



RESEARCH ARTICLE
3. Medical sciences

УДК 617-089,844

Corresponding Author: Novikov Sergey Victorovich – Associate Professor, Department of Surgical Dentistry and Oral and Maxillofacial Surgery, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, St. Petersburg
E-mail: Alexandroff98@gmail.com

@Novikov C.V., Tamazov I.D., Matveev A.I.,
Topoljanskij P.A., Topoljanskij A.P. - 2024

*** | Accepted: 10.04.2024

<http://dx.doi.org/10.26787/nydha-2686-6838-2024-26-4-6-14>

СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ НА ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТАХ С БАРЬЕРНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Новиков¹ С.В., Тамазов¹ И.Д., Матвеев¹ А.И.,
Тополянский¹ П.А., Тополянский² А.П.

¹ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

²ООО «Плазмацентр», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Разработано биосовместимое стеклокерамическое покрытие на основе кремния, углерода и азота — Pateks и технология его нанесения на дентальные имплантаты методом PECVD.

Цель исследования — оценить успешность оптимизации поверхности легированных титановых внутрикостных дентальных имплантатов разработанным барьерным стеклокерамическим покрытием с помощью физико-химических, цитологических и спектрофотометрических исследований. Материалы и методы. Для проведения исследований использовались образцы титановых дентальных имплантатов (grade 5) BioMed. На часть из них с помощью, разработанной нами технологии наносилось покрытие Pateks. Для проведения цитологического исследования использована культура клеток фибробластов легких человека, спектрофотометрические исследования проводились на атомно-абсорбционном спектрофотометре и атомно-абсорбционном спектрометре «КВАНТ-Z.ЭТА» (Россия).

Результаты. Отдельные физико-химические параметры предложенного покрытия продемонстрировали свои преимущества по сравнению с титановыми дентальными имплантатами без покрытия: уменьшение площади дефектов исходной поверхности титановых дентальных имплантатов, образовавшихся от предшествующих этапов формообразования и обработки, создание более гидрофильной поверхности, увеличение диэлектрических характеристик, а также pH среды. Покрытие Pateks безопасно для монослоя фибробластов и не угнетает дыхательные процессы в них. Нанесение стеклокерамического покрытия Pateks толщиной 0,5 мкм уменьшает содержания ионов алюминия и ванадия в модельной среде практически в 2 раза и обеспечивает барьер, способствующий снижению отрицательного биологического влияния данных ионов на периимплантные ткани.

Ключевые слова: дентальный имплантат, биоинертность, покрытие, поверхность, кремний

OPTIMIZATION OF THE SURFACE OF TITANIUM DENTAL IMPLANTS OF GRADE 5 ALLOY BY BARRIER GLASS CERAMIC COATING

Novikov¹ C.V., Tamazov¹ I.D., Matveev¹ A.I.,
Topoljanskij¹ P.A., Topoljanskij² A.P.

¹Pavlov University, Saint-Petersburg, Russian Federation

²Plasmacentre Ltd, Sydney, Australia

Abstract. Pateks — the technology of applying a biocompatible glass-ceramic coating based on silicon, carbon and nitrogen on dental implants by PECVD is developed by research and production company Plasmacentre and

Pavlov University (St. Petersburg, Russia). Purpose of the research — to evaluate the success of optimization of the surface of doped titanium endosseous dental implants which may be achieved with our glass-ceramic barrier coating technology using physicochemical, cytological and spectrophotometric researches. The main task is to carry out a comparative assessment of the studies' results between dental implants with and without Pateks glass-ceramic coating (doped with titanium alloy).

Materials and methods. Titanium implants (grade 5) from BioMed were used in this research. Some of them were coated with Pateks according to our technology. A human lung fibroblast cells culture was used for the cytological study. Spectrophotometric studies were carried out on atomic absorption spectrophotometer and a atomic absorption spectrometer KVANT-Z.ETA (Russia).

Findings. Pateks-coated implants demonstrate advantage in comparison with non-coated ones in certain physicochemical parameters such as decrease of defects' area in the initial surface of titanium implants which is formed on the previous stages of surface shaping and processing, providing higher surface hydrophilicity, increasing of dielectric characteristics and higher pH value. Pateks coating is safe for fibroblast monolayers and does not inhibit respiratory processes in them. Applying of Pateks glass-ceramic coating with a thickness of 0.5 μm reduces the content of aluminum and vanadium ions in the model medium by almost 2 times and provides a barrier that helps to reduce the negative biological effect of these ions on peri-implant tissues.

Keywords: dental implant, bioinertness, coating, surface, silicon. .

Введение. Рынок стоматологических изделий предлагает врачам-стоматологам различные системы металлических дентальных имплантатов. Все они отличаются по форме внутрикостной части, технологии изготовления и обработки поверхности [1–3]. Оптимальный материал для производства дентальных имплантатов — титан [4–6]. Легирование титана в большей степени является необходимостью, поскольку повышает технологичность чистого титана за счет снижения его пластичности для проведения различных способов модификации поверхности внутрикостной части.

