

**UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA**

**EFEITO DO LASER DE Ti:Safira EM REGIME DE  
FEMTOSSEGUNDOS NA RESISTÊNCIA À FLEXÃO  
DA CERÂMICA Y-TZP *HIGH TRANSLUCENT*,  
ANTES E APÓS ENVELHECIMENTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Paulista - UNIP, para obtenção do título de Doutor em Odontologia.

**MARIA EUGENIA ZANATA MILLEO**

**SÃO PAULO**  
**2024**

**UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA**

**EFEITO DO LASER DE Ti:Safira EM REGIME DE  
FEMTOSSEGUNDOS NA RESISTÊNCIA À FLEXÃO  
DA CERÂMICA Y-TZP *HIGH TRANSLUCENT*,  
ANTES E APÓS ENVELHECIMENTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Paulista - UNIP, para obtenção do título de Doutor em Odontologia, sob orientação da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cintia Helena Coury Saraceni

**MARIA EUGENIA ZANATA MILLEO**

**SÃO PAULO**  
**2024**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Milleo, Maria Eugenia Zanata.

Efeito do laser de Ti:Safira em regime de femtossegundos na resistência à flexão da cerâmica Y-TZP *High Translucent*, antes e após envelhecimento / Maria Eugenia Zanata Milleo. - 2024.

16 f. : il. color. + CD-ROM.

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, São Paulo, 2024.

Área de concentração: Denstística.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cintia Helena Coury Saraceni.

1. Zircônia. 2. Y-TZP. 3. Laser. 4. Jateamento. 5. Silicatização.
6. Tratamento de superfície. 7. Resistência à flexão. I. Saraceni, Cintia Helena Coury (orientadora). II. Título.

**MARIA EUGENIA ZANATA MILLEO**

**EFEITO DO LASER DE Ti:Safira EM REGIME DE  
FEMTOSSEGUNDOS NA RESISTÊNCIA À FLEXÃO  
DA CERÂMICA Y-TZP *HIGH TRANSLUCENT*,  
ANTES E APÓS ENVELHECIMENTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Paulista - UNIP, para obtenção do título de Doutor em Odontologia.

Aprovada em:

**BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cintia Helena Coury Saraceni  
Universidade Paulista (Orientadora)

\_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Prof. Dr. Alfredo Mikail Melo Mesquita  
Universidade Paulista

\_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vanessa Gallego Arias Pecorari  
Universidade Paulista

\_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vanessa Harumi Kyan  
Universidade Paulista

\_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dra.<sup>a</sup> Flávia Pires Rodrigues  
University of Leeds

## **AGRADECIMENTOS**

Um trabalho de doutorado é um longo caminho, foram 4 anos para chegar até aqui, e isso só foi possível com o apoio, energia e força de várias pessoas, às quais estou profundamente grata. Correndo o risco de injustamente não mencionar alguém, quero deixar expresso os meus agradecimentos:

Em primeiro lugar, aos meus pais, Marco e Heloisa, meu infinito agradecimento, eu sei o quanto vocês se sacrificaram, se dedicaram, abdicaram de tempo e de muitos projetos pessoais para que eu tivesse a oportunidade de realizar mais uma etapa profissional, mas também pessoal. Eu devo tudo que sou a vocês, e se sinto orgulho de mim e do lugar aonde cheguei, é porque sei que vocês vieram segurando a minha mão. Em todos os momentos da minha vida vocês estiveram ao meu lado e me ajudaram, apoiaram e fizeram acreditar que nada é impossível. Não conheço pessoas mais incríveis e maravilhosas do que vocês, obrigada!

Aos meus irmãos, Victor e João Marcos, sem o apoio de vocês, eu jamais conseguiria conquistar tudo o que conquistei. Sem o amor de vocês, eu não saberia qual o significado de amor incondicional. Sem os cuidados de vocês, eu não teria a capacidade de cuidar sem esperar nada em troca. Sem vocês, eu seria tão pouco.

