

Материалы для изготовления дентальных имплантатов (обзор литературы)

О.О. Янушевич¹, Н.И. Крихели¹, П.Ю. Перетягин^{1,2}, О.В. Крамар¹, А.М. Цициашвили¹, И.П. Алексахина¹, Ю.И. Жуковская¹

¹ ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России

² ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет» «СТАНКИН»

РЕЗЮМЕ

Целью данного исследования является анализ различных источников литературы, дающий исчерпывающий обзор характеристик всех конструкционных материалов, используемых в настоящее время при производстве дентальных имплантатов, который также позволит определить тенденцию новых витков развития материаловедения в дентальной имплантологии. Материал исследования включал в себя литературные данные, представленные в научных публикациях, индексируемых в библиографических базах данных PubMed, ScienceDirect и E-library, с использованием в качестве поисковых терминов ключевых слов изолировано и их сочетаний на русском и английском языках («дентальные имплантаты, титан, цирконий, керамика, тантал, биосовместимость, остеоинтеграция, графен»). Результаты показали, что использование всех существующих материалов и технологических процессов для производства дентальных имплантатов оправдано. На сегодняшний день задачей дальнейших научных исследований в данной области является поиск и/или создание материала, отвечающего всем необходимым эксплуатационным требованиям для дентального имплантата, обладающего большей биосовместимостью, меньшим токсическим воздействием на организм или его отсутствием, обеспечивающим оптимальные функционально-эстетические свойства, при минимально возможной стоимости изготовления изделия. Перспективными являются исследования керамо-металлических материалов с добавлением графена, так как в настоящее время исследования показывают его высокую потенциальную приемлемость для внедрения в разработку новых материалов и технологических процессов для производства дентальных имплантатов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дентальные имплантаты, титан, цирконий, керамика, тантал, биосовместимость, остеоинтеграция, графен.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Materials for the manufacture of dental implants (literature review)

O.O. Yanushevich¹, N.I. Krikheli¹, P.Yu. Pereyagin^{1,2}, O.V. Kramar¹, A.M. Tsitsiashvili¹, I.P. Aleksashina¹, Yu.I. Zhukovskaya¹

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

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

SUMMARY

The purpose of this study was to analyze various literature sources, giving an exhaustive overview of the characteristics of all structural materials currently used in the manufacture of dental implants, which will also determine the trend of new developments in materials science in dental implantology. The research material included literary data presented in scientific publications indexed in the bibliographic databases PubMed, ScienceDirect and E-library, using the keywords isolated and their combinations in Russian and English «dental implants, titanium, zirconium, ceramics, tantalum, biocompatibility, osteointegration, graphene» as search terms. The results showed that the use of all existing materials and technological processes for the production of dental implants is justified. To date, the task of further scientific research in this field is to search for and/or create a material that meets all the necessary operational requirements for a dental implant, has greater biocompatibility, less toxic effects on the body or its absence, providing optimal functional and aesthetic properties, at the lowest possible cost of manufacturing the product. Studies of ceramic-metal materials with the addition of graphene are promising, as currently studies show its high potential acceptability for integration in the development of new materials and technological processes for the production of dental implants.

KEYWORDS: dental implants, titanium, zirconium, ceramics, tantalum, biocompatibility, osteointegration, graphene.

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

Введение

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, заболевания полости рта представляют собой широко распространенную группу неинфекционных заболеваний среди населения. Следует отметить, что число людей с заболеваниями полости рта составляет около 3,5 миллиарда человек различных возрастов по всему миру, что составляет приблизительно 45% от всего населения планеты. С увеличением продолжительности жизни количество людей с отсутствием зубов перманентно

увеличивается, достигая рекордных значений в пожилом возрасте. В настоящее время во всем мире насчитывается более 350 миллионов диагностированных случаев полного отсутствия зубов, что соответствует уровню распространенности почти 6,82% [1]. В России частичное отсутствие зубов (рис. 1) затрагивает 40–75% населения, что соответствует диапазону 58–108 миллионов человек. И число пациентов с такими проблемами будет увеличиваться по мере роста среднего возраста населения [2]. Дентальная имплантация, на сегодняшний день, признана одним

из наиболее эффективных методов лечения пациентов с отсутствием зубов [3] и, таким образом, с учетом вышеуказанного, развитие темпов производства дентальных имплантатов обусловлено высокой распространенностью частичного или полного отсутствия зубов среди населения, несвоевременное или неэффективное лечение которого может усугублять состояние зубочелюстной системы, выступать в качестве провоцирующего фактора других заболеваний желудочно-кишечного тракта, снижает качество жизни пациентов [4].

