

DOI: 10.18481/2077-7566-2023-19-1-5-11
УДК: 616.314

ОСОБЕННОСТИ И ОТЛИЧИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БИОПЛЕНКИ В ОБЛАСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ И ТИТАНОВЫХ ИМПЛАНТАТОВ

Довгерд А. А.^{1,2}, Сиволапов К. А.²

¹ ООО «Стома», г. Кемерово, Россия

² Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей — филиал Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования, г. Новокузнецк, Россия

Аннотация

Предмет исследования — формирование биопленки в области керамических и титановых имплантатов.

Цель — провести системный анализ современных отечественных и зарубежных литературных источников для определения основных особенностей и отличий формирования биопленки в области керамических и титановых имплантатов.

Методология. Исследование проведено на основе поиска и изучения оригинальных статей по вопросам дентальной имплантации в базах данных: Российская государственная библиотека, eLibrary, PubMed, The Cochrane Library, Google Scholar. Отбор материалов осуществлялся по ключевым словам.

Результаты. Реабилитация беззубых промежутков у пациентов остеоинтегрированными зубными имплантатами — научно признанный метод лечения. Бактериальная адгезия на имплантатах может вызывать такие воспалительные заболевания, как мукозит и перимплантит, способные привести к резорбции кости и, в конечном итоге, к потере имплантата. Установлено, что оксид циркония обладает меньшей бактериальной способностью к адгезии и воспалительной инфильтрации по сравнению с титаном, имеет значительные преимущества при удержании уровня мягких тканей эстетической зоны и сохранении уровня альвеолярной кости. Многочисленные исследования показывают, что клиническое применение оксидциркониевых имплантатов практически не сопровождается проявлениями перимплантита, а эпителиальные ткани десны способны прочно и надежно прикрепляться к их поверхности. Диоксид циркония обладает биоинертностью по отношению к другим материалам и особенно подходит пациентам, имеющим аллергические реакции на металлы или страдающим их непереносимостью. Его использование в качестве материала дентальных имплантатов значительно повышает клиническую эффективность лечения.

Выводы. Проведенный литературный обзор по вопросам формирования биопленки в области дентальных имплантатов показал, что оксид циркония обладает меньшей бактериальной способностью к адгезии и воспалительной инфильтрации по сравнению с титаном и благодаря гигиеническим свойствам имеет значительные преимущества при удержании уровня мягких тканей эстетической зоны и сохранении уровня альвеолярной кости.

Ключевые слова: биопленка, микробная адгезия, дентальная имплантация, диоксид циркония, титан, керамические имплантаты

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Александр Александрович ДОВГЕРД ORCID ID 0000-0001-5536-1086

хирург-стоматолог, ООО «Стома», г. Кемерово; ассистент кафедры челюстно-лицевой хирургии и стоматологии общей практики, Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей — филиал Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования, г. Новокузнецк, Россия
Vitatent421@mail.ru

Константин Анатольевич СИВОЛАПОВ AuthorID 866766

д.м.н., профессор кафедры челюстно-лицевой хирургии и стоматологии общей практики, Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей — филиал Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования; председатель регионального Общества челюстно-лицевых хирургов, г. Новокузнецк, Россия
K.A.Sivolapov@mail.ru

Адрес для переписки: Александр Александрович ДОВГЕРД

650025, г. Кемерово, ул. Чкалова, д. 16, п. 2

+7 (913) 4023021

Vitatent421@mail.ru

Образец цитирования:

Довгерд А. А., Сиволапов К. А.

ОСОБЕННОСТИ И ОТЛИЧИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БИОПЛЕНКИ В ОБЛАСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ И ТИТАНОВЫХ ИМПЛАНТАТОВ. Проблемы стоматологии. 2023; 1: 5-11.

© Довгерд А. А. и др., 2023

DOI: 10.18481/2077-7566-2023-19-1-5-11

Поступила 15.02.2023. Принята к печати 15.03.2023

DOI: 10.18481/2077-7566-2023-19-1-5-11

FEATURES AND DIFFERENCES OF BIOFILM FORMATION IN THE FIELD OF CERAMIC AND TITANIUM IMPLANTS

Dovgerd A. A.^{1,2}, Sivolapov K. A.²

¹ LLC "Stoma", Kemerovo, Russia

² Novokuznetsk State Institute of Advanced Medical Training, Branch of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Novokuznetsk, Russia

Annotation

The subject of the study is the formation of a biofilm in the area of ceramic and titanium implants.

Objectives. A systematic analysis of modern domestic and foreign literature sources to determine the main features and differences in the formation of a biofilm in the field of ceramic and titanium implants.

Methodology. The study was based on the search and study of original articles on dental implantation in databases: Russian State Library, eLibrary, PubMed, The Cochrane Library, Google Scholar. The main selection of materials was carried out by keywords.

Results. Rehabilitation of edentulous spaces in patients with osseointegrated dental implants is a scientifically recognized and well-documented treatment method. Bacterial adhesion on dental implants can cause inflammatory conditions such as mucositis and peri-implantitis. Peri-implantitis can lead to bone resorption and eventual loss of the implant. It has been established that zirconium oxide has a lower bacterial capacity for adhesion and inflammatory infiltration compared to titanium, and due to its hygienic properties, it has significant advantages in maintaining the level of soft tissues of the aesthetic zone and maintaining the level of the alveolar bone. Numerous studies show that the clinical use of zirconium oxide implants is practically not accompanied by manifestations of peri-implantitis, and gum epithelial tissues are able to firmly and reliably attach to their surface. Zirconia is bioinert to other materials found in the oral cavity and is particularly suitable for patients who are allergic or intolerant to metals. The latest techniques and materials, which include zirconium dioxide, have important advantages, and its use as a material for dental implants significantly increases the clinical effectiveness of treatment.