В России наиболее распространены дентальные имплантаты, изготавливаемые из сплавов титана grade 5 (Ti6Al4V, российская марка — ВТ6). В этом сплаве (ISO 5832/3: 2016, ГОСТ 19807-91) содержится до 6,8% алюминия и до 4,5% ванадия. Некоторые изготовители используют сплав титана grade 4 (американский стандарт ASTM F67: 2013). Согласно нормативным документам, он является нелегированным и не содержит ванадия и алюминия, однако уступает в физико-механических характеристиках сплаву grade 5.

Изучение инсталлированных титановых дентальных имплантатов показало, что на оксидной поверхности последних проходят процессы диффузии, в результате чего в периимплантных тканях обнаруживались следы ионов металлов [7, 8]. В других исследованиях представлены данные о том, что образующаяся оксидная пленка является очень тонкой, 1–10 нм, поэтому она не защищает организм человека от

токсического влияния ионов алюминия и ванадия [9, 10].

Ионы ванадия реализуют свою цитотоксичность различными способами. Доказано, что они влияют на функции некоторых ферментов: АТФаз, протеинкиназ, рибонуклеаз и фосфатаз [11]. Также показано, что ванадий способен к изменению активности ДНК и РНК ферментов, что определяет его мутагенные и генотоксические эффекты [12]. Имеются сведения об отрицательном влиянии ионов ванадия на липидный обмен [11].

Ионы алюминия оказывают негативное действие на метаболизм костной ткани, снижают темпы минерализации путем ингибирования АТФ, а также способны к угнетению эритропоэза. Алюминий обладает свойством накопления в нервных тканях, что способствует развитию тяжелых расстройств функции ЦНС [13, 14]. В недавно проведенных научных исследованиях доказана возможность накопления ионов алюминия в тканях мозга, печени, почек и костей [15]. Имеются данные о токсическом влиянии алюминия на минеральный обмен веществ при содержании его на поверхности имплантата более 0,1% [7, 9]. Алюминий негативно воздействует на дифференциацию клеток путем конкуренции с ионами магния и кальция, и отрицательного воздействия на мембраны клеток [16].

При исследовании наиболее часто используемых систем дентальных имплантатов экспертной группой ученых выявлено, что большинство из них имеют загрязнения поверхности [17].

При изготовлении дентальных имплантатов из легированного титанового сплава используются различные технологии обработки: фрезерование, пескоструйная обработка, пассивация, анодирование, электрохимическое травление и плазменное напыление. Каждая из них имеет свои недостатки, что в итоге сказывается на качестве обрабатываемой поверхности титанового сплава [6—9, 18]. Мировое научное сообщество активно ведет работы по исследованию и внедрению плазменных технологий, как в медицине в целом [19—22], так и в стоматологии в частности [23—28], для улучшения характеристик поверхности тех или иных материалов, плазменной стерилизации, а также по использованию соединений кремния для улучшения показателей биосовместимости [29—33]. Однако для нанесения различных тонкопленочных покрытий на дентальные имплантаты в основном предлагается использовать процессы физического осаждения из паровой фазы (PVD). Для реализации этих технологий применяется наукоемкое, сложное и габаритное оборудование, эксплуатация которого требует высококвалифицированного персонала, специально оборудованного помещения,

дополнительных методов обработки. Методика нанесения нашего покрытия является простой и доступной, поскольку требует малогабаритного и низкоэнергетического оборудования.

Цель работы — оценка успешности оптимизации поверхности легированных титановых внутрикостных дентальных имплантатов разработанным нами барьерным стеклокерамическим покрытием с помощью физико-химических, цитологических и спектрофотометрических исследований.

Материалы и методы. Материалом исследования является разработанное нами биосовместимое стеклокерамическое покрытие на основе кремния, углерода и азота Pateks. Также для проведения исследований использовались образцы титановых (grade 5) дентальных имплантатов BioMed. На часть из них с помощью, разработанной нами технологии и оборудования наносилось покрытие Pateks (рис. 1). Для нанесения покрытия использовался разработанный нами метод плазменно-химического осаждения из газовой фазы, стимулированного плазмой (plasma enhanced CVD — PECVD).



Рис. 1. Нанесение на дентальный имплантат покрытия Pateks

Fig. 1. Process of applying Pateks coating to a dental implant

Физико-химические характеристики покрытия Pateks оценивались на предыдущих этапах наших исследований, в ходе которых оценивался ряд наиболее значимых характеристик поверхности дентальных имплантатов, согласно рекомендациям ISIS. Оценивали химический состав, топографию и

специфические характеристики (фрактальность, однородность, наличие микротрещин и инородных включений и частиц) поверхности дентальных имплантатов методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, сканирующей зондовой микроскопии и

другими. Дополнительно исследовали механические свойства, адгезию к подложке, краевой угол смачивания и износостойкость в условиях влияния микроабразивных частиц.

