

Avaliação físico-química de superfícies de titânio com nanotopografia após métodos mecânicos de descontaminação: estudo *in vitro*

Physical and chemical evaluation of titanium surfaces with nanotopography using mechanical decontamination methods: in vitro study

Viviane Maria RANKEL^a , Nelson Luiz de MACEDO-JÚNIOR^a , Edson GRACIA-NETO^b ,
Caio Vinicius Gonçalves ROMAN-TORRES^b , Humberto Osvaldo SCHWARTZ-FILHO^{a*} 

^aUFPR – Universidade Federal do Paraná, Departamento de Estomatologia, Curitiba, PR, Brasil

^bUNISA – Universidade Santo Amaro, Departamento de Odontologia, São Paulo, SP, Brasil

Como citar: Rankel VM, Macedo-Júnior NL, Gracia-Neto E, Roman-Torres CVG, Schwartz-Filho HO. Avaliação físico-química de superfícies de titânio com nanotopografia após métodos mecânicos de descontaminação: estudo *in vitro*. Rev Odontol UNESP. 2025;54:e20250022. <https://doi.org/10.1590/1807-2577.20250022>

Resumo

Introdução: Métodos de descontaminação utilizados em implantes podem exercer impacto direto sobre as superfícies de titânio, gerando alterações físico-químicas decorrentes da instrumentação mecânica. **Objetivo:** O objetivo do estudo foi analisar, pelas técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e energia dispersiva de raios X (EDS), a modificação de superfície de titânio, tanto física como quimicamente, após a ação de métodos de instrumentação mecânica preconizados para descontaminação de implantes. **Material e método:** Quinze discos de titânio foram divididos em cinco grupos, tendo três discos cada grupo, conforme a forma de tratamento (grupos: controle, cureta aço inox, cureta de titânio, ultrassom e laser de diodo). Assim, foram aplicados os diferentes métodos e feita a análise de possíveis alterações morfológicas (MEV) e de constituição química (EDS) nas amostras. **Resultado:** Em relação à morfologia, comparando-se ao grupo controle, os resultados mostraram uma alteração mais significativa no grupo em que o ultrassom foi utilizado. As curetas de titânio causaram um desgaste maior sobre as superfícies quando comparadas às curetas aço inox. Quimicamente, notou-se que o percentual de presença de elementos como Ti, O, C, F, Fe, Cr, Al e Si podem variar de acordo com os instrumentos aplicados nas superfícies. Os discos instrumentados com ultrassom apresentaram uma diminuição nos valores de Ti, aumento de O e geraram uma deposição de Fe e Cr. O uso de cureta de aço inox, cureta de titânio e a aplicação de laser não apresentaram diferenças significantes quando comparados ao controle. **Conclusão:** Conclui-se que as diferentes formas de instrumentação mecânica avaliadas causam diferentes alterações, podendo modificar física e quimicamente as superfícies de titânio após sua aplicação.

Descritores: Peri-implantite; implantes dentários; superfície.

Abstract

Introduction: Implant decontamination methods can directly affect titanium surfaces, causing physicochemical alterations resulting from mechanical instrumentation. **Objective:** The objective was to analyze, using scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive x-ray (EDS), the surface of titanium discs, both physically and chemically, after the action of mechanical instrumentation used for implant decontamination. **Material and method:** Fifteen titanium discs were divided into five groups, each with three discs, according to the decontamination method (control group, stainless steel curette, titanium curette, ultrasound, and diode laser). Thus, decontamination of the discs was simulated for subsequent morphological analysis using SEM and chemical composition using EDS. **Result:** Regarding morphology, compared to the control group, the results showed a more significant change in the group where ultrasound was used. Titanium curettes showed greater surface wear compared to stainless steel curettes. Chemically, the results showed that the percentage of elements such as Ti, O, C, F, Fe, Cr, Al, and Si can vary depending on the instruments applied to the surfaces. Ultrasonic-instrumented discs showed a decrease in Ti values, an increase in O, and generated deposition of Fe and Cr. The curette and laser groups showed no significant differences when compared to the control. **Conclusion:** It can be concluded that the different



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution* (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

forms of mechanical instrumentation produce distinct alterations, potentially modifying titanium surfaces both physically and chemically after their application.

Descriptors: Peri-implantitis; dental implants; surface.

INTRODUÇÃO

A peri-implantite tem sido considerada uma das causas de insucesso e consequente perda de implantes orais. De acordo com descrição feita por Tomasi, Derks¹, a perda tardia do implante ocorre em 4% dos implantes e em 8% dos pacientes. Conforme documentado em análises transversais recentes, a peri-implantite é a complicação tardia mais frequente: 5-15% dos pacientes e 8-28% dos implantes^{2,3}. Portanto, fatores que podem contribuir com esse processo têm sido estudados, como doenças periodontais, osteoporose, diabetes, pacientes oncológicos pós-quimioterapia e radioterapia de cabeça e pescoço, pacientes geriátricos e fatores relacionados ao uso de bifosfonato e tabagismo⁴.

O perfil microbiano da peri-implantite é caracterizado por uma diversidade mais ampla, com maior abundância de bactérias dos complexos vermelho e laranja de Socransky, Haffajee⁵ (como *Porphyromonas gingivalis*, *Treponema denticola* e *Tannerella forsythia*) em comparação à periodontite⁶. O tratamento da peri-implantite visa reduzir a carga microbiana, descontaminar a superfície do implante dentário e eliminar a inflamação da mucosa peri-implantar^{7,8}, preservando assim o osso peri-implantar, podendo ser dividido em intervenções cirúrgicas e não cirúrgicas⁹⁻¹¹.

O tratamento não cirúrgico inclui desbridamento mecânico, adjuvantes antissépticos e antibióticos, e descontaminação química e a laser da superfície¹². A descontaminação mecânica local por meio de instrumentos manuais constitui uma abordagem prevalente, sendo o uso de curetas o método principal, utilizadas isoladamente ou em conjunto com aparelhos ultrassônicos, dispositivos de jato de ar e escovas de titânio. Os métodos locais de descontaminação química abrangem formulações à base de clorexidina, peróxido de hidrogênio a 3%, ácido cítrico, gel de metronidazol, soluções antimicrobianas (por exemplo, cloridrato de tetraciclina e minociclina tópica). Outros métodos abrangem o uso de lasers, terapia fotodinâmica, terapia com ozônio e corrente eletrolítica¹³.

