

DOI: 10.18481/2077-7566-2022-18-3-23-31  
УДК: 616.314

## КЕРАМИЧЕСКИЕ ИМПЛАНТАТЫ — БУДУЩЕЕ ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ

Довгерд А. А.<sup>1,2</sup>, Сиволапов К. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Стома», г. Кемерово, Россия

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

### Аннотация

**Предмет исследования** — основные свойства керамических дентальных имплантатов.

**Цель** — провести системный анализ современных отечественных и зарубежных литературных источников для определения основных преимуществ керамических дентальных 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. Основной отбор материалов осуществлялся по ключевым словам.

**Результаты.** В настоящее время все большее внимание как врачей-стоматологов, так и пациентов привлекают дентальные керамические имплантаты. С каждым годом их клиническое применение становится все шире. Только в Европе ежегодно проходит 3 крупных конгресса по керамической имплантологии. Во многих странах увеличилось количество ассоциаций, занимающихся именно этой тематикой. Керамические имплантаты обладают неограниченным потенциалом для клинического применения.

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. Цирконий образует на поверхности плотную диоксидную пленку ZrO<sub>2</sub> 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 дентальных имплантатов значительно повышает клиническую эффективность лечения. Следовательно, при планировании дентальной 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.

**Выводы.** Проведенный обзор литературных источников по вопросам эффективности керамических дентальных имплантатов показал научно обоснованные возможности клинического применения данного типа имплантатов в современной стоматологии.

**Ключевые слова:** дентальная имплантация, имплантаты, 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  
Vitadent421@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

Vitadent421@mail.ru

### Образец цитирования:

Довгерд А. А., Сиволапов К. А.

КЕРАМИЧЕСКИЕ ИМПЛАНТАТЫ — БУДУЩЕЕ ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ. Проблемы стоматологии. 2022; 3: 23-31.

© Довгерд А. А. и др., 2022

DOI: 10.18481/2077-7566-2022-18-3-23-31

Поступила 13.10.2022. Принята к печати 21.10.2022

DOI: 10.18481/2077-7566-2022-18-3-23-31

## CERAMIC IMPLANTS ARE THE FUTURE OF DENTAL IMPLANTOLOGY

Dovgerd A. A.<sup>1,2</sup>, Sivolapov K. A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LLC "Stoma", Kemerovo, Russia

<sup>2</sup> 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 main properties of ceramic dental implants.

**Objectives.** A systematic analysis of modern domestic and foreign literary sources to determine the main advantages of ceramic dental implants.

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

**Results.** Currently, dental ceramic implants are attracting more and more attention from both dentists and patients. Every year, the clinical use of ceramic implants is becoming wider. Only in Europe every year there are 3 major congresses on ceramic implantology. In many countries, the number of associations dealing with this particular topic has increased, ceramic implants have unlimited potential for clinical use.

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. Zirconium forms a dense ZrO<sub>2</sub> dioxide film on the surface with good protective properties. 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 materials and techniques, which include zirconium dioxide, have important advantages, and its use as dental implants significantly increases the clinical effectiveness of treatment. Therefore, when planning dental implantation, preference should be given to zirconia implants, which will avoid the development of a negative effect of treatment on both organs and tissues of the oral cavity, and the body as a whole.

**Conclusions.** The review of literature sources on the effectiveness of ceramic dental implants showed evidence-based possibilities for the clinical use of this type of implants in modern dentistry.

**Keywords:** dental implantation, implants, zirconium dioxide, titanium, ceramic implants

The authors declare no conflict of interest.

**Alexander A. DOVGGERD** 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. DOVGGERD**

650025, Kemerovo, Chekalova str: 16 st. 2  
+7 (913) 4023021  
vitadent421@mail.ru

### For citation:

Dovgerd A. A., Sivolapov K. A.

CERAMIC IMPLANTS ARE THE FUTURE OF DENTAL IMPLANTOLOGY. Actual problems in dentistry. 2022; 3: 23-31. (In Russ.)

© Dovgerd A. A. et al., 2022

DOI: 10.18481/2077-7566-2022-18-3-23-31

Received 13.10.2022. Accepted 21.10.2022

## Введение

Совершенствование известных методов и подходов к ортопедическому лечению не привело к уменьшению процента населения, нуждающегося в замещении дефектов зубных рядов. В последние годы официальная статистика ВОЗ свидетельствует о снижении уровня распространенности кариеса во всем мире, при этом распространенность адентии остается широкой [47]. В связи с этим важную роль играет развитие стоматологического материаловедения как одного из приоритетных направлений в ортопедической стоматологии, поскольку характеристики материалов ортопедических конструкций в значительной степени определяют эффективность ортопедического лечения. Поскольку эти конструкции в течение длительного времени находятся в ротовой полости, они могут спровоцировать негативную ответную реакцию пациента на всех уровнях — от местного до организменного [13].