Conclusions. A review of the literature on the formation of a biofilm in the area of dental implants showed that zirconium oxide has a lower bacterial ability for adhesion and inflammatory infiltration compared to titanium, and due to hygienic properties has significant advantages in maintaining the level of soft tissues of the aesthetic zone and maintaining the level of the alveolar bone.

Keywords: *biofilm, microbial adhesion, dental implantation, zirconium dioxide, titanium, ceramic implants*

The authors declare no conflict of interest.

Alexander A. DOVGHERD ORCID ID 0000-0001-5536-1086

Oral surgeon, LLC "Stoma", Kemerovo; assistant of the Department of Maxillofacial Surgery and Dentistry of General Practice, Novokuznetsk State Institute of Advanced Medical Training, Branch of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Novokuznetsk, Russia
vitadent421@mail.ru

Konstantin A. SIVOLAPOV AuthorID 866766

Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Maxillofacial Surgery and Dentistry of General Practice, Novokuznetsk State Institute of Advanced Medical Training, Branch of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education; Chairman of the Regional Society of Maxillofacial Surgeons, Novokuznetsk, Russia
K.A.Sivolapov@mail.ru

Correspondence address: Alexander A. DOVGHERD

650025, Kemerovo, Chekalova str. 16 st. 2

+7 (913) 4023021

vitadent421@mail.ru

For citation:

Dovgerd A. A., Sivolapov K. A.

FEATURES AND DIFFERENCES OF BIOFILM FORMATION IN THE FIELD OF CERAMIC AND TITANIUM IMPLANTS. *Actual problems in dentistry*. 2023; 1: 5-11. (In Russ.)

© Dovgerd A. A. et al., 2023

DOI: 10.18481/2077-7566-2023-19-1-5-11

Received 15.02.2023. Accepted 15.03.2023

Введение

За последние 60 лет область имплантологии заметно эволюционировала, обеспечивая долгосрочные успешные и предсказуемые результаты лечения со многими биологическими и механическими преимуществами по сравнению с обычными протезами [14, 38]. Также произошел переход от хирургической установки имплантатов в зависимости от наличия кости к планированию и установке имплантатов согласно будущему протезированию. Этот сдвиг повлиял на ассортимент доступных материалов для дентальных имплантатов, доступных для восстановления одиночных коронок на частично и полностью беззубых челюстях [21].

За несколько десятилетий титановые дентальные имплантаты стали эталоном качества и надежности. Однако с накоплением практического опыта были выявлены возможные электрохимические явления и случаи непереносимости титана [37]. Исследования показали, что титан действует как потенциальный аллерген, что определило акцент на разработку альтернатив [14, 46].

На этом фоне естественен интерес практикующих специалистов к керамическим дентальным имплантатам и констатация некоторых недостатков использования титановых имплантатов, проявляющихся в полости рта потемнением вдоль края ортопедической коронки на имплантате и рецессией прилегающих мягких тканей при долгосрочной эксплуатации, а также случаями аллергических и гальванических явлений после протезирования на имплантатах [8].

Имплантаты из диоксида циркония можно рассматривать как альтернативу титановым имплантатам [24, 42, 45], при наличии клинических данных показатели выживаемости составляют 95,4% через 3 года [13] и 94,3% [28, 29] до 98,4% [11] через 5 лет на месте. Надежная и уверенная интеграция твердых и мягких тканей вокруг имплантата имеет решающее значение для его клинического успеха. Трансмукозальная часть цельного имплантата находится в непосредственном контакте с соединительным эпителием и соединительной тканью. Этот отсек обеспечивает герметичность между полостью рта и костной тканью, тем самым предотвращая миграцию бактерий и бактериальных токсинов вдоль границы раздела между мягкими тканями и трансмукозальной частью имплантата. Образование биопленки вдоль границы слизистой оболочки тканей и трансмукозальной частью имплантата (полированная шейка, абатмент, мультиюнит и пр.) тесно связано с заболеванием — периимплантитом [12, 42]. Следовательно, трансмукозальная часть имплантата должна иметь поверхность, обеспечивающую прикрепление мягких тканей и предотвращающую образование биопленки.

Таким образом, скорость и процесс образования биопленки является одним из важных критериев

долгосрочной и стабильной функции имплантата, который необходимо учитывать при выборе типа имплантата, что и определило актуальность данного исследования.

Цель исследования — провести системный анализ современных отечественных и зарубежных литературных источников для определения основных особенностей и отличий формирования биопленки в области керамических и титановых имплантатов.

Материалы и методы

Исследование проводили на основе поиска и изучения оригинальных статей по вопросам дентальной имплантации в базах данных: Российская государственная библиотека, eLibrary, PubMed, The Cochrane Library, Google Scholar. Основной отбор материалов осуществлялся по ключевым словам.

