

Caracterização microestrutural de implantes odontológicos submetidos a ensaio de tração

ANDRÉA CANDIDO DOS REIS*, MARIANA LIMA DA COSTA VALENTE**, ANTONIO CARLOS SHIMANO***

*Professora Doutora do Departamento de Materiais Dentários e Prótese, Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto (FORP/USP) – Ribeirão Preto /SP.

**Estudante de Mestrado do Departamento de Materiais Dentários e Prótese na Área de Reabilitação Oral, Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto (FORP/USP) – Ribeirão Preto/SP.

***Professor do Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (USP) – Ribeirão Preto/SP.

Resumo

O objetivo do nosso estudo foi caracterizar a superfície de implantes submetidos a ensaio de tração em osso sintético através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectrometria de energia dispersiva de raios X (EDS). Para a caracterização dos implantes foi utilizado Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) acoplado a um EDS, e para o ensaio de tração, Máquina Universal de Ensaio. Fêmures de osso sintético foram utilizados como corpos de prova nos quais foram inseridos quatro tipos de implantes na seguinte sequência: implantes cilíndricos com superfície usinada (ICSU), implantes cilíndricos com duplo tratamento de superfície Porous (ICDTSP), implantes cilíndricos com tratamento de superfície Porous (ICTSP), implantes cônicos com tratamento de superfície Porous (ICOTSP), totalizando 8 amostras de osso e 32 implantes. Antes da inserção e após o ensaio de tração os parafusos foram analisados em MEV e EDS (Zeiss, modelo: EVO50), sob aumento de 35x. Os resultados foram submetidos ao teste de análise de variância multifatorial (ANOVA) seguido pelo teste de Tukey (significância de 5% para os testes). Apenas os implantes ICOTSP de 3,5 mm de diâmetro e os implantes ICDTSP de 3,75 mm apresentaram diferença significativa quanto às forças de deformação (FD) e arrancamento (FA) (Tukey: $FD - p = 0,014$;

$FA - p = 0,009$). As imagens obtidas com o MEV não revelaram alterações superficiais visíveis e os gráficos de EDS não demonstraram diferenças significativas quanto à concentração dos elementos químicos presentes nas amostras. A caracterização superficial e química dos implantes não demonstrou alterações significativas da topografia e composição quando analisados ao MEV e EDS.

DESCRITORES

Implantes dentários. Osseointegração. Tração. Microscopia eletrônica de varredura. Topografia.

INTRODUÇÃO

O mercado odontológico apresenta diversos tipos de implantes, que diferem quanto à geometria, tamanho, características de superfície, variáveis que podem interferir na estabilidade primária e cicatrização óssea^{4,11,25}. Esses fatores, assim como a rugosidade, são capazes de aumentar a taxa de osseointegração e fixação biomecânica^{16,19,22}, o que favorece a ancoragem no osso e a estabilidade biomecânica^{16,31} — ou seja — influenciam positivamente nas respostas teciduais do organismo^{1,2,8}.

A primeira parte de um implante a interagir com os tecidos do organismo é a sua superfície, o que é muito importante, já que as características superficiais interferem significativamente na osseointegração e estabilidade primária^{8,13,18}. A caracterização da superfície dos implantes pode ser realizada através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e espectrometria de energia dispersiva de raios X (EDS)^{15,29}, ensaios de grande importância para compreender a resposta dos tecidos envolvidos no processo de osseointegração³. Estudos *in vitro* demonstram que o titânio com superfície rugosa influencia uma série de eventos no

Trabalho realizado no Departamento de Materiais Dentários e Prótese, Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto (FORP/USP) – Ribeirão Preto/SP.

Endereço para correspondência:

Andréa Candido dos Reis

Avenida do Café, s/nº

CEP 14040-904 – Ribeirão Preto/SP

Fone: (16) 3602-3272

E-mail: andreare@forp.usp.br; andreare73@yahoo.com

processo de diferenciação dos osteoblastos, incluindo a disseminação e proliferação, produção de colágeno, síntese de citocinas e fatores de crescimento favorecendo a osseointegração²⁷.

A análise física de um implante através de MEV e a análise química através de EDS, são de grande relevância para a verificação de possíveis alterações morfológicas e composicionais, fatores que podem influenciar na estabilidade primária¹⁰.

Embora existam muitos estudos a respeito da osseointegração, pouco há na literatura a respeito de análises sobre estabilidade primária de implantes e sua real influência pelos fatores formato e tratamento de superfície. Um estudo consagrado pela Ortopedia para avaliação da estabilidade primária de implantes é o ensaio de tração ou arrancamento^{24,33}, porém, apenas este método de avaliação não é eficaz. Determinar a verdadeira influência da superfície de um implante na estabilidade primária é possível através de uma análise de caracterização superficial, avaliando a topografia da superfície e os elementos químicos presentes na estrutura antes da inserção e após o arrancamento.

