

Сравнительный обзор физико-химических характеристик титана и диоксида циркония, используемых для производства дентальных имплантатов

О.О. Янушевич¹, Н.И. Крихели¹, П.Ю. Перетягин^{1,2}, А.М. Цициашвили¹, О.В. Крамар¹, Н.Ю. Перетягин^{1,2}, П.А. Науменко², М.Н. Бычкова¹, Е.В. Кузнецова², Н.В. Солис Пинарготе²

¹ ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России, Москва, Россия

² ФГАОУ ВО «МГТУ»СТАНКИН», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

С учетом продолжения поиска оптимального материала для производства дентальных имплантатов, представляется актуальным сопоставить по данным литературы физико-химические свойства (механические свойства, способность к остеоинтеграции, усталостная выносливость титана (cpTi grade 1-4, Ti-6Al-4V) и иттриево-стабилизированного диоксида циркония (ZrO₂), применяемых для производства дентальных имплантатов. Проведен анализ опубликованных экспериментальных клинических работ (in vitro, in vivo), исследований с помощью симуляций на основе метода конечных элементов. Обзор показывает сопоставимую способность к остеоинтеграции у обоих материалов, диоксид циркония демонстрирует более высокий модуль упругости и твердость, но повышенную чувствительность к усталости. Титан сохраняет преимущество по пластичности и доказанной долгосрочной эксплуатации. Таким образом, титан остается наиболее универсальным и прогнозируемым материалом, в то время как циркониевые имплантаты для ряда клинических случаев являются настоящей и перспективной альтернативой.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дентальная имплантология, диоксид циркония, титан, сплавы для дентальной имплантологии, материалы для имплантатов, дентальные имплантаты, метод конечных элементов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

A comparative review of the physical and chemical characteristics of titanium and zirconium dioxide used for the production of dental implants

O.O. Yanushevich¹, N.I. Krikheli¹, P.Yu. Peretyagin^{1,2}, A.M. Tsitsiashvili¹, O.V. Kramar¹, N.Yu. Peretyagin^{1,2}, P.A. Naumenko², M.N. Bychkova¹, E.V. Kuznetsova², N. W. Solis Pinargote²

¹ Russian University of Medicine of the Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia

² Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow, Russia

SUMMARY

Taking into account the continuing search for the optimal material for the production of dental implants, it seems relevant to compare, according to the literature, the physico-chemical properties (mechanical properties, osseointegration ability, fatigue endurance of titanium (cpTi grade 1-4, Ti-6Al-4V) and yttrium-stabilized zirconium dioxide (ZrO₂) used for the production of dental implants. The analysis of published experimental clinical papers (in vitro, in vivo), studies using simulations based on the finite element method. The review shows a comparable ability to osseointegration in both materials, zirconium dioxide demonstrates a higher modulus of elasticity and hardness, but increased sensitivity to fatigue. Titanium retains the advantage of plasticity and proven long-term operation. Thus, titanium remains the most versatile and predictable material, while zirconium implants are a real and promising alternative for a number of clinical cases.

KEYWORDS: dental implantology, zirconium dioxide, titanium, alloys for dental implantology, material for implants, dental implants, finite element method.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Актуальность

Дентальная имплантология представляет собой высокотехнологичную междисциплинарную область стоматологии, направленную на функциональную и эстетическую реабилитацию пациентов с отсутствием зубов [1–3]. История дентальной имплантологии сопровождает историю развития медицины и человечества в целом. К одной из древних археологических находок зубных имплантатов относят железный зубной протез, найденный в 2006 году в кельтской гробнице близ Труа (Франция). Данная находка была датирована примерно 300 годом до нашей эры, а железный зуб принадлежал женщине из высшего сословия [4].

Так же зубные имплантаты устанавливали и цивилизация Майя около 600 года нашей эры. Имплантаты были изготовлены из фрагментов раковин, которые устанавливали вместо утраченных зубов нижней челюсти [5]. В древнем Египте для замещения отсутствующих зубов применялись фрагменты костей животных, заменяя тем самым отсутствующие зубы [6]. Таким образом, вопрос выбора материала для изготовления дентального имплантата также неразрывно связан с развитием дентальной имплантологии.

Существенный прорыв в имплантологии произошел при открытии феномена «остеоинтеграции» шведским ученым П.-И. Бранемарком, и при дальнейшем изучении

этого процесса. До открытия феномена остеоинтеграции параметром успешной имплантации считалось образование фиброзной ткани вокруг имплантата. При нагрузке распределялась по мягким тканям и имплантат оставался подвижным, что не позволяло выдерживать жевательную нагрузку в долгосрочной перспективе. В свою очередь остеоинтеграция в дальнейшем была описана как прямой контакт между костью и имплантатом без образования промежуточного компонента мягких тканей по средствам возникающей химической реакции на границе кость/имплантат [7].