В настоящее время, согласно многочисленным фундаментальным и прикладным исследованиям, основными материалами для дентальных имплантатов являются титан и его сплавы, циркониевые сплавы (включая керамику на основе диоксида циркония), тантал и его сплавы, нержавеющие стали, а также другие материалы (керамика на основе оксида алюминия, нитрида кремния и т. д. [14]. Следует отметить, что из-за самой низкой остеоинтеграции и наличия вредных примесей, количество публикаций, в которых объектами исследования являются имплантаты из нержавеющей стали, значительно сокращается [14].

Конкуренция между производителями дентальных имплантатов и отсутствие универсального материала для производства имплантатов способствует постоянному поиску и разработке новых материалов, которые бы обеспечивали наилучшие условия для эксплуатации. Основными критериями, которым должны отвечать материалы, используемые для производства дентальных имплантатов, являются: способность к остеоинтеграции [5], стимулирование регенерации костной ткани в области дентального имплантата [6], максимальная биосовместимость и минимальное токсическое воздействие на организм или его отсутствие [8]. Кроме того, ряд авторов указывает на важность таких свойств, как обеспечение антибактериального эффекта [7], проявление свойств остеокондуктивности [9], остеоиндуктивности [10], стимулирования остеогенеза [11], а также биомеханической стабильности [12] и устойчивости к коррозии [13].

В настоящий момент существует большое количество систем дентальных имплантатов, изготавливаемых из различных материалов, традиционными среди которых являются титан и керамика [20], в то же время поиск, изучение и внедрение новых материалов, и совершенствование свойств уже используемых материалов остается актуальным на сегодняшний день [14].

Цель исследования

Определение наиболее перспективного материала для производства дентальных имплантатов путем обобщения и анализа основных характеристик конструктивных материалов, используемых в настоящее время.

Материал и методы

Материал исследования включал в себя литературные данные, представленные в научных публикациях в период с 2004 по 2024 год, индексированных в библиографических базах данных PubMed, ScienceDirect и E-library, с использованием в качестве поисковых тер-

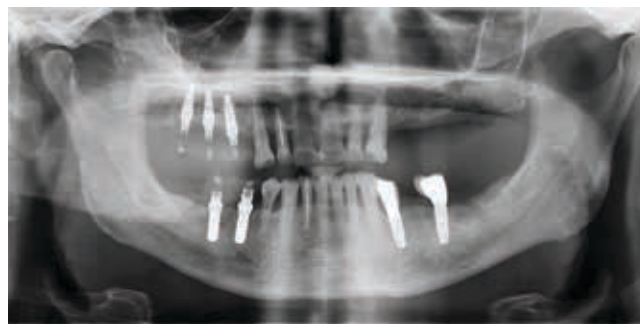


Рисунок 1. Ортопантомограмма пациента с частичной вторичной адентией



Рисунок 2. Дентальные имплантаты из титанового сплава, установленные в полости рта

минов ключевых слов «дентальные имплантаты, титан, цирконий, керамика, тантал, биосовместимость, остеоинтеграция, графен» со спецификациями на различные группы материалов.

Результаты и обсуждения

Основными материалами для производства дентальных имплантатов являются титан и его сплавы (рис. 2). Химические и механические свойства этих сплавов соответствуют большинству требований к материалам, используемым в качестве конструктивных материалов для дентальных имплантатов. Они характеризуются высокой прочностью при низкой плотности, высокой эластичностью [16] и биоинертностью [15]. Однако при всех этих положительных свойствах титана и его сплавов они характеризуются низкой устойчивостью к износу, особенно в условиях трения [16], что имеет решающее значение, так как материал для изготовления имплантата должен обладать высоким коэффициентом трения и низким модулем эластичности, чтобы избежать чрезмерного напряжения на кость [17]. Поэтому сегодня ведутся научно-исследовательские работы, посвященные оптимизации механических свойств титановых сплавов с целью их уравнивания по отношению к свойствам костной ткани путем легирования другими металлами, что закрывает ряд недостатков титановых сплавов. Но несмотря на оптимизированную химическую формулу сплавов и полученные биосовместимый состав, улучшенную коррозионную стойкость и низкий модуль эластичности сложных сплавов титана,



Рисунок 3. Эстетика стоматологических конструкционных материалов, изготовленных из диоксида циркония

серьезными аспектами, ограничивающими эффективность титановых сплавов для производства биомедицинских изделий, являются низкая устойчивость к трибокоррозии в биологических средах организма и неспособность предотвратить бактериальную инфекцию на ранних стадиях восстановления [18].