Одним из приоритетных вариантов ортопедической реабилитации больных с частичным или полным отсутствием зубов является дентальная имплантация. Успешное имплантологическое лечение включает надежную остеоинтеграцию имплантата с положительной реакцией мягких тканей [4, 15, 34, 44]. Во многом, особенно учитывая эстетическую и функциональную удовлетворенность, а также влияние на качество жизни пациента, успех дентальной имплантации зависит от качественного состава имплантата, имеющего значение для долгосрочной стабильности и успешности конечного результата [8, 12, 24, 32].

Научно-практический старт дентальной имплантации как метода реабилитации при адентии был дан в конце XIX века: S. Perry изучал возможность использования дентальных имплантатов из золота, фарфора и платины, A. Hartmann сообщил о возможности использования внутрикостного имплантата для замещения отсутствующего зуба, в 1891 г. в Санкт-Петербурге на IV Пироговском съезде Н. Знаменский доложил о собственном опыте применении дентальных имплантатов. В 1926 г. был получен первый патент на относительно устойчивый к коррозии в жидких средах организма и пригодный для имплантации металл — молибденовую сталь, в 1936 г. C. Venable и W. Struck нашли новый, практически невосприимчивый к электрохимическим воздействиям тканевой жидкости организма сплав — «Виталлиум». В 1955 г. в Падуе на первом симпозиуме «Применение аллопластических имплантатов» A. Hammer и G. Pallazi на основании собственных морфологических исследований доказали отсутствие каких-либо патологических реакций на имплантаты из кобальто-хромового сплава. Но использование данных материалов приводило к большому количеству осложнений, и с конца 50-х годов прошлого

XX века в качестве материала для имплантатов стали использовать титан [31].

Титановые дентальные имплантаты за несколько десятилетий стали эталоном качества и надежности. Но накопленный практический опыт и активное наблюдение за отдаленными результатами привели ученых всего мира и практикующих врачей-стоматологов к поиску новых, более биосовместимых материалов. Эксплуатация дентальных протезов из сплавов металлов сопряжена с возможными электрохимическими процессами (явление гальванизации). Выявляются случаи непереносимости титана. Профессор Скеждал установил в ходе теста Мелиса, что у 4% пациентов обнаружилась аллергия на титан или его непереносимость. Даже если распространенность случаев аллергии на титан является незначительной, появилась необходимость учета этих фактов и проведение обследования на предмет аллергии у пациентов [36].

Исследования показывают, что титан действует как потенциальный аллерген, поэтому перед процедурой дентальной имплантации обязательны диагностические тесты, и следует уделять больше внимания поиску новых диагностических тестов, а также разработке альтернатив титану [29]. В свете новых исследований в биологических и механических аспектах аллергическая реакция на материалы титановых дентальных имплантатов и токсичность частиц, высвобождаемых с поверхности сплавов дентальных титановых имплантатов, играют определенную роль в отказе от клинического применения титановых имплантатов [42].

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 [23].

Растущие потребности пациентов в безопасной и надежной дентальной имплантации, в безметалловых решениях для ортопедической реабилитации, разработка новых биосовместимых материалов, новые технологии получения поверхностей с заданной микрошероховатостью, новые технологии нанесения биопокровов на поверхность дентального имплантата и совершенствование клинических протоколов сделали возможным использование имплантатов из диоксида циркония в качестве надежной альтернативы их титановым аналогам.

**Цель исследования** — провести системный анализ современных отечественных и зарубежных литературных источников для определения основных преимуществ керамических дентальных 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

За последние 20 лет количество установленных зубных имплантов в мире достигло около 1 миллиона в год. Клинический успех дентальной имплантации связывается с явлением остеоинтеграции. Геометрия и топография поверхности имплантов имеют решающее значение для кратко- и долгосрочного успеха в имплантации. Эти параметры, в сочетании с безупречными хирургическими техниками, являются необходимым условием достижения успешного клинического результата [12, 24].