O desbridamento mecânico é defendido em vários protocolos clínicos e recomendado nas diretrizes de prática clínica para a prevenção e tratamento de doenças peri-implantares⁹⁻¹³. As propriedades da superfície do implante, como rugosidade, topografia, composição química, energia livre de superfície e biocompatibilidade, têm sido extensivamente investigadas e influenciam as respostas celulares e a colonização bacteriana, atuando na osseointegração e na prevenção da falha precoce do implante¹⁴⁻¹⁸. Entretanto, o efeito do tratamento de descontaminação sobre essas propriedades de superfície e sua relevância clínica ainda não está plenamente elucidado¹⁹⁻²⁵. A compreensão de como diferentes métodos de descontaminação podem impactar as propriedades superficiais do titânio é fator essencial para a manutenção da biocompatibilidade e longevidade dos implantes.

Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar, por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia por energia dispersiva de raios X (EDS), as alterações morfológicas e químicas em superfícies de discos de titânio submetidos a diferentes formas de instrumentação mecânica.

MATERIAL E MÉTODO

Obtenção dos Discos de Titânio

Foram utilizados 15 discos de titânio fornecidos pela empresa Neodent® (Curitiba, Paraná, Brasil) de 10 mm x 2 mm. A nanotopografia foi obtida pelo tratamento com volumes iguais de uma solução de 30% de H₂SO₄ e H₂O₂.^{26,27}.

A caracterização da rugosidade, composição química e morfologia desses discos de titânio foi realizada previamente²⁸ e feita em nível nanométrico por microscopia de força atômica (Dimension 3000 SPMTM, Digital Instruments, Santa Barbara, EUA). Para a avaliação da química da superfície, foi utilizada espectroscopia de energia dispersiva de raios X (EDX; LEO 440 – Zeiss, Oberkochen, Alemanha)²⁷.

Tratamento dos Discos

Para que os tratamentos pudessem ser analisados, foram realizadas simulações de aplicação dos métodos mecânicos, simulando a descontaminação clínica. Ou seja, os discos não estavam contaminados com microrganismos. As amostras foram divididas em 5 grupos com 3 discos cada grupo (n=3), conforme listado a seguir: **GRUPO 1 - CONTROLE**, **GRUPO 2 - CURETA DE AÇO INOX**, **GRUPO 3 - CURETA DE TITÂNIO**, **GRUPO 4 - ULTRASSOM** e **GRUPO 5 - LASER DE DIODO**

Todos os discos foram fixados em anteparo sobre mesa estéril para facilitar o manuseio dos instrumentos, com a finalidade de uma correta angulação das curetas e aparelho ultrassônico. O grupo 1 foi usado como controle, em que não se realizou nenhuma forma de instrumentação nos discos. Para o grupo 2 foram utilizadas curetas de aço inoxidável Gracey nº 5/6 (Hu-Friedy, Chicago, Illinois, USA), conhecidas clínica e comercialmente como curetas convencionais em tratamentos periodontais e peri-implantares. Para o grupo 3, foram utilizadas curetas de titânio Gracey nº5/6 (Hu-Friedy, Chicago, Illinois, USA). No grupo 4 foi utilizado para a instrumentação o aparelho de ultrassom. O aparelho foi operado em potência alta com o tempo de no máximo 120 segundos, manuseado 20 vezes em cada face, com irrigação de água destilada de forma contínua para evitar sobreaquecimento, simulando o manuseio clínico²⁹. O aparelho com ponta tipo Periosub modelo Profi Neo - Dabi Atlante (ALLIAGE S/A INDÚSTRIAS MÉDICO-ODONTOLÓGICA, Ribeirão Preto), com potência de 36W. As instrumentações das superfícies dos discos foram realizadas pelo mesmo operador experiente, usando um protocolo padronizado. As curetas e o dispositivo de ultrassom foram aplicados em um ângulo de aproximadamente 30° para simular a abordagem intraoral, conforme já relatado na literatura³⁰. Em relação à quantidade e o tempo de instrumentação, usando como base outros estudos realizados, as curetas foram manuseadas nos discos 20 vezes em um tempo de aproximadamente 3 minutos^{31,32}.

No grupo 5, a aplicação do laser de diodo (Thera Lase Surgery - Abc DMC Equipamentos Médicos e Odontológicos) foi realizada em temperatura ambiente (entre 25-26 °C). Em relação à programação do aparelho, foi definida a energia com valores para descontaminação de bolsas profundas, segundo recomendações do fabricante (comprimento de onda entre 980 nm ± 20 nm, com potência útil de 9 W ± 20%). Para o estudo, o mesmo foi regulado com uma potência de 1.000 mW e 16 joules cada disco, sendo realizada a aplicação em 5 pontos do disco, de forma aleatória, com uma divisão de 6 segundos em cada ponto, totalizando 30 segundos por disco. O laser foi manipulado a uma distância de 2 mm do disco, mantida por um espaçador para laserterapia. A utilização deste garante que não haja contato entre a fibra óptica e o disco, fixando a distância de aplicação e indicando o local de saída da luz laser.

Microscopia Eletrônica de Varredura e Energia Dispersiva de Raios X

As amostras foram submetidas ao processo de instrumentação e na sequência foram levadas para análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Para uma análise da morfologia, foi utilizado um microscópio Tescan Vega3 LMU (Tescan, Brno, Czech Republic). Essas análises foram realizadas no Centro de Microscopia Eletrônica (CME) da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

A análise de íons foi realizada por meio de espectroscopia de energia dispersiva de raios X (EDS, Oxford Instruments, Abingdon), acoplada à microscopia eletrônica de varredura. Essa técnica possibilita a detecção qualitativa e semiquantitativa de todos os elementos presentes na amostra, exceto hidrogênio e hélio. Portanto, não houve seleção prévia de elementos específicos;

todos os elementos detectados pela técnica foram considerados na avaliação. Não foi feito nenhum tipo de preparação de amostra para realização das imagens de microscopia e as obtenções de espectros de Energia Dispersiva de Raios X (EDS).