Для проведения цитологического исследования использовалось 8 образцов экспериментальных имплантатов, изготовленных из титанового сплава grade 5: 4 образца без покрытия, 4 с нанесенным предварительно стеклокерамическим покрытием толщиной 0,5—0,7 мкм (рис. 2). Проявление цитотоксических свойств определялось *in vitro* в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 10993-5. Для проведения исследования изготавливались экстракты в стерильных условиях. В качестве модельной среды для вытяжек выбрана культуральная бессывороточная среда альфа-МЕМ (БиолоТ, Россия), которая, кроме этого, использовалась в ходе определения цитотоксичности в качестве отрицательного контроля. Образцы помещали в индивидуальные стерильные пробирки, далее проводилось термостатирование при температуре 37°C. Для определения цитотоксичности использовался суточный монослой фибробластов соединительной ткани легкого эмбриона человека. Три 96-луночных планшета засеивали фибробластами

в посевной концентрации 20 тыс./мл. В течение суток клетки инкубировались в CO₂-инкубаторе при +37°C. Тестирование начинали на суточном клеточном монослое, достигшем субконфлуэнтности. Длительность экспозиции составила 72 часа в CO₂-инкубаторе. Состояние монослоя и морфологии клеток контролировали ежедневно с помощью инвертированного микроскопа «Unico» (США). Количественным тестом служила окраска тетразолиевым красителем тиазолилом голубым (Sigma, США), интенсивность которой в клетках пропорциональна активности их дыхания (тест МТТ). Результаты анализа снимали на планшетном анализаторе «Varioskan» (Thermo Fisher Scientific, США) при характеристической длине волны 550 нм.

Спектрофотометрические исследования проводились на атомно-абсорбционном спектрофотометре (Германия) и атомно-абсорбционном спектрометре «Квант-З.ЭТА» («Кортэк», Москва). Время экспозиции образцов титана в модельной среде составляло 14 суток при +37°C. В качестве модельной среды выбран 0,9% раствор хлорида натрия.



Рис. 2. Имплантат без покрытия (сверху) и с покрытием (внизу)

Fig. 2. Implant without coating (top) and with a coating (bottom)

Результаты и обсуждение. Физико-химические исследования. Установлено уменьшение площади дефектов исходной поверхности титановых дентальных имплантатов, образовавшихся от предшествующих этапов формообразования и

обработки (рис. 3), создание более гидрофильной поверхности (рис. 4), увеличение диэлектрических характеристик, а также pH среды. Наиболее значимые с клинической точки зрения характеристики представлены в табл. 1.

Табл. 1. Сравнение отдельных параметров поверхности легированного титана и стеклокерамического покрытия

Характеристика	Титан Grade 5	Покрытие
Модуль упругости, ГПа	115	127
Удельное электрическое сопротивление,	106	108
Краевой угол смачивания, °	58	36

Table 1. Comparison of individual parameters of the surface of doped titanium and glass-ceramic coating

Characteristic	Titanium Grade 5	Coverage
Elastic modulus, GPa	115	127
Specific electrical resistance, Ω·m	106	108
Contact angle, °	58	36

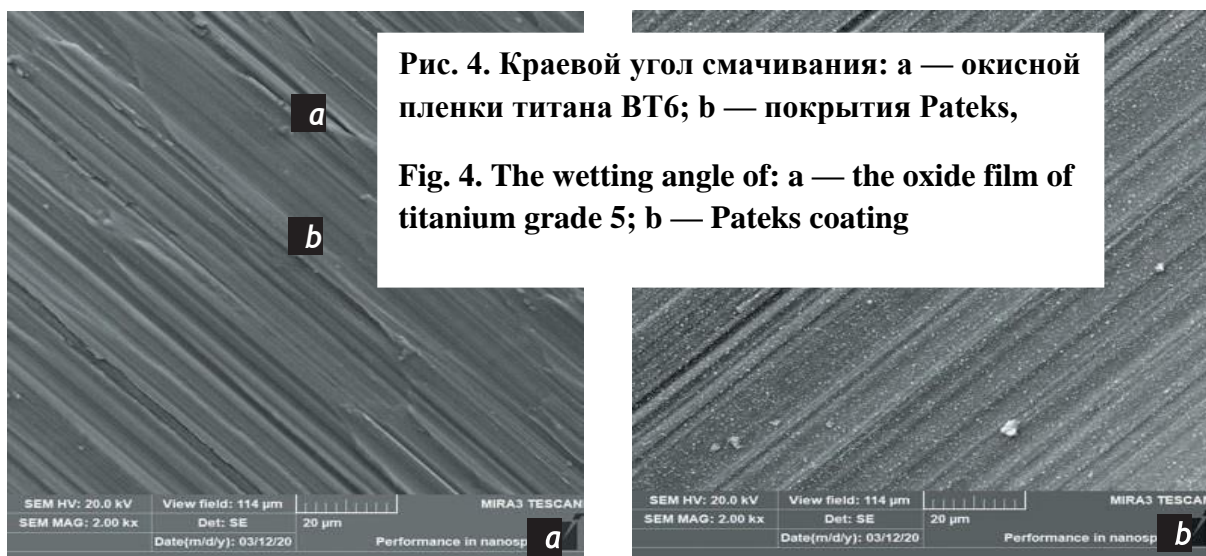


Рис. 4. Краевой угол смачивания: а — окисной пленки титана BT6; b — покрытия Pateks, Fig. 4. The wetting angle of: a — the oxide film of titanium grade 5; b — Pateks coating

