

Rodrigo Furtado de Carvalho¹
Murilo Rocha Rodrigues²
Caroline Cotes Marinho²
Guilherme Siqueira Ferreira Anzaloni
Saavedra²
Tarcisio José de Arruda Paes-Junior²
Estevão Tomomitsu Kimpara²

¹Departamento de Odontologia,
Universidade Federal de Juiz de Fora,
Campus Governador Valadares, Brasil.

²Departamento de Materiais Dentários e
Prótese, Instituto de Ciência e Tecnologia,
Universidade Estadual de São Paulo, Brasil.

✉ **Rodrigo Carvalho**

Rua Samuel Barbosa, 150, apt. 203,
Esplanadinha, Governador Valadares,
Minas Gerais
CEP: 35020-520
✉ rf-carvalho@hotmail.com

Submetido: 04/11/2019
Aceito: 10/02/2020

RESUMO

Introdução: As cerâmicas odontológicas têm sido utilizadas como materiais restauradores desde 1770 por apresentarem propriedades estéticas semelhantes aos dentes naturais. A busca por procedimentos que visem aumentar a adesão entre zircônia, uma cerâmica policristalina, e agente cimentante, é um desafio e tem estimulado o desenvolvimento de diversos estudos. **Objetivo:** O objetivo deste estudo é discutir os diferentes tipos de tratamentos de superfície preconizados para zircônia estabilizada com ítria (Y-TZP), bem como as vantagens e desvantagens descritas na literatura. **Materiais e Métodos:** O presente estudo trata-se de uma revisão de literatura realizada de artigos científicos publicados entre 2003 e 2019, indexados nas bases de dados MEDLINE, PubMed e Scielo. Foram utilizados os seguintes termos de pesquisa: "tratamento de superfície da zircônia", "tratamento de superfície Y-TZP", "agente cimentante para zircônia", "agente cimentante para Y-TZP", "adesão à zircônia" e "adesão à Y-TZP". **Resultados:** Foram encontrados 413 artigos que contemplavam pelo menos um dos critérios de inclusão registrados. No entanto, foram utilizados os dados de um total de 69 artigos que contemplavam todos os critérios de inclusão. **Conclusão:** Os protocolos de tratamento de superfície relatados ainda apresentam limitações quanto ao comportamento de longo prazo da resistência de união. No entanto, quando as características do preparo não são favoráveis à retenção, o jateamento com partículas de Al₂O₃ revestidas com sílica (30µm) deve ser utilizado, sendo menos agressivo à cerâmica que outros protocolos de jateamento descritos. Quanto ao agente cimentante, recomenda-se sempre o uso de cimentos resinosos que apresentem MDP em sua composição, uma vez que proporcionam ligações químicas estáveis e comportamento adesivo duradouro.

Palavras-chave: Cerâmica; Materiais Dentários; Pesquisa em Odontologia.

ABSTRACT

Introduction: Dental ceramics have been used as restorative materials since 1770 for presenting aesthetic properties similar to natural teeth. The search for procedures that aim to increase the adhesion between zirconia, a polycrystalline ceramic, and a cementing agent, is a challenge and has stimulated the development of several studies. **Objective:** The objective of this study is to discuss the different types of recommended surface treatments for yttria stabilized zirconia (Y-TZP), as well as the advantages and disadvantages described in the literature. **Materials and Methods:** The present study is a literature review carried out of scientific articles published between 2003 and 2019, indexed in the MEDLINE, PubMed and Scielo databases. The following search terms were used: "zirconia surface treatment", "Y-TZP surface treatment", "zirconia cementing agent", "Y-TZP cementing agent", "zirconia adhesion" and "adhesion to zirconia Y-TZP". **Results:** 413 articles were found that met at least one of the registered inclusion criteria. However, data from a total of 69 articles were used that met all the inclusion criteria. **Conclusion:** The reported surface treatment protocols still have limitations regarding the long-term behavior of bond strength. However, when the characteristics of the preparation are not favorable to retention, blasting with Al₂O₃ particles coated with silica (30µm) should be used, being less aggressive to ceramic than other blasting protocols described. As for the cementing agent, it is always recommended to use resin cements that have MDP in their composition, since they provide stable chemical bonds and long-lasting adhesive behavior.

Key-words: Ceramics; Dental Materials; Dentistry Research.