Para serem obtidas as imagens e os pontos de escolha para as análises, inicialmente procedeu-se a uma varredura por toda a superfície do disco e selecionadas as áreas com maiores alterações, regiões onde pode se notar visualmente maior desgaste na superfície. A magnificação das imagens realizada nas amostras foi de 90x e 1kx. A energia aplicada para o EDS foi de 15.0 kV.

Para analisar valores em relação à profundidade de desgaste produzida pelos materiais, foram geradas 3 imagens com diferentes angulações (-5° , 0° e 5°) dos discos e então formada uma imagem com formato 3D no método Alicona. A partir dessa imagem gerada, foram traçadas linhas para avaliar numérica e morfologicamente possíveis alterações nas superfícies.

Análise Estatística

Para realizar a análise estatística, foi utilizado o Programa GraphPad Prism (versão Prism 8 for Mac OS X, San Diego), adotando-se em todos os testes o nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$) e também teste de Kruskal-Wallis, com pós-teste de comparação múltipla de Dunn³³.

RESULTADO

MEV

Após análises microscópicas, pôde-se notar que as superfícies com mais alterações foram as instrumentadas com ultrassom (Figura 1).

Pode-se concluir também que, comparando-se os dois tipos de cureta, a convencional e a de titânio, a segunda apresentou maiores deformações nas superfícies de titânio, indo contra as recomendações do fabricante para o uso clínico em casos de peri-implantite, mostradas na Figura 1.

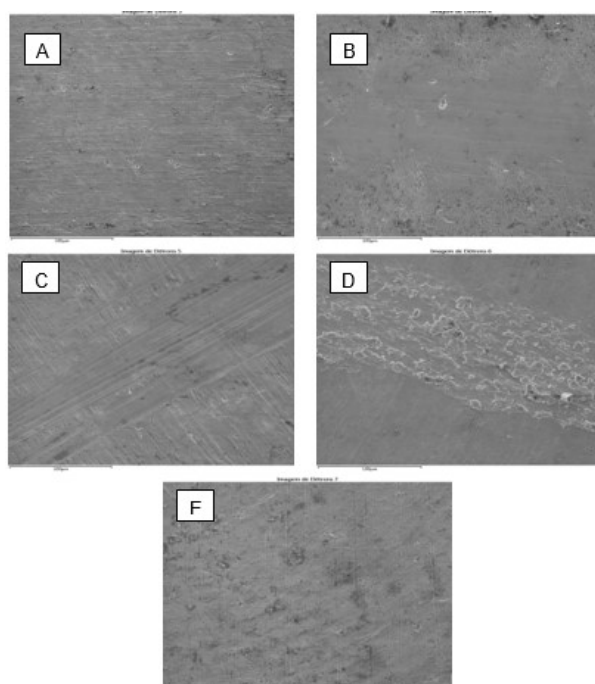


Figura 1. Microscopia eletrônica de varredura; Magnificação 1kx. (A) Controle, (B) Cureta aço inox, (C) Cureta de titânio, (D) Ultrassom, (E) Laser de diodo.

EDS

A química de superfície foi estudada através da espectroscopia de dispersão de energia. A Figura 2 apresenta o espectro de um ponto de cada amostra.

Com relação aos elementos químicos observados, foi detectada a presença de Titânio (Ti), Oxigênio, Carbono, Flúor, Ferro, Silício, Cromo e Alumínio. Observou-se que o elemento Ti foi predominante em todas as amostras. Os resultados mostraram que a porcentagem de presença de Ti no grupo descontaminado com uso de ultrassom foi significativamente menor que os demais grupos, comparando-se os pontos de escolha dos diferentes discos.