OBJETIVOS

O objetivo deste estudo foi avaliar e correlacionar a influência da manipulação de implantes (inserção no osso e sua remoção por ensaio de tração) com possíveis alterações macroestruturais e composicionais, por meio da análise de Microscopia Eletrônica de Varredura e EDS.

MATERIAL E MÉTODOS

Trinta e dois implantes de Titânio foram utilizados neste estudo: oito do tipo cilíndrico de superfície usinada, tamanho 11,5 x 3,75 mm (ICSU), oito do tipo cilíndrico com duplo tratamento ácido de superfície Porous de tamanho 11,5 x 3,75 mm (ICDTSP), oito do tipo cilíndrico com tratamento de superfície Porous de tamanho 11,5 x 3,75 mm (ICTSP) e oito do tipo cônico com tratamento de superfície Porous de tamanho 11,5 x 3,5 mm (ICOTSP). Todos os implantes apresentam tratamento de superfície Porous, exceto os parafusos Master Screw, que possuem superfície usinada (Tabela 1).

Cada implante foi submetido à análise de MEV e de um detector de EDS, utilizou-se o MEV (Carl Zeiss AG – EVO® 50) com EDS acoplado, da Faculdade de Química da USP–RP, que opera nos modos de alto e baixo vácuo e tem suas imagens obtidas através dos detectores de

elétrons secundários e retroespalhados com a finalidade de detectar diferenças entre as amostras, sob aumento de 35 x. Com a microanálise (EDS) obtém-se o mapa composicional da região em observação, permitindo que se correlacione a metalografia ótica ou eletrônica com informações microcomposicionais detalhadamente³².

Cada grupo de 4 implantes, um de cada tipo, foi inserido em cada amostra de fêmur de osso humano artificial, de poliuretano (Synbone, BaySystems®, Malans, Suíça) utilizando-se um total de 32 implantes e 8 amostras de osso. Antes da inserção os implantes foram avaliados ao MEV e EDS e imediatamente após a sua remoção por meio de ensaio de tração com uma Máquina Universal de Ensaio (Emic, DL-10000, São Paulo, Brasil), com uma cédula de carga de 200 kgf e *software* Tesc 3.13 para a realização do ensaio. A cabeça do parafuso foi fixada à máquina de teste por conectores que permitiam movimentos multidirecionais e aplicação de carga axial de tração sem a aplicação de torque. Pré-carga de 5 N foi aplicada durante 10 segundos para acomodação do sistema e, então, carga axial de tração foi aplicada na constante de 0,2 mm/min até o arrancamento do implante; essas variáveis foram definidas em função da necessidade de adaptação do implante à Máquina Universal de Ensaio³³.

Após a realização do ensaio de tração os implantes foram novamente avaliados ao MEV e EDS para verificar possíveis alterações na caracterização dos parafusos.

RESULTADOS

Os resultados das variáveis (obtidas com o ensaio de tração): força de arrancamento máxima, deformação máxima, módulo de elasticidade (EF) máxima e rigidez relativa foram submetidos à ANOVA seguida pelo teste de Tukey (significância de 5% para os testes) para detectar diferenças estatisticamente significantes entre

Tabela 1
Características dos Implantes

Descrição dos implantes	Sigla
Implantes cilíndricos com superfície usinada	
Implantes cilíndricos com duplo tratamento de superfície Porous	ICDTSP
Implantes cilíndricos com tratamento de superfície Porous	ICTSP
Implantes cônicos com tratamento de superfície Porous	ICOTSP

os diferentes implantes testados. Todas as análises foram feitas com o *software PASW Statistics* versão 17 (SPSS, Chicago, IL, EUA). As imagens do MEV foram submetidas a uma criteriosa análise visual, comparando os implantes antes e após o arrancamento. Os gráficos composicionais do EDS de cada implante antes e após a inserção também foram comparados entre si.

Comparando-se os tipos de implante com cada uma das variáveis (Tabela 2), observou-se que houve diferença significativa entre os implantes nas variáveis força máxima ($F = 4,401$, $p = 0,0120$), módulo de elasticidade na força máxima – EF máx. ($F = 3,672$, $p = 0,024$) e rigidez relativa ($F = 4,60$, $p = 0,01$). Quando foram comparados os implantes entre si, observou-se que o par ICOTSP (11,5 x 3,5 mm) e ICDTSP (11,5 x 3,75 mm) foi o que demonstrou diferenças significativas nas variáveis: força máxima ($p = 0,009$), EF máx. ($p = 0,014$) e rigidez relativa ($p = 0,006$), sendo que os implantes ICDTSP apresentaram maior resistência à tração em relação aos ICOTSP.