INTRODUÇÃO

As cerâmicas odontológicas têm sido utilizadas como materiais restauradores desde 1770, por apresentarem propriedades estéticas semelhantes aos dentes naturais. Além disso, outras características contribuem para a grande aceitação das cerâmicas como material restaurador: resistência a abrasão e compressão, biocompatibilidade, estabilidade química, condutividade térmica e coeficiente de expansão térmica próximo a estrutura dentária.¹⁻⁵

As restaurações cerâmicas livres de metal começaram a ser mais utilizadas no cotidiano clínico dos cirurgiões dentistas, tornando-se frequente o uso de cerâmicas policristalinas para infraestruturas de próteses parciais fixas.⁶ A zircônia estabilizada com ítria (Y-TZP) é um dos materiais utilizados para infra-estrutura de restaurações cerâmicas livres de metal (figura 1).⁷ Esse material pode ser fabricado e fresado industrialmente em dimensões pré-estabelecidas através de um sistema computadorizado de processamento (CAD/CAM), resultando em uma estrutura estável, com alto teor cristalino e com resistência à flexão de 900-1200MPa.⁸⁻¹²

A longevidade das restaurações cerâmicas está diretamente ligada a procedimentos de cimentação adequados, que dependem de fatores como: a composição do material cerâmico, o tratamento de superfície e o agente cimentante.³ A obtenção de uma adesão satisfatória requer pré-tratamentos de superfície que favoreçam essa união. No entanto, tratando-se da zircônia, o condicionamento com ácido fluorídrico seguido da silanização não é suficiente para promover ligações adequadas. Isso se deve ao fato de a zircônia apresentar um maior teor cristalino em sua composição química.¹³⁻¹⁷ O tratamento de superfície das cerâmicas não é padronizado para todos os tipos de materiais. Assim, um tratamento que forneça uma melhor resistência de união entre uma cerâmica e um agente cimentante pode não oferecer o mesmo resultado a outra cerâmica com composição química diferente.^{1,3}



Figura 1: Infraestrutura cerâmica à base de zircônia Y-TZP.

Em consequência disso, estudos sugerem métodos alternativos de tratamento de superfície com a finalidade de aumentar a resistência de união. Uma alternativa proposta é a abrasão com micropartículas de óxido de alumínio através do jateamento. Esse processo aumenta a área de superfície da região cerâmica a ser cimentada e também tem como resultado uma maior rugosidade superficial da estrutura, facilitando a adesão através de retenções micromecânicas.^{18,19} O jateamento com micropartículas de óxido de alumínio revestidas por sílica é outra alternativa descrita, que além de aumentar a área de superfície e a rugosidade superficial da zircônia, permite interações químicas entre cerâmica e cimento resinoso.^{20,21} Uma terceira alternativa, a infiltração seletiva apresenta valores promissores de resistência de união,^{22,23} sendo capaz de gerar micro-retenções na superfície da zircônia.²⁴⁻²⁶

Diante deste contexto, o objetivo desta revisão da literatura foi discutir os diferentes tipos de tratamentos de superfície preconizados para zircônia estabilizada com ítria (Y-TZP), bem como as vantagens e desvantagens descritas na literatura.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo trata-se de uma revisão de literatura realizada de artigos científicos publicados entre 2003 e 2019, indexados nas bases de dados MEDLINE, PubMed e Scielo. Para obtenção dos artigos científicos foram utilizados os seguintes termos de pesquisa: "tratamento de superfície da zircônia", "tratamento de superfície Y-TZP", "agente cimentante para zircônia", "agente cimentante para Y-TZP", "adesão à zircônia" e "adesão à Y-TZP".

Critérios de inclusão

Estudos cujos títulos, resumos ou palavras-chave se relacionam com métodos de tratamento de superfície da zircônia Y-TZP, com o efeito do tipo de tratamento de superfície na resistência de união entre a zircônia Y-TZP e cimento resinoso, com o efeito do agente cimentante na adesão à zircônia Y-TZP.

Critérios de exclusão

Estudos que não contemplassem os requisitos dos critérios de inclusão.

RESULTADOS

Foram encontrados 413 artigos que contemplavam pelo menos um dos critérios de inclusão registrados. No entanto, foram utilizados os dados de um total de 69 artigos que contemplavam todos os critérios de inclusão.

DISCUSSÃO

Em algumas situações, as restaurações cerâmicas de alta resistência não requerem adesão à estrutura dentária e podem ser cimentadas com cimentos convencionais, que dependem apenas da retenção micromecânica. Contudo, a ligação adesiva é desejável em muitas situações clínicas, por exemplo, quando a estrutura do dente preparado não se apresenta favorável aos princípios de retenção. Além disso, é provável que uma ligação química adequada resulte em maior resistência à fadiga e fratura no ambiente bucal.²⁷⁻²⁹

Os protocolos de tratamento de superfície apresentados na literatura ainda apresentam limitações para o comportamento, de longo prazo, da resistência de união entre zircônia e agente cimentante. Por esta razão, vários agentes condicionantes de superfície têm sido sugeridos para fornecer uma melhor adesão.^{20,30-34}

Zircônia

A zircônia é um material que apresenta polimorfismo na natureza, exibindo uma estrutura cristalina que varia em diferentes temperaturas sem que haja alteração em sua composição química. Três formas cristalinas são observadas: monoclinica, a baixas temperaturas; tetragonal, a temperaturas acima de 1.170°C; e cúbica, a temperaturas acima de 2.370°C.^{8,35-38}