Рис. 3. Электронная микрофотография поверхности дентального имплантата Biomed: а – без покрытия, b - с покрытием

Fig. 3. Electron micrograph of the surface of the Biomed dental implant: a – original, b – Patek coating.



Цитологическое исследование. В течение всего времени инкубации фибробластов с экстрактами из образцов не отмечено никаких изменений ни в морфологии клеток, ни в

состоянии монослоя в целом по сравнению с клетками в отрицательном контроле. В результате исследований выявлено, что оба вида образцов с покрытиями Pateks и

практически не действуют на клетки, как к 24-часовых, так и 72-часовых вытяжек. Клетки в присутствии 72-часовых экстрактов с имплантатами из титанового сплава grade 5 также не отличались от контрольных (табл. 2).

Таким образом, стеклокерамическое покрытие безопасно для монослоя фибробластов и не угнетает дыхательные процессы в них.

Табл. 2. Данные жизнеспособности линии диплоидных фибробластов легкого человека по результатам МТТ-теста

Материал	Экстракция 24 часа		Экстракция 72 часа	
	% от контроля	Отклонение от контроля	% от контроля	Отклонение от контроля
Покрытие	102,0±2,8	2,0	103,6±7,1	3,6
Сплав ВТ6	—	—	98,0±2,4	2,0

Table 2. Data of viability of a line of diploid fibroblasts of human lung according to the results of MTT assay

Material	Extraction 24h		Extraction 72h	
	% from control	Deviation from control	% from control	Deviation from control
Coating	102,0±2,8	2,0	103,6±7,1	3,6
Grade 5	—	—	98,0±2,4	2,0

Спектрофотометрическое исследование. Определялось содержание ионов алюминия и ванадия, переходящих в модельную среду из титанового сплава grade 5 атомно-абсорбционным анализом (табл. 3).

Табл. 3. Содержание ионов алюминия и ванадия в модельной среде, мг/л

Элемент	Норма по гигиеническим нормативам	Образец из ВТ6	Образец из ВТ6 с покрытием Pateks
Алюминий	0,5	0,09	0,05
Ванадий	0,1	0,02	<0,01

Table 3. Spectrophotometric data

Element	Standard value	Grade 5 implant	Grade 5 implant with Pateks coating
Aluminium	0,5	0,09	0,05
Vanadium	0,1	0,02	<0,01

Выводы. Уменьшение дефектов исходной поверхности титановых дентальных имплантатов после нанесения покрытия способствует снижению химической и бактериальной контаминации. Создание более гидрофильной поверхности способствует снижению угла смачиваемости последней, повышению энергии адгезионного взаимодействия и более легкому распространению местных факторов роста кости, а также увеличению белковой абсорбции на поверхности внутрикостной части дентальных имплантатов, увеличению

скорости смачиваемости крови, распространению белков фибрина и матрикса, что приводит к улучшению клеточной адгезии костной ткани и контактного остеогенеза на поверхности дентального имплантата в целом. Снижение электропроводности обуславливает снижение темпов закисления среды ткани, что в свою очередь является благоприятным фактором, препятствующим возникновению условий для усиления асептического хронического воспаления в зоне интерфейса установки дентального имплантата, снижая возможный риск

возникновения инфекционного воспаления (мукозита и периимплантита).

Нанесение стеклокерамического покрытия Pateks толщиной 0,5 мкм обеспечивает барьер и уменьшает содержания ионов алюминия и ванадия в модельной среде в 2 раза.

Заключение. Результаты экспериментальных исследований различных параметров барьерного стеклокерамического покрытия Pateks свидетельствуют об успешности оптимизации поверхности легированных титановых имплантатов данным покрытием и его безопасности, а также обосновывают возможность нанесения данных покрытий в клинических условиях. Одним из преимуществ

нанесения покрытия Pateks (системы SiOCN) на дентальные имплантаты из легированного титанового сплава является повышение показателей биоинертности, высокий уровень которой характерен для дентальных имплантатов из титана марки grade 4, при этом с сохранением тех положительных физико-механических показателей, которые свойственны сплаву марки grade 5. В ходе исследований обоснован выбор и разработан процесс нанесения биосовместимых стеклокерамических покрытий Pateks. Используемое для этих задач оборудование является малогабаритным и низкоэнергоемким, что позволяет использовать его в амбулаторных клинических условиях.