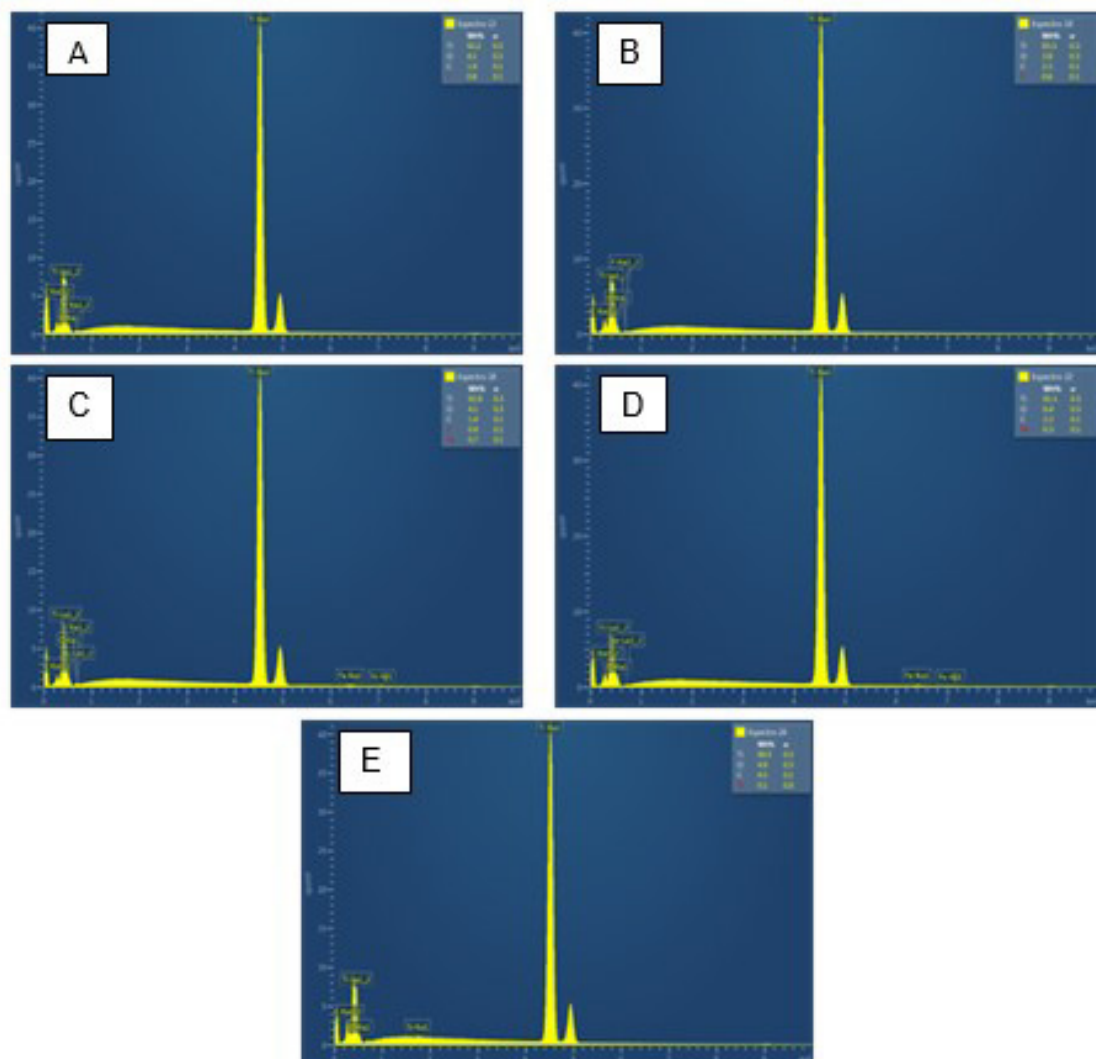


Figura 2. Espectros de EDS de um ponto das amostras. (A) Controle; (B) Cureta aço inox; (C) Cureta de titânio; (D) Ultrassom; (E) Laser de diodo.

Rugosidade dos Discos

Analisando individualmente as superfícies dos discos em relação à profundidade dos desgastes gerados pelos instrumentos de descontaminação, pode-se notar que, mesmo tendo um maior grau de alteração visível, com o uso de ultrassom, por exemplo, esses desgastes não apresentam valores significativos em relação ao grupo controle. A Figura 3 mostra morfologicamente as alterações das superfícies.

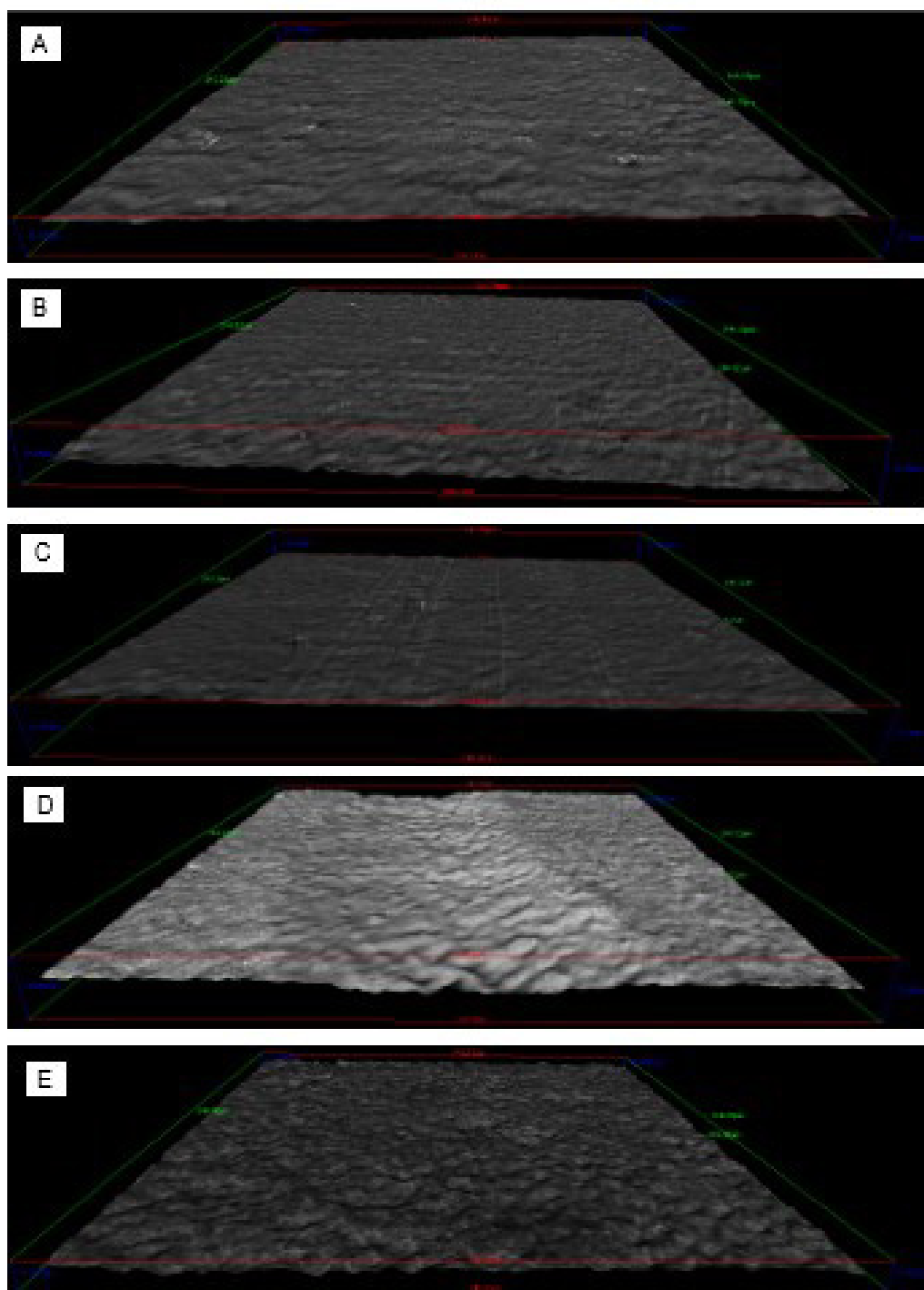


Figura 3. Imagens em três dimensões das superfícies utilizadas no estudo em 1kx. (A) Controle; (B) Cureta aço inox; (C) Cureta de titânio; (D) Ultrassom; (E) Laser de diodo.

Analisando quantitativamente as profundidades dos desgastes, segundo as variações apresentadas na Figura 4, pode-se notar que a superfície onde foi utilizado o ultrassom apresentou um desgaste com valor de aproximadamente -3 μm , sendo o maior valor de profundidade em relação às outras superfícies.

O grupo controle e o grupo onde foi utilizado o laser, comparando-se com o disco virgem, não apresentaram alterações de profundidade na superfície.

A utilização das curetas geraram riscos na superfície, porém numericamente demonstraram um valor de aproximadamente -0,5 μm de desgaste.