Результаты исследования и их обсуждение

Керамические имплантаты (99,1%) имеют столь же эффективные результаты после 5 лет их эксплуатации, как и титановые (97,4%), без различий в технических или биологических аспектах. При толщине мягких тканей 2–3 мм допускаются оба варианта имплантатов, поскольку в данном случае это не влияет на эстетику. Однако если имеется тонкий биотип десен или если планируется пластика мягких тканей, рекомендуют только керамические реставрации [51]. Диоксид циркония и титан обладают схожими свойствами, относящимися к длительной стабильности и биосовместимости, но имеется существенное отличие в их кристаллических решетках, что кардинально влияет на взаимодействие с внутренней средой организма (гомеостаз) и определяет эстетические характеристики. Цвет мягких тканей периимплантного участка вокруг ортопедической реставрации является определяющим эстетическим фактором [44].

Бактериальная колонизация поверхности открытого имплантата начинается уже через 30 мин после его введения, и аналогичные бактерии можно идентифицировать на трансмукозальной части имплантата через несколько месяцев [19]. Установлено, что оксид циркония обладает меньшей бактериальной способностью к адгезии и воспалительной инфильтрации по сравнению с титаном, и благодаря гигиеническим свойствам имеет значительные преимущества при удержании уровня мягких тканей эстетической зоны и сохранении уровня альвеолярной кости [2, 5, 25, 42].

Микробная биопленка является комплексным, функциональным сообществом микроорганизмов; ее образование — сложный процесс, выступающий важным фактором формирования патологии [10, 32, 48]. Образование биопленки определяется рядом факторов: поверхностными характеристиками

используемых материалов и типом обработки поверхности имплантатов, типами и свойствами бактерий, сывороточными белками и рН полости рта [36]. Биопленка на имплантате образуется за четыре фазы: клеточная адгезия, обратимая стадия, созревание и дисперсия биопленки [17, 23]. Бактериальные клетки пролиферируют и слипаются друг с другом, обуславливая формирование микроколоний, которые погружаются в продуцируемый ими внеклеточный матрикс.

Далее следует созревание, разрастание и слияние микроколоний с формированием макроколонии и специфических структур биопленки: пор, каналов, выростов и полостей, которые участвуют в обмене веществ макроколонии [35]. После того, как биопленка достигла критической массы, появляется динамическое равновесие, а наружные слои БП теряют клетки, колонизирующиеся на других поверхностях, и цикл воспроизводится вновь. Так распространяется инфекция — путем освоения микроорганизмами новых мест обитания [28].

Известно, что бактерии способны приобретать резистентность, получать новые свойства, в том числе устойчивость к антибиотикам, за счет обмена участками ДНК между микроорганизмами биопленки разных видов [22]. Микроорганизмы биопленки способны к выживанию в присутствии очень высоких концентраций антибиотиков [26, 32]. Также, благодаря особым свойствам клеток бактерий, биопленка длительно сохраняется в организме, становясь устойчивой к смыванию [29].

Дентальные имплантаты сразу после установки в полости рта покрываются компонентами слюны, в том числе белками, способствующими ускорению метаболизма бактерий и росту БП [10, 49, 51]. Слюна также способствует изменению свойств поверхности, обуславливая добавление новых специфических рецепторов для микробной адгезии.

Показано, что при нано-топографической модификации титановых поверхностей адгезия и сроки образования биопленки не имели отличий от поверхностей, прошедших обработку анодным окислением с кальцием. Однако слюна для двух исследуемых поверхностей значительно увеличивала объем биопленки [34, 39].

Отмечается, что более грубые поверхности характеризуются большим объемом биопленки. Также шероховатость влияла на адгезию микроорганизмов и сроки созревания БП. При этом не отмечалось влияние материала имплантата [40].

Для оценки качества шероховатости в научных исследованиях в стоматологии используют инженерные измерения и понятия. Так, по данным расчетов, оптимальная минимальная шероховатость поверхности дентальных имплантатов должна находиться в пределах 1,5 мкм, средняя глубина шероховатости поверхностей после пескоструйной обра-

ботки корундом, протравливания или плазменного напыления колеблется от 1,5 до 5 мкм и совпадает со средними значениями оптимальной шероховатости поверхности [22]. В большинстве исследований формирования биопленки различают грубые и гладкие поверхности, основанные на шероховатости выше или ниже 0,8 мкм [51].

Поверхность имплантконструкции, находящейся в полости рта, не имеющая непосредственного контакта с тканями, должна иметь высокий показатель гидрофобности, достигаемый либо полировкой, либо наноструктурированием. Задача полировки поверхности на частях, контактирующих с внешней средой, на сегодня не решена [22].

Вариации химического состава поверхности имплантата могут привести к усилению адсорбции фибронектина, адгезии эндотелиальных клеток, их росту и миграции [35]. На разных имплантированных поверхностях с аналогичными параметрами шероховатости были отмечены значительные различия в количестве и в составе биопленки. Это объясняется антибактериальными свойствами поверхности имплантата после химической модификации [47]. Исследования бактериальной колонизации вокруг абатментов из титана и циркония показали противоречивые результаты. В некоторых исследованиях отсутствуют различия в колонизации бактерий вокруг этих поверхностей абатмента, тогда как другие показывают, что поверхности циркония имеют меньшую колонизацию. Биомаркеры являются новой парадигмой для диагностики заболеваний периодонта. Биомаркеры простагландин E2 (PGE2), интерлейкин-1бета (IL-1b), IL-6 и фактор некроза опухоли альфа (TNF-a), полиморфноядерная эластаза, миелоидный протеин 8 и 14 (MRP8/14, кальпротектин) и матричные металлопротеиназы (MMP-8, 9 и 13) были использованы для выявления воспалительной реакции мягких тканей периодонта. MMP-8 или коллагеназы вместе с другими MMP играют решающую роль в заболеваниях периодонта [17, 30].