Проведенный анализ результатов поискового запроса показал, что для изготовления дентальных имплантатов помимо титана используются материалы на основе циркония: его металлические сплавы и керамические материалы на основе диоксида циркония. Цирконий – довольно мягкий серый металл, он имеет более низкий модуль эластичности, лучшую коррозионную стойкость, чем титан, и хорошие биосовместимость и остеоиндуктивность, однако он весьма хрупкий [14]. В отличие от металлического циркония диоксид циркония является сверхтвердым материалом; в то же время он имеет белый цвет, похожий на цвет естественного корня зуба, что благоприятно для реставраций в области «линии улыбки» (рис. 3) [19], он биосовместим, не провоцирует аллергию и является одним из самых долговечных в обслуживании [20]. К поверхности циркония плохо выражена адгезия бактерий, и керамические материалы менее склонны к накоплению зубного налета, чем металлические подложки [21].

Многие плотные керамики были протестированы как многообещающие кандидаты для производства медицинских изделий, используемых в стоматологической практике. Одной из них является стабилизированный иттрием тетрагональный диоксид циркония благодаря своим высоким механическим свойствам в результате эффекта фазового превращения из тетрагональной в моноклинную [22]. По сравнению с другими типами керамических материалов он обладает лучшей трещиностойкостью и прочностью при изгибе, а также превосходной износостойкостью, коррозионной стойкостью, стойкостью к высоким температурам, окислению и гидрофильными свойствами. Эти свойства могут решить проблемы недостаточной прочности традиционных керамических материалов. Данный вид керамики обладает высокой биосовместимостью, что может вызвать биологическую реакцию, аналогичную реакции титана, поэтому считается потенциальной данному металлу. Тем не менее, диоксид

циркония демонстрирует структурную нестабильность в различных естественных условиях (при низких температурах, во влажной среде или ввиду напряженных условий при эксплуатации конструкции) [23]. В этой связи ученые ведут исследования, направленные на разработку и создание новых материалов, которые могли бы сочетать в себе неоднородные положительные свойства керамики и металлов (биокермет) [24]. Анализ литературы 2023–2024 гг. показывает потенциальную перспективность композиции из иттрий-стабилизированного тетрагонального поликристаллического диоксида циркония, армированного танталом [25]. Этот металл является одним из лучших металлических биоинертных материалов благодаря тонкой, но прочной и химически устойчивой пленке пентаоксида тантала, которая самостоятельно образуется на его поверхности [26]. Примечательно, что биосовместимый характер полученных на выходе биокерметов такого состава наряду с их механическими и трибологическими свойствами, преодолевает разрыв между функциональными и структурными материалами [27]. Кроме того, разработанный материал показал биосовместимость *in vitro* и ряд антибактериальных свойств, способствующих профилактике инфекционных осложнений, связанных с дентальными имплантатами [28]. Эта композиция показала клинический потенциал керамических-металлических композитов для применения в стоматологической практике [25].

Однако широкое применение таких керамических изделий ограничено сложностью их обработки. Традиционные методы с использованием алмазного обрабатывающего инструмента являются экономически- и энергос затратными. Поэтому необходимы альтернативные методы обработки. Это может быть электроэрозионная обработка, но данный метод возможен только для материалов с электрическим сопротивлением ниже 100–300 Ом·см [29]. Для решения данной проблемы в керамическую матрицу возможно добавление оксида графена для улучшения электропроводности [30]. Помимо улучшения электропроводности присутствие графена также улучшает механические свойства керамической матрицы за счет уникальных структурных характеристик графена и высокой площади сцепления между графеном и керамо-металлической матрицей, что подтверждено исследованиями [31]. Благодаря сочетанию механических характеристик и структурной стабильности ученые считают, что этот состав является подходящей альтернативой традиционным титановым сплавам для производства дентальных имплантатов [32].