Na análise visual das imagens (Figuras 1–8) obtidas com o MEV nenhum implante apresentou deformação das espiras comparando os estágios antes e após o ensaio de tração. A única diferença observada nas imagens foi o acúmulo de artefatos (pedaços de ossos) após a remoção dos parafusos.

Quanto aos resultados apresentados pelo EDS, verificou-se presença dos elementos Titânio (Ti), Oxigênio (O), Carbono (C) e Nitrogênio (N). Comparando-se as concentrações dos elementos químicos antes e após o arrancamento verificou-se que as maiores diferenças nas concentrações ocorreram entre os elementos Ti e C. Houve diminuição significativa de Ti nos implantes ICTSP (Gráficos 1 e 2) e ICDTSP (Gráficos 3 e 4) após o tracionamento, fato que pode ter ocorrido devido à oxidação dos

implantes depois do contato destes com o osso sintético. Quanto ao C, houve um aumento significativo em todos os tipos de implantes.

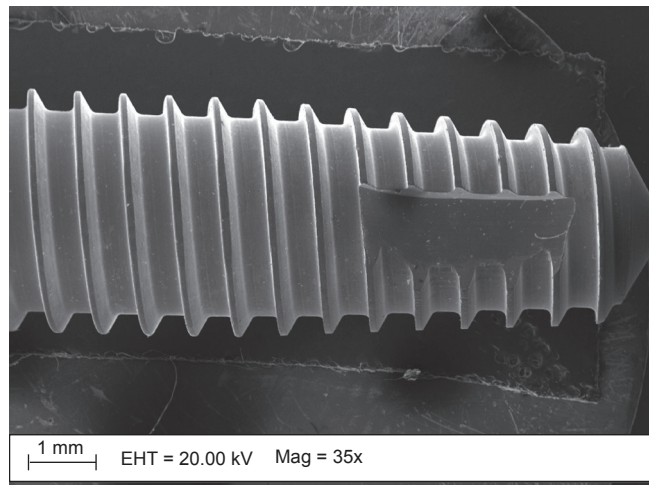


Figura 1 - Implantes cônicos com tratamento de superfície Porous antes da inserção.

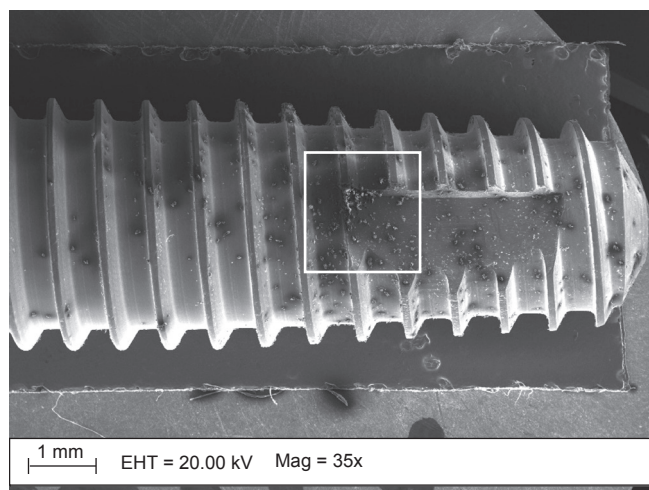


Figura 2 - Implantes cônicos com tratamento de superfície Porous após ensaio de tração.

Tabela 2
Tipos de implantes x variáveis testadas

Implante	Força de arrancamento máxima (N)	Deformação máxima (mm)	E F Máxima (N.mm)	Rigidez relativa (N/mm)
ICOTSP	182,15 ± 99,63	0,74 ± 0,20	82,35 ± 57,53	362,00 ± 144,83
ICTSP	341,65 ± 85,05	0,77 ± 0,25	135,09 ± 49,68	572,25 ± 181,11
ICDTSP	403,75 ± 189,80	0,91 ± 0,23	198,77 ± 102,37	660,00 ± 187,44
ICSU	276,38 ± 110,5	0,76 ± 0,21	123,91 ± 62,95	518,12 ± 141,98
Total	300,98 ± 147,30	0,79 ± 0,22	135,03 ± 79,76	528,09 ± 191,75

ICOTSP: implantes cônicos com tratamento de superfície Porous; ICTSP: implantes cilíndricos com tratamento de superfície Porous; ICDTSP: implantes cilíndricos com duplo tratamento de superfície Porous; ICSU: implantes cilíndricos com superfície usinada.

