

Физико-химические условия долгосрочного функционирования реставраций с каркасом из диоксида циркония: обзор литературы

З.С. Хабадзе, к.м.н., доцент кафедры терапевтической стоматологии

Г.К. Даврешян, студент

М.С. Терехов, студент

Ю.А. Бакаев, студент

С.М. Абдулкеримова, студентка

А.В. Блохина, студентка

О.С. Морданов, студент

Медицинский институт ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва

Physical and chemical conditions for long-term functioning of restorations with zirconium-based framework: literature review

Z.S. Khabadze, G.K. Davreshyan, M.S. Terekhov, Yu.A. Bakaev, S.M. Abdulkirimova, A.V. Blokhina, O.S. Mordanov

Medical Institute of People's Friendship University of Russia, Moscow, Russia

Резюме

Цель. Определить оптимальные физико-химические условия и факторы для долгосрочной перспективы реставраций с каркасом на основе диоксида циркония. **Материалы и методы.** Был выполнен поиск информации на английском языке без ограничений по времени в электронной базе данных PubMed, поиск в системе Google и списках литературы соответствующих исследований и обзоров. Были отобраны полнотекстовые статьи с 2003 по 2018 год, в которых описываются исследования каркасов, изготовленных из диоксида циркония, протокол изменения температур обжига, а также описание структуры. **Результаты.** В данном обзоре литературы было идентифицировано 79 статей. После отбора по критериям включения и удаления повторяющихся статей, итоговое количество стало равным пяти. В обзор литературы вошли исследования трех видов циркония: 3Y-TZP, ATZ, 12Ce-TZP. В ряде работ авторы изучали экспериментальным путем влияние среды полости рта на долгосрочное функционирование циркония. Также ряд авторов провели исследование на влияние градиентов нагревания и охлаждения, а также механическую обработку циркониевых каркасов. **Вывод.** Данный обзор литературы показал оптимальные физико-химических условия и факторы для долгосрочных перспектив реставраций с каркасом на основе диоксида циркония, начиная от его состава, технико-лабораторных этапов, закаячивая преодолением факторов среды полости рта. Совокупность учета данных факторов сможет снизить влияние перехода диоксида циркония из тетрагональной в моноклинную фазу, а также уменьшит исходы напряжения, возникающие в результате обработки каркасов из диоксида циркония и их облицовочного слоя.

Ключевые слова: диоксид циркония, свойства, анализ, керамические реставрации.

Summary

The aim of the study is to determine the optimal physico-chemical conditions and factors for the long-term perspective of zirconia-based restorations. Materials and methods Information was searched in English without time limits in the PubMed electronic database, a Google search and literature lists of relevant studies and reviews. Full-text articles from 2003 to 2018 were selected, in which studies of frameworks made of zirconium dioxide, a protocol for changing firing temperatures, and a description of the structure are described. **Results.** Totally 79 articles were identified. After the selection of articles on the inclusion criteria and removal of duplicate articles, the total number was 5. The review of the literature included studies of 3 types of zirconium: 3Y-TZP, ATZ, 12Ce-TZP. In a number of studies, the authors studied experimentally the influence of the oral environment on the long-term functioning of zirconium, and a number of authors conducted a study on the effect of heating and cooling gradients, as well as mechanical processing of zirconium frameworks. **Conclusion.** This literature review has shown the optimal physicochemical conditions and factors for the long-term prospects for restorations with a zirconia-based framework, starting from its composition, technical and laboratory stages, and pumping over the oral cavity factors. The combination of these factors can reduce the effect of the transition of zirconium dioxide from the tetragonal to the monoclinic phase, as well as reduce the stress outcomes resulting from the processing of zirconia frameworks and their facing layer.

Key words: zirconium, property analysis, ceramic restorations.

Актуальность проблемы

В стоматологической практике цирконий используется в качестве материала для изготовления коронок, абатментов и ортодонтических брекетов [30, 33, 37]. Также он применяется во всех керамических реставрациях в качестве каркаса из-за его биосовместимости, высокой прочности и эстетики [8, 22, 31].