Também não posso deixar de agradecer minha orientadora, Professora Doutora Cintia Coury Saraceni, exemplo de pesquisadora, professora, dentista e pessoa, que me acompanhou desde meu 1º ano da graduação, me iniciou e incentivou no mundo da pesquisa, que abriu meus caminhos para chegar até onde estou hoje. Obrigada por todo o carinho, compreensão, paciência, ensinamentos, e por sempre estar aberta a me ouvir. Espero algum dia ser tão grande quanto você!

Um agradecimento em especial às professoras Flávia Pires e Vanessa Kyan, por todo suporte, por sempre se colocarem à disposição para compartilhar todo conhecimento, que desde o início ajudaram em todas as etapas deste trabalho, que mesmo com todas as dificuldades continuaram contribuindo para o andamento desta pesquisa, sempre se demonstrando dispostas e solícitas. Esse suporte foi muito importante para mim e sou imensamente grata por isso. Vocês fizeram com que esta conquista fosse possível, e o mínimo que posso fazer compartilhá-la com vocês.

As minhas amigas e amigos, por entenderem os momentos em que não pude estar presente, que estiveram lá quando precisei conversar, desabafar, que me fizeram companhia enquanto eu estudava e montava aulas, e que ainda sim conseguiam me fazer rir em momentos em que achei que não fosse conseguir. Vocês nunca negaram uma palavra de apoio, força e cumplicidade ao longo da minha vida. Obrigada a todos (as), em especial Aluan Santana, Beatriz Novoletto, Carolina Toschi, Caroline Fernandes, Guilherme Gonçalves, Henrique Seabra, Julia Miglio, Larissa Marques, Maria Stella Zanata, Paola Segura, Patricia Fiorani, Renata Gil e Victoria Brancão.

Aos meus colegas de doutorado, em especial, Tayna Castro, que foi minha maior incentivadora para toda essa caminhada.

A todos os técnicos do laboratório, e professores (as) envolvidos neste trabalho, como Vanessa Pecorari, Alfredo Mikail, Débora Callabro, Ricardo Samad entre outros que foram extremamente importantes para o andamento e finalização desta pesquisa.

Ao CNPq e Ivoclar Vivadent pelo fomento para realização deste trabalho.

A todas as pessoas que de uma forma direta ou indireta, contribuíram, ou auxiliaram na elaboração do presente estudo, pela paciência, atenção e força que prestaram em todos os momentos.

Por fim, gostaria de agradecer à Faculdade de Odontologia da Universidade Paulista por ter sido minha segunda casa desde 2012 e ter proporcionado uma formação de qualidade imensurável, além de todos os momentos e amigos valiosos que entraram na minha vida graças a este lugar.

## **EPÍGRAFE**

*“Que a cada dia você tenha paciência para as dificuldades, sensatez para as escolhas, delicadezas para as palavras, coragem para as provas... Ame muitas coisas, porque em amar está a verdadeira força! Quem ama muito conquistará muito! E o que for feito com amor estará bem-feito...”.*

*(Vincent Van Gogh)*

## RESUMO

**Objetivo:** Avaliar os efeitos da irradiação do laser de pulsos ultracurtos sobre as propriedades superficiais e a resistência à flexão da zircônia *high translucent* (YTZP *high translucent*), antes e após o envelhecimento (e). **Método:** Discos de zircônia Y-TZP *High Translucent* - IPS e.max® ZirCAD Prime - Ivoclar Vivadent (12 mm x 1,1 mm,  $\pm 0,2$  mm) foram divididos em 8 grupos ( $n=21$ ), de acordo com o tratamento e envelhecimento: GC/ GC-e: sem tratamento; GAI / GAI-e: jateamento com  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 50  $\mu\text{m}$ ; GSil / GSil-e: silicatização; GL/ GL- e: irradiações com laser de pulsos ultracurtos de 25 femtossegundos (fs) e energia máxima de 800  $\mu\text{J}$ , centrados em 785 nm com largura de banda de 40 nm (FWHM), em um trem de pulsos com taxa de repetição máxima de 4 kHz e fator  $M^2 < 2$ . Esses grupos foram duplicados e submetidos a envelhecimento. As superfícies foram avaliadas por meio de microscopia eletrônica de varredura e, após cimentação, foram submetidas ao teste de flexão biaxial, seguido de fractografia e análises de Weibull. Testes estatísticos foram aplicados.