Также альтернативным методом изготовления изделий из керамометаллических материалов могут являться аддитивные технологии, например метод лазерной стереолитографии, при котором происходит селективное лазерное отверждение керамосодержащей пасты, после чего получается заготовка изделия [33]. Данная заготовка в последующем проходит этапы выжигания связующего и окончательного спекания. После чего данное изделие может быть внедрено пациенту без необходимости последующей механической обработки. В этом случае отсутствуют коммерчески доступные легированные раз-

личными компонентами пасты для аддитивной стереолитографии. Требуется дополнительные усилия по разработке таких паст. А после их разработки актуальным является исследование их свойств и ограничений на геометрические характеристики, полученных аддитивными методами керамометаллических стоматологических изделий.

Закключение

Каждый конструкционный материал для производства дентальных имплантатов имеет свои преимущества и недостатки. Однако перспективным направлением научных направлений является изучение биоцераметов, а также легирование оксидом графена материалов для изготовления дентальных имплантатов.

Ряд исследований продемонстрировал, что графен является дополнительной упрочняющей фазой для керамометаллических композитов, которая рассеивает внешнюю нагрузку и препятствует распространению трещин. Дополнительным преимуществом может быть снижение энергетических затрат на обработку металлокерамической матрицы путем добавления графена методом электроэрозионной обработки.

Инновационным методом создания графеносодержащих металлокерамических медицинских изделий могут являться аддитивные технологии, а именно стереолитография керамосодержащих паст.

Список литературы / References

- Global oral health status report: towards universal health coverage for oral health by 2030. Geneva: World Health Organization; 2022. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Российский нанотитан для биоимплантатов не имеет аналогов в мире // Российская академия наук URL: <https://new.ras.ru/activities/news/rossiyskiy-nanotitan-dlya-bioimplantatov-ne-imeet-analogov-v-mire/>.
- Алиев А.М. Обоснование применения дентальной имплантации в комплексе лечения пациентов с дефектами зубных рядов (обзор литературы) / А.М. Алиев. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 26 (130). – С. 193–196. URL: <https://moluch.ru/archive/130/35995/>.
- Алиев А.М. Rationale for the use of dental implantation in the complex treatment of patients with dentition defects (literature review) / A. M. Aliyev. – Text: immediate // Young scientist. – 2016. – No. 26 (130). – pp. 193–196. URL: <https://moluch.ru/archive/130/35995/>.
- Стародубов В.И., Хальфин Р.А., Малий А.Ю., Титкина Н.А., Ершова Е.В., Фарашьян А.В., Воробьев П.А., Авксентьева М.В., Лукьянцева Д.В., Кочеров А.М., Чеповская С.Г. Протокол ведения больных. Частичное отсутствие зубов (частичная вторичная адентия) / В.И. Стародубов, Р.А. Хальфин, А.Ю. Малий, Н.А. Титкина, Е.В. Ершова, А.В. Фарашьян, П.А. Воробьев, М.В. Авксентьева, Д.В. Лукьянцева, А.М. Кочеров, С.Г. Чеповская // Проблемы стандартизации в здравоохранении. – 2004. – № 12. – С. 1–61.
- Starodubov V.I., Khalfin R.A., Malyi A.Yu., Titkina N.A., Ershova E.V., Farashyan A.V., Vorobiev P.A., Avksentieva M.V., Lukyantseva D.V., Kocherov A.M., Chepovskaya S.G. Protocol for management of patients. Partial absence of teeth (partial secondary edentia) / V.I. Starodubov, R.A. Khalfin, professor, doctor of medical sciences A.Yu. Malyi, junior researcher N.A. Titkina, E.V. Ershova, A.V. Farashyan, professor, doctor of medical sciences P.A. Vorobiev, Doctor of Medical Sciences M.V. Avksentieva, Ph.D. D.V. Lukyantseva, A.M. Kocherov, S.G. Chepovskaya // Problems of standardization in healthcare. – 2004. – No. 12. – P. 1–61.
- Yao L., Al-Bishari A.M., Shen J., Wang Z., Liu T., Sheng L., Wu G., Lu L., Xu L., Liu J. Osseointegration and anti-infection of dental implant under osteoporotic conditions promoted by gallium oxide nano-layer coated titanium dioxide nanotube arrays. *Ceram. Int.* 2023;49:22961–22969. doi: 10.1016/j.ceramint.2023.04.121.
- Gaur S., Chugh A., Chaudhry K., Bajpayee A., Jain G., Chugh V.K., Kumar P., Singh S. Efficacy and Safety of Concentrated Growth Factors and Platelet-Rich Fibrin on Stability and Bone Regeneration in Patients with Immediate Dental Implants: A Randomized Controlled Trial. *Int. J. Oral Maxillofac. Implant.* 2022;37:784–792. doi: 10.11607/jomi.8924.
- Shi C., Gao J., Wang M., Fu J., Wang D., Zhu Y. Ultra-trace silver-doped hydroxyapatite with non-cytotoxicity and effective antibacterial activity. *Mater. Sci. Eng. C Mater. Biol. Appl.* 2015;55:497–505. doi: 10.1016/j.msec.2015.05.078.