Снижение уровня MMP-8 после периодонтальной терапии указывает на то, что MMP-8 представляет собой молекулу с потенциальным диагностическим использованием в качестве индикатора текущего состояния заболевания и, возможно, предиктором будущего заболевания. Сравнение уровней MMP-8 вокруг абатментов из титана и циркония показывает, что средние значения уровня MMP-8 на первом и третьем месяце более высокие вокруг титановых абатментов, чем вокруг абатментов из диоксида циркония. Однако разница не была статистически значимой через 12 месяцев. Результаты клинических исследований не показали никаких существенных различий в уровнях MMP-8 между двумя биоматериалами при однолетнем наблюдении [31].

Известно, что скорость и качество остеоинтеграции имплантатов связаны со свойствами их

поверхности. Состав, гидрофильность и шероховатость — это параметры, которые могут играть определенную роль во взаимодействии импланта с окружающими тканями. Существуют многочисленные исследования, доказывающие, что шероховатость поверхности имплантов влияет на скорость остеointеграции и биомеханическую фиксацию [9, 14].

Характеристики поверхности имплантата, включающие химический состав, свободную поверхностную энергию (SFE) и шероховатость, влияют на образование биопленки. Однако авторы в опытах *in vivo* и *in vitro* определили, что увеличение шероховатости поверхности приводит к усилению адгезии бактерий и, соответственно, к накоплению биопленки [43].

В опыте *in vivo* авторы [50] исследовали образование биопленки в полости рта на различных видах дентальной керамики. Меньше всего накопление бактерий наблюдали на поверхности с оксидом циркония. В нескольких рандомизированных исследованиях сравнивали раннюю бактериальную колонизацию пародонтальных патогенов на оксидациркониевых и титановых имплантах. Для имплантов из диоксида циркония наблюдали меньшую SFE, однако не было различий в адгезии *A. actinomycetemcomitans* и *P. gingivalis* через 5 недель после фиксации имплантов [41].

Похожие результаты, указывающие на незначительную разницу между циркониевыми и титановыми имплантами, продемонстрировали в другом опыте, в котором количественно оценивали 7 видов контаминации бактерий на каждом импланте через 2 недели и 3 месяца после его установления [22]. Таким образом, бактериальная адгезия напрямую связана с характеристиками поверхности [1, 37], однако шероховатость поверхности не является единственным фактором, который способствует образованию зубной бляшки. Более того, доказано, что ретенционным пунктом для бактерий служат дефекты поверхности (трещины, ямки, потертости) [25].

Периимплантиты, вызванные зубным налетом, — наиболее распространенная причина потери дентального имплантата [12, 26, 46]. Исследователи [46] сравнили интенсивность бактериальной адгезии на поликристаллах тетрагонального циркония, стабилизированного иттрием (YTZP) и на механически обработанном титане (технически чистый титан, Grade 4) в опытах *in vivo* и *in vitro*. Образцы имели эквивалентную шероховатость поверхности средних значений (Ra). Опыт *in vivo* показал значительно меньшее количество кокков и палочек на оксиде циркония по сравнению с титаном. Однако не было различий в опыте *in vitro*, где культивировали *Actinomyces spp.* или *P. gingivalis*. Также проводилось сравнение образцов из диоксида циркония и титана со значениями шероховатости поверхности 0,76 мкм и 0,73 мкм соответственно, и было установлено, что процент покрытия поверхности бактериями

составлял 12,1% на диоксиде циркония и 19,3% — на титане [42].

Опыт показал [49], что резистентность циркония к бактериальной адгезии обеспечивается за счет электронной проводимости самого материала. Было продемонстрировано, что во время бактериальной адгезии возникает перенос заряда. Бактерии, отдающие электроны, имеют лучшую адгезию, чем получающие.

Естественной реакцией на наличие бактерий является высвобождение медиаторов воспаления, ведущее к потере кости. Кроме оценки зубной бляшки, существует еще один метод для изучения гигиенических свойств, заключающийся в определении следующих факторов воспаления: фактор роста эндотелия сосудов (VEGF), экспрессия синтазы оксида азота, воспалительная инфильтрация и плотность микрососудов в периимплантных тканях. Повышенный уровень этих факторов указывает на наличие воспаления, вызванного скоплением микробов. Изучали факторы воспаления для сравнительной гигиенической оценки свойств циркония и титана [47]. Определили, что через 6 месяцев значительно меньшая воспалительная инфильтрация наблюдалась вокруг циркониевых имплантов.

Изучали и сравнивали [25] образование биопленки на титановых и оксидциркониевых поверхностях с помощью *in vitro* модели биопленки из трех видов микроорганизмов и зубной бляшки. Результаты показали значительно меньшую толщину биопленки и снижение интенсивности образования зубной бляшки после 72 часов инкубации на дисках из диоксида циркония по сравнению с титановыми дисками.

Одним из ключевых факторов выбора материала для импланта являются его гигиенические свойства [1, 3, 4, 42]. Чтобы обосновать всю необходимость гигиены, нужно понять следующие процессы: образование пелликулы, следующее формирование биопленки и процесс возникновения периимплантита. Процесс образования зубной бляшки начинается с прикрепления гликопротеинов к поверхности эмали или импланта; образуется тонкий слой, который называется пелликулой. Хотя этот слой как таковой не несет никакого вреда, он является основанием для прикрепления микроорганизмов. Биопленка — это накопление и сосуществование большого количества микроорганизмов, она имеет кислотное pH, что вызывает кариес зубов и принимает активное участие в возникновении заболеваний пародонта [6, 28, 37].