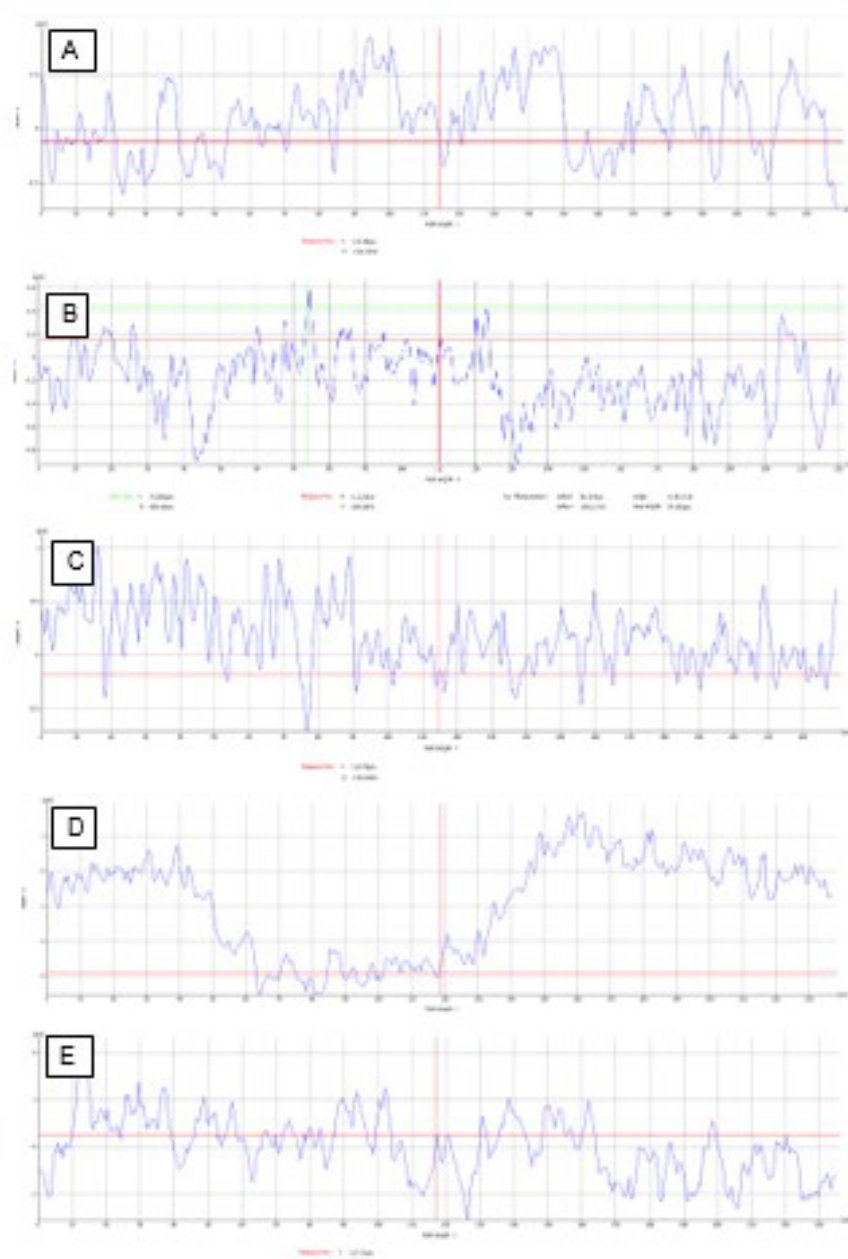


Figura 4. Espectros demonstrando valores de profundidade gerados pelos desgastes dos materiais utilizados. (A) Controle; (B) Cureta aço inox; (C) Cureta de titânio; (D) Ultrassom; (E) Laser de diodo.

DISCUSSÃO

Apesar dos resultados animadores alcançados com implantes de titânio, muita atenção tem sido dedicada à etiologia das falhas desses dispositivos e à consequente necessidade de remover comunidades microbianas sem comprometer ou alterar a composição da superfície do implante^{34,35}. O objetivo deste estudo foi avaliar, por meio de MEV e EDS, o impacto de diferentes instrumentos de descontaminação mecânica na alteração das superfícies dos discos de titânio.

A reação das células e tecidos aos biomateriais depende das propriedades do material, topografia de superfície, composição elementar e seu comportamento em contato com corpos fluidos³⁶. Foi demonstrado que células osteoblásticas aderem mais facilmente a superfícies ásperas, enquanto as células epiteliais e fibroblastos preferem superfícies lisas e finamente texturizadas^{37,38}. Observou-se que a microestrutura da superfície pode influenciar o crescimento e a fixação epitelial

de fibroblastos³⁹⁻⁴¹. Portanto, alterações na topografia da superfície podem ter uma influência seletiva na adesão de células epiteliais e fibroblastos, impactando na manutenção ou restabelecimento da vedação do tecido mole ao redor dos implantes depois do tratamento.

Dentre os métodos mecânicos de descontaminação estudados, as curetas de titânio e de aço inox têm uma relação interessante, visto que, embora a literatura mostre que existem diferenças entre elas, nos testes essa diferença não foi significativa⁴². Segundo Schwarz et al.⁴³, curetas convencionais têm uma dureza externa superior ao titânio, portanto, não são indicadas para limpeza de implantes de titânio. Por outro lado, curetas revestidas de titânio têm uma dureza semelhante à superfície de titânio, e assim não riscam sua superfície⁴⁴. Porém, o presente estudo mostra que em diversos aspectos, como nas alterações geradas na superfície, os dois tipos de curetas possuem uma diferença irrisória. Do ponto de vista clínico, o uso de pontas de aço em superfícies de implantes tem sido desaconselhado, pois o emprego altera tanto superfícies lisas quanto rugosas. No entanto, estudo recente sobre superfícies de implantes instrumentadas com pontas de aço mostrou que não houve aumento na rugosidade de superfícies rugosas, nem crescimento bacteriano aumentado em superfícies alteradas.