**Resultados:** A combinação tratamento e envelhecimento causou mudança significativa na resistência à flexão, porém de forma diferente entre os tratamentos. Os tratamentos com óxido de alumínio e sílica mostraram comportamentos estatisticamente semelhantes entre si, superiores ao laser. Após o envelhecimento, o grupo que recebeu o tratamento com óxido de alumínio apresentou a menor média de resistência à flexão, seguida do controle. O tratamento com sílica apresentou a maior média de resistência sendo estatisticamente superior as demais médias. O laser foi o grupo que apresentou a segunda maior média entre os tratamentos. De modo geral, nas imagens de fractografia, a camada de cimento apresentou espessura diferente entre os grupos e o tipo de fratura foi dependente desses defeitos provavelmente resultantes de falta de padronização na confecção das amostras. **Conclusão:** A irradiação com o laser em regime de femtosegundos promoveu alterações na superfície da zircônia que poderiam favorecer a interação com o cimento resinoso e devido ao resultado mecânico apresentado pelas amostras, principalmente após o envelhecimento, pode ser considerada uma opção para tratamento da superfície da zircônia Y-TZP *High Translucent*.

Palavras-Chave: zircônia; Y-TZP; laser; jateamento; silicatização; tratamento de superfície; resistência à flexão.

## ABSTRACT

**Objective:** To assess the effects of ultrashort pulse laser irradiation on the surface properties and flexural strength of high-translucent zirconia (YTZP high translucent), before and after aging (e). **Method:** Discs of Y-TZP High Translucent zirconia - IPS e.max® ZirCAD Prime - Ivoclar Vivadent (12 mm x 1.1 mm,  $\pm$  0.2 mm) were divided into 8 groups (n=21) based on treatment and aging: GC/GC-e: untreated; GAI/GAI-e: blasting with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 50  $\mu$ m; GSil/GSil-e: silicatization; GL/GL-e: irradiation with ultrashort pulse laser of 25 femtoseconds (fs) and maximum energy of 800  $\mu$ J, centered at 785 nm with a bandwidth of 40 nm (FWHM), in a pulse train with a maximum repetition rate of 4 kHz and M2<2. These groups were duplicated and subjected to aging. Surfaces were evaluated by scanning electron microscopy, and after cementation, they underwent biaxial flexural strength testing, followed by fractography and Weibull analysis. Statistical tests were applied. **Results:** The combination of treatment and aging caused a significant change in flexural strength, but in different ways among the treatments. Aluminum oxide and silica treatments showed statistically similar behaviors, both superior to the laser treatment. After aging, the group treated with aluminum oxide exhibited the lowest mean flexural strength, followed by the control group. The silica treatment group showed the highest mean strength, statistically superior to the other means. The laser group presented the second-highest mean among the treatments. Overall, in the fractography images, the cement layer exhibited different thicknesses among the groups, and the type of fracture depended on these defects, likely resulting from a lack of standardization in sample preparation. **Conclusion:** Femtosecond laser irradiation induced changes in the zirconia surface that could enhance interaction with resin cement. Considering the mechanical results, especially after aging, it may be considered as an option for treating the surface of high-translucent Y-TZP zirconia.

Key-words: zirconia; Y-TZP; laser; blasting; silicatization; surface treatment; flexural strength.

## **SUMÁRIO**

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde o final do século XX, a necessidade de melhoria nas propriedades mecânicas e estéticas dos materiais odontológicos para reabilitações indiretas tem motivado o desenvolvimento de novos materiais cerâmicos, associados a novas tecnologias. A tecnologia CAD-CAM e as cerâmicas à base de zircônia estão no topo desta evolução (1).