Учитывая, что феномен остеоинтеграции был открыт благодаря использованию титана (титановой камеры), с тех пор и по сегодняшний день наиболее распространенным материалом для производства дентальных имплантатов остается титан и его сплавы (Ti-6Al-4V, TiZr), при этом существуют альтернативы в виде диоксида циркония. Несмотря на многовековую историю применения различных материалов для замещения зубов и значительный прогресс, достигнутый с момента открытия феномена остеоинтеграции (Au, Pd, Pt, Al₂O₃ и др.) до сих пор остается открытым вопрос выбора оптимального материала для дентальных имплантатов. Титан доказал высокую надежность и стал стандартом имплантологии, однако керамические материалы, такие как диоксид циркония, обладают преимуществами в эстетике и биосовместимости, но требуют дополнительного изучения в аспекте механической прочности и долговечности. В данной работе был произведен поиск и сравнительный анализ данных о физико-химических свойствах титана и диоксида циркония, применяемых для производства дентальных имплантатов, включая результаты экспериментальных испытаний и моделирования методом конечных элементов (МКЭ), с целью выявления преимуществ и ограничений материалов для эффективного и безопасного использования.

Материалы и методы. Проведен поиск литературы по ключевым словам «Титан» (Titanium), «Диоксид циркония» (Zirconia), «Сплавы для дентальной имплантологии» (Alloys for dental implantology), «Материалы для имплантатов» (Material for implants), «Зубные имплантаты» (Dental implants), «Механические свойства имплантатов» (Mechanical properties of implants), «Метод конечных элементов» (Finite element method), за период с 1983 по 2025 годы, в следующих базах данных PubMed Central, ScienceDirect, Scopus, Web of Science, Google Scholar.

Результаты и обсуждение

Титан является «золотым стандартом» в области дентальной имплантологии. В первую очередь это связано с биоинертностью материала, что способствует остеоинтеграции. Кроме того, титан считается биосовместимым, и аллергические реакции на него встречаются крайне редко. Это подтверждается исследованием Сисилия и др. [8], в котором из 1500 пациентов с имплантатами аллергическая реакция на титан была подтверждена лишь у 0,6% обследованных. Такой низкий уровень аллергенности связан с формированием анатаза (TiO₂) толщиной 4–6 нм. Анатаз образуется на поверхности титанового имплантата из-за его контакта с кислородом из воздуха и последующей термической обработки. Данное покрытие обеспечивает высокую адгезию клеток к поверхности имплантата и защищает его от коррозии. Как правило, в имплантологии используют два вида титана, это чистый титан (cpTi Grade 1–4), и Ti-6Al-4V. Чистый титан поставляется в четырех марках (grade), которые отличаются друг от друга содержанием титана (98,9–99,6%) кислорода (0,18–0,4%) [9]. Исходя из данных на рисунке 1, можно сделать вывод что количество легирующих элементов прямо влияет на прочность титана.

Поскольку cpTi grade 4 имеет наибольшее содержание кислорода, он имеет большую прочность на разрыв (550 МПа), и больший предел текучести (483 МПа) по сравнению с другими марками (см. таблицу). Важно отметить, что свойства, указанные в данной таблице справедливы для тел толщиной до 76 мм и максимальной площадью 64,5 мм² [10]. В свою очередь сплав Ti-6Al-4V имеет физико-механические характеристики выше, чем

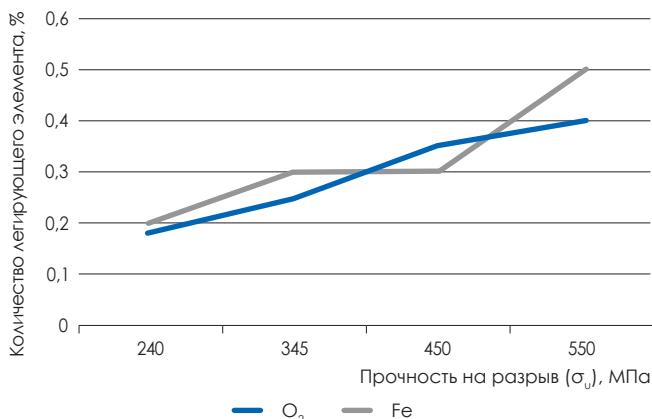


Рисунок 1. Зависимость количества легирующих элементов и прочности на разрыв

Таблица
Характеристики сплавов титана

Материал	O ₂ ≤ %	Fe ≤ %	Ti ≥ %	Прочность на разрыв (σ _r), МПа	Предел текучести (σ _{0,2}), МПа	Относительное удлинение при разрыве (б), %	Модуль упругости (E), ГПа
CpTi grade 1	0,18	0,20	99,62	240	138	24	102
CpTi grade 2	0,25	0,30	99,45	345	275	20	102
CpTi grade 3	0,35	0,30	99,35	450	380	18	102
CpTi grade 4	0,40	0,50	98,9	550	483	15	104
Ti-6Al-4V	0,2	0,5	90	895	828	10	113