A zircônia sofre mudança da estrutura cristalina tetragonal para a monoclinica durante o resfriamento, resultando em um aumento no volume (3%-4%) que pode induzir uma grande tensão. Essas tensões podem causar rachaduras que resultam em fraturas e fragmentações catastróficas.⁹ Em 1972, engenheiros descobriram que quando uma pequena quantidade de óxidos era incluída na composição cerâmica, como óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO), óxido de lantânio (La₂O₃), óxido de ítrio (Y₂O₃) ou óxido de cério (CeO₂), era possível estabilizar a zircônia na fase tetragonal à temperatura ambiente (figura 2).^{9,14}

Assim, a zircônia parcialmente estabilizada

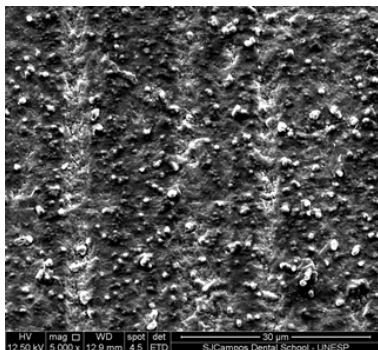


Figura 2: Micrografia eletrônica de varredura da superfície de uma zircônia Y-TZP (5000 x).

é de particular interesse devido às suas propriedades de transformação de fase. Quando rachaduras surgem e propagam-se durante a aplicação de uma carga externa, a fase tetragonal pode transformar-se em fase monoclinica na região fraturada e a expansão de volume causada pela transformação de fase cria tensões de compressão na ponta da fissura, impedindo a propagação da mesma. Essa característica eleva a tenacidade à fratura do material.^{13,22,39-42}

Tratamentos de superfície

O jateamento com partículas de óxido de alumínio (50-150µm) aumenta a aspereza da superfície da cerâmica e, conseqüentemente, a retenção micromecânica entre ela e o agente cimentante. Além disso, é capaz de remover uma camada de cerca de 60µm da superfície da cerâmica de zircônia criando irregularidades.^{14,23} No entanto, este dano microscópico na superfície da cerâmica reduz a sua resistência mecânica e pode levar às falhas catastróficas prematuras.^{20,43-46}

Um estudo clínico de 12 meses de acompanhamento, utilizando o jateamento com partículas de óxido de alumínio como tratamento de superfície, constatou um total de 18% de falhas por descolamento entre zircônia e agente cimentante.⁴⁷ Embora alguns estudos mostrem um desempenho clínico satisfatório, com baixa incidência de falhas adesivas, as conseqüências, de longo prazo, deste tipo de tratamento de superfície ainda são discutíveis.⁴⁸⁻⁵⁰

De acordo com o estudo conduzido por Hallmann, no qual diferentes tamanhos e tipos de partículas foram comparados, o jateamento com partículas de óxido de alumínio de 110µm gerou uma maior transformação de fase (tetragonal para monoclinica).⁵¹ Essa transformação está relacionada à concentração de estresse que se associa ao desenvolvimento e/ou crescimento de microtrincas. De acordo com Bhargava, a transformação de fase, que é atribuída ao procedimento de jateamento com partículas, é influenciada pelo tipo de material abrasivo utilizado.⁵² O momento da utilização do jateamento, antes ou após a sinterização da cerâmica, também pode influenciar no comportamento do material e carece de maiores investigações.⁶

Ainda dentro dos tratamentos de superfície por jateamento, tem-se o jateamento com partículas de óxido de alumínio revestidas por sílica (30-50µm), também conhecido como silicatização, que gera micro retenções e prepara a superfície cerâmica para a silanização, permitindo uma interação química com o agente de acoplamento silano e o cimento resinoso (figura 3).^{14,25,51,53} Muitas pesquisas mostraram que o tratamento de superfície com revestimento de sílica, antes da silanização, melhora, significativamente, a força de adesão.^{13,14,31,54}

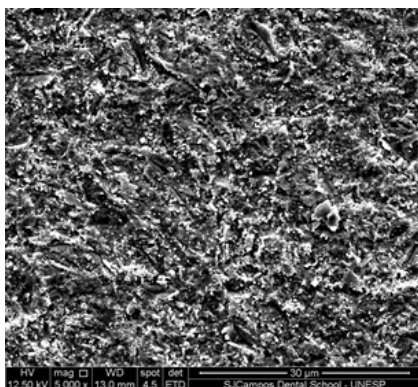


Figura 3: Micrografia eletrônica de varredura da superfície de uma zircônia Y-TZP tratada com silicatização (5000 x).