Цирконий является полиморфным материалом, существующий в трех

кристаллических структурах: моноклинной, тетрагональной и кубической [6]. В чистом виде диоксид циркония находится в моноклинной фазе в диапазоне температур от комнатной до 1170 °C. Свыше данной температуры он переходит в тетрагональную фазу. При температуре 2370 °C диоксид циркония переходит в кубическую фазу [6, 32].

Процессы, такие как шлифование и пескоструйная обработка, могут инициировать переход тетрагональной в моноклинную фазу [7, 24]. Это сопровождается расширением в объеме циркония от 3 до 4% [11, 13]. Данная особенность увеличивает риск перелома каркаса во время его функционирования в полости рта [32].

Помимо этого, переход из тетрагональной в моноклинную фазу может также непреднамеренно индуцироваться из-за гидротермального окисления во влажной среде полости рта [4, 27].

Наличие гидротермального напряжения, вызываемого водой, кровью и синовиальными жидкостями в течение длительного периода времени, считается неблагоприятным, поскольку оно вызывает микро- и макротрещины, уменьшая механические свойства циркониевых каркасов. Это явление называется низкотемпературной деградацией или старением [7].

Циркониевый каркас защищен от старения за счет облицовки. Однако было показано, что обычные цементы для фиксации поглощают воду через дентинные каналы, тем самым подвергая диоксид циркония воздействию влаги, что в свою очередь может привести к проблемам старения в течение более короткого периода времени [20].

Тетрагональная фаза диоксида циркония может быть сохранена при комнатной температуре путем добавления ряда оксидов. Для стоматологических целей поликристаллы тетрагонального циркония обычно стабилизируются трехмолекулярным иттрием (3Y-TZP) [6].

Остаточные напряжения могут появляться во время процесса обжига и имеют два основных происхождения: из-за несоответствия термального расширения и температурных напряжений, связанных с температурными градиентами при охлаждении [26, 38].

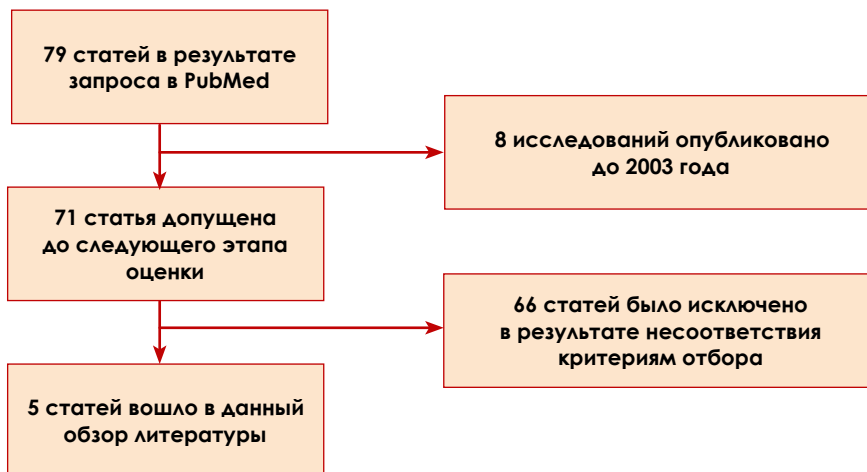


Рисунок 1. Блок-схема отбора статей для данного обзора литературы.

Цель данного обзора — определение оптимальных физико-химических условий и факторов для долгосрочных перспектив реставраций с каркасом на основе диоксида циркония.

Материалы и методы

Стратегия поиска. Поиск на английском языке без ограничений по времени был выполнен независимыми людьми в электронной базе данных PubMed. Помимо них также использовались другие источники для поиска соответствующей информации по данной теме. Они включали в себя поиск в системе Google и списки литературы соответствующих исследований и обзоров.

Критерии включения и исключения. Были включены публикации, соответствующие следующим критериям отбора: полнотекстовые статьи с 2003 по 2018 год; исследования каркасов, изготовленных из диоксида циркония; исследования, включающие протокол изменения температур обжига, а также

описание структуры. Были исключены публикации, не связанные с предметом исследования, клинические случаи, а также статьи, не имеющие достаточное количество данных для анализа.