Заболевания пародонта являются следствием метаболических процессов в биопленке, которые вызывают воспаление периодонтальных тканей и утрату альвеолярной кости [15, 27, 43]. Развитие пелликулы и образование биопленки, ведущее за собой последующее возникновение воспаления, свойственны не только естественным зубам, но и дентальным имплантатам [4, 50].

Такой процесс может вызвать смещение периимплантных тканей в апикальную сторону и, соот-

ветственно, потерю костной ткани. Частота возникновения периимплантитов выше, чем частота возникновения заболеваний пародонта естественных зубов, потому что зубодесневое соединение намного прочнее и обладает большей иммунной защитой, чем образующееся тканевое соединение вокруг имплантата. Некоторые имплантаты более устойчивы к бактериальной колонизации, другие же могут формировать более плотный контакт со слизистой оболочкой для усиления соединительнотканного соединения.

При установке имплантата его внутрикостная часть в идеале должна быть полностью окружена костной тканью и поэтому не должна подвергаться образованию биопленки, а также поддерживать уровень костной ткани. В отличие от этого, трансмукозальная часть подвергается колонизации микроорганизмами сразу же после установки в полости рта [41].

К факторам, влияющим на колонизацию микроорганизмов, относят характеристики поверхности имплантата (тип обработки поверхности), локальную среду, особенности микрофлоры полости рта, дизайн протеза на имплантате и его доступность для гигиены. Прикрепление бактерий к керамике в целом менее прочно, чем к структурам поверхности корня зуба, — и это, в свою очередь, означает, что зубной камень может откалываться на составных частях имплантатов без повреждения их поверхности [16].

Выводы

Реабилитация беззубых промежутков у пациентов остеинтегрированными зубными имплантатами является научно признанным и хорошо задокументированным методом лечения. Многочисленные клинические исследования показали, что титан является надежным биоматериалом для реабилитации и реконструкции полости рта. За последние десятилетия развития технологией были внесены различные модификации в структуру, состав и дизайн титановых имплантатов для улучшения их физических, механических и оптических свойств. Однако развитие нежелательных аллергических реакций, клеточная

сенсбилизация, формирование гальванического тока и эстетика серого оттенка повысили требования к более эстетичным и биосовместимым материалам имплантатов. Керамика становится многообещающей альтернативой традиционной системе имплантатов на основе титана для реабилитации полости рта с превосходящими биологическими, эстетическими, механическими и оптическими свойствами.

Бактериальная адгезия на денальных имплантатах может вызывать такие воспалительные заболевания, как мукозит и периимплантит. И хронический мукозит, и периимплантит могут привести к резорбции костной ткани и, в конечном итоге, к потере имплантата. Установлено, что оксид циркония обладает меньшей бактериальной способностью к адгезии и воспалительной инфильтрации по сравнению с титаном, и благодаря гигиеническим свойствам имеет значительные преимущества при удержании уровня мягких тканей эстетической зоны и сохранении уровня альвеолярной кости. Многочисленные исследования показывают, что клиническое применение оксидциркониевых имплантатов практически не сопровождается проявлениями периимплантита, а эпителиальные ткани десны способны прочно и надежно прикрепляться к их поверхности. Цирконий образует на поверхности плотную диоксидную пленку ZrO_2 с хорошими защитными свойствами. Диоксид циркония обладает биоинертностью по отношению к другим материалам, которые находятся в полости рта, и особенно подходит пациентам, имеющим аллергические реакции на металлы или страдающим их непереносимостью. Новейшие методики и материалы, к которым относится диоксид циркония, обладают важными преимуществами, а его использование в качестве материала денальных имплантатов значительно повышает клиническую эффективность лечения. Следовательно, при планировании денальной имплантации следует отдавать предпочтение имплантатам из диоксида циркония, что позволит избежать негативного влияния лечения как на органы и ткани полости рта, так и на организм в целом.