Özcan, Cura e Valandro, em 2011, mostraram em um estudo que a silicatização associada ao processo de silanização apresentou valores de resistência de união maiores que o jateamento de óxido de alumínio associado ao processo de silanização.⁵⁵ Acredita-se que a ligação química existente entre os óxidos de alumínio e o silano apresenta um maior potencial de degradação hidrolítica do que entre o óxido de alumínio revestido por sílica e o silano.⁵⁶ Além disso, o revestimento de sílica é considerado menos agressivo do que o jateamento com partículas de óxido de alumínio para as margens da restauração, pois o processo usa menos pressão de ar e menos partículas.⁵⁷ Diante disso, é importante resaltar que, em tratamentos de superfície por jateamento, deve ser dada atenção especial ao tamanho das partículas, pressão de ar aplicado e distância entre a peça cerâmica e a ponta ativa do aparelho de jateamento utilizado (figura 4).⁵³

Considerando que o deslocamento de coroas e pontes em zircônia não é um problema clínico relatado por estudos clínicos longitudinais e que a retenção mecânica do preparo é principal fator para prevenir o deslocamento da restauração,^{48-50,58} é prudente evitar procedimentos que possam danificar a superfície da cerâmica,^{59,60} utilizando-se primers como alternativas.^{12,16}

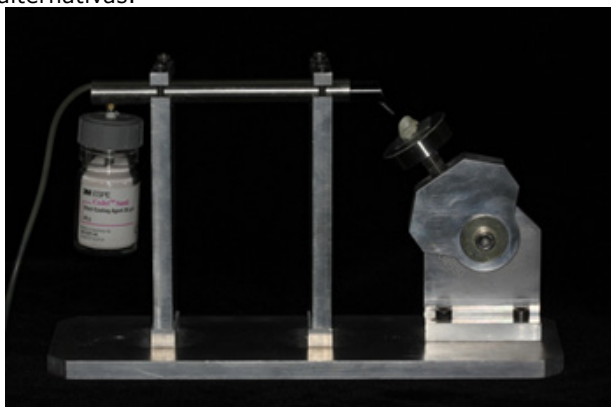


Figura 4: Dispositivo que permite a padronização e o controle da distância do jateamento de superfície da cerâmica.

Outra técnica que tem sido utilizada para fornecer rugosidade à superfície interna da zircônia Y-TZP é o condicionamento por infiltração seletiva. Esta técnica utiliza um processo de maturação induzida pelo calor para gerar pré-tensão em torno da superfície dos grãos de ZrO_2 e permitir a infiltração de vidro fundido nestas superfícies.³⁵ A parte externa do vidro é então condicionada usando ácido fluorídrico, criando uma rede tridimensional de porosidade intergranular que permite ligações nano-mecânicas ao cimento resinoso. A vantagem do condicionamento por infiltração seletiva é envolver apenas os grãos de vidro fundido que são expostos permitindo o controle da área a ser condicionada.³⁵

Aboushelib et al³⁹, mostraram que o uso deste tratamento na zircônia Y-TZP resultou em valores mais altos de resistência à microtração ($49,8 \pm 2,7$ MPa) em comparação com os valores da abrasão de partículas por jateamento ($33,4 \pm 2,1$ MPa). O uso da infiltração seletiva aumentou a retenção nanomecânica e a área de superfície disponível para o processo de cimentação. No entanto, estudos clínicos avaliando o comportamento desse tratamento precisam ser desenvolvidos, especialmente para questões relacionadas ao desajuste de coroas gerado por esse tratamento.³⁹

O uso de uma solução química aquecida foi proposto para condicionar as infraestruturas à base de zircônia.²³ Os valores de resistência de união entre o ZrO_2 e o agente cimentante resinoso e as características morfológicas demonstraram que a aplicação de produtos químicos aquecidos produziu uma rugosidade superficial significativamente maior quando comparada ao condicionamento por infiltração seletiva. É possível que esta técnica possa aumentar a retenção mecânica da zircônia Y-TZP. No entanto, estudos que avaliem o comportamento de longo prazo desses tratamentos devem ser realizados.²⁴⁻²⁶

Outra forma de condicionamento, que usa spray de plasma para depositar uma camada de sílica a qual permite ligações de siloxano com o ZrO_2 , utilizou um gerador de alta frequência para depositar hexametildissilazano (HMDS) na superfície da zircônia Y-TZP. Quando polimerizado, o HMDS age como um silano, resultando em uma conexão de siloxano entre o ZrO_2 e o cimento resinoso. Os valores de resistência de união gerados por esta técnica foram significativamente maiores do que os valores para a zircônia Y-TZP sem tratamento de superfície ou silanizada.⁶¹ Alternativas inovadoras, como o uso do laser de (CO_2),¹⁶ soluções ácidas em altas concentrações e o jateamento com esferas de vidro têm apresentado resultados promissores em relação à rugosidade superficial e resistência de união.^{5,22,62,40} Este último tem como vantagem o conceito de gerar menos danos que os jateamentos convencionais e ocasionar deposição de sílica na superfície cerâmica, permitindo a silanização.^{62,40} No entanto, essas

alternativas carecem de mais estudos laboratoriais e clínicos.