A zircônia ( $\text{ZrO}_2$ ) exibe uma estrutura polimórfica, que se apresenta em três fases cristalinas, estáveis em diferentes temperaturas: monoclinica (M), até 1.170 °C, tetragonal (T), entre 1.170 °C e 2.370 °C e cúbica (C), acima de 2.370 °C. Para sua utilização clínica, a resistência mecânica é um fator importante a ser considerado (2, 3). Neste sentido, a zircônia tetragonal parcialmente estabilizada ocupa lugar de destaque por apresentar além de boas propriedades mecânicas, excelente biocompatibilidade e estabilidade química (2). Para que a zircônia fique estável na fase tetragonal à temperatura ambiente são adicionados estabilizadores como óxidos de ítrio, magnésio, cálcio e cério (2, 3). Dentre esses estabilizadores, o óxido de ítrio (3-5 %mol) (Y-TZP) é o mais utilizado.

Desde sua introdução para uso na odontologia, a fim de suprir as necessidades clínicas, a zircônia tem evoluído em suas propriedades mecânicas e estéticas. A primeira geração de zircônia era indicada como infraestrutura de próteses *bilayers metal free*, sendo uma boa opção para substituição do metal. Uma das limitações dessa geração é a difícil interação do material com a cerâmica de recobrimento, o que pode resultar em lascamento ou delaminação dessa cerâmica de cobertura, fenômeno denominado *chipping* (4, 5, 6, 7).

Com o intuito de evitar o *chipping*, surgiu a segunda geração de zircônia chamada monolítica, que além de poder ser sinterizada em fase única, trouxe melhorias nas propriedades ópticas em função de alterações na sua microestrutura e nos parâmetros de sinterização (4, 5, 6, 7).

A fim de incrementar ainda mais suas propriedades ópticas, especialmente a translucidez surge uma terceira geração de zircônia monolítica, a zircônia altamente translúcida (*high translucent*), resultante do aumento na quantidade de óxido de ítrio e consequente aumento da quantidade de fase cúbica. Essa geração apresenta resistência um pouco menor que as gerações anteriores (550–800 MPa) e pode ser

indicada para facetas laminadas, lentes de contato e *inlays/onlays*, coroas unitárias ou até de 3 elementos, anteriores e posteriores (4, 5, 6, 7).

Uma das causas que contribuem para a elevada resistência mecânica desta cerâmica (Y-TZP) é o chamado mecanismo de “resistência por transformação”, que ocorre quando o material, sob tensão ou diferentes estímulos externos, como variações de temperatura, desgaste, trincas ou impacto, sofre mudança da fase tetragonal para a fase monoclinica (T→M), com um aumento em volume de cerca de 4,5 %. Essa transformação de fase T→M é uma propriedade desejável, já que, o aumento de volume cria uma região de compressão ao redor de uma trinca incipiente, o que dificulta sua propagação e aumenta, assim, a resistência do material (8, 9).

Apesar desta transformação de fase de T→M ter um efeito positivo inicial em relação à resistência, quando a zircônia sofre um estresse excessivo, promovido por ajustes com instrumentos rotatórios, tratamentos de superfície, ou envelhecimento, a transformação T→M pode ser elevada, o que pode levar a trinca inicial a se propagar no interior do material, conduzir a um destacamento dos grãos da zircônia, gerar aumento da rugosidade, comprometimento da resistência e da tenacidade à fratura e consequente insucesso clínico (8, 9).

Outro aspecto apontado como indesejável da zircônia é a degradação em meio úmido e baixas temperaturas, ou envelhecimento. Nesse processo, a transformação de fase T→M ocorre mesmo com a adição de estabilizadores de fase tetragonal. A transformação de fase em um grão gera aumento de volume que promove aumento de tensão em outros grãos o que pode gerar ou propagar micro trincas. A penetração de umidade exacerba o processo e estende a degradação para camadas mais profundas, o que resulta em propagação de micro e macro trincas e, consequente, diminuição da resistência à flexão (8, 10).