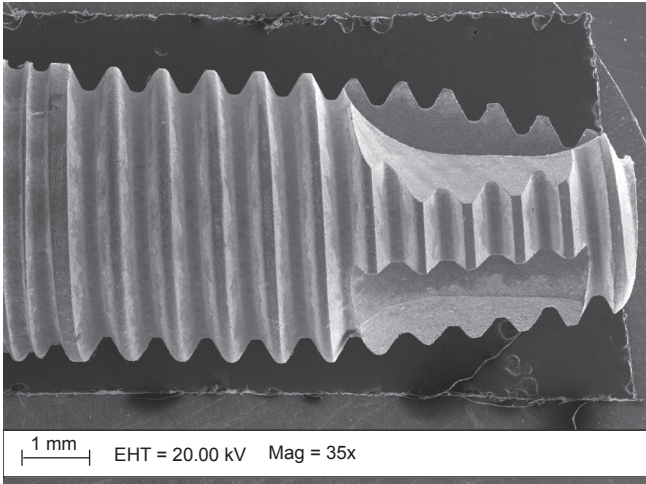


Figura 3 - Implantes cilíndricos com tratamento de superfície Porous antes da inserção.

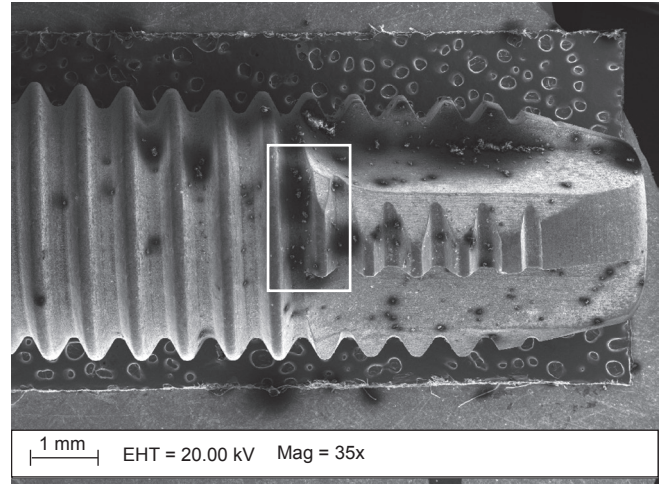


Figura 6 - Implantes cilíndricos com duplo tratamento de superfície Porous após ensaio de tração.

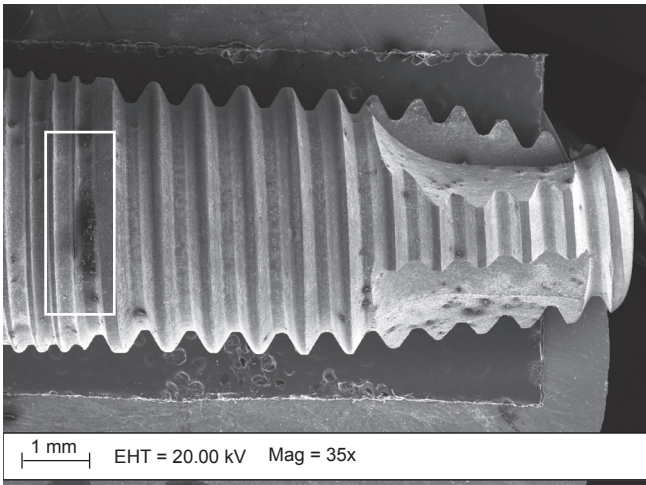


Figura 4 - Implantes cilíndricos com tratamento de superfície Porous após ensaio de tração.

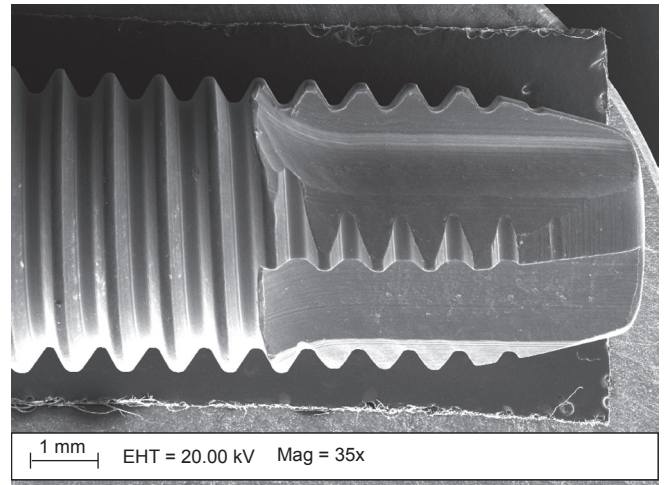


Figura 7 - Implantes cilíndricos com superfície usinada antes da inserção.