- Jayasree R., Raghava K., Sadhasivam M., Srinivas P.V.V., Vijay R., Pradeep K.G., Rao T.N., Chakravarthy D. Bi-layered metal-ceramic component for dental implants by spark plasma sintering. *Mater. Lett.* 2023;344:134403. doi: 10.1016/j.matlet.2023.134403.
- Oh J.-S., Seo Y.-S., Lee G.-J., You J.-S., Kim S.-G. A comparative study with biphasic calcium phosphate and deproteinized bovine bone in maxillary sinus augmentation: A prospective randomized controlled clinical trial. *Int. J. Oral Maxillofac. Implant.* 2019;34:233–242. doi: 10.11607/jomi.7116.
- Bryington M., Mendonça G., Nares S., Cooper L.F. Osteoblastic and cytokine gene expression of implant-adherent cells in humans. *Clin. Oral. Implant. Res.* 2014;25:52–58. doi: 10.1111/clr.12054.
- Zavan B., Ferroni L., Gardin C., Sivoletta S., Piattelli A., Mijiritsky E. Release of VEGF from dental implant improves osteogenic process: Preliminary in vitro tests. *Materials.* 2017;10:1052. doi: 10.3390/ma10091052.
- Anchieta R.B., Baldassarri M., Guastaldi F., Tovar N., Janal M.N., Gottlow J., Dard M., Jimbo R., Coelho P.G. Mechanical property assessment of bone healing around a titanium-zirconium alloy dental implant. *Clin. Implant Dent. Relat. Res.* 2014;16:913–919. doi: 10.1111/cid.12061.
- Sikora C.L., Alfaro M.F., Yuan J.C.-C., Barao V.A., Sukotjo C., Mathew M.T. Wear and Corrosion Interactions at the Titanium/Zirconia Interface: Dental Implant Application. *J. Prosthodont.* 2018;27:842–852. doi: 10.1111/jopr.12769.
- Sotova C., Yanushevich O., Kriheli N., Grigoriev S., Evdokimov V., Kramar O., Nozdina M., Peretyagin N., Undritsova N., Popelyshkin E., Peretyagin P. Dental Implants: Modern Materials and Methods of Their Surface Modification. *Materials (Basel).* 2023 Nov 27;16(23):7383. doi: 10.3390/ma16237383. PMID: 38068127; PMCID: PMC10707035.
- Mishra S.K., Chowdhary R. Evolution of dental implants through the work of per-ingvar brandmark: A systematic review. *Indian J. Dent. Res.* 2020;31:930–956.
- Зарорский В.А. Имплантация зубов. Материалы и компоненты. Симб. Наука. 2016;9:132–136.
- Zagorsky V.A. Dental implantation. *Materials and components. Simb. Science.* 2016;9:132–136.
- Caparrós C., Ortiz-Hernandez M., Molmeneu M., Punset M., Calero J.A., Aparicio C., Fernández-Fairén M., Perez R., Gil F.J. Bioactive macroporous titanium implants highly interconnected. *J. Mater. Sci. Mater. Med.* 2016;27:151. doi: 10.1007/s10856-016-5764-8.
- Sarraf M., Ghomi E.R., Alipour S., Ramakrishna S., Sukuman N.L. A state-of-the-art review of the fabrication and characteristics of titanium and its alloys for biomedical applications. *Bio-Design Manuf.* 2022;5:371–395. doi: 10.1007/s42242-021-00170-3.
- Bahadiri G., Yilmaz S., Jones T., Sen D. Influences of implant and framework materials on stress distribution: A three-dimensional finite element analysis study. *Int. J. Oral Maxillofac. Implant.* 2018;33:e117–e126. doi: 10.11607/jomi.6261.
- Егоров А.А., Дровосеков М.Н., Аронов А.М., Рожнова О.М., Егорова О.П. Сравнительная характеристика материалов, применяемых в стоматологической имплантации. *Бюллетень сибирской медицины.* 2014;13(6):41–47. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2014-6-41-47>.
- Egorov A.A., Drovosekov M.N., Aronov A.M., Rozhnova O.M., Egorova O.P. Comparative characteristics of materials used in dental implantation. *Bulletin of Siberian Medicine.* 2014;13(6):41–47. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2014-6-41-47>.
- Lopez-Piriz R., Fernández A., Goyos-Ball L., Rivera S., Díaz L.A., Fernández-Domínguez M., Prado C., Moya J.S., Torrecillas R. Performance of a new Al2O3/Ce-TZP ceramic nanocomposite dental implant: A pilot study in dogs. *Materials.* 2017;10:614. doi: 10.3390/ma10060614.
- Hannink R.H.J., Kelly P.M., Muddle B.C. Упрочнение трансформации в цирконийной керамике. *Дж. Я. Керам. Сок.* 2000;83:461–487. doi: 10.1111/j.1151-2916.2000.tb01221.x.
- Kocjan A., Čotič J., Kosmač T., Jevnikar P. In vivo старение циркония зубной керамики – Часть I: Биомедицинский класс 3Y-TZP. *Вятина. Mat.* 2021;37:443–453. doi: 10.1016/j.dental.2020.11.023.
- Gao C., Yao M., Shuai C., Feng P., Peng S. Достижения в области биоцераметов для применения костных имплантатов. *Био-Дес. Мануф.* 2020;3:307–330. doi: 10.1007/s42242-020-00087-3.
- Smirnov A., Yanushevich O., Kriheli N., Solis Pinargote NW, Peretyagin P., Grigoriev S., Alou L., Sevillano D., López-Piriz R., Guilian F., Bartolomé J.F. 3Y-TZP/Ta Biocermet as a Dental Material: An Analysis of the In Vitro Adherence of Streptococcus Oralis Biofilm and an In Vivo Pilot Study in Dogs. *Antibiotics (Basel).* 2024 Feb 9;13(2):175. doi: 10.3390/antibiotics13020175. PMID: 38391561; PMCID: PMC10886202.
- Лингам М.А., Баласубраманьян И. Тантал: трансмогрифицирующий материал в зубном имплантате. *Дж. Рес. Вятина. Наука.* 2021;12:141–145. doi: 10.4103/srmjids.srmjids_109_20.
- Lingam M.A., Balasubramayan I. Tantalum: a transmogrifying material in a dental implant. *J. Res. Viatina. Science.* 2021;12:141–145. doi: 10.4103/srmjids.srmjids_109_20.
- Rodríguez-Suárez T., Bartolomé J.F., Moya J.S. Механические и трибологические свойства керамических/металлических композитов: Обзор явлений, охватывающих от нанометра до шкалы длины микрометра. *Дж. Евро. Керам. Soc.* 2011;32:3887–3898. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2012.06.026.
- Jorge-Mora A., Imaz N., Frutos N., Alonso A., García Santiago C., Gomez-Vaamonde R., Pino-Minguez J., Bartolome J.F., O'Connor G., Nieto D. Лазерная абляция – от основ до приложений. *IntechOpen; Риека, Хорватия:* 2018. Оценка In Vitro индуцированных лазером периодических поверхностных структур на новом биоцерамете из циркония/тантала для замены твердых тканей.
- Смирнов А., Перетягин П., Бартоломе Дж.Ф. Электроэрозивная обработка керамических и металлических композитов 3Y-TZP/Та. *Дж. Сплавы Compr.* 2018;739:62–68. doi: 10.1016/j.jallcom.2017.12.221.