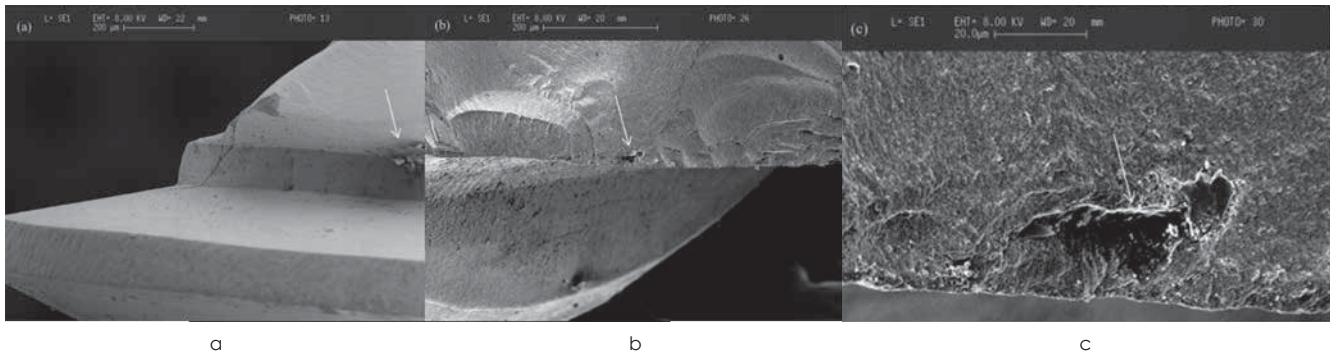


Рисунок 2. Изображения с сканирующего электронного микроскопа при различном увеличении сломанных циркониевых имплантатов, на которых видны пористости (белые стрелки указывающие на причину разрушения имплантата): а – коэффициент увеличения: $\times 250$; б – коэффициент увеличения $\times 500$; с – коэффициент увеличения $\times 800$

у cpTi grade 4, но он может выделять ионы алюминия и ванадия. Алюминий способен нарушать минерализацию кости, а ванадий является цитотоксичным и может вызывать аллергические реакции [11].

Во время установки дентальный имплантат фиксируется в кортикальную и губчатую кость с усилием 25–45 Н·см, таким образом достигается первичная/механическая стабильность дентального имплантата. При этом модуль упругости кортикальной кости составляет в среднем 13,7–27 ГПа, губчатой – 1,37–1,85 ГПа, тогда как у титанового имплантата модуль упругости равен 100–120 ГПа, что вызывает эффект «экранирования напряжения» (stress shielding). В результате экранирования напряжения большую часть жевательной нагрузки воспринимает имплантат, тем самым снижая нагрузку на окружающую костную ткань [12]. Недостаток механической стимуляции костной ткани, приводит к резорбции вокруг шейки имплантата, что может стать причиной воспалительных процессов и снижению стабильности конструкции имплантата. Согласно данным исследований, титан способен вызывать аллергические реакции и гиперчувствительность к металлам у 0,6–1% пациентов [13]. Кроме того, ввиду металлической природы титана возможно возникновение гальванических токов при наличии в организме нескольких металлов. В роли электролита в таких случаях выступают слюна или тканевая жидкость [14].

В качестве альтернативы титановым дентальным имплантатам все чаще рассматривается керамика на основе диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия. Этот материал отличается высокой биосовместимостью, сочетает в себе прочность, надежность и эстетичность. Остеоинтеграция имплантатов из диоксида циркония не уступает титановым аналогам и при определенных условиях может демонстрировать более высокие показатели по остеоинтеграции, износостойкости и коррозионной устойчивости. Но при этом оксид циркония остается хрупким керамическим материалам со значительной чувствительностью к дефектам поверхности (рисунок 2). При проектировании имплантатов из диоксида циркония следует избегать или минимизировать все области, которые могут выступать в качестве мест концентрации напряжений [15].