Выбор исследований. Исследования были отфильтрованы и выбраны в несколько этапов. Во-первых, удалены статьи, опубликованные до 2003 года. Во-вторых, публикации были оценены по названию. В-третьих, все публикации оценивались путем ознакомления с полнотекстовыми и тезисными статьями. На каждом этапе исследователи работали независимо. Разница в выборе была решена путем обсуждения (рис. 1).

Результаты

Всего было идентифицировано 79 статей. После отбора по критериям включения и удаления повторяющихся статей итоговое количество стало равным пяти (табл. 1). В обзор литературы вошли исследования трех видов циркония: 3Y-TZP, ATZ, 12Ce-TZP.

Таблица 1
Краткая информация о статьях, включенных в данный обзор литературы

Автор	Год	Цель
Kohorst et al. [23]	2011	Определение влияния смоделированного старения на трансформацию тетрагональной-моноклинной фазы и на прочность на изгиб керамики 3Y-TZP по сравнению с алюмоирированным оксидом циркония (ATZ) и стабилизированным оксидом циркония (12Ce-TZP)
Tholey et al. [29]	2011	Сравнение температурных градиентов при быстром и медленном охлаждении для обычных и анатомических конструкций, а также оптическая процедура для прямого сравнения влияния скорости охлаждения на остаточные напряжения
Alghazzawi et al. [2]	2011	Исследование влияния процедур изготовления реставраций на низкотемпературное моделирование и относительные изменения прочности на изгиб, твердость наноиндентации, модуль Юнга, шероховатость поверхности и структурную стабильность стабилизированного оксидом иттрия диоксида циркония
Hatanaka et al. [14]	2016	Оценка изменения микроструктурных и кристаллографических фаз, прочность на изгиб и модуль Вейбулла 3Y-TZP-циркония после измельчения с водяным охлаждением и регенерационным обжигом или без него
Henriques et al. [15]	2016	Оценено влияние конструктивных переменных конструкции (состава и толщины слоя) на остаточные напряжения в окиси алюминия и оксида циркония

В ряде работ авторы изучали экспериментальным путем влияние среды полости рта на долгосрочное функционирование циркония [2, 23]. Tholey *et al.* [29] и Hatanaka *et al.* [14] исследовали влияние технических протоколов, таких как градиенты нагревания и охлаждения, а также механическую обработку циркониевых каркасов. Henriques *et al.* [15] оценивали влияние особенностей дизайна (состав и толщину слоя) на остаточные напряжения.

Более подробная информация о целях, результатах и протоколах, используемых в исследованиях данных авторов представлена в табл. 1 и 2.

Обсуждение

Совсем недавно появление цельнокерамических систем в стоматологии, в частности, с каркасом на основе диоксида циркония, помогло улучшить эстетику керамических реставраций [35]. Оксид алюминия также был использован во всех керамических реставрациях в качестве каркаса из-за его биосовместимости, высокой прочности и эстетики [9, 10, 12, 35], однако было показано,

что реставрации на основе диоксида циркония имеют значительно более высокие остаточные термические напряжения, чем реставрации на основе оксида алюминия [15]. Это объясняется более высокой теплоемкостью и плотностью диоксида циркония [39].

Шлифование является стандартной процедурой в клинической практике и используется для достижения наилучшего соответствия между каркасом из диоксида циркония и зубом, а также для получения достаточного пространства для нанесения облицовочного слоя [3, 16, 19, 21, 25, 40]. Как показано в исследовании Hatanaka *et al.* [14], шлифование может создавать поверхностные дефекты, такие как трещины, в дополнение к канавкам и микропереломам в зависимости от размера алмазной крошки, силы и скорости работы с ней [1, 5, 34, 36]. Эти трещины могут распространяться на основную массу материала, уменьшая его прочность на изгиб [21, 28]. Поэтому любое шлифование каркасов из диоксида циркония следует выполнять с водяным охлаждением [14].

Обжиг каркасов из диоксида циркония существенно не изменяет его прочность на изгиб, как это заметили некоторые авторы [18, 28]. Однако Ho *et al.* [16] обнаружили, что обжиг диоксида циркония при 1100 °C в течение двух часов может уменьшить рост трещин. Hatanaka *et al.* [14] доказали, что перед нанесением облицовочного слоя необходимо провести обжиг 1500 °C, чтобы получить более надежный результат.