Существует два типа реакции костной ткани на имплант. Первый тип предполагает формирование фиброзной мягкой капсулы вокруг импланта. Эта капсула состоит из волокнистой ткани, не обеспечивает должной биомеханической фиксации, что приводит к клинической недостаточности зубного имплантата. Изменение микроструктуры поверхности импланта являлось целью многочисленных исследований в последние годы, особенно с появлением разнообразных методов для уточнения размера частиц этих материалов до диапазона субмикрон/нано. Развитие этих методик позволило создать поверхности с исключительными механическими свойствами [24] и повышенной биологической совместимостью [38].

Выбор современных материалов для изготовления дентальных имплантатов чрезвычайно важен для сохранения их оптимальных свойств [9, 12]. Одним из таких материалов является диоксид циркония. К существенным преимуществам диоксида циркония, в дополнение к прочности и тканевой интеграции, относятся его высокие эстетические характеристики [7, 18]. Дентальные имплантаты из диоксида циркония значительно превосходят титановые в своих эстетических свойствах, что подтверждается спектрофотометрией [41].

Известные исследования свидетельствуют, что диоксид циркония имеет меньшую способность к воспалительной инфильтрации по сравнению с титаном [1, 3, 16, 23] и обладает преимуществами при удержании уровня мягких тканей эстетической зоны и сохранении уровня альвеолярной кости [25, 44].

Гигиенические свойства также являются одним из ключевых факторов выбора материала для опорных элементов имплантатов [7, 19, 21, 41]. Характеристики поверхности, а именно ее шероховатость, являются определяющим фактором, влияющим на первичную адгезию и ретенцию микроорганизмов, что способ-

ствует микробной колонизации биопленки [15] — и это, в свою очередь, увеличивает риск периимплантных заболеваний.

Одной из ведущих причин возникновения периимплантитов является процесс трансмиссии бактерий от пародонтального кармана до интактного периимплантного участка установленного имплантата, что продемонстрировано в исследованиях [29, 33]. Слизистая, контактирующая с опорными элементами имплантатов, выступает барьером, защищающим имплантат от контаминации [36, 43, 45], а дентальная биопленка является основным фактором возникновения воспаления периимплантных тканей, что является наиболее распространенной причиной утраты имплантата [14, 27].

Имеются научные исследования, изучающие вопросы влияния поверхностных свойств диоксида циркония и титана, в зависимости от способа их обработки, на способность бактерий образовывать колонии. Известно, что дентальный имплантат имеет больший риск возникновения периимплантита, чем зуб — риск возникновения пародонтита. Поэтому, выбирая тип имплантата, необходимо учитывать, насколько хорошо он формирует и удерживает окружающие мягкие ткани, поскольку от этого зависит динамика их заживления — и в дальнейшем поверхностная способность образования микробной биопленки.

Диоксид циркония является белым кристаллическим оксидом циркония [9, 34]. Передовые успехи науки и производства биоматериалов и современных технологий позволили заняться изготовлением сверхпрочного и биосовместимого циркония, который широко применяется в биомедицинских технологиях и в имплантологии. Наиболее весомым стало появление следующих технологий: частично стабилизированных тетрагональных поликристаллов диоксида циркония (Y-TZP), порошкового литья под давлением (PIM) и методов горячего изостатического прессования (HIP) [19].

Разнообразные исследования показали успешное применение циркониевых имплантов с обеспечением стабильного уровня мягких и костных тканей. Установлено, что количество и качество мягких тканей зависит от типа материала (если сравнивать цирконий со сплавами золота). Циркониевые импланты также уменьшают адгезию бактерий, что предупреждает воспалительные процессы в тканях [10, 17, 34].

Механические свойства оксида циркония очень похожи на свойства металлов, в силу чего он был назван «керамической сталью». Цирконий имеет высокую упругость (900–1200 МПа), твердость по Виккерсу (1200), модуль Вейбулла (10–12) и прочность на сжатие 2000 МПа, все это необходимо для долгосрочной стабильности и клинического успеха [34]. При больших нагрузках, например,

жевании или парафункциях, кристаллическая модификация, при которой метастабильная тетрагональная фаза переходит в моноклинную, предотвращает образование трещин [45].

Диоксид циркония используется в изготовлении различных видов стоматологических изделий [4, 12, 24]. Доказано, что циркониевые имплантаты хорошо переносят циклические напряжения [44]. Исследовали компрессионную силу дентальных имплантатов из диоксида циркония с тоннелями [38], вырезанными с помощью лазера. Авторами определено, что данные имплантаты обладают достаточной силой выдерживать окклюзионные нагрузки.