Результаты многочисленных *in vitro* и *in vivo* исследований подтверждают отсутствие локальных или системных неблагоприятных реакций при использовании циркониевых имплантатов. С физико-механической точки зрения данный материал обладает прочностью на изгиб в диапазоне 900–1200 МПа и прочностью на сжатие около 2000 МПа, что может обеспечивать высокую устойчивость к функциональным нагрузкам [16]. Модуль упругости материала составляет 210 ГПа, что практически вдвое выше, чем у титана, и, как описывалось ранее, значительная разница в модулях упругости между имплантатом и кортикальной или губчатой костью может вызывать эффект «экранирования напряжения». В работе [17] был проведен опрос среди врачей-стоматологов со стажем работы в дентальной имплантологии не менее пяти лет. Целью опроса было изучение проблем клинического применения керамических дентальных имплантатов. Большинство опрошенных врачей (более 80%) одной из причин называли сомнения в прочности керамики. Рассмотрим работы, где сравнивались и проводились исследования титановых и циркониевых имплантатов.

Сравнительные исследования титана и диоксида циркония в дентальной имплантологии

В исследовании Арагонесеса и др. [18] был проведен эксперимент *in vivo* на девяти минипигах. В данной работе дентальные имплантаты устанавливали в берцовые кости животных (рисунок 3). Использовались три типа имплантатов – cpTi grade 4, Ti-R (cpTi grade 4) с шероховатой поверхностью после пескоструйной обработки оксидом алюминия) и ZrO_2 . Было отмечено, что cpTi gr 4 и ZrO_2 имели очень схожие характеристики смачиваемости и поверхностной энергии. Остаточные напряжения составили $250,2 \pm 8,9$ МПа для титана и $190,3 \pm 5,2$ МПа для диоксида циркония. Остеоинтеграция оценивалась по гистоморфологическому показателю BIC (Bone-to-Implant Contact) – проценту поверхности, находящейся в непосредственном контакте с костью. Через 4 недели после установки BIC составлял 25% для cpTi grade 4 и 32% для ZrO_2 . Спустя 12 недель значение практически сравнялись – 42% для титана и 43% для циркония. В то же время имплантаты Ti-R благодаря повышенной шерохо-