Литература/References

1. Бабушкина И.В., Мамонова И.А., Ульянов В.Ю., Шпиняк С.П. Антибиотикорезистентность грамотрицательных возбудителей имплантат-ассоциированной инфекции в составе преформированной биопленки. Проблемы медицинской микологии. 2021;23(2):52. [I.V. Babushkina, I.A. Mamonova, V.Yu. Ulyanov, S.P. Spinyak Antibiotic resistance of gram-negative pathogens of implant-associated infection in preformed biofilm. Problems of medical mycology. 2021;23(2):52. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46212865>
2. Киргуева Д.В., Макоева А.Э. Гальванизм в полости рта как проблема пародонтологии. Fundamental science and technology. Сборник научных статей по материалам IX Международной научно-практической конференции. Уфа. 2022:100-104. [D.V. Kirgueva, A.E. Makoeva Galvanism in the oral cavity as a problem of periodontology. Fundamental science and technology. Collection of scientific articles based on the materials of the IX International Scientific and Practical Conference. Ufa. 2022:100-104. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=49244490>
3. Литвинова А.К. Современные аспекты применения диоксида циркония в ортопедической стоматологии. Молодежный инновационный вестник. 2021;10(1):400-402. [A.K. Litvinova Modern aspects of the use of zirconium dioxide in orthopedic dentistry. Youth innovation bulletin. 2021;10(1):400-402. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=47248531>
4. Тебенова Г.М., Аскарлова Ш.Н., Сафаров Т.С. Пути решения диагностики непереносимости к металлическим включениям в полости рта. Вестник Казахского Национального медицинского университета. 2018;1:541-544. [G.M. Tebenova, Sh.N. Askarova, T.S. Safarov. Ways to solve the diagnosis of intolerance to metal inclusions in the oral cavity. Bulletin of the Kazakh National Medical University. 2018;1:541-544. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=34989947>
5. Титов П.Л., Мойсейчик П.Н. Иммунный статус пациентов с жалобами на неблагоприятное действие денальных сплавов. Новые методы профилактики, диагностики и лечения в стоматологии. Минск. 2017:433-439. [P.L. Titov, P.N. Moiseichik. The immune status of patients with complaints about the adverse effects of dental alloys. Sat. New methods of prevention, diagnosis and treatment in dentistry. Minsk. 2017:433-439. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32416307>
6. Чолокова Г.С., Юлдашев И.М., Тыналиева Д.М., Абыкеева Р.С. Профилактика стоматологических заболеваний — приоритетное направление стоматологии. Современные тенденции развития науки и технологий. 2017;2-4:94-104. [G.S. Cholokova, I.M. Yuldashev, D.M. Tynaliev, R.S. Abykeeva. Prevention of dental diseases is a priority in dentistry. The current state of development of science and technology. 2017;2-4:94-104. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28784153>
7. Хабибуллина А.Р., Тимофеева А.В. Микробиом денальной бляшки человека. Современные проблемы науки и образования. 2017;3:155. [A.R. Khabibullina, A.V. Timofeeva. Microbiome of human dental plaque. Modern problems of science and education. 2017;3:155. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29452422>