- Smirnov A., Peretyagin P., Bartolome J.F. Electric discharge processing of ceramic and metal composites 3Y-TZP/Ta. *J. Alloys Compd.* 2018;739:62–68. doi: 10.1016/j.jallcom.2017.12.221.
30. Крихели Н.И., Пустовойт Е.В., Ноздрин М.С., Крамар О.В., Перетягин П.Ю., Перетягин Н.Ю. Современные методы постэндодонтического лечения зубов. *Медицинский алфавит.* 2023;(30):74–79. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-30-74-79>
- Krikheli N.I., Pustovoyt E.V., Nozdrina M.S., Kramar O.V., Peretyagin P.Yu., Peretyagin N.Yu. Modern methods of post-endodontic dental treatment. *Medical alphabet.* 2023;(30):74–79. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-30-74-79>
31. Григорьев С., Перетягин П., Смирнов А., Солис В., Диаз Л.А., Фернандес А., Торрецилас Р. Влияние добавления графена на механические и электрические свойства керамики Al_2O_3-SiCw . *Дж. Евро. Керам. Сок.* 2017;37:2473–2479. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2017.01.027.
- Grigoriev S., Peretigin P., Smirnov A., Solis V., Diaz L.A., Fernandez A., Torrecillas R. Effect of adding graphene on the mechanical and electrical properties of Al_2O_3-SiCw ceramics. *J. Euro. Ceram. Juice.* 2017;37:2473–2479. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2017.01.027.
32. Grigoriev S., Smirnov A., Pinargote NWS, Yanushevich O., Krikheli N., Kramar O., Pristinskiy Y., Peretyagin P. Evaluation of Mechanical and Electrical Performance of Aging Resistance ZTA Composites Reinforced with Graphene Oxide Consolidated by SPS. *Materials (Basel).* 2022 Mar 25;15(7):2419. doi: 10.3390/ma15072419. PMID: 35407750; PMCID: PMC8999467.
33. Solis Pinargote, N.W.; Smirnov, A.; Peretyagin, N.; Seleznev, A.; Peretyagin, P. Direct Ink Writing Technology (3D Printing) of Graphene-Based Ceramic Nanocomposites: A Review. *Nanomaterials* 2020, 10, 1300. <https://doi.org/10.3390/nano1007130>.