Также проводилось исследование влияния подготовки коронки на надежность одноэтапной установки имплантата из диоксида циркония [37]. Авторы обнаружили, что устойчивость к трещинам без изготовления коронки составляла 1023.3 N, а с коронкой — 1111.7 N. Однако в другом исследовании установлено, что подготовка опорных структур имплантатов оказывает негативное влияние на их прочность [33].

Исследователи оценивали стойкость к изломам одноэтапных имплантов из диоксида циркония (Sigma) после их тестирования в симуляторе с окклюзионными нагрузками после 5 лет использования. Трещины возникли при нагрузке от 725 до 850 N без наличия супраструктур и при нагрузке от 539 до 607 N, если присутствовали супраструктуры имплантатов. Авторы пришли к выводу, что в среднем предел прочности имплантатов из диоксида циркония колебался в пределах клинического применения [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 [7, 9, 11, 18, 20, 31, 39].

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 [46].

Диоксид циркония и титан обладают схожими свойствами, относящимися к длительной стабильности и биосовместимости, однако имеется существенное отличие в их эстетических характеристиках. Цвет мягких тканей периимплантного участка вокруг ортопедической реставрации является определяющим эстетическим фактором [41].

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 остеоинтеграции и биомеханическую фиксацию [9, 29].

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 [5, 28], средняя глубина шероховатости поверхностей после пескоструйной обработки корундом, протравливания или плазменного напыления колеблется от 1,5 до 5 мкм и совпадает со средними значениями оптимальной шероховатости поверхности. Результаты других экспериментов, в которых оценивались импланты с разной топографией поверхности, показали, что улучшение костеобразования наблюдалось в тех случаях, когда создавались поверхности Sa 1,5 мкм/Ra 1,2 мкм [30].

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 [46].

В опыте *in vivo* авторы [40] 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 [45].

Похожие результаты, указывающие на незначительную разницу между циркониевыми и титановыми имплантатами, продемонстрировали в другом опыте, в котором количественно оценивали 7 видов контаминации бактерий на каждом импланте через 2 недели и 3 месяца после его установления [30]. Таким образом, бактериальная адгезия напрямую связана с характером поверхности [6, 17, 36], 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 имплантата [12, 32, 42]. Исследователи [46] сравнили интен-

сивность 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 [39].

Опыт показал [43], что резистентность циркония к бактериальной адгезии обеспечивается за счет электронной проводимости самого материала. Было показано, 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 [35]. Определили, что через 6 месяцев значительно меньшая воспалительная инфильтрация наблюдалась вокруг циркониевых имплантов.

Изучали и сравнивали [31] 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 [7, 10, 15, 39]. Чтобы обосновать всю необходимость гигиены, нужно понять следующие процессы: образование пелликулы, следующее формирование биопленки и процесс возникновения периимплантата. 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 [22, 34, 36, 46].

Заболевания пародонта являются следствием метаболических процессов в биопленке, которые вызывают воспаление периодонтальных тканей и утрату альвеолярной кости [24, 33, 40]. Развитие пелликулы и образование биопленки, ведущее за собой последующее возникновение воспаления, свойственны не только естественным зубам, но и дентальным имплантатам [12, 19, 45].

Такой процесс может вызвать смещение периимплантных тканей в апикальную сторону и, соответственно, потерю костной ткани. Частота возникновения периимплантитов выше, чем частота возникновения заболеваний пародонта естественных зубов, потому что зубодесневое соединение намного прочнее, 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 эндостальная часть в идеале должна быть полностью окружена костной тканью и поэтому не должна подвергаться образованию биопленки. В отличие от этого, трансмукозальная часть подвергается колонизации микроорганизмами сразу же после установки в полости рта [38].

К факторам, влияющим на колонизацию микроорганизмов, относят характеристику поверхности имплантата, 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 от имплантатов без повреждения их поверхности [26].

Отдельно следует остановиться на вопросах электрохимических процессов при лечении адентии методом дентальной имплантации. Известно, что титановые хирургические конструкции и сплавы не являются инертными и индифферентными с данной точки зрения. Клинические проявления выявляются у 4–11% пациентов как неприятные ощущения различного типа, интенсивность которых в ряде случаев превышает индивидуальный порог переносимости [8].