Agentes cimentantes

O processo de cimentação de uma restauração protética é o último passo após uma série de procedimentos, como a preparação do dente, a moldagem, a obtenção de um modelo de trabalho e etapas laboratoriais de realização da restauração. Esse processo está diretamente ligado com a longevidade do tratamento restaurador, logo, a escolha do agente cimentante deve ser criteriosa.^{32,63} Quando comparado a outros agentes cimentantes, o cimento resinoso se destaca por possuir menor solubilidade no meio bucal, maior resistência à flexão, boa estética e melhor efetividade de união com diferentes substratos.^{32,63}

Essas boas características dos cimentos resinosos estão diretamente relacionadas à sua composição. Esses cimentos são compostos por metacrilato de bis-genilato bisfenol A (Bis-GMA) ou dimetacrilato de uretano (UEDMA) em combinação com outros monômeros de menor peso molecular, como o dimetacrilato de trietilenoglicol (TEGDMA). A adoção de grupos funcionais hidrofílicos, como metacrilato de hidroxietila (HEMA) e 4-metacriloxietil trimelitano anidro (4-META), alteraram a composição dos cimentos resinosos orgânicos e permitiram a sua união à estrutura dental. Além disso, esses materiais resinosos podem apresentar polimerização por luz, por reações químicas ou ambas.^{31,34}

Os cimentos resinosos que apresentam monômeros fosfatados em sua composição, como o Panavia F (Kuraray, Japão) têm a capacidade de se unir com óxidos, o que permite uma maior adesão entre o cimento e o material restaurador protético. Cimentos resinosos contendo 10-MDP foram considerados materiais de escolha devido à interação química estabelecida com grupos hidroxila de cerâmica de ZrO_2 .⁶⁴⁻⁶⁶

Outros cimentos contendo diferentes monômeros fosfatados (RelyX ARC – 3M ESPE, Seefeld, Alemanha), cimento resinoso autoadesivo universal (RelyX Unicem – 3M ESPE, Seefeld, Alemanha) e cimentos resinosos que não apresentam monômeros fosfatados (Bifix QM – VOCO GmbH, Cuxhaven, Alemanha), cimentos resinosos Bis-GMA e cimentos resinosos à base de ácido fosfônico (Multilink Automix – Ivoclar Vivadent, Amherst, NY, EUA) demonstraram valores estatisticamente semelhantes de ligação a cimentos resinosos contendo MDP.^{24,30,31,64,67}

Embora esses cimentos tenham boa retenção mecânica, os cimentos resinosos contendo MDP continuam a ser a escolha para cimentação de próteses à base de zircônia Y-TZP, devido à sua baixa incidência de falhas.^{13,39,68} Além disso, de acordo com o tratamento de superfície realizado, a cimentação com MDP pode apresentar melhor desempenho.⁶⁹

CONCLUSÃO

Os tratamentos de superfícies cerâmicas descritos na literatura demonstram que a aplicação de *primers* específicos previamente ao processo de cimentação pode ser realizada como uma alternativa de preservação da estrutura cerâmica, uma vez que a retenção mecânica do preparo é o principal fator para prevenir o deslocamento de restaurações à base de cerâmicas policristalinas.

No entanto, necessitando-se da utilização de um tratamento de superfície, é indicado o jateamento com partículas de Al_2O_3 revestidas com sílica (30 μ m), pois é menos agressivo à superfície da cerâmica do que os outros protocolos de jateamento e, com o agente devido a impregnação de sílica, há maior interação com agente de união silano.

Quanto ao procedimento de cimentação, recomenda-se sempre o uso de cimentos resinosos com MDP, uma vez que proporciona uma ligação química estável e um comportamento duradouro.