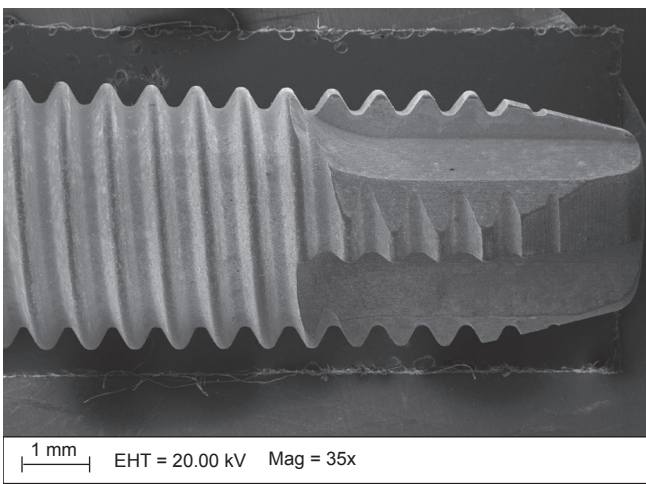


Figura 5 - Implantes cilíndricos com duplo tratamento de superfície Porous antes da inserção.

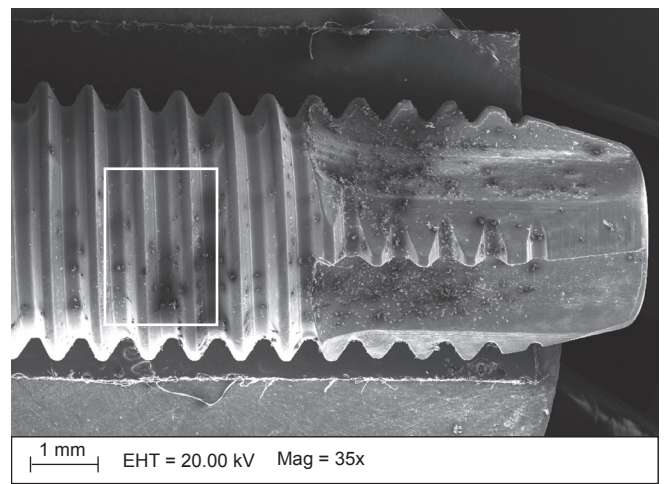


Figura 8 - Implantes cilíndricos com superfície usinada após ensaio de tração.

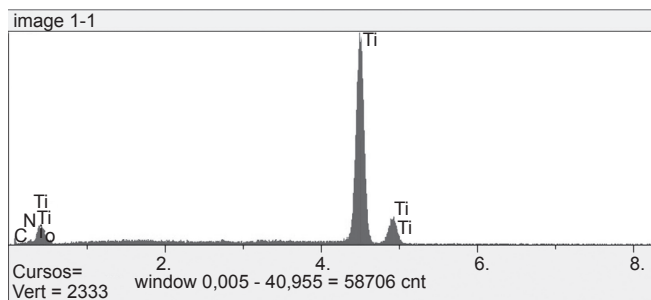


Gráfico 1 - Implantes cilíndricos com tratamento de superfície Porous antes da inserção.

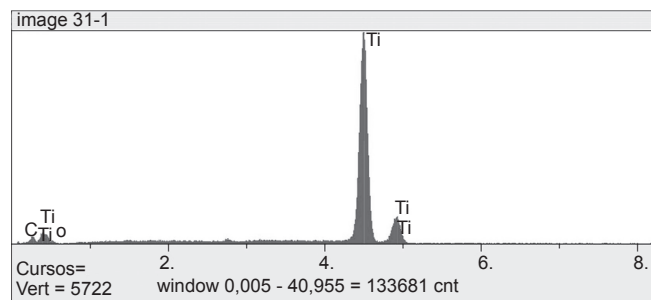


Gráfico 3 - Implantes cilíndricos com duplo tratamento de superfície Porous antes da inserção.

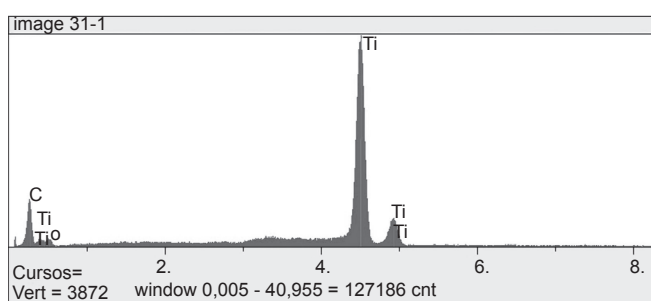


Gráfico 2 - Implantes cilíndricos com tratamento de superfície Porous após ensaio de tração