Данные ряда экспериментальных и клинических исследований свидетельствуют о том, что металлические стоматологические конструкции в полости рта обуславливают изменения в составе и pH ротовой жидкости, что отрицательно влияет на адаптацию к ним зубочелюстной системы, в особенности при отягощенном пародонтологическом статусе [9,

14, 15]. Это вызывается коррозионными электрохимическими процессами в металлических конструкциях в результате взаимодействия со слюной, являющейся электролитически коррозионно-активной средой. Данное взаимодействие может приводить к патологическим состояниям и заболеваниям полости рта у ряда пациентов [2, 3, 6, 10, 17].

Зависимость между патологическими изменениями слизистой полости рта и наличием стоматологических конструкций продемонстрирована в ряде работ [11]. Наиболее часто наблюдается токсическое воздействие микроэлементов, вымывающихся в слюну из сплавов конструкций, электрохимические повреждения тканей ротовой полости, аллергические реакции на различные компоненты сплавов, а также отрицательное влияние на состав микробиоты полости рта и гигиеническое состояние ее органов [12].

Указывается на необходимость различать 4 механизма воздействия конструкционных материалов на организм пациента: термоизолирующий, аллергический (реакции гиперчувствительности замедленного и немедленного типа), токсический (общий и местный (непосредственный и опосредованный)), а также механический [17]. Следует отметить, что в последние годы ряд специалистов расценивает гальваноз как вид аллергопатологии — электромагнитную аллергию [4, 16]. Однако эту точку зрения разделяют далеко не все исследователи, в связи с чем в печатных изданиях по-прежнему доминирует термин «гальваноз». По мнению ряда авторов, четко определить, какой из этих механизмов лежит в основе нежелательных эффектов или заболеваний после проведенной дентальной имплантации, практически не представляется возможным, поскольку в большинстве случаев отмечается их комбинированное воздействие.

Еще одним аспектом рассматриваемой проблемы является снижение местного иммунитета под влиянием электрохимических процессов, протекающих в полости рта у пациентов с титановыми имплантатами. Как известно, состояние резистентности слизистой оболочки полости рта характеризуется такими параметрами, как содержание иммуноглобулинов, активность лизоцима и количество лейкоцитов в ротовой жидкости. При наличии в полости рта стоматологических конструкций, изготовленных из металлов, происходит значительное (в 2–2,5 раза ниже нормы) снижение содержания лизоцима и бета-лизинов, что может привести к развитию воспалительных процессов [19]. В частности, создаются благоприятные условия для развития грибковых инфекций полости рта (например, для кандидозного стоматита), которые традиционно считаются индикатором иммунного дефицита [19, 29].

Изменение pH ротовой жидкости и ее сдвиг в кислую сторону способствует снижению и ее минерализующей функции. Более того, при снижении

pH менее 6,0 запускается процесс деминерализации зубной эмали. Кроме того, изменение микроэлементного состава ротовой жидкости способствует изменению активности ее ферментов, что, в свою очередь, сказывается на состоянии обменных процессов в полости рта в целом — специалисты расценивают эти изменения как свидетельство токсической реакции на присутствие металлов в полости рта [12, 18].

Коррозия металлических стоматологических конструкций может способствовать и изменению окраски маргинальной десны, а также развитию хронического гингивита [5, 8]. Эти явления объясняют наличием металлических включений в эпителий десны, обладающим высокой степенью поглощения [15]. При этом в 50% случаев даже при клинически здоровой десне микроскопическое исследование выявляет признаки гингивита.

Новейшие методики и материалы, к которым относится диоксид циркония, обладают важными преимуществами, а использование диоксида циркония в качестве дентальных имплантатов значительно повышает клиническую эффективность лечения [20]. Следовательно, при планировании дентальной имплантации необходимо отдавать предпочтение имплантатам из диоксида циркония, что позволит избежать развития негативного влияния лечения как на органы и ткани полости рта, так и на организм в целом.

Цирконий образует на поверхности плотную диоксидную пленку  $ZrO_2$  с хорошими защитными свойствами [12, 21, 41]. 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.

## Выводы

В настоящее время все большее внимание как врачей-стоматологов, так и пациентов привлекают дентальные керамические имплантаты. С каждым годом клиническое применение керамических имплантатов становится все шире. Только в Европе ежегодно проходит 3 крупных конгресса по керамической имплантологии. Во многих странах увеличилось количество ассоциаций, занимающихся именно этой тематикой. Керамические имплантаты обладают неограниченным потенциалом для клинического применения. 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.

Таким образом, проведенный обзор литературных источников по вопросам эффективности керамических дентальных имплантатов показал научно обоснованные возможности клинического применения данного типа имплантатов в современной стоматологии.