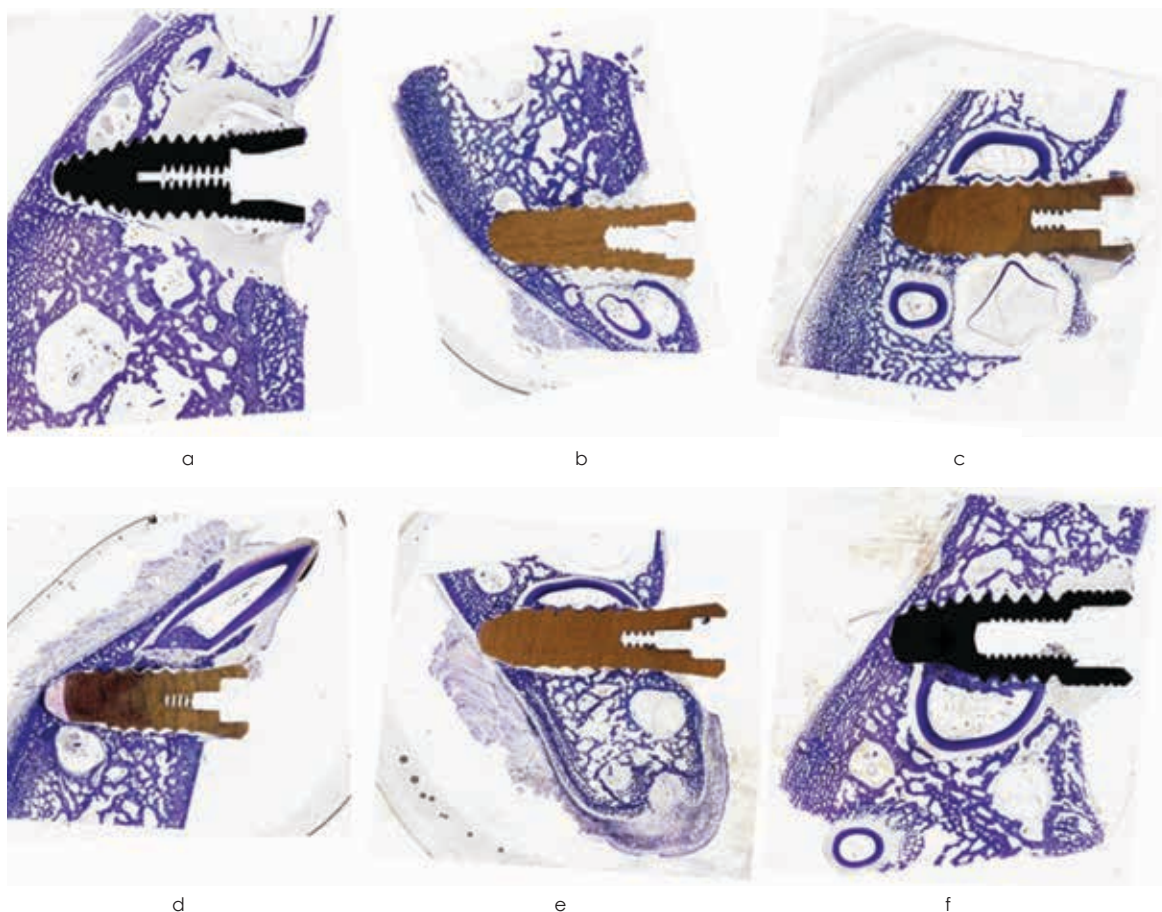


Рисунок 3. Микропрепараты зубных имплантатов (Ti, ZrO₂ и Ti-R), установленных в берцовые кости минипигов на срок 4 и 12 недель: а – зубной имплантат из титана в течение 4 недель; б – зубной имплантат из ZrO₂ в течение 4 недель; с – зубной имплантат Ti-R на 4 недели; д – зубной имплантат из титана в течение 12 недель; е – зубной имплантат ZrO₂ на 12 недель; ф – зубной имплантат Ti-R на 12 недель

ватости демонстрировали значительно более высокий показатель ВИС, достигая 76%. Основываясь на данных показаниях, можно сделать предположение о том, что при внесении изменений в конструкцию керамического имплантата, сделав его более шероховатым, возможно будет добиться таких же результатов, как и у Ti-R. Автор так же отмечает, что имплантаты из ZrO₂ показали меньшую выносливость при высоких нагрузках и выдержали меньшее количество циклов по сравнению с титановыми аналогами.

В исследовании Кохала и др. [19] с использованием компьютерного двухосевого жевательного симулятора была проведена серия испытаний дентальных имплантатов из ZrO₂ при циклической нагрузке. Результаты показали, что многократное нагружение снижает прочность на излом. Образцы, подвергшиеся пяти миллионам циклов (что соответствует приблизительно двадцатилетнему сроку эксплуатации), демонстрировали значительно более низкие средние значения прочности по сравнению с образцами, испытанными при 1,2 миллиона циклов. Тем не менее даже минимальные показатели прочности (884,89 Н для имплантатов, выдержавших 5 миллионов циклов при нагрузке 98Н) существенно превышали средние окклюзионные силы, которые могут составлять примерно 200–400 Н для передних зубов.

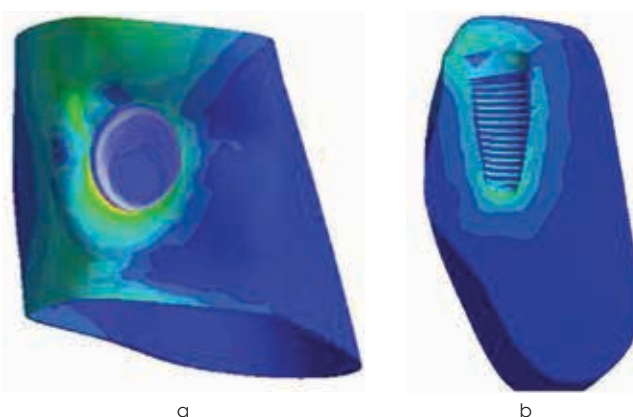


Рисунок 4. а – напряжение с имплантатом из циркония; б – напряжение с имплантатом из титана. Конечно-элементная модель

Однако в исследовании Махалакшми и др. [13] были проанализированы напряжения и деформации костной ткани при нагрузке на титановые и циркониевые дентальные имплантаты. Авторы отметили, что оба материала продемонстрировали схожие показатели (рисунок 4). Для диоксида циркония максимальное напряжения по фон Мизесу при вертикальной нагрузке составило 2,3561 МПа при деформации 0,00387 мм, а при боковой нагрузке значения достигали 4,6258 МПа и 0,00695 мм соответственно. В случае титана максимальное напряжение при верти-

кальной нагрузке составило 2,3152 МПа при деформации 0,00695 мм, тогда как при боковой нагрузке 4,2735 МПа и 0,00684 мм. Таким образом, различия между материалами оказались минимальными, что указывает на сопоставимое распределение напряжений и деформаций в кости несмотря на значительную разницу в модуле упругости.