Apesar das melhorias apresentadas a cada nova geração, a adesão desse material ao cimento resinoso e consequentemente à estrutura dental ainda é um desafio. O fato de apresentar densa estrutura cristalina com ausência de fase vítreia, torna o condicionamento ácido da peça como tratamento de superfície ineficaz (11, 12).

Estudos sobre resistência adesiva da Y-TZP *High Translucent* utilizando diferentes tratamentos de superfície ainda são escassos e uma possível perda por falha na cimentação de uma peça em região anterior pode comprometer

significativamente a qualidade de vida do paciente, além de gerar insatisfação (13, 14).

Diferentes tratamentos de superfície têm sido propostos com o intuito de aumentar a resistência de união da interface zircônia/cimento. Entre eles, o jateamento com óxido de alumínio, o jateamento com óxido de sílica, a aplicação de "primers" associados a estes dois tratamentos, condicionamento com ácidos e também a utilização de diferentes tipos de lasers (15, 16).

O jateamento de óxido de alumínio atua removendo as impurezas da superfície e criando rugosidades para promover a interação mecânica com o cimento. A associação de óxido de alumínio com *primer* contendo MDP é atualmente uma das opções mais indicadas para o tratamento de superfície e adesão dessa nova geração de zircônia. O *primer* contendo MDP pode se aderir à superfície da zircônia por meio da formação de fosfato de zircônia (3, 17, 18, 19).

Outra técnica proposta para tratamento da superfície da zircônia *high translucent* é a silicatização de superfície. A camada de sílica depositada sobre a superfície reagiria com o silano. A associação dos dois tratamentos, óxido de alumínio e óxido de sílica poderia também proporcionar bons resultados adesivos (20).

Entretanto, a limitação das técnicas propostas para tratamento de superfície da zircônia seria possíveis alterações resultantes do tamanho de partículas, tempo de aplicação e pressão, que podem gerar elevada tensão, consequente transformação excessiva de fase T→M e diminuição da resistência à flexão (3, 6, 11). Por esse motivo, tratamentos de superfície que gerem menores tensões sobre a superfície do material devem ser testados, a fim de reduzir o índice de falhas catastróficas.

Dentre os tratamentos mais recentemente propostos, os lasers aparecem como alternativa, sendo os de CO<sub>2</sub>, Nd:YAG e Er:YAG, os mais citados na literatura (15, 16, 18). Porém, por não haver uma padronização ou até mesmo um protocolo bem descrito de parâmetros, os resultados são controversos e não se sabe quais alterações são causadas na microestrutura das cerâmicas (21, 22).

Kiyan et al. (2021) analisaram o efeito do laser em regime de femtosegundos sobre superfície da zircônia, antes e após envelhecimento e concluíram que o laser pode ser uma alternativa ao tratamento de superfície convencional do material, principalmente após o envelhecimento. O mecanismo de irradiação desse laser permite a seleção de pulsos ultracurtos numa duração de femtossegundos (1 fs =  $1 \times 10^{-15}$  s), sendo chamado de laser de pulso ultracurto (LPUC). Diferentemente dos

tipos de ablação observados com os lasers de pulsos curtos (ns) e longos ( $\mu$ s), que removem o tecido através da ablação termomecânica, a ablação observada com (LPUC) não está relacionada com o aumento de temperatura, mas com uma alteração eletrostática, também conhecida por ablação mediada por plasma. Este mecanismo permite uma ablação de finas camadas com extrema precisão e com mínimos danos térmicos, que não se estendem às regiões vizinhas à qual o feixe laser atinge (16, 23).

Apesar dos resultados promissores do laser de femtosegundos sobre a zircônia, ainda são escassos estudos sobre a utilização desse laser sobre a superfície da zircônia *high translucent*. Esse trabalho se propôs a avaliar a resistência à flexão biaxial de zircônia *high translucent* tratada superficialmente com o laser de Ti:Safira em regime de femtosegundos, antes e após envelhecimento.