## Литература/References

1. Бибен А. В., Ожоган З. Р. Трибологическое испытание стоматологических эстетических конструкционных материалов. Вестник стоматологии. 2018;3:41–46. [A. V. Biben, Z. R. Ozhogan. Tribological testing of dental aesthetic structural materials. Bulletin of dentistry. 2018;3:41–46. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=36769822>
2. Бутенко О. Г., Топольницкий О. З., Ромодановский П. О. Некоторые аспекты судебно-медицинской оценки дефектов медицинской помощи при оказании стоматологического лечения при использовании ортопедических конструкций на дентальных имплантатах с возникновением синдрома гальванизма. Стоматология для всех. 2020;1 (90):24–27. [O. G. Butenko, O. Z. Topolnitsky, P. O. Romodanovsky. Some aspects of forensic medical assessment of medical care defects in the provision of dental treatment when using orthopedic structures on dental implants with the occurrence of galvanism syndrome. Dentistry for everyone. 2020;1 (90):24–27 (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=42634723>
3. Гречишников Н. С. Методы диагностики гальваноза. Научное обозрение. Медицинские науки. 2017;4:7–11. [N. S. Grechishnikov. Methods for diagnosing galvanosis. Scientific review. Medical Sciences. 2017;4:7–11. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=28781644>
4. Дубова Л. В., Манин О. И., Романенко М. В., Гиряев С. Г. Оценка показателей разности электрохимических потенциалов у пациентов с непереносимостью к материалам зубных протезов с опорой на дентальные имплантаты. Актуальные вопросы стоматологии. Сборник научных трудов, посвященный основателю кафедры ортопедической стоматологии КГМУ профессору Исааку Михайловичу Оксману. Казань. 2021:579–582. [L. V. Dubova, O. I. Manin, M. V. Romanenko, S. G. Giryayev. Evaluation of the indicators of the difference in electrochemical potentials in patients with intolerance to the materials of dentures based on dental implants. Topical issues of dentistry. A collection of scientific papers dedicated to the founder of the Department of Orthopedic Dentistry of KSMU, Professor Isaac Mikhailovich Oksman. Kazan. 2021:579–582. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=45687300>
5. Карпук И. Ю. Иммунопатогенез, иммуноаллергодиагностика и профилактика непереносимости стоматологических материалов: автореф. Дис. ... д-ра мед. наук. Витебск, 2018:49. [I. Yu. Karpuk. Immunopathogenesis, immunoallergodiagnosis and prevention of intolerance to dental materials: abstract dis. ... doctor of medical sciences. Vitebsk, 2018:49. (In Russ.).] <https://science-medicine.ru/article/view?id=989>
6. Кристалль Е. А., Левичкая М. В. Диагностика и лечение гальванизма. Современные научные исследования и инновации. 2017;3:664–666. [E. A. Kristal, M. V. Levitskaya. Diagnosis and treatment of galvanism. Modern scientific research and innovation. 2017;3:664–666. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=29002391>
7. Лебедев К. А., Янушевич О. О., Митронин А. В. и др. К вопросу аллергонепереносимости на стоматологические материалы у пациентов с синдромом гальванизма. Современная стоматология — эффективность профилактики и лечения. Нанотехнологии в стоматологии. Тверь. 2014:167–172. [K. A. Lebedev, O. O. Yanushevich, A. V. Mitronin. On the issue of allergy to dental materials in patients with galvanism syndrome. Modern dentistry — the effectiveness of prevention and treatment. Nanotechnology in dentistry. Tver. 2014:167–172. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=49244490>
8. Манин О. И., Золотницкий И. В., Романенко М. В., Рудакова А. М. Анализ жалоб у пациентов с явлениями непереносимости зубных протезов с опорой на дентальные имплантаты. Российская стоматология. 2022;15 (3):52–53. [O. I. Manin, I. V. Zolotnitsky, M. V. Romanenko, A. M. Rudakova. Analysis of complaints in patients with symptoms of intolerance to dental prostheses based on dental implants. Russian dentistry. 2022;15 (3):52–53. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=49387856>
9. Манина Е. И., Баринов Е. Х., Манин А. И., Манин О. И. Непереносимость стоматологических конструкционных материалов, используемых при изготовлении зубных протезов. Медицинское право: теория и практика. 2017;3:1 (5):298–304. [E. I. Manina, E. Kh. Barinov, A. I. Manin, O. I. Manin. Intolerance to dental structural materials used in the manufacture of dentures. Medical law: theory and practice. 2017;3:1 (5):298–304. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=29712639>
10. Мау О. Диоксид циркония в сочетании со спекаемым металлом. Новое в стоматологии. 2018;7:32–36. [O. Mau. Zirconium dioxide in combination with sintered metal. New in dentistry. 2018;7:32–36. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=47248531>
11. Овчаренко Е. Н., Жадко С. И., Колбасин П. Н., Никольская В. А. Влияние сплавов металлов ортопедических конструкций на процессы свободнорадикального окисления в ротовой жидкости. Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2014;3: 45–48. [E. N. Ovcharenko, S. I. Zhadko, P. N. Kolbasin, V. A. Nikolskaya. Influence of metal alloys of orthopedic constructions on the processes of free radical oxidation in the oral fluid. Journal of Grodno State Medical University. 2014;3:45–48. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=22133199>