В исследовании [20] была проведена работа, направленная на оценку характера разрушения и сопротивления перелому различных систем имплантат – абатмент из титана и диоксида циркония. В исследование включили как однокомпонентные конструкции, так и многокомпонентные (двух- и трехкомпонентные) с винтовым и адгезивным типом соединения. Образцы подвергали термическому циклированию (2×3000 циклов при 5°C и 55°C) и механическому нагружению ($1,2 \times 10^6$ циклов при нагрузке 50 Н и частоте 1,6 Гц) под углом 135° к продольной оси имплантата, что моделировало жевательные нагрузки в переднем отделе. Среди циркониевых систем наибольшую устойчивость к нагрузке до момента разрушения продемонстрировал однокомпонентный имплантат, выдержавший в среднем $524,3 \pm 43,1$ Н. Этот же имплантат показал и наибольшее значение максимального изгибающего напряжения – $753,0 \pm 61,9$ Н/мм². В группе титановых имплантатов лучшие результаты продемонстрировал двухкомпонентный имплантат, который выдержал среднюю нагрузку перед разрушением $394,1 \pm 20,2$ Н и достиг максимального изгибающего момента при $525,7 \pm 27,0$ Н/мм².

Заключение

Проведенный обзор и сравнительный анализ физико-химических свойств титана и диоксида циркония как материалов для производства дентальных имплантатов показал, что оба материала обладают высокой биосовместимостью и способностью к остеоинтеграции, но каждый из материалов обладает своими достоинствами и недостатками.

Титан и его сплавы, в частности Ti-6Al-4V, сохраняют статус «золотого стандарта» для имплантологии благодаря надежности, оптимальной способности к остеоинтеграции и многолетней клинической доказательной базе. Однако стоит учитывать недостатки в виде риска развития аллергических реакций, выделение ионов легирующих элементов, а также возможность возникновения гальванических эффектов при наличии нескольких имплантатов из разных металлов в теле пациента. Кроме того, большая разность в модуле упругости между титаном и костной тканью приводит к экранированию напряжений и резорбции кости в области шейки имплантата. Учитывая высокий модуль упругости керамического имплантата этот недостаток свойственен и системам из диоксида циркония.

Имплантаты из диоксида циркония обладают лучшими эстетическими характеристиками и могут быть рекомендованы у пациентов с аллергическими реакциями на металлы. Их способность к остеоинтеграции сопоставима с титановыми имплантатами, а в ряде случаев может их превосходить. При этом цирконий демонстрирует меньшую выносливость при длительном циклическом нагружении. Следует подчеркнуть, что клинический опыт

применения имплантатов из диоксида циркония, стабилизированного иттрием пока ограничен, а количество проведенных исследований относительно невелико, что связано с недостаточным сроком их использования в дентальной имплантологии.

Таким образом, выбор материала для дентальных имплантатов должен основываться на комплексной оценке клинической ситуации. Титан остается наиболее универсальным и прогнозируемым материалом, в то время как циркониевые имплантаты для ряда клинических случаев являются настоящей и перспективной альтернативой.