REFERENCES

- [1]. Egorov A.A., Drovosekov M.N., Aronov A.M., Rozhnova O.M., Egorov O.P. Comparative characteristics of materials used in dental implantation. Bulletin of Siberian medicine. 2014; 13 (6): 41—7 (In Russ.). eLIBRARY ID: 22931157
- [2]. Saurabh G. Titanium to ceramic dental implants: A short communication. Journal of Dental Science and Medicine. 2017; 2 (1): 1. DOI: 10.4172/2572-4835.1000116
- [3]. Sultanov A.A., Pervov Yu.Yu., Yatsenko A.K. Physical and chemical properties of implants, their interaction with surrounding tissues and environments of the oral cavity (literature review). Medical newsletter of Vyatka. 2019; 2 (62): 80—6 (In Russ.). eLIBRARY ID: 38213975
- [4]. Trofimov V.V., Fedchishin O.V., Klimenov V.A. The titan, alloys of the titan and their application in stomatology. Siberian Medical Journal (Irkutsk). 2009; 90 (7): 10—2 (In Russ.). eLIBRARY ID: 12966356
- [5]. Rupp F., Liang L., Geis-Gerstorfer J., Scheideler L., Hüttig F. Surface characteristics of dental implants: A review. Dent Mater. 2018; 34 (1): 40—57. PMID: 29029850
- [6]. Hatamleh M.M., Wu X., Alnazzawi A., Watson J., Watts D. Surface characteristics and biocompatibility of cranioplasty titanium implants following different surface treatments. Dent Mater. 2018; 34 (4): 676—83. PMID: 29398110
- [7]. Al Jabbari Y.S., Fehrman J., Barnes A.C., Zapf A.M., Zinelis S., Berzins D.W. Titanium nitride and nitrogen ion implanted coated dental materials. Coatings. 2012; 2: 160—78. DOI: 10.3390/coatings2030160
- [8]. Ehrenfest D.M.D., Coelho P.G., Kang B.-S., Sul Y.-T., Albrektsson T. Classification of osseointegrated implant surfaces: materials, chemistry and topography. Trends Biotechnol. 2010; 28 (4): 198—206. PMID: 20116873
- [9]. Novikov S.V., Tamazov I.D., Topolyanskii P.A., Topolyanskii A.P. Use of cold atmospheric plasma in dentistry. Health and Education Millennium. 2018; 20 (1): 124—7 (In Russ.). eLIBRARY ID: 32284233
- [10]. Kamalov R.Ch., Lichota A.N., Kovalenko V.V., Tinkov V.A., Gorobets E.V., Kinchur N.I., Rozova E.V. Comparative analysis of surface structure and her chemical composition at the different systems of dental implants and their influence on the level of sensibilization of organism. Clinical Dentistry (Russia). 2011; 2 (58): 44—48 (In Russ.). eLIBRARY ID: 22653169

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1]. Егоров А.А., Дровосек М.Н., Аронов А.М., Рожнова О.М., Егорова О.П. Сравнительная характеристика материалов, применяемых в стоматологической имплантации. — Бюллетень сибирской медицины. — 2014; 13 (6): 41—7. eLIBRARY ID: 22931157
- [2]. Saurabh G. Titanium to ceramic dental implants: A short communication. — Journal of Dental Science and Medicine. — 2017; 2 (1): 1. DOI: 10.4172/2572-4835.1000116
- [3]. Султанов А.А., Первов Ю.Ю., Яценко А.К. Физико-химические свойства имплантатов и их взаимодействие с окружающими тканями и средами полости рта (обзор литературы). — Вятский Медицинский Вестник. — 2019; 2 (62): 80—6. eLIBRARY ID: 38213975
- [4]. Трофимов В.В., Федчишин О.В., Клименов В.А. Титан, сплавы титана и их применение в стоматологии. — Сибирский медицинский журнал (Иркутск). — 2009; 90 (7): 10—2. eLIBRARY ID: 12966356
- [5]. Rupp F., Liang L., Geis-Gerstorfer J., Scheideler L., Hüttig F. Surface characteristics of dental implants: A review. — Dent Mater. — 2018; 34 (1): 40—57. PMID: 29029850
- [6]. Hatamleh M.M., Wu X., Alnazzawi A., Watson J., Watts D. Surface characteristics and biocompatibility of cranioplasty titanium implants following different surface treatments. — Dent Mater. — 2018; 34 (4): 676—83. PMID: 29398110
- [7]. Al Jabbari Y.S., Fehrman J., Barnes A.C., Zapf A.M., Zinelis S., Berzins D.W. Titanium nitride and nitrogen ion implanted coated dental materials. — Coatings. — 2012; 2: 160—78. DOI: 10.3390/coatings2030160
- [8]. Ehrenfest D.M.D., Coelho P.G., Kang B.-S., Sul Y.-T., Albrektsson T. Classification of osseointegrated implant surfaces: materials, chemistry and topography. — Trends Biotechnol. — 2010; 28 (4): 198—206. PMID: 20116873
- [9]. Новиков С.В., Тамазов И.Д., Тополянский П.А., Тополянский А.П. Использование холодной атмосферной плазмы в стоматологии. — Здоровье и образование в XXI веке. — 2018; 20 (1): 124—7. eLIBRARY ID: 32284233
- [10]. Камалов Р.Х., Лихота А.Н., Коваленко В.В., Тиньков В.А., Горобец Е.В., Кинчур Н.И., Розова Е.В. Сравнительный анализ структуры поверхности и ее