12. Оганян А. И., Апресян С. В., Акулович А. В. Штифтовые конструкции из диоксида циркония, применяемые в различных участках зубного ряда. Российский стоматологический журнал. 2017;3:135–137. [A. I. Oganyan, S. V. Apresyan, A. V. Akulovich. Zirconia pin constructions used in various parts of the dentition. Russian Dental Journal. 2017;3:135–137. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=29460145>
13. Олесов Е. Е., Никитин В. В., Глазкова Е. В., Олесова В. Н., Степанов А. Ф. Персонализированный подход к профилактике воспалительных осложнений дентальной имплантации. Курортная медицина. 2017;3:188–190. [E. E. Olesov, V. V. Nikitin, E. V. Glazkova, V. N. Olesova, A. F. Stepanov. Personalized approach to the prevention of inflammatory complications of dental implantation. Spa medicine. 2017;3:188–190. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=30280669>
14. Рединов И. С., Кожевников С. В., Шевкунова Н. А. и др. Диагностика непереносимости ортопедических конструкционных материалов на фоне гальваноза у пациентов стоматологического приема. Труды Ижевской государственной медицинской академии. Ижевск: ФГБОУ ВПО «Ижевская государственная медицинская академия» МЗ РФ; 2020;122–124. [I. S. Redinov, S. V. Kozhevnikov, N. A. Shevkunova. Diagnosis of intolerance to orthopedic structural materials against the background of galvanosis in dental patients. Proceedings of the Izhevsk State Medical Academy. Sat. scientific articles. Izhevsk: FGBOU VPO «Izhevsk State Medical Academy» of the Ministry of Health of the Russian Federation. 2020;122–124. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=44509882>
15. Романенко М. В., Манин О. И., Гиряев С. Г. Сравнительная оценка показателей разности электрохимических потенциалов между имплантатами разных фирм-производителей и конструкционными материалами в условиях, имитирующих агрессивную среду ротовой жидкости. Рос. Стоматология. 2021;14;2:61–62. [M. V. Romanenko, O. I. Manin, S. G. Giryayev. Comparative assessment of the indicators of the difference in electrochemical potentials between implants from different manufacturers and structural materials under conditions simulating the aggressive environment of the oral fluid. Ros. Dentistry. 2021;14;2:61–62. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=46224704>
16. Романенко М. В., Манин О. И., Рудакова А. М. Анализ индивидуальной чувствительности к конструкционным материалам у пациентов с зубными протезами с опорой на дентальные имплантаты, предъявляющих жалобы на явления непереносимости. Стоматологическая весна в Белгороде. 2022:205–207. [M. V. Romanenko, O. I. Manin, A. M. Rudakova. Analysis of individual sensitivity to structural materials in patients with dentures based on dental implants, who complain of intolerance phenomena. Dental spring in Belgorod. 2022:205–207. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=49339896>
17. Скальный А. А. Физическая активность и обмен микроэлементов. Микроэлементы в медицине. 2020;21 (2):3–12. [A. A. Skalny. Physical activity and micronutrient metabolism. Microelements in medicine. 2020;21 (2):3–12. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=43043157>
18. Смирнов А. С., Максименко Л. Л., Багаев С. И. Компромисс между прочностью и биосовместимостью. Стоматолог. 2017;1:22–24. [A. S. Smirnov, L. L. Maksimenko, S. I. Bagaev. A compromise between strength and biocompatibility. Dentist. 2017;1:22–24. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=28362573>
19. Тебенова Г. М., Аскарова 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>
20. Титов П. Л., Мойсейчик П. Н. Иммуный статус пациентов с жалобами на неблагоприятное действие дентальных 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>
21. Филиппенкова Л. О., Галатенко Н. А., Рожнова Р. А. и др. Сравнение биосовместимости образцов материалов для изготовления несъемных ортопедических стоматологических конструкций с помощью имплантационного теста. Современная стоматология. 2016;4:92–94. [L. O. Filippenkova, N. A. Galatenko, R. A. Rozhnova. Comparison of the biocompatibility of material samples for the manufacture of fixed orthopedic dental structures using an implantation test. Modern dentistry. 2016;4:92–94. (In Russ.).] <https://elibrary.ru/item.asp?id=36367550>
22. Чолокова Г. С., Юлдашев И. М., Тыналиева Д. М., Абыкеева П. 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>
23. 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.dissereat.com/content/eksperimentalno-klinicheskoe-sravnenie-keramicheskikh-i-titanovykh-dentalnykh-implantatov>
24. Carreño 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.
25. Barylyak A. Y., Uhryn M. M., Got S.-R. R. Leczenie periimplantitis przy uzyciu lasera Er: YAG w polanczeniu z terapia fotodynamiczna. W: 2. Kongres Polskiego Towarzystwa Stomatologii Laserowej. 2017:7–8. <https://elibrary.ru/item.asp?id=46113079>