REFERÊNCIAS

1. Anusavice KJ. Phillips' science of dental materials. 11. ed. St. Louis: Elsevier Health Science; 2003.
2. Komine F, Fushiki R, Koizuka M, Taguchi K, Kamio S, Matsumura H. Effect of surface treatment on bond strength between an indirect composite material and a zirconia framework. J Oral Sci. 2012; 54:39-46.
3. Melo RM De, Dursun E, Descartes P, Valandro LF, Maria S. Surface treatments of zirconia to enhance bonding durability. Operative Dentistry. 2015; 40:636-46.
4. Ishii R, Tsujimoto A, Takamizawa T, Tsubota K, Suzuki T, Shimamura Y. Influence of surface treatment of contaminated zirconia on surface free energy and resin cement bonding. Dent Mater J. 2015; 34:1-7.
5. Goyatá F, Galvão Y, Simões T, Goyatá L, Arruda J. Effect of surface treatments with acid solutions on the surface roughness of an yttrium-tetragonal zirconia polycrystal. J Clin Exp Dent. 2018; 10:10-3.
6. Skienhe H, Habchi R, Ounsi H, Ferrari M, Salameh Z. Evaluation of the effect of different types of abrasive surface treatment before and after zirconia sintering on its structural composition and bond strength with resin cement. Biomed Res Int. 2018; 1-12.
7. Maruo Y, Nishigawa G, Irie M, Yamamoto Y, Yoshihara K, Minagi S. Effects of irradiation with a CO 2 laser on surface structure and bonding of a zirconia ceramic to dental resin cement. PLoS One. 2011; 6:174-9.

8. Guazzato M, Proos K, Quach L, Swain MV. Strength, reliability and mode of fracture of bilayered porcelain/zirconia (Y-TZP) dental ceramics. *Biomaterials*. 2004; 25:5045-52.
9. Sundh A, Molin M, Sjogren G. Fracture resistance of yttrium oxide partially-stabilized zirconia all-ceramic bridges after veneering and mechanical fatigue testing. *Dental materials*. 2005; 21:476-82.
10. Tsalouchou E, Cattell MJ, Knowles JC, Pittayachawan P, McDonald A. Fatigue and fracture properties of yttria partially stabilized zirconia crown systems. *Dental materials*. 2008; 24:308-18.
11. Uludamar A, Aykent F. Bond strength of resin cements to zirconia ceramics with different surface treatments. *Balk J Stom*. 2012; 16:173-8.
12. Lee J, Lee C. Effect of the surface treatment method using airborne-particle abrasion and hydrofluoric acid on the shear bond strength of resin cement to zirconia. *Dent. J*. 2017; 5:23.
13. Atsu SS, Kilicarslan MA, Kucukesmen HC, Aka PS. Effect of zirconium-oxide ceramic surface treatments on the bond strength to adhesive resin. *J Prosthet Dent*. 2006; 95:430-6.
14. Amaral R, Ozcan M, Bottino MA, Valandro LF. Microtensile bond strength of a resin cement to glass infiltrated zirconia-reinforced ceramic: the effect of surface conditioning. *Dent Mater*. 2006; 22:283-90.
15. Hallmann L, Ulmer P, Wille S, Polonskyi O. Effect of surface treatments on the properties and morphological change of dental zirconia. *J Prosthet Dent*. 2016; 115:341-9.
16. Saleh NE, Guven MC, Yildirim G, Erol F. Effect of different surface treatments and ceramic primers on shear bond strength of self-adhesive resin cement to zirconia ceramic. *Niger J Clin Pract*. 2019; 22:335-41.
17. Kunt GE, Duran I. Effects of laser treatments on surface roughness of zirconium oxide ceramics. *BMC Oral Health*. 2018; 18:1-7.
18. Wang H, Aboushelib MN, Feilzer AJ. Strength influencing variables on CAD/CAM zirconia frameworks. *Dent Mater*. 2008; 24:633-8.
19. Inokoshi M, Zhang F, Vanmeensel K. Residual compressive surface stress increases the bending strength of dental zirconia. *Dent Mater*. 2017. 33:147-54.
20. Oyague RC, Monticelli F, Toledano M, Osorio E, Ferrari M, Osorio R. Effect of water aging on microtensile bond strength of dual-cured resin cements to pre-treated sintered zirconium-oxide ceramics. *Dent Mater*. 2009; 25:392-9.
21. Inokoshi M, Vanmeensel K, Zhang F, Munck J De, Eliades G, Minakuchi S, et al. Aging resistance of surface-treated dental zirconia. *Dent Mater*. 2014; 31:182-94.
22. Cho JH, Kim SJ, Shim JS, Lee K. Effect of zirconia surface treatment using nitric acid-hydrofluoric acid on the shear bond strengths of resin cements. *J Adv Prosthodont*. 2017; 9:77-84.
23. Curtis AR, Wright AJ, Fleming GJ. The influence of surface modification techniques on the performance of a Y-TZP dental ceramic. *J Dent*. 2006; 34:195-206.
24. Casucci A, Osorio E, Osorio R, Monticelli F, Toledano M, Mazzitelli C et al. Influence of different surface treatments on surface zirconia frameworks. *J Dent*. 2009; 37:891-7.
25. Casucci A, Mazzitelli C, Monticelli F, Toledano M, Osorio R, Osorio E, et al. Morphological analysis of three zirconium oxide ceramics: Effect of surface treatments. *Dent Mater*. 2010; 26:751-60.
26. Casucci A, Monticelli F, Goracci C, Mazzitelli C, Cantoro A, Papacchini F, Ferrari M. Effect of surface pre-treatments on the zirconia ceramic-resin cement microtensile bond strength. *Dent Mater*. 2011; 27:1024-30.
27. Matinlinna JP, Heikkinen T, Ozcan M, Lassila LV, Vallittu PK. Evaluation of resin adhesion to zirconia ceramic using some organosilanes. *Dent Mater*. 2006; 22:824-31.
28. Matinlinna JP, Vallittu PK. Bonding of resin composites to etchable ceramic surfaces: an insight review of the chemical aspects on surface conditioning. *J Oral Rehabil*. 2007; 34:622-30.
29. Della Bona U, Borba H , Benetti P , Cecchetti D. Effect of surface treatments on the bond strength of a zirconia-reinforced ceramic to composite resin. *Braz Oral Res*. 2007; 21:10-5.
30. Aboushelib MN, Mirmohamadi H, Matinlinna JP, Kukk E, Ounsi HF, Salameh Z. Innovations in bonding to zirconia-based materials. Part II: focusing on chemical interactions. *Dent Mater*. 2009; 25:989-93.
31. Piascik JR, Swift EJ, Thompson JY, Grego S, Stoner BR. Surface modification for enhanced silanation of zirconia ceramics. *Dent Mater*. 2009; 25:1116-21.
32. Attia A, Lehmann F, Kern M. Influence of surface conditioning and cleaning methods on resin bonding to zirconia ceramic. *Dent Mater*. 2011; 27:207-13.
33. Kern M. Resin bonding to oxide ceramics for dental restorations. *J Adhes Sci Technol*. 2009; 23:1097-111