8. Шумаков Ф.Г. Экспериментально-клиническое сравнение керамических и титановых дентальных имплантатов : автореф. дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2018:24. [F.G. Shumakov. Experimental and clinical comparison of ceramic and titanium dental implants : abstract dis. ... cand. med. sciences. Moscow, 2018:24. (In Russ.)]. <https://www.dissercat.com/content/eksperimentalno-klinicheskoe-sravnienie-keramicheskikh-i-titanovyykh-dentalnykh-implantatov>
9. Яковлев М.В., Шулятичкова О.А., Годовалов А.П., Рогожников Г.И., Батог К.А. Анализ выраженности микробной адгезии на поверхности титанового сплава для дентальных имплантов. Российский вестник дентальной имплантологии. 2020;3-4(49-50):39-42. [M.V. Yakovlev, O.A. Shulyatikova, A.P. Godovalov, G.I. Rogozhnikov, K.A. Batog. Analysis of the severity of microbial adhesion on the surface of titanium alloy for dental implants. Russian Bulletin of Dental Implantology. 2020;3-4(49-50):39-42. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46305980>
10. Acosta S., Ibañez-Fonseca A., Aparicio C., Rodríguez-Cabello J.C. Antibiofilm coatings based on protein-engineered polymers and antimicrobial peptides for preventing implant-associated infections // *Biomater Sci.* – 2020;8(10):2866-2877. doi: 10.1039/d0bm00155d.
11. Balmer M., Spies B.C., Kohal R.J., Hämmerle C.H., Vach K., Jung R.E. Zirconia implants restored with single crowns or fixed dental prostheses: 5-year results of a prospective cohort investigation // *Clin Oral Implants Res.* – 2020;31(5):452-462. doi: 10.1111/clr.13581.
12. Berglundh T., Armitage G., Araujo M.G., Avila-Ortiz G., Blanco J., Camargo P.M., Chen S., Cochran D., Derks J., Figuero E., Hämmerle C.H.F., Heitz-Mayfield L.J.A., Huynh-Ba G., Iacono V., Koo K.T., Lambert F., McCauley L., Quirynen M., Renvert S., Salvi G.E., Schwarz F., Tarnow D., Tomasi C., Wang H.L., Zitzmann N. Peri-implant diseases and conditions: Consensus report of workgroup 4 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions // *J Periodontol.* – 2018;89(1):S313-S318. doi: 10.1002/JPER.17-0739.
13. Bormann K.H., Gellrich N.C., Kniha H., Schild S., Weingart D., Gahlert M. A prospective clinical study to evaluate the performance of zirconium dioxide dental implants in single-tooth edentulous area: 3-year follow-up // *BMC Oral Health.* – 2018;18(1):181. doi: 10.1186/s12903-018-0636-x.
14. Buser D., Sennedy L., De Bruyn H. Modern implant dentistry based on osseointegration: 50 years of progress, current trends and open questions // *Periodontol* 2000. – 2017;73(1):7-21. doi: 10.1111/prd.12185.
15. Carreño J., Aguilar-Salvatierra A., Gómez-Moreno G., García Carreño E.M., Menéndez López-Mateos M.L., Perrotti V., Piattelli A., Calvo-Guirado J.L., Menéndez-Núñez M. Update of Surgical Techniques for Maxillary Sinus Augmentation: A Systematic Literature Review // *Implant Dent.* – 2016;25(6):839-844. doi: 10.1097/ID.0000000000000467.
16. Chappuis V., Cavusoglu Y., Gruber R., Kuchler U., Buser D., Bosshardt D.D. Osseointegration of Zirconia in the Presence of Multinucleated Giant Cells // *Clin Implant Dent Relat Res.* – 2016;18(4):686-698. doi: 10.1111/cid.12375.
17. Chen J.H., Lin Y.C., Kung J.C., Yan D.Y., Chen I.H., Jheng Y.S., Lai C.H., Wu Y.M., Lee K.T. Efficacy of Er:YAG laser for the peri-implantitis treatment and microbiological changes: a randomized controlled trial // *Lasers Med Sci.* – 2022;37(9):3517-3525. doi: 10.1007/s10103-022-03627-8.
18. Cionca N., Hashim D., Mombelli D. Zirconia dental implants: where are we now, and where are we heading? // *Periodontol* 2000. – 2017;73(1):241-258. doi: 10.1111/prd.12180.
19. Cucchi A., Molè F., Rinaldi L., Marchetti C., Corinaldesi G. The Efficacy of an Anatac-Coated Collar Surface in Inhibiting the Bacterial Colonization of Oral Implants: A Pilot Prospective Study in Humans // *Int J Oral Maxillofac Implants.* – 2018;33(2):395-404. doi: 10.11607/jomi.5880.
20. Elangovan G., Mello-Neto J.M., Tadakamadla S.K., Reher P., Figueredo C.M.S. A systematic review on neutrophils interactions with titanium and zirconia surfaces: Evidence from in vitro studies // *Clin Exp Dent Res.* – 2022;8(4):950-958. doi: 10.1002/cre2.582.
21. Farawati F.A., Nakaparksin P. What is the Optimal Material for Implant Prosthesis? // *Dent. Clin. N. Am.* – 2019;63:515-530. doi:10.1016/j.cden.2019.02.002
22. Grenade C., De Pauw-Gillet M.C., Pirard C., Bertrand V., Charlier C., Vanheusden A., Mainjot A. Biocompatibility of polymer-infiltrated-ceramic-network (PICN) materials with Human Gingival Keratinocytes (HGKs) // *Dent Mater.* – 2017;33(3):333-343. doi: 10.1016/j.dental.2017.01.001.
23. Grenade C., De Pauw-Gillet M.C., Pirard C., Bertrand V., Charlier C., Vanheusden A., Mainjot A. Biocompatibility of polymer-infiltrated-ceramic-network (PICN) materials with Human Gingival Keratinocytes (HGKs) // *Dent Mater.* – 2017;33(3):333-343. doi: 10.1016/j.dental.2017.01.001.
24. Haro Adániz M., Nishihara H., Att W. A systematic review and meta-analysis on the clinical outcome of zirconia implant-restoration complex // *J Prosthodont Res.* – 2018;62(4):397-406. doi: 10.1016/j.jpor.2018.04.007.
25. Jank S., Hochgatterer G. Success Rate of Two-Piece Zirconia Implants: A Retrospective Statistical Analysis // *Implant Dent.* – 2016;25(2):193-198. doi: 10.1097/ID.0000000000000365.
26. Kim G.O., Choi Y.S., Bae C.H., Song S.Y., Kim Y.D. Effect of titanium dioxide nanoparticles (TiO₂ NPs) on the expression of mucin genes in human airway epithelial cells // *Inhal Toxicol.* – 2017;29(1):1-9. doi: 10.1080/08958378.2016.1267282.
27. Kim K.T., Eo M.Y., Nguyen T.T.H., Kim S.M. General review of titanium toxicity // *Int J Implant Dent.* – 2019;5(1):10. doi: 10.1186/s40729-019-0162-x.
