирования наноструктурированных биокерамических покрытий*. – Томск, 2013. – С. 17–21.
15. Лазерное модифицирование титановых имплантатов с целью улучшения клеточной адгезии/А. Heinrich, K. Dengler [et al.] // *Стоматолог-практик*. – 2014. – № 4. – С. 7–9.
16. Материалы для покрытия имплантатов и керамика на основе гидроксиапатита с замещениями/М. В. Чайкина, Н. В. Булина, И. Ю. Просанов [и др.] // *Материалы Международной научно-практической конференции «Новые технологии создания и применения биокерамики в восстановительной медицине»*. – Томск, 2010. – С. 190–196.
17. Лясникова, А. В. Технология создания многофункциональных композиционных покрытий/А. В. Лясникова, О. А. Дударева. – Москва: Спецкнига, 2012. – 301 с.
18. Мельникова, И. П. Исследование возможности повышения функциональных характеристик биосовместимых покрытий медицинских имплантатов за счет изменения морфологии частиц порошков перед электроплазменным напылением/И. П. Мельникова, А. В. Лясникова, В. Н. Лясников // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. – 2010. – № 3 (46). – С. 68–76.
19. Мельникова, И. П. Особенности формирования наноструктурированных биокерамических покрытий/И. П. Мельникова, А. В. Лясникова, В. Н. Лясников // *Материалы III Международной научно-практической конференции*. – Томск, 2013. – С. 107–112.
20. Синтез и свойства нанопорошка диоксида титана для получения функциональных материалов/А. А. Гуров, В. И. Карманов, С. Е. Порозова, В. О. Шоков // *Вестник ПНИПУ: Машиностроение, материаловедение*. – 2014. – № 1. – С. 23–29.
21. Гуров, А. А. Создание полифазных керамических образцов на основе наноразмерного диоксида титана/А. А. Гуров, С. Е. Порозова // *Master's Journal*. – 2016. – № 1. – С. 36–40.
22. Гуров, А. А. Получение диоксида титана из водно-этанольных растворов с полимерными добавками/А. А. Гуров, С. Е. Порозова // *Сб. материалов III Всероссийской молодежной конференции с элементами научной школы «Функциональные материалы и высококачественные вещества»*. – Москва: ИМЕТ РАН, РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. – С. 187–188.
23. Способ модифицирования поверхности титановых имплантатов/А. А. Гуров, С. Е. Порозова, О. А. Шулятникова, А. Г. Рогожников // *Официальный бюллетень. Изобретения, полезные модели*. – 2017. – № 26 (2630578). – С. 3.
24. Дентальный имплантат/О. А. Шулятникова, Г. И. Рогожников, С. Е. Порозова, В. П. Коробов, А. Г. Рогожников, Л. М. Лемкина // *Официальный бюллетень. Изобретения, полезные модели*. – 2015. – № 22 (153902). – С. 3.
25. Справочник оператора установок по нанесению покрытий в вакууме/А. И. Кострицкий, В. Ф. Карпов, М. П. Кабанченко [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1991. – 176 с.
26. Путляев, В. И. Современные биокерамические материалы/В. И. Путляев // *Соросовский образовательный журнал*. – 2004. – № 1 (8). – С. 44–50.