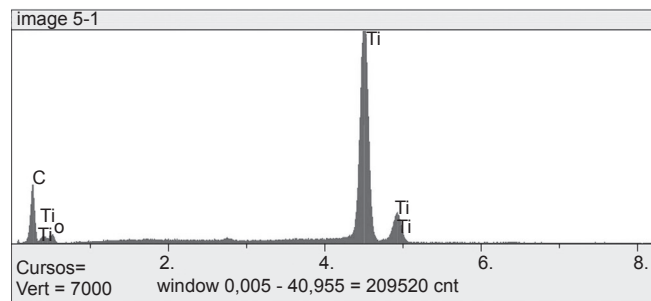


Gráfico 4 - Implantes cilíndricos com duplo tratamento de superfície Porous após ensaio de tração.

DISCUSSÃO

Acontecimentos inesperados podem ocorrer durante uma cirurgia. Muitas vezes, necessita-se remover um implante já instalado e inseri-lo novamente, por causa de uma fixação inadequada, correção da inclinação do parafuso, e pouco se sabe o que acontece com sua superfície quando este é manipulado, ou seja, se um implante inserido em determinado sítio pode ser reinserido em outro sítio cirúrgico, no mesmo paciente, no mesmo ato cirúrgico, ou se o fato de tocar na superfície do parafuso com uma pinça ou uma luva estéril influenciará no processo de osseointegração^{14,28}.

Este trabalho selecionou o ensaio mecânico de tração para sugerir possíveis alterações do formato, da superfície e do implante de maior estabilidade inicial após a movimentação mecânica^{17,33}. As análises com MEV e EDS mostraram a alteração da superfície em níveis macroscópico, microscópico e composicional dos implantes após manipulação prévia⁸.

O estudo avaliou quatro diferentes tipos de implantes quanto à alteração superficial e microanálise, após ensaio de tração. Os parafusos foram inseridos e arrancados de amostras de fêmures de ossos sintéticos, os quais apresentam as mesmas características de flexão e geometria externa que os ossos naturais, além de permitirem uma análise padronizada para a variável tipo osso^{6,7}. Devido à

espessura do osso cortical do fêmur ser comparável à da maxila e mandíbula, a utilização da cabeça femoral tem sido amplamente utilizada como modelo experimental para a colocação de parafusos endósseos⁵.

Os resultados mostraram que, diferentemente do apresentado pela literatura, a maior estabilidade ocorreu com os implantes cilíndricos. Entretanto, esses resultados podem ter sido influenciados pelo diâmetro ligeiramente menor dos implantes cônicos em detrimento dos cilíndricos, pois o próximo diâmetro dos cônicos seria muito maior, influenciando e inviabilizando a análise dos resultados²⁶.

Os implantes cilíndricos com tratamento de superfície mostraram resultados superiores de resistência à tração em relação aos de superfície usinada^{9,18}. E, quando comparados os implantes com tratamento de superfície entre si observou-se que os implantes ICTSP com duplo tratamento de superfície apresentaram resultados numericamente superiores de resistência ao arrancamento em relação aos implantes ICTSP que possuem apenas um tratamento. Esse resultado sugere que a rugosidade causada pelo tratamento de superfície aumenta o atrito entre a superfície do implante e o osso e tem grande influência na adsorção de proteínas e fixação de células, fatores que estão intimamente relacionados à osseointegração^{8,16,32,34}. Estudos demonstram que pode haver uma aposição óssea reforçada,

demonstrada histomorfometricamente quando as superfícies dos implantes são submetidas a mais de uma técnica de tratamento, além de apresentarem maiores valores de torque de remoção em testes biomecânicos, indicando uma relação direta entre a qualidade biológica e mecânica da interface, bem como excelentes resultados clínicos a médio e longo prazo^{23,30}. Existem vários tipos de tratamento de superfície, sendo que os implantes utilizados no presente estudo possuem superfície tratada através de ataque ácido, que produz microdepressões, variando de 0,5 a 2 µm de diâmetro na superfície do titânio^{20,34}.

A microanálise de implantes também é importante para a determinação de uma estabilidade favorável. O EDS, aparelho acoplado ao MEV, é capaz de avaliar amostras quanto aos elementos que as compõem, permitindo verificar os componentes presentes nos implantes testados. Quando analisados por meio do EDS, os implantes apresentaram concentração significativamente maior de titânio (Ti) em detrimento de outros elementos, como Carbono (C), Oxigênio (O) e Nitrogênio (N). Verificou-se maior concentração de Ti nos implantes com superfície tratada (antes do arrancamento); porém, quando analisadas as concentrações após o arrancamento houve diminuição maior do elemento Ti nesses implantes, sugerindo uma oxidação da superfície, que pode ter ocorrido pelo próprio contato do implante com o oxigênio do ar, com outros materiais ou com o osso. Os outros elementos não demonstraram grandes diferenças¹².