Исследование Tholey *et al.* [40] показало, что медленное охлаждение по сравнению с обычной процедурой охлаждения градиенты температуры можно свести к минимуму через облицовочный слой. Результаты четко показали напряжения, возникающие из-за несоответствия коэффициента теплового расширения. Поэтому элементарное изменение протокола охлаждения приведет также к явному уменьшению вызванных термическим градиентом остаточных напряжений, которые представляют собой одну из возможных причин появления трещин. До 2009 года охлаждение при облицовке рекомендовалось проводить до 850 °C, однако данное исследование

Таблица 2
Информация о протоколах исследования

Автор	Вид циркония	Температура максимальная	Температура минимальная	Протокол изменения температуры	Физические изменения структуры
Kohorst <i>et al.</i>	3Y-TZP	134 °C	N/A	Медленное повышение температуры до 134 °C	Прочность на изгиб до старения 1740 МПа, после — 1169 МПа
Kohorst <i>et al.</i>	ATZ	134 °C	N/A	Медленное повышение температуры до 134 °C	Прочность на изгиб до старения 1093 МПа, после — 1378 МПа
Kohorst <i>et al.</i>	12Ce-TZP	134 °C	N/A	Медленное повышение температуры до 134 °C	Прочность на изгиб до старения 495 МПа, после — 480 МПа
Michael <i>et al.</i>	Y-TZP	1530 °C	900 °C	Градиенты температуры, возникающие при температурах выше температуры стеклования фарфора при охлаждении, приводят к увеличению остаточных	Максимальные разности температур внутри и снаружи присутствуют в области MP2, MP3 и MP8
Alghazzawi <i>et al.</i>	Y-TZP	1530 °C	900 °C	Термические обработки в температурном диапазоне от 900 до 1000 °C	Вызывают обратное превращение из моноклинного в тетрагональное после старения, уменьшения или пескоструйной обработки Y-TZP
Hatanaka <i>et al.</i>	3Y-TZP	1000 °C	Комнатная температура	Отжиг диоксида циркония при 1100 °C в течение 30 минут	Прочность циркония на изгиб после обжига может быть объяснена взаимодействием противофазой превращения и (залечиванием) трещин
Henriques <i>et al.</i>	Y-TZP	500 °C	25 °C	В начале моделирования восстановление не вызывает стресса, и его температура равна 773,15 K (500 °C). Затем температура на реставрационных стенках уменьшается с постоянной скоростью охлаждения от начальной до 273,15 K (20 °C) в течение 950 с, при постоянной скорости охлаждения 0,5 K/с	Моделирование показало три различных пятна повышения концентрации: во внутренней части каркаса; на границе между каркасом и промежуточным слоем; на стыке между прослойкой и шпоном
Tholey <i>et al.</i> [29]	Y-TZP	1530 °C	600 °C	Нагрев в течение двух часов. Было произведено быстрое и медленное охлаждение	Наибольшие разности температур и связанные с ними тепловые напряжения возникали в области облицовки, где часто наблюдаются сколы коронок

показало преимущества долгосрочного функционирования каркаса диоксида циркония при медленном охлаждении его облицовочного слоя до 600 °С.

Что касается облицовочного слоя, который наносят на каркас из диоксида циркония, то его наличие может значительно уменьшить термальное остаточное напряжение на границе между слоями и в точках концентрации напряжений [15]. Как состав, так и толщина промежуточного слоя оказывают большое влияние на остаточные термические напряжения. Оптимальная толщина промежуточного слоя находится в диапазоне 30–50% от всей керамической облицовки, что уравнивает напряжение в каркасе и на его границах. Напряжения уменьшаются с увеличением толщины промежуточного слоя [15].

Для стабилизации тетрагональной фазы, которая больше на поверхности [2], в диоксид циркония добавляют небольшие количества оксидов других металлов, таких как Y_2O_3 , MgO , CeO или CaO [7, 24]. На ранней фазе старения в гидротермальных условиях стабилизированный оксидом иттрия цирконий чрезвычайно восприимчив к низкотемпературной деградации [23]. Оксид циркония, стабилизированный церием, хотя и не подвержен влиянию гидротермального старения, может рассматриваться только для изготовления сильно нагруженных зубных протезов [23]. С точки зрения прочности, наиболее перспективные реставрации имеют каркас из оксида алюминия, усиленного диоксидом циркония [15, 23], что делает их наиболее благоприятными для применения в гидротермальной среде полости рта.