Список литературы / References

1. Jivraj S, Corrado P, Chee W. An interdisciplinary approach to treatment planning in implant dentistry. *Br Dent J*. 2007 Jan 13;202(1):11–7. doi: 10.1038/bdj.2006.106. PMID: 17220847.
2. Shaik N, Gondyala SS, Bejagam V, Sindhuri Y, Shajahan SF, Bhavsar TS. A review on cutting-edge innovations in dental implantology. *Bioinformation*. 2024 Jul 31;20(7):757–761. doi: 10.6026/973206300200757. PMID: 40401136; PMCID: PMC12093262.
3. Alanazi S. Aesthetic problems related to dental implants in the aesthetic zone: A systematic review. *Saudi Dent J*. 2024, 36(9), 1179–1183. DOI:10.1016/j.sdentj.2024.06.010.
4. Hildebrand H.F. (2013). *Biomaterials – a history of 7000 years*. *BioNanoMaterials*, 14(3–4), 119–133. <https://doi.org/10.1515/bnm-2013-0014>.
5. Abraham C.M. A Brief Historical Perspective on Dental Implants, Their Surface Coatings and Treatments. *Open Dent J*. 2014, 8, 50–55. <https://doi.org/10.2174/1874210601408010050>.
6. Loffy N. History of Dentistry in Ancient Egypt. *AMPDR*, 2(2), 036. doi:10.21622/AMPDR.2022.02.2.036.
7. Bränemark, P.-I. Osseointegration and its experimental background. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 1983, V. 50, No 3, P. 399–410
8. Sicilia A., Cuesta S., Coma G., Arreguil I., Guisasaola C., Ruiz E., Maestro A. Titanium allergy in dental implant patients: a clinical study on 1500 consecutive patients. *Clin. Oral Impl. Res.*, 19, 823–835. doi: 10.1111/j.1600-0501.2008.01544.x.
9. Silva R.C.S., Agrelli A., Andrade A.N., Mendes-Marques C.L., Arruda I.R.S., Santos L.R.L. et al. Titanium Dental Implants: An Overview of Applied Nanobiotechnology to Improve Biocompatibility and Prevent Infections. *Materials* 2022, 15(9), 3150.
10. ASME SB-348 / ASTM B348-11, Standard Specification for Titanium and Titanium Alloy Bars and Billets. (ASTM), 2013.
11. Nicholson J.W. Titanium Alloys for Dental Implants: A Review. *Prosthesis* 2020, 2(1), 100–116. doi:10.3390/prosthesis2020011.
12. Liu B., Xu W., Lu X., Tamaddon M., Chen M., Dong J., Liu Y., Guo L., Zhang J., Qu X. et al. The Optimization of Ti Gradient Porous Structure Involves the Finite Element Simulation Analysis. *Front. Mater.* 2021, 8, 642135. doi:10.3389/fmats.2021.
13. Mahalakshmi G., Gashfi A., Almansour H.M.H., Babajji P., Rao U.M., Haseeb S.A. et al. Evaluation of stress and deformation in bone with titanium, CFR-PEEK and zirconia ceramic implants by finite element analysis. *Dental Research Journal* 2023, 20, 57.
14. Понякина И.Д. и др. Гальванические токи у людей с металлическими имплантатами в теле в сочетании с металлическими зубопротезными конструкциями // *Эндодонтия today*. – 2011. – Т. 9. – №. 1. – С. 37–42. Ponyakina I.D. et al. Galvanic currents in people with metal implants in the body in combination with metal dental prostheses // *Endodontiya today*. – 2011. – Vol. 9. – No. 1. – Pp. 37–42.
15. Osman R.B., Swain M.V. A Critical Review of Dental Implant Materials with an Emphasis on Titanium versus Zirconia. *Materials* 2015, 8, 932–958. doi:10.3390/ma8030932.
16. Piconi C., Maccaro G. Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials* 1999, 20, 1–25.
17. Шумаков Ф.Г. Экспериментально-клиническое сравнение керамических и титановых дентальных имплантатов [Дис. канд. мед. наук, Институт последипломного профессионального образования ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна ФМБА России», Москва, Россия], 2018. Shumakov F.G. Experimental and Clinical Comparison of Ceramic and Titanium Dental Implants [Dis. Cand. Med. Sci., Institute of Postgraduate Professional Education of the Federal State Budgetary Institution «State Research Center of the Russian Federation – Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnazyan of the Federal Medical and Biological Agency of Russia», Moscow, Russia], 2018.
18. Aragonese J., Valverde N.L., Fernandez-Dominguez M., Mena-Alvarez J., Rodriguez C., Gil J., Aragonese J.M. Relevant Aspects of Titanium and Zirconia Dental Implants for Their Fatigue and Osseointegration Behaviors. *Materials*, 15, 4036.
19. Kohal R.J., Wolkewitz M., Tsakona A. The effects of cyclic loading and preparation on the fracture strength of zirconium-dioxide implants: an in vitro investigation. *Clin. Oral Impl. Res.*, 22, 808–814. doi: 10.1111/j.1600-0501.2010.02067.x.
20. Rosentritt M., Hagemann A., Hahnel S., Behr M., Preis V. In vitro performance of zirconia and titanium implant/abutment systems for anterior application. *Journal of Dentistry*, doi:10.1016/j.jdent.2014.03.010.

Информация об авторах

Янушевич Олег Олегович¹ – академик РАН, д.м.н., профессор, ректор, заведующий кафедрой пропедевтики терапевтической стоматологии
E-mail: olegyanushevich@mail.ru. eLibrary SPIN: 1452-1387.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0059-4980>

Крихели Нателла Ильинична¹ – д.м.н., профессор, проректор, заведующая кафедрой клинической стоматологии
E-mail: krikheili_msmsu@mail.ru. eLibrary SPIN: 5807-2718.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8035-0638>

Перетягин Павел Юрьевич^{1,2} – к.т.н., ведущий сотрудник лаборатории искрового плазменного спекания, заведующий лабораторией новых технологий и медицинских материалов
E-mail: peretyagin.mstu@gmail.com. eLibrary SPIN: 6284-8065.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9053-496X>

Цициашвили Александр Михайлович¹ – д.м.н., доцент, профессор кафедры пропедевтики хирургической стоматологии
E-mail: amc777@yandex.ru. eLibrary SPIN: 4195-5760.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4737-8508>

Крамар Ольга Викторовна¹ – начальник управления науки, ассистент кафедры клинической стоматологии
E-mail: dr.ovkramar@gmail.com. eLibrary SPIN: 1171-7192.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0325-587X>

Перетягин Никита Юрьевич^{1,2} – инженер лаборатории новых технологий и медицинских материалов, младший научный сотрудник лаборатории искрового плазменного спекания
E-mail: peretyagin.nikita@yandex.ru. eLibrary SPIN: 6715-8659.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4905-5653>