Em relação às alterações causadas na superfície dos discos, avaliou-se que o ultrassom gera desgastes mais significativos comparado a outros instrumentos de descontaminação, e isso é abordado na literatura, bem como outros estudos *in vitro* mostram que a ponta ultrassônica de metal produz maior grau de alteração nos discos de titânio, resultando em uma superfície mais lisa em comparação com os outros grupos. Tais alterações na superfície do disco também foram observadas por Schwarz et al.⁴⁵, que investigou os efeitos de um aparelho ultrassônico sobre a biocompatibilidade de discos de titânio com superfícies usinadas em culturas de células semelhantes a osteoblastos humanos. Os discos tratados com o ultrassom mostraram viabilidade celular significativamente reduzida em comparação com os controles não tratados. O autor atribuiu essa perda de viabilidade às alterações na composição da superfície, na topografia e na ineficácia desse método em eliminar os biofilmes.

O método de descontaminação utilizando laser de diodo também não gerou desgastes significativos nas superfícies de titânio. Em uma revisão sistemática realizada, os estudos mostram que diversos tipos de lasers foram propostos para descontaminar a superfície do implante e melhorar o potencial de cicatrização durante o tratamento da peri-implantite. No entanto, a meta-análise realizada na presente revisão sistemática mostrou que a aplicação adjuvante do laser na cirurgia combinada não teve efeito significativo na redução da contaminação em comparação com outros agentes descontaminantes mecânicos e químicos e também sem prejuízos ou benefícios em relação à superfície⁴⁶. Já em outro estudo de Louro⁴⁷, do ponto de vista morfológico o laser mostrou promover alterações nas características das superfícies iniciais, originando uma influência no comportamento à corrosão, refletindo-se numa diminuição da resistência à corrosão dessas superfícies.

Neste modelo experimental, não foi introduzida contaminação nas superfícies, uma vez que o objetivo não foi avaliar a eficácia dos métodos na remoção de biofilme, mas sim caracterizar as alterações induzidas pelos diferentes instrumentais na superfície de titânio. Tampouco foi reproduzida uma característica real da macroestrutura dos implantes por exemplo: espiras, roscas e diferentes diâmetros e formatos, que alteram significativamente a eficácia e a aplicabilidade dos métodos de descontaminação.

Estudos futuros, *in vivo* e clínicos, são necessários para aprofundar a compreensão da relação entre tais modificações superficiais e a efetividade do tratamento da peri-implantite, com impacto direto no sucesso e na longevidade dos implantes.

CONCLUSÃO

As análises de superfície demonstraram que os diferentes métodos de instrumentação mecânica podem induzir variações químicas na composição elementar do titânio, dependendo do tipo de instrumental empregado. Do ponto de vista físico, o ultrassom promoveu as alterações mais pronunciadas na camada superficial dos discos. Por outro lado, não foram observadas diferenças significativas entre curetas de titânio e de aço inoxidável nas avaliações por MEV e EDS, indicando que, nas condições avaliadas, não há evidências que justifiquem a preferência por um desses instrumentos em relação ao outro.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Viviane Maria Rankel: Concepção e design do estudo, Execução da metodologia, Análise e interpretação dos dados, Elaboração do manuscrito, Revisão crítica, aprovação final da versão a ser publicada. Nelson Luiz de Macedo-Júnior: Concepção e design do estudo, Execução da metodologia, Análise e interpretação dos dados, Elaboração do manuscrito, Revisão crítica, aprovação final da versão a ser publicada. Edson Gracia-Neto: Concepção e design do estudo, Execução da metodologia, Análise e interpretação dos dados, Elaboração do manuscrito, Revisão crítica, aprovação final da versão a ser publicada. Caio Vinicius Gonçalves Roman-Torres: Concepção e design do estudo, Execução da metodologia, Análise e interpretação dos dados, Elaboração do manuscrito, Revisão crítica, aprovação final da versão a ser publicada. Humberto Osvaldo Schwartz-Filho: Concepção e design do estudo, Execução da metodologia, Análise e interpretação dos dados, Elaboração do manuscrito, Revisão crítica, aprovação final da versão a ser publicada.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer ao Centro de Microscopia Eletrônica (CME) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) pelo suporte com a MEV e EDS. Ao Tesouro Nacional / Universidade Federal do Paraná pela concessão de Bolsa do Programa PIBIC/TN a Nelson Luiz Macedo Júnior, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de Bolsa de Mestrado a Viviane Maria Rankel.

REFERÊNCIAS

1. Tomasi C, Derks J. Etiology, occurrence, and consequences of implant loss. *Periodontol 2000*. 2022 Feb;88(1):13-35. <https://doi.org/10.1111/prd.12408>. PMID:35103324.
2. Vignoletti F, Di Domenico GL, Di Martino M, Montero E, de Sanctis M. Prevalence and risk indicators of peri-implantitis in a sample of university-based dental patients in Italy: a cross-sectional study. *J Clin Periodontol*. 2019 May;46(5):597-605. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13111>. PMID:30980410.
3. Schwarz F, Ramanauskaite A. It is all about peri-implant tissue health. *Periodontol 2000*. 2022 Feb;88(1):9-12. <https://doi.org/10.1111/prd.12407>. PMID:35103327.
4. Campos AAD, Gontijo TRA, Oliveira DF. Fatores relacionados à perda precoce de implantes dentários. *Research. Soc Dev*. 2022;11(7):e19411729775. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.29775>.
5. Socransky SS, Haffajee AD. Periodontal microbial ecology. *Periodontol 2000*. 2005;38(1):135-87. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.2005.00107.x>. PMID:15853940.
6. Di Spirito F, Giordano F, Di Palo MP, D'Ambrosio F, Scognamiglio B, Sangiovanni G, et al. Microbiota of peri-implant healthy tissues, peri-implant mucositis, and peri-implantitis: a comprehensive review.