34. Thompson JY, Stoner BR, Piascik JR, Smith R. Adhesion/ cementation to zirconia and other non-silicate ceramics: where are we now? *Dent Mater.* 2011; 27:71-82.
35. Borges GA, Sophr AM, de Goes MF, Sobrinho LC, Chan DC. Effect of etching and airborne particle abrasion on the microstructure of different dental ceramics. *J Prosthet Dent.* 2003; 89:479-88.
36. Gülce M, Demir N, Kara Ö, Ozturk AN, Özel F. Mechanical properties of zirconia after different surface treatments and repeated firings. *J Adv Prosthodont.* 2014; 6:462-7.
37. Santos RLP, Silva FS, Nascimento RM, Souza JCM, Motta F V. Shear bond strength of veneering porcelain to zirconia : effect of surface treatment by CNC-milling and composite layer deposition on zirconia. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2016; 60:547-56.
38. Kaimal A, Ramdev P, Shruthi CS. Evaluation of effect of zirconia surface treatment, using plasma of argon and silane, on the shear bond strength of two composite resin cements. *J Clin Diagn Res.* 2017; 11:39-43.
39. Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Selective infiltration-etching technique for a strong and durable bond of resin cements to zirconia-based materials. *J Prosthet Dent.* 2007; 98:379-88.
40. Martins ARM, Gotti VB, Shimano MM, Borges GA, Gonçalves LS. Improving adhesion between luting cement and zirconia-based ceramic with an alternative surface treatment. *Braz Oral Res.* 2015; 29:1-7.
41. Hjerpe J, Närhi TO, Vallittu PK, Lassila LVJ. Surface roughness and the flexural and bend strength of zirconia after different surface treatments. *J Prosthet Dent.* 2016; 116:577-83.
42. Hallmann L, Ulmer P, Lehmann F. Effect of surface modifications on the bond strength of zirconia ceramic with resin cement resin. *Dent Mater.* 2016; 32:631-9.
43. Akgungor G, Sen D, Aydin M. Influence of different surface treatments on the short-term bond strength and durability between a zirconia post and a composite resin core material. *J Prosthet Dent.* 2008; 99:388-99.
44. Kern M, Barloi A, Yang B. Surface conditioning influences zirconia ceramic bonding. *J Dent Res.* 2009; 88:817-22.
45. Smith RL, Villanueva C, Rothrock JK, Garcia-Godoy CE, Stoner BR, Piascik JR et al. Long-term microtensile bond strength of surface modified zirconia. *Dent Mater.* 2011; 27:779-85.
46. Güngör MB, Yılmaz H, Nemli SK, Bal BT, Cemal Aydın C. Effect of surface treatments on the biaxial flexural strength, phase transformation, and surface roughness of bilayered porcelain/zirconia dental ceramics. *J Prosthet Dent.* 2015; 113:585-95.
47. Ohlmann B, Rammelsberg P, Schmitter M, Schwarz S, Gabbert O. All-ceramic inlay-retained fixed partial dentures: preliminary results from a clinical study. *J Dent.* 2008; 36: 692-6.
48. Sailer I, Gottner J, Känel S, Hämmerle CHF. Randomized controlled clinical trial of zirconia-ceramic and metal-ceramic posterior fixed dental prostheses: a 3-year follow-up. *Int J Prosthodont.* 2009; 22:553-60.
49. Abou Tara M, Eschbach S, Wolfart S, Kern M. Zirconia ceramic inlay-retained fixed dental prostheses-first clinical results with a new design. *J Dent.* 2011; 39:208-11.
50. Sasse M, Eschbach S, Kern M. Randomized clinical trial on single retainer all-ceramic resin-bonded fixed partial dentures: Influence of the bonding system after up to 55 months. *J Dent.* 2012; 40:783-6.
51. Hallmann L, Ulmer P, Reusser E, Hämmerle CHF. Surface characterization of dental Y-TZP ceramic after air abrasion treatment. *J Dent.* 2012; 40:723-35.
52. Bhargava S, Doi H, Kondo R, Aoki H, Hanawa T, Kasugai S. Effect of sandblasting on the mechanical properties of Y-TZP zirconia. *Biomed Matr Eng.* 2012; 22:383-98.
53. Amaral R, Ozcan M, Valandro LF, Balducci I, Bottino MA. Effect of conditioning methods on the microtensile bond strength of phosphate monomer-based cement on zirconia ceramic in dry and aged conditions. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2008; 85:1-9.
54. Della Bona A, Donassollo TA, Demarco FF, Barrett AA, Mecholsky JJ, Jr. Characterization and surface treatment effects on topography of a glass-infiltrated alumina/zirconia-reinforced ceramic. *Dent Mater.* 2007; 23:769-75.
55. Özcan M, Cura C, Valandro LF. Early bond strength of two resin cements to Y-TZP ceramic using MPS or MPS/4-META silanes. *Odontology.* 2011; 99:62-7.
56. Yoshida K, Tsuo Y, Atsuta M. Bonding of dual-cured resin cement to zirconia ceramic using phosphate acid ester monomer and zirconate coupler. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2006; 77:28-33.
57. Valandro LF, Özcan M, Bottino MC, Scotti R, Bottino MA, Della Bona A. Bond strength of a resin cement to high-alumina and zirconia-reinforced ceramics: the effect of surface conditioning. *J Adhes Dent.* 2006; 8:175-81.
58. Lops D, Mosca D, Casentini P, Ghisolfi M, Romeo E. Prognosis