Выводы

1. В обзоре литературы были представлены оптимальные физико-химические условия и факторы для долгосрочных перспектив реставраций с каркасом на основе диоксида циркония.
2. Совокупность учета данных факторов сможет снизить влияние перехода диоксида циркония из тетрагональной в моноклинную фазу,

а также уменьшит исходы напряжения, возникающие в результате обработки каркасов из диоксида циркония и их облицовочного слоя.

Список литературы

1. Aboushelib MN, Wang H. Effect of surface treatment on flexural strength of zirconia bars. *J Prosthet Dent* 2010. — 104. — P. 98–104.
2. Alghazzawi T.F., Lemons J., Liu P.R. et al. Influence of low-temperature environmental exposure on the mechanical properties and structural stability of dental zirconia. *J. Prosthodont.* 2012. — 21. — P. 363–369. doi: 10.1111/j.1532-849X.2011.00838.x.
3. Blue DS, Griggs JA, Woody RD et al. Effects of bur abrasive particle size and abutment composition on preparation of ceramic implant abutments. *J Prosthet Dent* 2003. — 90. — P. 247–54.
4. Borchers L, Stiesch M, Bach FW et al. Influence of hydrothermal and mechanical conditions on the strength of zirconia. *Acta Biomater* 2010. — 6. — 4547–52.
5. Chevalier J. What future for zirconia as biomaterial? *Biomaterials* 2006. — 27. — 535–43.
6. Denry I, Kelly JR: State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater* 2008. — 24. P. — 299–307.
7. Denry IL, Holloway JA: Microstructural and crystallographic surface changes after grinding zirconia-based dental ceramics. *J Biomed Mater Res B: Appl Biomater* 2006. — 76. — P. — 440–448.
8. Ekfeldt A, Furst B, Carlsson GE. Zirconia abutments for single-tooth implant restorations: a retrospective and clinical follow-up study. *Clin Oral Implants Res* 2011. — 22. — 1308–14.
9. F. Zarone, S. Russo, R. Sorrentino. From porcelain-fused-to-metal to zirconia: clinical and experimental considerations. *Dent. Mater.* 27 (2011) 83–96, <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.024>.
10. G. Willmann, Medical-grade alumina during the past two decades. *Bioceramics* 7 (1994) 359–364.
11. Garvie R, Hannink R, Pascoe R. Ceramic steel? *Nature* 1975. — 258. — 703–4.
12. H. J. Conrad, W.-J. Seong, I. J. Pesun, Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review. *J. Prosthet. Dent.* 98 (2007). 389–404.
13. Hannink RHJ, Kelly PM, Muddle BC. Transformation toughening in zirconia-containing ceramics. *J Am Ceram Soc* 2000. — 83. — 461–87.
14. Hatanaka, Gabriel R. et al. Zirconia changes after grinding and regeneration firing. *Journal of Prosthetic Dentistry*, Volume 118, Issue 1, 61–68
15. Henriques B, Fabris D, Souza JCM, et al. Influence of interlayer design on residual thermal stresses in trilayered and graded all-ceramic restorations. *Mater SciEng C Mater Biol Appl.* 2016. — 71. P. — 1037–1045.
16. Ho C, Liu H, Tuan W. Effect of abrasive grinding on the strength of Y-TZP. *J Eur Ceram Soc* 2009. — 29. — 2665–9.
17. Ho C, Liu H, Tuan W. Effect of abrasive grinding on the strength of Y-TZP. *J Eur Ceram Soc* 2009. — 29. — 2665–9.
18. International Standard Organization. ISO TR 6872:2008. *Dentistry e Ceramic Materials*. Geneva: ISO. 2008.
19. Is erli U, Ozkurt Z, Kazazoglu E. et al. Influence of grinding procedures on the flexural strength of zirconia ceramics. *Braz Dent J* 2010; 21: 528–32.
20. Jevnikar P, Sersa I, Sepe A, et al: Effect of surface coating on water migration into resin-modified glass ionomer cements: a magnetic resonance micro-imaging study. *Magn Reson Med* 2000. — 44. — P. 686–691.