Науменко Петр Алексеевич² – инженер-исследователь кафедры высокоэффективных технологий и обработки МПТУ «СТАНКИН»
E-mail: p.naumenko@stankin.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6702-1152>

Бычкова Марина Николаевна¹ – к.м.н., доцент кафедры клинической стоматологии
E-mail: stommarina@mail.ru. eLibrary SPIN: 2968-4020.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2173-7779>

Кузнецова Екатерина Викторовна² – научный сотрудник кафедры высокоэффективных технологий и обработки МПТУ «СТАНКИН»
E-mail: e.kuznetsova@stankin.ru. eLibrary SPIN: 2342-1839.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9550-9816>

Солис Пинарготе Нестор Вашингтон² – в.н.с., инженер-исследователь кафедры высокоэффективных технологий и обработки МПТУ «СТАНКИН»
E-mail: nw.solis@stankin.ru. eLibrary SPIN: 6610-7680.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3350-8383>

¹ ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России, Москва, Россия

² ФГАОУ ВО «МГТУ»СТАНКИН», Москва, Россия

Контактная информация:

Цициашвили Александр Михайлович. E-mail: amc777@yandex.ru

Для цитирования: Янушевич О.О., Крихели Н.И., Перетягин П.Ю., Цициашвили А.М., Крамар О.В., Перетягин Н.Ю., Науменко П.А., Бычкова М.Н., Кузнецова Е.В., Солис Пинарготе Н.В. Сравнительный обзор физико-химических характеристик титана и диоксида циркония, используемых для производства дентальных имплантатов. Медицинский алфавит. 2025;(30):150–155. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-30-150-155>

Author information

Yanushevich Oleg O.¹ – DM Sci, prof., rector, head of the Department of Propaedeutics of Therapeutic Dentistry
E-mail: olegyanushevich@mail.ru. eLibrary SPIN: 1452-1387.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0059-4980>

Krikheili Natella I.¹ – DM Sci, prof., vice-rector, head of the Department of Clinical Dentistry
E-mail: krikheili_msmsu@mail.ru. eLibrary SPIN: 5807-2718.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8035-0638>

Peretyagin Pavel Yu.^{1,2} – CT Sci, associate professor of the department «Highly Effective Processing Technologies», head of the Laboratory of New Technologies and Medical Materials
E-mail: peretyagin.mstu@gmail.com. eLibrary SPIN: 6284-8065.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9053-496X>

Tsitsiashvili Alexander M.¹ – MD, Associate Professor, Professor of the Department of Propaedeutics of Surgical Dentistry
E-mail: amc777@yandex.ru. eLibrary SPIN: 4195-5760.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4737-8508>

Kramar Olga V.¹ – Head of the Department of Science, Assistant of the Department of Clinical Dentistry
E-mail: dr.ovkramar@gmail.com. eLibrary SPIN: 1171-7192.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0325-587X>

Peretyagin Nikita Yu.^{1,2} – Engineer of the Laboratory of New Technologies and Medical Materials, Junior researcher at the «Highly Effective Processing Technologies»
E-mail: peretyagin.nikita@yandex.ru. eLibrary SPIN: 6715-8659.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4905-5653>

Naumenko Petr A.² – research engineer at the Department of Highly Efficient Technologies and Processing
E-mail: p.naumenko@stankin.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6702-1152>

Bychkova Marina N.¹ – CM Sci, Associate Professor of the Department of Clinical Dentistry
E-mail: stommarina@mail.ru. eLibrary SPIN: 2968-4020.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2173-7779>

Kuznetsova Ekaterina V.² – Researcher, Department of Highly Efficient Technologies and Processing, MSTU «STANKIN»
E-mail: e.kuznetsova@stankin.ru. eLibrary SPIN: 2342-1839.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9550-9816>

Solis Pinargote Nestor W.² – Leading Researcher, Research Engineer, Department of Highly Efficient Technologies and Processing
E-mail: nw.solis@stankin.ru. eLibrary SPIN: 6610-7680.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3350-8383>

¹ Russian University of Medicine of the Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia
² Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow, Russia

Contact information

Tsitsiashvili Alexander M. E-mail: amc777@yandex.ru

For citation: Yanushevich O.O., Krikheili N.I., Peretyagin P.Yu., Tsitsiashvili A.M., Kramar O.V., Peretyagin N.Yu., Naumenko P.A., Bychkova M.N., Kuznetsova E.V., Solis Pinargote N.W. A comparative review of the physical and chemical characteristics of titanium and zirconium dioxide used for the production of dental implants. Medical alphabet. 2025;(30):150–155. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-30-150-155>