References

1. Barinov, S. M. (2010). Keramicheskiye i kompozitsionnyye materialy na osnove fosfatov kal'tsiya dlya meditsiny [Ceramic and composite materials based on calcium phosphates for medicine]. *Uspekhi khimii [Success of chemistry]*, 1 (79), 15–32. (In Russ.) doi.org/10.1070/RC2010v079n01ABEH004098
2. Lebedenko, I. Yu., Parunov, V. A., Anisimova, S. V. (2006). Ispol'zovaniye otechestvennykh spлавov biologirodnykh metallov v ortopedicheskoy stomatologii [The use of domestic alloys of precious metals in orthopedic dentistry]. *Stomatologiya [Dentistry]*, 5, 52–55. (In Russ.)
3. Bogomolova, N. N., Malchikhina, A. I., Shesterikov, E. V., Tverdokhlebov, S. I. et al. (2013). Uluchsheniye funktsional'nykh kharakteristik intramedullyarnykh implantatov putem primeneniya mnogoslonykh biosovmestimykh pokrytiy [Improving the functional characteristics of intramedullary implants by applying multilayer biocompatible coatings]. *Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Osobennosti formirovaniya nanostrukturirovannykh biokeramicheskikh pokrytiy [Materials of the III International Scientific and Practical Conference. Features of the formation of nanostructured bioceramic coatings]*, Tomsk, 17–21. (In Russ.)
4. Zholudev, S. E. (1995). *Metally i splavy, primenyayemye v ortopedicheskoy stomatologii [Metals and alloys used in orthopedic dentistry]*. Ekaterinburg, 70. (In Russ.)
5. Kiparisov, Yu. S. (2016). Effektivnost' ortopedicheskogo lecheniya patsiyentov s defektami chelyustno-litsevoy oblasti s uchetom dental'nykh mini-implantatov [The effectiveness of orthopedic treatment of patients with acquired defects of the maxillofacial region using dental mini-implants]. *Permskiy meditsinskiy zhurnal [Perm Medical Journal]*, 3 (33), 110–114. (In Russ.)
6. Rogozhnikov, G. I., Chetvertnykh, V. A. et al. (2007). *Splavy titana v ortopedicheskoy stomatologii [Titanium alloys in orthopedic dentistry]*. Perm: Perm State Medical Academy, 192. (In Russ.)
7. Trofimov, V. V., Fedchishin, O. V., Klimenov, V. A. (2009). Titan, splavy titana i primeneniye ikh v stomatologii [Titanium, titanium alloys and their use in dentistry]. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal [Siberian Medical Journal]*, 7 (90), 10–12. (In Russ.)
8. Goiato, M. C., dos Santos, D. M., Moreno, A. et al. (2011). Prosthetic treatments for patients with oronasal communication. *J. Craniofac Surg*, 22 (4), 1445–1447.
9. Tara, M. A., Eschbach, S., Bohlsen, F., Kern, M. (2011). Clinical outcome of metal-ceramic crowns fabricated with laser-sintering technology. *Int. J. Prosthodont*, 24, 46–48.
10. Antsiferov, V. N., Antsiferova, I. V. (2014). *Nanotekhnologii i nanomaterialy, riski [Nanotechnology and nanomaterials, risks]*. Ekaterinburg: Ural Branch of RAS, 222. (In Russ.)
11. Kolobov, Yu. R., Khranov, G. V., Kudryashov, S. I., Kolobova, A. Yu. (2010). Zakonomernosti formirovaniya bioaktivnykh/bioinertnykh pokrytiy i ikh vliyaniye na svoystva meditsinskikh titanovykh spлавov [Patterns of formation of bioactive/bioinert coatings and their effect on the properties of medical titanium alloys]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Novyye tekhnologii sozdaniya i primeneniya biokeramiki v vosstanovitel'noy meditsine» [Materials of the International scientific-practical conference «New technologies for the creation and use of bioceramics in regenerative medicine»]*, Tomsk, 107–112. (In Russ.)
12. Ignatov, V. P. et al. (2009). Formirovaniye biosovmestimykh pokrytiy s zadannymi svoystvami [Formation of biocompatible coatings with desired properties]. *Sbornik tezisov dokladov «Biomaterialy v meditsine». Vserossiyskoye soveshchaniye [Collection of abstracts of reports «Biomaterials in medicine». All-Russian meeting]*, Moscow, 43–44. (In Russ.)
13. Shuliatnikova, O. A., Rogozhnikov, G. I. (2017). Morfoloicheskoye issledovaniye organov i tkaney eksperimental'nykh zhivotnykh pri vntrimyshechnoy implantatsii dioksidititanovykh obraztsov s nanostrukturirovannoy poverkhnost'yu (eksperimental'no-laboratornoye issledovaniye [Morphological study of organs and tissues of experimental animals during intramuscular implantation of titanium dioxide samples with nanostructured surface (experimental laboratory study)]. *Ural'skiy meditsinskiy zhurnal [Ural Medical Journal]*, 3 (147), 63–67. (In Russ.)
14. Bogomolova, N. N., Malchikhina, A. I., Shesterikov, E. V. et al. (2013). Uluchsheniye funktsional'nykh kharakteristik intramedullyarnykh implantatov putem naneseniya mnogoslonykh biosovmestimykh pokrytiy [Improving the functional characteristics of intramedullary implants by applying multilayer biocompatible coatings]. *Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Osobennosti formirovaniya nanostrukturirovannykh biokeramicheskikh pokrytiy [Materials of the III International Scientific and Practical Conference. Features of the formation of nanostructured bioceramic coatings]*, Tomsk, 17–21. (In Russ.)
15. Heinrich, A., Dengler, K., et al. (2014). Lazernoye modifitsirovaniye titanovykh implantatov s tsel'yu uluchsheniya kletochnoy adgezii [Laser modification of titanium implants to improve cell adhesion]. *Stomatolog-praktik [Dental practitioner]*, 4, 7–9. (In Russ.)
16. Chaykina, M. V., Bulina, N. V., Prosanov, I. Yu. et al. (2010). Materialy dlya pokrytiya implantatov i keramika na osnove gidroksiapatita s zameshcheniyami [Materials for coating implants and ceramics based on hydroxyapatite with substitutions]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Novyye tekhnologii sozdaniya i primeneniya biokeramiki v vosstanovitel'noy meditsine» [Materials of the International scientific-practical conference «New technologies for the creation and use of bioceramics in regenerative medicine»]*, Tomsk, 190–196. (In Russ.)