- of zirconia ceramic fixed partial dentures: a 7-year prospective study. *Int J Prosthodont.* 2012; 25:21-3.
59. White SN, Miklus VG, McLaren EA, Lang LA, Caputo AA. Flexural strength of a layered zirconia and porcelain dental all-ceramic system. *J Prosthet Dent.* 2005; 94:125-31.
60. Borba M, de Araujo MD, Fukushima KA, Yoshimura HN, Cesar PF, Griggs JA et al. Effect of the microstructure on the lifetime of dental ceramics. *Dent Mater.* 2011; 27:710-21.
61. Derand T, Molin M, Kvam K. Bond strength of composite luting cement to zirconia ceramic surfaces. *Dent Mater.* 2005; 21:1158-62.
62. Nobuaki A, Keiichi Y, Takashi S. Effects of air abrasion with alumina or glass beads on surface characteristics of CAD/CAM composite materials and the bond strength of resin cements. *J Appl Oral Sci.* 2015; 23:629-36.
63. Cavalcanti AN, Foxton RM, Watson TF, Oliveira MT, Giannini M, Marchi GM. Y-TZP ceramics: key concepts for clinical application. *Oper Dent.* 2009; 34:344-51.
64. Kitayama S, Nikaido T, Takahashi R, Zhu L, Ikeda M, Foxton RM, et al. Effect of primer treatment on bonding of resin cements to zirconia ceramic. *Dent Mater.* 2010; 26:426-32.
65. Magne P, Paranhos MP, Burnett LH, Jr. New zirconia primer improves bond strength of resin-based cements. *Dent Mater.* 2010; 26:345-52.
66. Arai M, Takagaki T, Takahashi A, Tagami J. The role of functional phosphoric acid ester monomers in the surface treatment of yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystals. *Dent Mater.* 2017; 36:190-4.
67. Tsukakoshi M, Shinya A, Gomi H, Lassila LV, Vallittu PK. Effects of dental adhesive cement and surface treatment on bond strength and leakage of zirconium oxide ceramics. *Dent Mater J.* 2008; 27:159-71.
68. Aboushelib MN, Matinlinna JP, Salameh Z, Ounsi H. Innovations in bonding to zirconia-based materials: Part I. *Dent Mater.* 2008; 24:1268-72.
69. Gomes AL, Castillo-Oyaguë R, Lynch CD, Montero J, Albaladejo A. Influence of sandblasting granulometry and resin cement composition on microtensile bond strength to zirconia ceramic for dental prosthetic frameworks. *J Dent.* 2013; 41:31-41.