- [11]. Tarantin A.V., Zemlyanova M.A. Vanadium essential role and toxic effects. *Human Ecology*. 2015; 12: 59—64 (In Russ.). eLIBRARY ID: 25063260
- [12]. Choi Y., Park K., Kim I., Kim S.D. Combined toxic effect of airborne heavy metals on human lung cell line A549. *Environ Geochem Health*. 2018; 40 (1): 271—282. PMID: 27888373
- [13]. Shugalej I.V., Garabadzhiu A.V., Ilyushin M.A., Sudarikov A.M. Some aspects of effect of aluminium and its compounds on living organisms. *Russian Journal of General Chemistry*. 2013; 83: 2633—46. DOI: 10.1134/S1070363213130082
- [14]. Dolara P. Occurrence, exposure, effects, recommended intake and possible dietary use of selected trace compounds (aluminium, bismuth, cobalt, gold, lithium, nickel, silver). *Int J Food Sci Nutr*. 2014; 65 (8): 911—24. PMID: 25045935
- [15]. Igbokwe I.O., Igwenagu E., Igbokwe N.A. Aluminium toxicosis: a review of toxic actions and effects. *Interdiscip Toxicol*. 2019; 12 (2): 45—70. PMID: 32206026
- [16]. Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A., Stepankov M.S., Ignatova A.M. Scientific forecasting of toxicity and evaluation of hazard potential of aluminum oxide nanoparticles for human health. *Human Ecology*. 2018; 5: 9—15 (In Russ.). eLIBRARY ID: 34957396
- [17]. Ushakova A.I. The synopsis of the report on the study of the surfaces of 62 implant models from different manufacturers. *Russian Stomatology*. 2014; 7 (3): 57—68 (In Russ.). eLIBRARY ID: 22598402
- [18]. Shemtov-Yona K., Rittel D., Dorogoy A. Mechanical assessment of grit blasting surface treatments of dental implants. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2014; 39: 375—90. PMID: 25173238
- [19]. Demnati I., Grossin D., Combes C., Rey C. Plasma-sprayed apatite coatings: Review of physical-chemical characteristics and their biological consequences. *Journal of Medical and Biological Engineering*. 2014; 34 (1): 1—7. DOI: 10.5405/jmbe.1459
- [20]. Al-Okla S.M., Al Nazwani N.S., Al-Mudarris F.A. Overview of cold atmospheric plasma in wounds treatment. *Medical & Clinical Research*. 2020; 5 (10): 280—9. DOI: 10.33140/mcr.05.10.04
- [21]. von Woedtke T., Emmert S., Metelmann H.-R., Rupf S., Weltmann K.-D. Perspectives on cold atmospheric plasma (CAP) applications in medicine. *Physics of Plasmas*. 2020; 27 (7): 070601. DOI: 10.1063/5.0008093
- [22]. Shohet J.L. (ed.). *Encyclopedia of plasma technology*. Boca Raton (FL): CRC Press, 2016. Pp. 328—338. DOI: 10.1081/E-EPLT
- [23]. Arora V., Nikhil V., Suri N.K., Arora P. Cold atmospheric plasma (CAP) in dentistry. *Dentistry (Sunnyvale)*. 2014; 1: 189—93. DOI: 10.4172/2161-1122.1000189
- [24]. Duske K., Koban I., Kindel E., Schröder K., Nebe B., Holtfreter B., Jablonowski L., Weltmann K.D., Kocher T. Atmospheric plasma enhances wettability and cell spreading on dental implant metals. *J Clin Periodontol*. 2012; 39 (4): 400—7. PMID: 22324415
- [25]. Giro G., Tovar N., Witek L., Marin C., Silva N.R.F., Bonfante E.A., Coelho P.G. Osseointegration assessment of chairside argon-based nonthermal plasma-treated Ca-P coated dental implants. *J Biomed Mater Res A*. 2013; 101 (1): 98—103. PMID: 22826209
- [26]. Cha S., Park Y.-S. Plasma in dentistry. *Clin Plasma Med*. 2014; 2 (1): 4—10. PMID: 27030818
- [27]. Küçük D., Ercan U.K., Köseoğlu S. The fourth state of matter: Plasma and applications of atmospheric chemical composition in various dental implant systems and their influence on the level of sensibility of the organism. — *Clinical Stomatology*. — 2011; 2 (58): 44—8. eLIBRARY ID: 22653169
- [11]. Tarantin A.V., Zemlyanova M.A. Эссенциальная роль и токсические эффекты ванадия. Обзор литературы. — *Экология человека*. — 2015; 12: 59—64. eLIBRARY ID: 25063260
- [12]. Choi Y., Park K., Kim I., Kim S.D. Combined toxic effect of airborne heavy metals on human lung cell line A549. — *Environ Geochem Health*. — 2018; 40 (1): 271—282. PMID: 27888373
- [13]. Шугалей И.В., Гарабаджиу А.В., Илюшин М.А., Судариков А.М. Некоторые аспекты влияния алюминия и его соединений на живые организмы. — *Экологическая химия*. — 2012; 21 (3): 172—86. eLIBRARY ID: 22266558
- [14]. Dolara P. Occurrence, exposure, effects, recommended intake and possible dietary use of selected trace compounds (aluminium, bismuth, cobalt, gold, lithium, nickel, silver). — *Int J Food Sci Nutr*. — 2014; 65 (8): 911—24. PMID: 25045935
- [15]. Igbokwe I.O., Igwenagu E., Igbokwe N.A. Aluminium toxicosis: a review of toxic actions and effects. — *Interdiscip Toxicol*. — 2019; 12 (2): 45—70. PMID: 32206026
- [16]. Зайцева Н.В., Землякова Н.А., Степанков М.С., Игнатова А.М. Оценка токсичности и потенциальной опасности наночастиц оксида алюминия для здоровья человека. — *Экология человека*. — 2018; 5: 9—15. eLIBRARY ID: 34957396
- [17]. Ушаков А.И. Краткий обзор доклада об исследовании поверхностей 62 моделей имплантатов различных производителей. — *Российская стоматология*. — 2014; 7 (3): 57—68. eLIBRARY ID: 22598402
- [18]. Shemtov-Yona K., Rittel D., Dorogoy A. Mechanical assessment of grit blasting surface treatments of dental implants. — *J Mech Behav Biomed Mater*. — 2014; 39: 375—90. PMID: 25173238
- [19]. Demnati I., Grossin D., Combes C., Rey C. Plasma-sprayed apatite coatings: Review of physical-chemical characteristics and their biological consequences. — *Journal of Medical and Biological Engineering*. — 2014; 34 (1): 1—7. DOI: 10.5405/jmbe.1459
- [20]. Al-Okla S.M., Al Nazwani N.S., Al-Mudarris F.A. Overview of cold atmospheric plasma in wounds treatment. — *Medical & Clinical Research*. — 2020; 5 (10): 280—9. DOI: 10.33140/mcr.05.10.04
- [21]. von Woedtke T., Emmert S., Metelmann H.-R., Rupf S., Weltmann K.-D. Perspectives on cold atmospheric plasma (CAP) applications in medicine. — *Physics of Plasmas*. — 2020; 27 (7): 070601. DOI: 10.1063/5.0008093
- [22]. Shohet J.L. (ed.). *Encyclopedia of plasma technology*. — Boca Raton (FL): CRC Press, 2016. — Pp. 328—338. DOI: 10.1081/E-EPLT
- [23]. Arora V., Nikhil V., Suri N.K., Arora P. Cold atmospheric plasma (CAP) in dentistry. — *Dentistry (Sunnyvale)*. — 2014; 1: 189—93. DOI: 10.4172/2161-1122.1000189
- [24]. Duske K., Koban I., Kindel E., Schröder K., Nebe B., Holtfreter B., Jablonowski L., Weltmann K.D., Kocher T. Atmospheric plasma enhances wettability and cell spreading on dental implant metals. — *J Clin Periodontol*. — 2012; 39 (4): 400—7. PMID: 22324415
- [25]. Giro G., Tovar N., Witek L., Marin C., Silva N.R.F., Bonfante E.A., Coelho P.G. Osseointegration assessment of chairside argon-based non-thermal plasma-treated Ca-P