17. Lyasnikova, A. V., Dudareva, O. A. (2012). *Tekhnologiya sozdaniya mnogofunktional'nykh kompozitsionnykh pokrytiy [Technology for creating multifunctional composite coatings]*. Moscow: Special book, 301. (In Russ.)
18. Melnikova, I. P., Lyasnikova, A. V., Lyasnikov, V. N. (2010). Issledovaniye vozmozhnosti povysheniya funktsional'nykh kharakteristik biosovmestimyykh pokrytiy meditsinskikh implantatov za schet izmeneniya morfologii chastits poroshkov pered elektroplazmennym napyleniyem [Investigation of the possibility of increasing the functional characteristics of biocompatible coatings of medical implants by changing the morphology of powder particles before electroplasma spraying]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Saratov State Technical University]*, 3 (46), 68–76. (In Russ.)
19. Melnikova, I. P., Lyasnikova, A. V., Lyasnikov, V. N. (2013). Osobennosti formirovaniya nanostrukturirovannykh biokeramicheskikh pokrytiy [Features of the formation of nanostructured bioceramic coatings]. *Materialy III Mezhduнародной nauchno-prakticheskoy konferentsii [Materials of the III International Scientific and Practical Conference]*, Tomsk, 107–112. (In Russ.)
20. Gurov, A. A., Karmanov, V. I., Porozova, S. E., Shokov, V. O. (2014). Sintez i svoystva nanoporoshka dioksida titana dlya polucheniya funktsional'nykh materialov [Synthesis and properties of titanium dioxide nanopowder to obtain functional materials]. *Vestnik PNIPU: Mashinostroyeniye, materialovedeniye [Bulletin of PNIPU: Engineering, materials science]*, 1, 23–29. (In Russ.)
21. Gurov, A. A., Porozova, S. E. (2016). Sozdaniye polifaznyy keramicheskikh obraztsov na osnove nanorazmernogo dioksida titana [Creating polyphase ceramic samples based on nanoscale titanium dioxide]. *Master's Journal [Master's Journal]*, 1, 36–40. (In Russ.)
22. Gurov, A. A., Porozova, S. E. (2012). Polucheniye dioksida titana iz vodno-etanol'nykh rastvorov s polimernymi dobavkami [Obtaining titanium dioxide from water-ethanol solutions with polymer additives]. *Sbornik materialov III Vserossiyskoy molodezhnoy konferentsii s elementami nauchnoy shkoly «Funktsional'nyye materialy i vysokochistyye veshchestva». M.: Izd – vo IMET RAN, RKHTU im. D. I. Mendeleeva [The collection of materials of the III All-Russian youth conference with elements of the scientific school «Functional materials and high-purity substances»]*, Moscow: Publishing House - IMET RAS, RCTU named after D.I. Mendeleev, 187–188. (In Russ.)
23. Gurov, A. A., Porozova, S. E., Rogozhnikov, A. G., Shuliatnikova, O. A. (2017). Sposob modifitsirovaniya poverkhnosti titanovykh implantatov [The method of surface modification of titanium implants]. *Ofitsial'nyy byulleten'. Izobreteniya, poleznyye modeli [Official newsletter. Inventions, utility models]*, 26 (2630578), 3. (In Russ.)
24. Shuliatnikova, O. A., Rogozhnikov, G. I., Porozova, S. E. et al. (2015). Dental'nyy implantat [Dental implant]. *Ofitsial'nyy byulleten'. Izobreteniya, poleznyye modeli [Official newsletter. Inventions, utility models]*, 22 (153902), 3. (In Russ.)
25. Kostrzhitskiy, A. I., Karpov, V. F., Kabanchenko, M. P. et al. (1991). *Spravochnik operatora ustanovok po naneseniyu pokrytiy v vakuume [Vacuum Coating Machine Operator's Guide]*. Moscow: Engineering, 176. (In Russ.)
26. Putlyaev, V. I. (2004). Sovremennyye biokeramicheskiye materialy [Modern bioceramic materials]. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal [Soros Educational Journal]*, 1 (8), 44–50. (In Russ.)