- Microorganisms. 2024;12(6):1137. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12061137>. PMID:38930519.
7. Cannatà D, Galdi M, Russo A, Scelza C, Michelotti A, Martina S. Reliability and educational suitability of TikTok videos as a source of information on sleep and awake bruxism: a cross-sectional analysis. *J Oral Rehabil*. 2025;52(4):434-42. <https://doi.org/10.1111/joor.13874>. PMID:39428343.
8. Di Spirito F. Oral-systemic health and disorders: latest prospects on oral antisepsis. *Appl Sci (Basel)*. 2022;12(16):8185. <https://doi.org/10.3390/app12168185>.
9. Del Amo FSL, Yu SH, Sammartino G, Sculean A, Zucchelli G, Rasperini G, et al. Peri-implant soft tissue management: Cairo Opinion Consensus Conference. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Mar;17(7):2281. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072281>. PMID:32231082.
10. Poppolo Deus F, Ouanounou A. Chlorhexidine in dentistry: pharmacology, uses, and adverse effects. *Int Dent J*. 2022 Jun;72(3):269-77. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2022.01.005>. PMID:35287956.
11. Manfredini M, Poli PP, Beretta M, Pellegrini M, Salina FE, Maiorana C. Polydeoxyribonucleotides pre-clinical findings in bone healing: a scoping review. *Dent J*. 2023 Dec;11(12):280. <https://doi.org/10.3390/dj11120280>. PMID:38132418.
12. Di Spirito F, Pisano M, Di Palo MP, Salzano F, Rupe A, Fiorino A, et al. Potential impact of microbial variations after peri-implantitis treatment on peri-implant clinical, radiographic, and crevicular parameters: a systematic review. *Dent J*. 2024 Dec;12(12):414. <https://doi.org/10.3390/dj12120414>. PMID:39727471.
13. Baima G, Citterio F, Romandini M, Romano F, Mariani GM, Buduneli N, et al. Surface decontamination protocols for surgical treatment of peri-implantitis: a systematic review with meta-analysis. *Clin Oral Implants Res*. 2022 Nov;33(11):1069-86. <https://doi.org/10.1111/clr.13992>. PMID:36017594.
14. Hägi TT, Hofmänner P, Eick S, Donnet M, Salvi GE, Sculean A, et al. The effects of erythritol air-polishing powder on microbiologic and clinical outcomes during supportive periodontal therapy: Six-month results of a randomized controlled clinical trial. *Quintessence Int*. 2015 Jan;46(1):31-41. <https://doi.org/10.3290/j.qi.a32817>. PMID:25262675.
15. Liu S, Li M, Yu J. Does chlorhexidine improve outcomes in non-surgical management of peri-implant mucositis or peri-implantitis?: a systematic review and meta-analysis. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2020 Sep;25(5):e608-15. <https://doi.org/10.4317/medoral.23633>. PMID:32683389.
16. D'Ambrosio F, Di Spirito F, De Caro F, Lanza A, Passarella D, Sbordone L. Adherence to antibiotic prescription of dental patients: the other side of the antimicrobial resistance. *Healthcare*. 2022 Aug;10(9):1636. <https://doi.org/10.3390/healthcare10091636>. PMID:36141247.
17. Di Spirito F, Scelza G, Fornara R, Giordano F, Rosa D, Amato A. Post-operative endodontic pain management: an overview of systematic reviews on post-operatively administered oral medications and integrated evidence-based clinical recommendations. *Healthcare*. 2022 Apr;10(5):760. <https://doi.org/10.3390/healthcare10050760>. PMID:35627897.
18. Capuano N, Amato A, Dell'Annunziata F, Giordano F, Folliero V, Di Spirito F, et al. Nanoparticles and their antibacterial application in endodontics. *Antibiotics*. 2023 Dec;12(12):1690. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12121690>. PMID:38136724.
19. Sousa V, Mardas N, Spratt D, Hassan IA, Walters NJ, Beltrán V, et al. The effect of microcosm biofilm decontamination on surface topography, chemistry, and biocompatibility dynamics of implant titanium surfaces. *Int J Mol Sci*. 2022 Sep;23(17):10033. <https://doi.org/10.3390/ijms231710033>. PMID:36077428.
20. Wennerberg A, Albrektsson T. Effects of titanium surface topography on bone integration: a systematic review. *Clin Oral Implants Res*. 2009;20(s4 Suppl 4):172-84. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2009.01775.x>. PMID:19663964.

21. Gittens RA, Olivares-Navarrete R, Schwartz Z, Boyan BD. Implant osseointegration and the role of microroughness and nanostructures: lessons for spine implants. *Acta Biomater.* 2014 Aug;10(8):3363-71. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2014.03.037>. PMID:24721613.
22. Gittens RA, Scheideler L, Rupp F, Hyzy SL, Geis-Gerstorfer J, Schwartz Z, et al. A review on the wettability of dental implant surfaces II: Biological and clinical aspects. *Acta Biomater.* 2014 Jul;10(7):2907-18. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2014.03.032>. PMID:24709541.
23. Gittens RA, McLachlan T, Olivares-Navarrete R, Cai Y, Berner S, Tannenbaum R, et al. The effects of combined micron-/submicron-scale surface roughness and nanoscale features on cell proliferation and differentiation. *Biomaterials.* 2011 May;32(13):3395-403. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2011.01.029>. PMID:21310480.
24. Gittens RA, Olivares-Navarrete R, Tannenbaum R, Boyan BD, Schwartz Z. Electrical implications of corrosion for osseointegration of titanium implants. *J Dent Res.* 2011 Dec;90(12):1389-97. <https://doi.org/10.1177/0022034511408428>. PMID:21555775.
25. Stavropoulos A, Bertl K, Winning L, Polyzois I. What is the influence of implant surface characteristics and/or implant material on the incidence and progression of peri-implantitis? A systematic literature review. *Clin Oral Implants Res.* 2021 Oct;32(S21 Suppl 21):203-29. <https://doi.org/10.1111/clr.13859>. PMID:34642989.
26. Nanci A, Wuest JD, Peru L, Brunet P, Sharma V, Zalzal S, et al. Chemical modification of titanium surfaces for covalent attachment of biological molecules. *J Biomed Mater Res.* 1998 May;40(2):324-35. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4636\(199805\)40:2<324::AID-JBM18>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4636(199805)40:2<324::AID-JBM18>3.0.CO;2-L). PMID:9549628.
27. Schwartz-Filho HO, Martins TR, Sano PR, Araújo MT, Chan DCH, Saldanha NR, et al. Nanotopography and oral bacterial adhesion on titanium surfaces: in vitro and in vivo studies. *Braz Oral Res.* 2024 Mar;38:e021. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2024.vol38.0021>. PMID:38477807.
28. Schwartz-Filho HO, Morandini AC, Ramos-Junior ES, Jimbo R, Santos CF, Marcantonio E Jr, et al. Titanium surfaces with nanotopography modulate cytokine production in cultured human gingival fibroblasts. *J Biomed Mater Res A.* 2012 Oct;100(10):2629-36. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.34200>. PMID:22615216.
29. Vyas N, Grewal M, Kuehne SA, Sammons RL, Walmsley AD. High speed imaging of biofilm removal from a dental implant model using ultrasonic cavitation. *Dent Mater.* 2020 Jun;36(6):733-43. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.03.003>. PMID:32299665.
30. Hakki SS, Tatar G, Dundar N, Demiralp B. The effect of different cleaning methods on the surface and temperature of failed titanium implants: an in vitro study. *Lasers Med Sci.* 2017 Apr;32(3):563-71. <https://doi.org/10.1007/s10103-017-2149-2>. PMID:28160204.
31. Tong Z, Fu R, Zhu W, Shi J, Yu M, Si M. Changes in the surface topography and element proportion of clinically failed SLA implants after in vitro debridement by different methods. *Clin Oral Implants Res.* 2021 Mar;32(3):263-73. <https://doi.org/10.1111/clr.13697>. PMID:33314381.
32. Romanos GE, Javed F, Delgado-Ruiz RA, Calvo-Guirado JL. Peri-implant diseases: a review of treatment interventions. *Dent Clin North Am.* 2015 Jan;59(1):157-78. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2014.08.002>. PMID:25434564.
33. Chehroudi B, Gould TR, Brunette DM. Effects of a grooved titanium-coated implant surface on epithelial cell behavior in vitro and in vivo. *J Biomed Mater Res.* 1989 Sep;23(9):1067-85. <https://doi.org/10.1002/jbm.820230907>. PMID:2777834.
34. Rodríguez-Hernández AG, Juárez A, Engel E, Gil FJ. Streptococcus sanguinis adhesion on titanium rough surfaces: effect of shot-blasting particles. *J Mater Sci Mater Med.* 2011 Aug;22(8):1913-22. <https://doi.org/10.1007/s10856-011-4366-8>. PMID:21656279.
35. Covani U, Marconcini S, Crespi R, Barone A. Bacterial plaque colonization around dental implant surfaces. *Implant Dent.* 2006 Sep;15(3):298-304. <https://doi.org/10.1097/01.id.0000226823.58425.19>. PMID:16966904.