## 2 CONCLUSÃO GERAL

Dentro das limitações deste estudo, a partir dos resultados, pode-se sugerir que:

A irradiação com o laser em regime de femtosegundos promoveu alterações na superfície da zircônia que poderiam favorecer a interação com o cimento resinoso e devido ao resultado mecânico apresentado pelas amostras, principalmente após o envelhecimento, pode ser considerada uma opção para tratamento da superfície da zircônia Y-TZP *High Translucent*.

## REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO

- 1 Baiomy AA, Abd El Haliem NN, Naguib HA, Zaki A. Effect of novel pre-sintered zirconia surface treatment on shear bond strength between zirconia and veneering porcelain compared to conventional surface treatments: an in-vitro study. *Braz Dent Sci.* 2023 Jul 3;26(3):1-13. doi: <https://doi.org/10.4322/bds.2023.e3680>.
- 2 Kukiatrakoon B, Kosago P. The The Effect of GaAlAs Laser, Sandblasting, and Primers on Bond Strength between Zirconia Ceramic and Direct Resin Composite after Thermocycling: Bonding zirconia ceramic with resin composite. *Braz Dental Sci.* 2021 Jul 1;24(3):1-9. doi: 10.14295/bds.2021.v24i3.2534.
- 3 Inokoshi M, Shimizubata M, Nozaki K, Takagaki T, Yoshihara K, Minakuchi S, et al. Impact of sandblasting on the flexural strength of highly translucent zirconia. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2021 Mar; 115:1-17. doi: 10.1016/j.jmbbm.2020.104268.
- 4 Silva LHD, Lima E, Miranda RBP, Favero SS, Lohbauer U, Cesar PF. Dental ceramics: a review of new materials and processing methods. *Braz Oral Res.* 2017 Aug 28;31(suppl 1):e58. doi: 10.1590/1807-3107BOR-2017.vol31.0058.
- 5 Kontonasaki E, Rigos AE, Ilia C, Istantos T. Monolithic Zirconia: An Update to Current Knowledge. Optical Properties, Wear, and Clinical Performance. *Dent J (Basel).* 2019 Sep 2;7(3):90. doi: 10.3390/dj7030090.
- 6 Stawarczyk B, Keul C, Eichberger M, Figge D, Edelhoff D, Lümkemann N. Three generations of zirconia: [SEP]From veneered to monolithic. Part I. *Quintessence Int.* 2017;48(5):369-380. doi: 10.3290/j.qi.a38057.
- 7 Ozer F, Naden A, Turp V, Mante F, Sen D, Blatz MB. Effect of thickness and surface modifications on flexural strength of monolithic zirconia. *J Prosthet Dent.* 2018 Jun;119(6):987-993. doi: 10.1016/j.prosdent.2017.08.007.
- 8 Nossair SA, Salah T, Ebeid KK. Biaxial flexural strength of different types of monolithic zirconia. *Braz Dent Sci.* 2019 Jan 31;22(1):118-23. doi: 10.14295/bds.2018.v22i1.1696.
- 9 Skjold A, Schriwer C, Gjerdet NR, Øilo M. Effect of artificial aging on high translucent dental zirconia: simulation of early failure. *Eur J Oral Sci.* 2020 Dec;128(6):526-34. doi: 10.1111/eos.12739.
- 10 Furuya K, Takemoto S, Yamashita S, Sekine H, Yajima Y, Yoshinari M. Low-temperature degradation of high-strength Y-TZP (yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal). *Dent Mater J.* 2020 Aug 2;39(4):577-86. doi: 10.4012/dmj.2019-090.
- 11 Araújo AMM, Januário ABDN, Moura DMD, Tribst JPM, Özcan M, Souza ROA. Can the Application of Multi-Mode Adhesive be a Substitute to Silicatized/Silanized Y-TZP Ceramics? *Braz Dent J.* 2018 May-Jun;29(3):275-81. doi: 10.1590/0103-6440201801862.