Os implantes podem sofrer alteração superficial quando inseridos e arrancados do osso, o que pode influenciar negativamente na estabilidade primária e consequentemente na estabilidade secundária, pois podem modificar suas características de superfície, geometria das roscas, formato do parafuso, elementos importantes para a estabilidade primária^{14,21}. Através da análise de microscopia eletrônica de varredura, sob um aumento

de 35 x, os implantes foram escaneados antes da inserção e após o arrancamento; porém, comparando-se as imagens não se verificou nenhum tipo de deformação das espiras dos parafusos.

A grande relevância do trabalho foi avaliar os fatores que interferem na estabilidade dos implantes, de modo a evitar falhas na resposta cirúrgica e comprometer a osseointegração^{1-3,8}. Dentre os fatores avaliados ficou demonstrada a influência positiva do tratamento de superfície e ausência alteração superficial e química significativa que pudesse prejudicar a osseointegração após a manipulação dos implantes^{16,30}.

CONCLUSÕES

Os implantes não sofreram alteração morfológica e/ou superficial detectada pelo MEV, porém, apresentaram alteração química de seus componentes comprovada pelo EDS, alteração essa que não se demonstrou significativa para o prejuízo da osseointegração.

Assim como descrito na literatura, os resultados obtidos a partir do estudo confirmam que fatores como a geometria, tratamento de superfície e tamanho dos implantes podem interferir na estabilidade primária.

Quanto ao tratamento de superfície os parafusos com tratamento Porous revelaram maior resistência em relação aos usinados, e os implantes cilíndricos com duplo tratamento apresentaram maior resistência quando comparados aos de tratamento único.

Os implantes cônicos demonstraram menor resistência ao arrancamento em detrimento dos cilíndricos com diâmetro semelhante.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à colaboração do Laboratório de Química da Faculdade de Química de Ribeirão Preto – USP e Laboratório de Bioengenharia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto FMRP-USP.

ABSTRACT

Characterization of microstructural dental implants subject to pull test

The aim of our study was to characterize the surface of implants subjected to tensile test in synthetic bone using scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectrometry X ray (EDS). To characterize the implants it was used Scanning Electron Microscope (SEM) coupled to an EDS, and for the tensile testing Machine Universal Testing. Femurs were used as synthetic bone specimens and were placed in four types of implants in the following sequence: cylindrical machined surface implants (ICSU), cylindrical implants with double surface treatment Porous (ICDTSP), cylindrical implants with surface treatment Porous (ICTSP) Tapered Implants with Porous

surface treatment (ICOTSP), totalizing 8 bone samples and 32 implants. Before insertion and after the tensile test, the screws were analyzed by SEM and EDS (Zeiss, Model: EVO50), under magnification of 35 x. The results were tested using the multifactorial analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey test (5% significance for the tests). Only ICOTSP implants 3.5 mm in diameter and 3.75 mm for implants ICDTSP showed significant difference as the forces of deformation (FD) and tearing (FA) (Tukey: $FD - p = 0.014$; $FA - p = 0.009$). The images obtained with the SEM revealed no visible surface charts and EDS showed no significant differences in concentration of chemical elements in samples. Surface characterization and chemistry of the implants showed no significant changes in their topography and composition when analyzed by SEM and EDS.