21. Karakoca S, Yilmaz H. Influence of surface treatments on surface roughness, phase transformation, and biaxial flexural strength of Y-TZP ceramics. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2009. — 91. — 930–7.
22. Kohal RJ, Att W, Bachle M, Butz F. Ceramic abutments and ceramic oral implants. An update. *Periodontology* 2000/2008. — 47. — 224–43.
23. Kohorst P, Borchers L, Stempel J, et al. Low-temperature degradation of different zirconia ceramics for dental applications. *ActaBiomater.* 2012. — 8. — 1213–20.
24. Kosmac T, Oblak C, Marion L: The effects of dental grinding and sandblasting on ageing and fatigue behavior of dental zirconia (Y-TZP) ceramics. *J Eur Ceram Soc* 2008. — 28. — 1085–1090.
25. Kosmac T, Oblak C, Marion L. The effects of dental grinding and sand- blasting on ageing and fatigue behavior of dental zirconia (Y-TZP) ceramics. *J Eur Ceram Soc* 2008. — 28. — 1085–90.
26. Lenz J, Thies M, Schweizerhof K et al. Thermal stresses in ceramometallic crowns: firing in layers. *Chi J Dent Res* 2002; 5 (3): 5–24.
27. Lugh V, Sergo V. Low temperature degradation — aging — of zirconia: a critical review of the relevant aspects in dentistry. *Dent Mater* 2010. — 26. — 807–20.
28. Luthardt RG, Holzhuter M, Sandkuhl O. et al. Reliability and properties of ground Y-TZP-zirconia ceramics. *J Dent Res* 2002. — 81. — 487 91.
29. Michael J. Tholey, Michael V. Swain, Norbert Thiel, Thermal gradients and residual stresses in veneered Y-TZP frameworks. *Dental Materials*, Volume 27, Issue 11, 2011, 1102–1110.
30. Molin MK, Karlsson SL. Five-year clinical prospective evaluation of zirconia-based Denzir 3-unit FPDs. *Int J Prosthodont* 2008. — 21. — 223–7.
31. Nakamura K, Kanno T, Milleding P. et al. Zirconia as a dental implant abutment material: a systematic review. *Int J Prosthodont* 2010. — 23. — 299–309.
32. Piconi C, Maccauro G: Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials* 1999. — 20. — 1–25.
33. Pilathadka S, Vahalova D. Contemporary all-ceramic materials, part-1. *ActaMedica* 2007. — 50. — 101–4.
34. Pittayachawan P, Young AM, Knowles JC. Flexural strength, fatigue life, and stress-induced phase transformation study of Y-TZP dental ceramic. *J Biomed Mater Res B* 2009. — 88. — 366–77.
35. Pjertursson B, Sailer I, Zwahlen M. et al. A systematic review of the survival complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. *Clin Oral Implants Res* 2007. — 18 (3). — 73–85.
36. Qeblawi DM, Munoz CA, Brewer JD et al. The effect of zirconia surface treatment on flexural strength and shear bond strength to a resin cement. *J Prosthet Dent* 2010. — 103. — 210–20.
37. Sailer I, Feher A, Filser F. et al. Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *Int J Prosthodont* 2007. — 20. — 383–8.
38. Sailer I, Feher A, Filser F. et al. Prospective clinical study of zirconia posterior fixed partial dentures: 3-year follow-up. *Quintessence Int* 2006. — 37(9). — 685–93.
39. Z. Zhang, S. Zhou, Q. Li, et al. Sensitivity analysis of bi-layered ceramic dental restorations. *Dent. Mater.* 28 (2012) e6–e14.
40. Zhang B, Zheng XL, Tokura H, et al. Grinding induced damage in ceramics. *J Mater Process Tech* 2003. — 132. — 353–64.

Для цитирования. Хаббазе З.С., Даврешян Г.К., Терехов М.С., Бакаев Ю.А., Абдулкеримова С.М., Блохина А.В., Морданов О.С. Физико-химические условия долгосрочного функционирования реставраций с каркасом из диоксида циркония: обзор литературы // Медицинский алфавит. Серия «Стоматология». — 2019. — Т. 1. — 5 (380). — С. 48–51.