- 12 Mohit KG, Lakha TA, Chinchwade A, Batul QA, Shaikh M, Kheur SM. Effects of surface modification techniques on zirconia substrates and their effect on bonding to dual cure resin cement - An *in-vitro* study. *J Indian Prosthodont Soc.* 2022 Apr-Jun;22(2):179-187. doi: 10.4103/jips.jips\_298\_21.
- 13 Yan J, Kaizer MR, Zhang Y. Load-Bearing Capacity of Lithium Disilicate and Ultra-Translucent Zircônias. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2018; 88:170-175. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2018.08.023>
- 14 Zarone F, Di Mauro MI, Ausiello P, Ruggiero G, Sorrentino R. Current status on lithium disilicate and zirconia: a narrative review. *BMC Oral Health.* 2019 Jul 4;19(1):134. doi: 10.1186/s12903-019-0838-x.
- 15 Tzanakakis EC, Beketova A, Papadopoulou L, Kontonasaki E, Tzoutzas IG. Novel Femto Laser Patterning of High Translucent Zirconia as an Alternative to Conventional Particle Abrasion. *Dent J (Basel).* 2021 Feb 8;9(2):20. doi: 10.3390/dj9020020.
- 16 Alsarani MM, Alsadon O, Alageel O, Alfrisany N, Almutairi Z, Al-Gawati MA, et al. The Effect of Femtosecond Laser Surface Patterns on the Effectiveness of Resin Composite to Zirconia Bonding. *J Funct Biomater.* 2023 Oct 11;14(10):508. doi: 10.3390/jfb14100508.
- 17 Salem R, Naggar GE, Aboushelib M, Selim D. Microtensile Bond Strength of Resin-bonded Hightranslucency Zirconia Using Different Surface Treatments. *J Adhes Dent.* 2016;18(3):191-6. doi: 10.3290/j.jad.a36034.
- 18 Kumar R, Singh MD, Sharma V, Madaan R, Sareen K, Gurjar B, et al. Effect of Surface Treatment of Zirconia on the Shear Bond Strength of Resin Cement: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cureus.* 2023 Sep 11;15(9):1-8. doi: 10.7759/cureus.45045.
- 19 Souza-Filho CB, Moris ICM, Colucci V, Faria ACL, Gomes ÉA. Is the Er:YAG laser affect the surface characteristics and bond strength of Y-TZP? *Braz Dent J.* 2021 Nov-Dec;32(6):83-92. doi: 10.1590/0103-6440202104739.
- 20 Ruales-Carrera E, Cesar PF, Henriques B, Fredel MC, Özcan M, Volpato CAM. Adhesion behavior of conventional and high-translucent zirconia: Effect of surface conditioning methods and aging using an experimental methodology. *J Esthet Restor Dent.* 2019 Jul;31(4):388-397. doi: 10.1111/jerd.12490.
- 21 Akpinar YZ, Kepceoglu A, Yavuz T, Aslan MA, Demirtag Z, Kılıç HS, et al. Effect of femtosecond laser beam angle on bond strength of zirconia-resin cement. *Lasers Med Sci.* 2015 Nov;30(8):2123-8. doi: 10.1007/s10103-015-1762-1.
- 22 Unal SM, Nigiz R, Polat ZS, Usumez A. Effect of ultrashort pulsed laser on bond strength of Y-TZP zirconia ceramic to tooth surfaces. *Dent Mater J.* 2015;34(3):351-7. doi: 10.4012/dmj.2014-235.

- 23 Kiyan VH, Rodrigues FP, Samad RE, Zezell DM, Bottino MA, De Lima NB, et al. Femtosecond Ti: Sa ultra short-pulse laser irradiation effects on the properties and morphology of the zirconia surface after ageing. Ceram Int. 2021 Feb 15;47(4):4455-65. doi: 10.1016/j.ceramint.2020.10.006.