28. Kohal R.J., Spies B.C., Bauer A., Butz F. One-piece zirconia oral implants for single-tooth replacement: Three-year results from a long-term prospective cohort study // *J Clin Periodontol.* – 2018;45(1):114-124. doi: 10.1111/jcpe.12815.
29. Kohal R.J., Spies B.C., Vach K., Balmer M., Pieralli S. A Prospective Clinical Cohort Investigation on Zirconia Implants: 5-Year Results // *J Clin Med.* – 2020;9(8):2585. doi: 10.3390/jcm9082585.
30. Kumar Y., Jain V., Chauhan S.S., Bharate V., Koli D., Kumar M. Influence of different forms and materials (zirconia or titanium) of abutments in peri-implant soft-tissue healing using matrix metalloproteinase-8: A randomized pilot study // *J Prosthet Dent.* – 2017;118(4):475-480. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.11.017.
31. Lai H.C. Prevention and management of hardware and biological complications in implant dentistry // *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* – 2020;55(11):814-818. Chinese. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20200615-00347.
32. Lockhart J.N., Spoonmore T.J., McCurdy M.W., Rogers B.R., Guelcher S.A., Harth E. Poly(glycidol) Coating on Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene for Reduced Biofilm Growth // *ACS Appl Mater Interfaces.* – 2018;10(4):4050-4056. doi: 10.1021/acsami.7b15981.
33. Luengo F., Solonko M., Sanz-Esporrin J., Sanz-Sánchez I., Herrera D., Sanz M. Clinical, Microbiological, and Biochemical Impact of the Surgical Treatment of Peri-Implantitis-A Prospective Case Series // *Clin Med.* – 2022;11(16):4699. doi: 10.3390/jcm11164699.
34. Matos A.O., Ricomini-Filho A.P., Beline T., Ogawa E.S., Costa-Oliveira B.E., de Almeida A.B., Nociti Junior F.H., Rangel E.C., da Cruz N.C., Sukotjo C., Mathew M.T., Barão V.A.R. Three-species biofilm model onto plasma-treated titanium implant surface // *Colloids Surf B Biointerfaces.* – 2017;152:354-366. doi: 10.1016/j.colsurfb.2017.01.035.
35. McKay T.B., Hutcheon A.E.K., Guo X., Zieske J.D., Karamichos D. Modeling the cornea in 3-dimensions: Current and future perspectives // *Exp Eye Res.* – 2020;197:108127. doi: 10.1016/j.exer.2020.108127.
36. Meng F., Yin Z., Ren X., Geng Z., Su J. Construction of Local Drug Delivery System on Titanium-Based Implants to Improve Osseointegration. // *Pharmaceutics.* – 2022;14(5):1069. doi: 10.3390/pharmaceutics14051069.
37. Nishihara H., Haro Adániz M., Att W. Current status of zirconia implants in dentistry: preclinical tests // *J Prosthodont Res.* – 2019;63(1):1-14. doi: 10.1016/j.jpor.2018.07.006.
38. Osman M.A., Kushnerev E., Alamouh R.A., Seymour K.G., Yates J.M. Two Gingival Cell Lines Response to Different Dental Implant Abutment Materials: An In Vitro Study // *Dent J (Basel).* – 2022;10(10):192. doi: 10.3390/dj10100192.
39. Ozer F., Anadioti E., Mack Y.Y., Sen D., DiRienzo J., Blatz M.B. Influence of Surface Modifications on Bacterial Adherence to Implant Abutment Materials // *Int J Periodontics Restorative Dent.* – 2022;42(5):657-663. doi: 10.11607/prd.5961.
40. Pettrini M., Giuliani A., Di Campli E., Di Lodovico S., Iezzi G., Piattelli A., D'Ercole S. The Bacterial Anti-Adhesive Activity of Double-Etched Titanium (DAE) as a Dental Implant Surface // *Int J Mol Sci.* – 2020;21(21):8315. doi: 10.3390/ijms21218315.
41. Pieralli S., Kohal R.J., Jung R.E., Vach K., Spies B.C. Clinical Outcomes of Zirconia Dental Implants // *J Dent Res.* – 2017;96(1):38-46. doi: 10.1177/0022034516664043.
42. Pieralli S., Kohal R.J., Lopez Hernandez E., Doerken S., Spies B.C. Osseointegration of zirconia dental implants in animal investigations: A systematic review and meta-analysis // *Dental Materials.* – 2018;34(2):171-182. doi: 10.1016/j.dental.2017.10.008.
43. Polonskiy V.I., Asanova A.A. Assessment of titanium dioxide nanoparticle effects on living organisms // *Reserch Gate.* – 2018. doi: 10.25750/1995-4301-2018-3-005-011.
44. Roehling S., Astasov-Frauenhoffer M., Hauser-Gerspach I., Braissant O., Woelfler H., Waltimo T. In vitro biofilm formation on titanium and zirconia implant surfaces // *J Periodontol.* – 2017;88(3):298-307. doi: 10.1902/jop.2016.160245.
45. Roehling S., Schlegel K.A., Woelfler H., Gahlert M. Performance and outcome of zirconia dental implants in clinical studies: A meta-analysis // *Clin Oral Implants Res.* – 2018;29(16):135-153. doi: 10.1111/clr.13352.
46. Safioti L.M., Kotsakis G.A., Pozhitkov A.E., Chung W.O., Daubert D.M. Increased levels of dissolved titanium are associated with peri-implantitis – a cross-sectional study // *J Periodontol.* – 2017;88:436-442. doi: 10.1038/sj.bdj.2017.669
47. Scheeren Brum R., Apaza-Bedoya K., Labes L.G., Volpato C.A.M., Pimenta A.L., Benfatti C.A.M. Early Biofilm Formation on Rough and Smooth Titanium Specimens: a Systematic Review of Clinical Studies // *J Oral Maxillofac Res.* – 2021;12(4):e1. doi: 10.5037/jomr.2021.12401.
48. Siddiqi A., Milne T., Cullinan M.P., Seymour G.J. Analysis of P. gingivalis, T. forsythia and S. aureus levels in edentulous mouths prior to and 6 months after placement of one-piece zirconia and titanium implants // *Clin Oral Implants Res.* – 2016;27(3):288-294. doi: 10.1111/clr.12536.
49. Sivaraman K., Chopra A., Narayan A.I., Balakrishnan D. Is zirconia a viable alternative to titanium for oral implant? A critical review // *J Prosthodont Res.* – 2018;62(2):121-133. doi: 10.1016/j.jpor.2017.07.003.
50. Thoma D.S., Gamber F.B., Sapata V.M., Voce G., Hammerle C.H.F., Sailer I. Spectrophotometric analysis of fluorescent zirconia abutments compared to “conventional” zirconia abutments: A within subject controlled clinical trial // *Clin Implant Dent Relat Res.* – 2017;19(4):760-766. doi: 10.1111/cid.12488.
51. Yanagisawa N., Ikeda T., Takatsu M., Urata K., Nishio K., Tanaka H., Kawato T., Inuma T. Human Gingival Fibroblast Attachment to Smooth Titanium Disks with Different Surface Roughnesses // *Biomimetics (Basel).* – 2022;7(4):164. doi: 10.3390/biomimetics7040164.