36. Louropoulou A, Slot DE, Van der Weijden F. Influence of mechanical instruments on the biocompatibility of titanium dental implants surfaces: a systematic review. *Clin Oral Implants Res.* 2015 Jul;26(7):841-50. <https://doi.org/10.1111/clr.12365>. PMID:24641774.
37. Bowers KT, Keller JC, Randolph BA, Wick DG, Michaels CM. Optimization of surface micromorphology for enhanced osteoblast responses in vitro. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1992;7(3):302-10. PMID:1289255.
38. Kõunönen M, Hormia M, Kivilahti J, Hautaniemi J, Thesleff I. Effect of surface processing on the attachment, orientation, and proliferation of human gingival fibroblasts on titanium. *J Biomed Mater Res.* 1992 Oct;26(10):1325-41. <https://doi.org/10.1002/jbm.820261006>. PMID:1429750.
39. Brunette DM, Chehroudi B. The effects of the surface topography of micromachined titanium substrata on cell behavior in vitro and in vivo. *J Biomech Eng.* 1999 Feb;121(1):49-57. <https://doi.org/10.1115/1.2798042>. PMID:10080089.
40. Chehroudi B, Gould TR, Brunette DM. Effects of a grooved titanium-coated implant surface on epithelial cell behavior in vitro and in vivo. *J Biomed Mater Res.* 1989 Sep;23(9):1067-85. <https://doi.org/10.1002/jbm.820230907>. PMID:2777834.
41. Chehroudi B, Gould TR, Brunette DM. Titanium-coated micromachined grooves of different dimensions affect epithelial and connective-tissue cells differently in vivo. *J Biomed Mater Res.* 1990 Sep;24(9):1203-19. <https://doi.org/10.1002/jbm.820240906>. PMID:2211745.
42. Figuero E, Graziani F, Sanz I, Herrera D, Sanz M. Management of peri-implant mucositis and peri-implantitis. *Periodontol 2000.* 2014 Oct;66(1):255-73. <https://doi.org/10.1111/prd.12049>. PMID:25123773.
43. Schwarz F, Sculean A, Romanos G, Herten M, Horn N, Scherbaum W, et al. Influence of different treatment approaches on the removal of early plaque biofilms and the viability of SAOS2 osteoblasts grown on titanium implants. *Clin Oral Investig.* 2005 Jun;9(2):111-7. <https://doi.org/10.1007/s00784-005-0305-8>. PMID:15841403.
44. Hallström H, Persson GR, Lindgren S, Olofsson M, Renvert S. Systemic antibiotics and debridement of peri-implant mucositis. A randomized clinical trial. *J Clin Periodontol.* 2012 Jun;39(6):574-81. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2012.01884.x>. PMID:22571225.
45. Schwarz F, Rothamel D, Sculean A, Georg T, Scherbaum W, Becker J. Effects of an Er:YAG laser and the Vector ultrasonic system on the biocompatibility of titanium implants in cultures of human osteoblast-like cells. *Clin Oral Implants Res.* 2003;14(6):784-92. <https://doi.org/10.1046/j.0905-7161.2003.00954.x>. PMID:15015956.
46. Freitas BSL, Alves SKC, Felipe J Jr, Pereira TBF, Lucena TA, Barbosa MES, et al. The use of laser therapy in the non-surgical treatment of peri-implant lesions: literature review. *Res Soc Dev.* 2022;11(13):e306111335592. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.35592>.
47. Louro IMPOC. Peri-implantite – análise do impacto da utilização de laser no desbridamento mecânico das superfícies de titânio [dissertação]. Porto: Universidade do Porto; 2022.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

DISPONIBILIDADE DE DADOS

Dados estão disponíveis sob demanda dos pareceristas.

***AUTOR PARA CORRESPONDÊNCIA**

Humberto Osvaldo Schwartz-Filho, Universidade Federal do Paraná, Departamento de Estomatologia, Rua Prefeito Lothário Meissner, 632, 80210-170, Jardim Botânico, Curitiba - PR, Brasil, telefone: + 55 41 99804 0003, e-mail: betoschwartz@ufpr.br

Recebido: Julho 29, 2025

Aprovado: Outubro 7, 2025

Editado por

Editor: Valdir Gouveia Garcia

Editor Associado: Guilherme José Pimentel Lopes de Oliveira