Статья поступила / Received 13.10.2024
Получена после рецензирования / Revised 23.10.2024
Принята в печать / Accepted 23.10.2024

Информация об авторах

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

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

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

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

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

Алексашина Ирина Петровна¹, к.м.н., ассистент кафедры клинической стоматологии
E-mail: ira.aleksashina.71@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6858-0780>. eLibrary SPIN: 8005-3014

Жуковская Юлия Игоревна¹, начальник отдела организации научных проектов и научно-практических мероприятий управления науки, аспирант кафедры клинической стоматологии
E-mail: zhuko-yulya@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3153-3799>

¹ ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России
² ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет» («СТАНКИН»)

Контактная информация:

Жуковская Юлия Игоревна. E-mail: zhuko-yulya@yandex.ru

Author information

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

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

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. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9053-496X>. eLibrary SPIN: 6284-8065

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

Tsitsishvili Aleksandr M.¹, DM Sci, docent, Professor of the Department of Propaedeutics of Surgical Dentistry
E-mail: amc777@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4737-8508>. eLibrary SPIN: 4195-5760

Aleksashina Irina P.¹, PhD, CM Sci, Assistant of the Department of Clinical Dentistry
E-mail: ira.aleksashina.71@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6858-0780>. eLibrary SPIN: 8005-3014

Zhukovskaya Yuliya I.¹, Head of the Department of Organization of scientific projects and scientific and Practical activities of the Department of Science, postgraduate student of the Department of Clinical Dentistry
E-mail: zhuko-yulya@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3153-3799>

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

Zhukovskaya Yuliya I. E-mail: zhuko-yulya@yandex.ru

Для цитирования: Янушевич О.О., Крихели Н.И., Перетягин П.Ю., Крамар О.В., Цициашвили А.М., Алексашина И.П., Жуковская Ю.И. Материалы для изготовления дентальных имплантатов (обзор литературы) // Медицинский алфавит. 2024;(28):12–16. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-28-12-16>

For citation: Yanushevich O.O., Krikheli N.I., Peretyagin P.Yu., Kramar O.V., Tsitsishvili A.M., Aleksashina I.P., Zhukovskaya Yu.I. Materials for the manufacture of dental implants (literature review) // Medical alphabet. 2024;(28):12–16. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-28-12-16>