Авторы:

Оксана Александровна ШУЛЯТНИКОВА

д. м. н., доцент кафедры ортопедической стоматологии,
Пермский государственный медицинский университет
им. академика Е. А. Вагнера, г. Пермь
anasko06@mail.ru

Геннадий Иванович РОГОЖНИКОВ

д. м. н., профессор кафедры ортопедической стоматологии,
Пермский государственный медицинский университет
им. академика Е. А. Вагнера, г. Пермь
info@digident.ru

Светлана Евгеньевна ПОРОЗОВА

д. т. н., профессор кафедры «Механика композиционных материалов
и конструкций» аэрокосмического факультета, Пермский национальный
исследовательский политехнический университет, г. Пермь
sw.porozova@yandex.ru

Алексей Геннадьевич РОГОЖНИКОВ

к. м. н., доцент кафедры ортопедической стоматологии,
Пермский государственный медицинский университет
им. академика Е. А. Вагнера, г. Пермь
alekstomat@yandex.ru

Елена Александровна ЛЕУШИНА

студентка V курса стоматологического факультета,
Пермский государственный медицинский университет
им. академика Е. А. Вагнера, г. Пермь
lenaleushina1996@mail.ru

Authors:

Oksana A. SHULIATNIKOVA

MD, Associate Professor of the Dentistry Department of the
E. A. Wagner Perm State Medical University, Perm
anasko06@mail.ru

Gennadij I. ROGOZHNIKOV

MD, Professor, Head of the department of orthopedic stomatology of
Prosthetic Dentistry of the E. A. Wagner Perm State Medical University, Perm
info@digident.ru

Svetlana E. POROZOVA

TD, Professor, Department of Mechanics of Composite
Materials and Structures, Department of Aerospace, Perm
National Research Polytechnic University, Perm
sw.porozova@yandex.ru

Aleksey G. ROGOZHNIKOV

Ph. D. in Medicine, Associate Professor of the Dentistry Department
of the E. A. Wagner Perm State Medical University, Perm
alekstomat@yandex.ru

Elena A. LEUSHINA

Fifth year student of the Faculty of Dentistry, Higher Professional
Education of the E. A. Wagner Perm State Medical University, Perm
lenaleushina1996@mail.ru