- pressure cold plasmas in dentistry. Yeditepe Dental Journal. 2018; 14(3): 125—36 (In Turkish). DOI: 10.5505/yeditepe.2018.09609
- [28]. Mahrous A., Mohamed S., Ahmed A. The effect of atmospheric plasma- sprayed peek implants on osseointegration. Egyptian Dental Journal. 2018; 64 (1): 733—44. DOI: 10.21608/edj.2018.78085
- [29]. Voronov I.A., Ippolitov E.V., Tsarev V.N. Confirmation of protective characteristics of new coating made of silicon carbide "Shell" in terms of modeling microbial adhesion, colonization and biodestruction based on basic orthopaedic polymers. Clinical Dentistry (Russia). 2016; 1 (77): 60—5 (In Russ.). eLIBRARY ID: 25718070
- [30]. Stephen E. Silicon carbide biotechnology. A biocompatible semiconductor for advanced biomedical devices and applications. Amsterdam: Elsevier Science, 2016. Pp. 251—268.
- [31]. Mansurova L.A. Physiological role of silicon. Siberian medical journal (Irkutsk). 2009; 90 (7): 16—8 (In Russ.). eLIBRARY ID: 12966358
- [32]. Fares C., Elhassani R., Ren F., Cabrera A.R., Chai I., Neal D., Hsu S.-M., Esquivel-Upshaw J.F. Color perceptibility and validity of silicon carbide-based protective coatings for dental ceramics. J Prosthet Dent. 2021; S0022-3913(20)30729-0. PMID: 33483139
- [33]. Esquivel-Upshaw J.F., Ren F., Hsu S.M., Dieng F.Y., Neal D., Clark A.E. Novel Testing for Corrosion of Glass-Ceramics for Dental Applications. J Dent Res. 2018; 97 (3): 296—302. PMID: 28922616
- coated dental implants. — J Biomed Mater Res A. — 2013; 101 (1): 98—103. PMID: 22826209
- [26]. Cha S., Park Y.-S. Plasma in dentistry. — Clin Plasma Med. — 2014; 2 (1): 4—10. PMID: 27030818
- [27]. Küçük D., Ercan U.K., Köseoğlu S. The fourth state of matter: Plasma and applications of atmospheric pressure cold plasmas in dentistry. — Yeditepe Dental Journal. — 2018; 14(3): 125—36 (In Turkish). DOI: 10.5505/yeditepe.2018.09609
- [28]. Mahrous A., Mohamed S., Ahmed A. The effect of atmospheric plasma- sprayed peek implants on osseointegration. — Egyptian Dental Journal. — 2018; 64 (1): 733—44. DOI: 10.21608/edj.2018.78085
- [29]. Воронов И.А., Ипполитов Е.В., Царев В.Н. Подтверждение протективных свойств нового покрытия из карбида кремния «Панцирь» при моделировании микробной адгезии, колонизации и биодеструкции на образцах стоматологических базисных полимеров. — Клиническая стоматология. — 2016; 1 (77): 60—5. eLIBRARY ID: 25718070
- [30]. Stephen E. Silicon carbide biotechnology. A biocompatible semiconductor for advanced biomedical devices and applications. — Amsterdam: Elsevier Science, 2016. — Pp. 251—268.
- [31]. Мансурова Л.А. Физиологическая роль кремния. — Сибирский медицинский журнал (Иркутск). — 2009; 90 (7): 16—8. eLIBRARY ID: 12966358
- [32]. Fares C., Elhassani R., Ren F., Cabrera A.R., Chai I., Neal D., Hsu S.M., Esquivel-Upshaw J.F. Color perceptibility and validity of silicon carbide- based protective coatings for dental ceramics. — J Prosthet Dent. — 2021; S0022-3913(20)30729-0. PMID: 33483139
- [33]. Esquivel-Upshaw J.F., Ren F., Hsu S.M., Dieng F.Y., Neal D., Clark A.E. Novel Testing for Corrosion of Glass-Ceramics for Dental Applications. — J Dent Res. — 2018; 97 (3): 296—302. PMID: 28922616