26. 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.
27. Cionca N., Hashim D., Cancela J., Giannopoulou C., Mombelli A. Pro-inflammatory cytokines at zirconia implants and teeth. A cross-sectional assessment // *Clin Oral Investig.* — 2016;20 (8):2285–2291. doi: 10.1007/s00784-016-1729-z.
28. Cionca N., Hashim D., Mombelli A. Zirconia dental implants: where are we now, and where are we heading? // *Periodontol 2000.* — 2017;73 (1):241–258. doi: 10.1111/prd. 12180.
29. Got S.-R. R., Ugryn M. M., Bondarczuk O. L. Porownawcza ocean zastosowania przy protezowaniu na implantach przyczolkow tytanowych i z tlenu cyrkonu // *Magazyn Stomatologiczny.* — 2018; (12):40–44. doi:10.1111/prd. 12185.
30. 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.
31. 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.
32. Kim G. O., Choi Y. S., Bae C. H., Song S. Y., Kim Y. D. Effect of titanium dioxide nanoparticles (TiO<sub>2</sub> 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.
33. 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.
34. 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. Epub 2017 Nov 28. PMID: 28902420.
35. Mansoor Al-Tae M. J., Turke A. M., Al-Ethawi R. N., Jabbar A. L. The effect of gold nanoparticles in growth and biofilm formation of methicillin resistant *Staphylococcus aureus* MRSA isolated from various clinical cases // *Plant Archives.* — 2018;18 (1):601–608. doi: 10.5037/jomr. 2021.12401.
36. Nishihara H., Haro Adanez M., Att W. Current status of zirconia implants in dentistry: preclinical tests // *J Prosthodont Res.* — 2019;63 (1):1–14. doi: 10.1016/j.jpjor. 2018.07.006.
37. Osman R., Swain M. A Critical Review of Dental Implant Materials with an Emphasis on Titanium versus Zirconia // *Materials.* — 2015;8 (3):932. doi: 10.3390/ma8030932.
38. 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.
39. 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.
40. 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.
41. Roehling S., Astasov-Frauenhoffer M., Hauser-Gerspach L., Braissant O., Woelfler H., Waltimo T. In vitro biofilm formation on titanium and zirconia implant surfaces // *Periodontol.* — 2017;88 (3):298–307. doi: 10.1902/jop. 2016.160245.
42. 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
43. 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. jpjor. 2017.07.003.
44. Suárez-López Del Amo F., Rudek I., Wagner V. P., Martins M. D., O’Valle F., Galindo-Moreno P., Giannobile W. V., Wang H. L., Castilho R. M. Titanium Activates the DNA Damage Response Pathway in Oral Epithelial Cells: A Pilot Study // *Int J Oral Maxillofac Implants.* — 2017;32 (6):1413–1420. doi: 10.11607/jomi. 6077.
45. Thoma D. S., Gamper 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.
46. Valentini X., Denefburg P., Patchi P. Morphological changes caused by exposure to TiO<sub>2</sub> nanoparticles in cultures of primary cortical neurons and in the rat brain // *Toxicol Rep.* — 2018;5:878–889. doi: 10.1002/cre<sup>2</sup>.582.
47. World health statistics 2021: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Geneva: World Health Organization. 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/342703>