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests

Novikov S.V. - SPIN ID: 7115-0957; ORCID ID: 0000-0002-1651-6066

Tamazov I.D. - SPIN ID: 3296-0384; ORCID ID: 0000-0002-0925-6403

Matveev A.I. - SPIN ID: 9667-0844; ORCID ID: 0000-0003-2697-6485

Topoljanskij P.A. - SPIN ID: 8501-5706; ORCID ID: 0009-0009-6025-0021

Topoljanskij A.P. - SPIN ID: 7102-5572; ORCID ID: 0009-0000-2536-4626

For citation: Novikov C.V., Tamazov I.D., Matveev A.I., Topoljanskij P.A., Topoljanskij A.P. OPTIMIZATION OF THE SURFACE OF TITANIUM DENTAL IMPLANTS OF GRADE 5 ALLOY BY BARRIER GLASS CERAMIC COATING // Medical & pharmaceutical journal "Pulse". - 2024;26(4):6-14. <http://dx.doi.org/10.26787/nydha-2686-6838-2024-26-4-6-14>.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов

Новиков С.В. - SPIN ID: 7115-0957; ORCID ID: 0000-0002-1651-6066

Тамазов И.Д. - SPIN ID: 3296-0384; ORCID ID: 0000-0002-0925-6403

Матвеев А.И. — SPIN ID: 9667-0844; ORCID ID: 0000-0003-2697-6485

Тополянский П.А. — SPIN ID: 8501-5706; 0009-0009-6025-0021

Тополянский А.П. — SPIN ID: 7102-5572; ORCID ID: 0009-0000-2536-4626

Для цитирования: Новиков С.В., Тамазов И.Д., Матвеев А.И., Тополянский П.А., Тополянский А.П. СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ НА ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТАХ С БАРЬЕРНЫМИ СВОЙСТВАМИ // Медико-фармацевтический журнал "Пulse". 2024;26(4):6-14. <http://dx.doi.org/10.26787/nydha-2686-6838-2024-26-4-6-14>.