DESCRIPTORS

Dental Implants. Osseointegration. Traction. Microscopy, electron, scanning. Topography.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albrektsson T, Wennerberg A. Oral implant surfaces: Part 1 – review focusing on topographic and chemical properties of different surfaces and in vivo responses to them. *Int J Prosthodont* 2004;17(5):536-43.
- Albrektsson T, Wennerberg A. Oral implant surfaces: Part 2 – review focusing on clinical knowledge of different surfaces. *Int J Prosthodont* 2004;17(5):544-64.
- Baró AM, García N, Miranda R, Vázquez L, Aparicio C, Olivé J, et al. Characterization of surface roughness in titanium dental implants measured with scanning tunnelling microscopy at atmospheric pressure. *Biomaterials* 1986;7(6):463-6.
- Bischof M, Nedir R, Szmukler-Moncler S, Bernard JP, Samson J. Implant stability measurement of delayed and immediately loaded implants during healing. *Clin Oral Implants Res* 2004;15(5):529-39.
- Boniati D. Carga imediata funcional em implantes osseointegrados: Estágio atual no edentulismo total [Dissertação online]. Campinas: Centro de estudos odontológicos, São Leopoldo Mandic; 2002. Disponível em: www.boniati.com.br/monografia.htm
- Cristofolini L, Viceconti M, Cappello A, Toni A. Mechanical validation of whole bone composite femur models. *J Biomech* 1996; 29(4):525-35.
- Cristofolini L, Viceconti M. Mechanical validation of whole bone composite tibia models. *J Biomech* 2000;33(3):279-88.
- Faeda RS, Tavares HS, Sartori R, Guastaldi AC, Marcantonio E Jr. Biological performance of chemical hydroxyapatite coating associated with implant surface modification by laser beam: biomechanical study in rabbit tibias. *J Oral Maxillofac Surg* 2009;67(8):1706-15.
- Fromentin O, Lassauzay C, Abi Nader S, Feine J, de Albuquerque Junior RF. Testing the retention of attachments for Implant overdentures – validation of an original force measurement system. *J Oral Rehabil* 2010;37(1):54-62.
- Gaggl A, Schultes G, Müller WD, Kärcher H. Scanning electron microscopical analysis of laser-treated titanium implant surfaces — a comparative study. *Biomaterials* 2000;21(10):1067-73.
- Kim JW, Baek SH, Kim TW, Chang YI. Comparison of stability between cylindrical and conical type mini-implants. *Angle Orthod* 2008;78(4):692-8.
- Klauber C, Lenz LJ, Henry PJ. Oxide thickness and surface contamination of six endosseous dental implants determined by electron spectroscopy for chemical analysis: preliminary report. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1990;5(3):264-71.
- Kokkevold PR, Nishimura RD, Adachi M, Caputo A. Osseointegration enhanced by chemical etching of the titanium surface. A torque removal study in the rabbit. *Clin Oral Implants Res* 1997;8(6):442-7.
- Kreisler M, Kohnen W, Christoffers AB, Götz H, Jansen B, Duschner H, et al. In vitro evaluation of the biocompatibility of contaminated implant surfaces treated with an Er: YAG laser and air powder system. *Clin Oral Implants Res* 2005;16(1):36-43.
- Lee KM, Cai Z, Griggs JA, Guiatas L, Lee DJ, Okabe T. SEM/EDS Evaluation of porcelain adherence to gold-coated cast titanium. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2004;68(2):165-73.
- Le Guéhennec L, Soueidan A, Layrolle P, Amouriq Y. Surface treatments of titanium dental implants for rapid osseointegration. *Dent Mater* 2007; 23(7):844-54.
- Leite VC, Shimano AC, Gonçalves GAP, Kandziora F, Defino HLA. The influence of insertion torque on pedicular screws' pullout resistance. *Acta Ortopedica Brasileira* 2008;16(4):214-6.
- Lioubavina-Hack N, Lang NP, Karring T. Significance of primary stability for osseointegration of dental implants. *Clin Oral Implants Res* 2006;17(3):244-50.
- Maliska AM. Microscopia Eletrônica de Varredura. Universidade de Santa Catarina; 2008. p.1-98. [cited 2/10/2011]. Disponível em: http://www.materiais.ufsc.br/lcm/web-MEV/MEV_Apostila.pdf
- Massaro C, Rotolo F, De Riccardis F, Milella E, Napoli A, Wieland M, et al. Comparative investigation of the surface properties of commercial titanium dental implants. Part I: chemical composition. *J Mater Sci Mater Med* 2002;13(6):535-48.
- Mesa F, Muñoz R, Noguero B, de Dios Luna J, Galindo P, O'Valle F. Multivariate study of factors influencing primary dental implant stability. *Clin Oral Implants Res* 2008;19(2):196-200.

22. Nackaerts O, Jacobs R, Pillen M, Engelen L, Gijbels F, Devlin H, et al. Accuracy and precision of a densitometric tool for jaw bone. *Dentomaxillofac Radiol* 2006;35(4):244-8.
23. Norton MR, Gamble C. Bone classification: an objective scale of bone density using the computerized tomography scan. *Clin Oral Implants Res* 2001;12(1):79-84.
24. Okazki J, Komasa Y, Sakai D, Kamada A, Ikeo T, Toda I, et al. A torque removal study on the primary stability of orthodontic titanium screw mini-implants in the cortical bone of dog femurs. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2008;37(7):647-50.
25. Okumura N, Stegaroiu R, Kitamura E, Kurokawa K, Nomura S. Influence of maxillary cortical bone thickness, implant and implant diameter on stress around implants: A three-dimensional finite element analysis. *J Prosthodont Res* 2010;54(3):133-42.
26. Sakoh J, Wahlmann U, Stender E, Nat R, Al-Nawas B, Wagner W. Primary stability of a conical implant and a hybrid, cilindric screw-type implant in vitro. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006;21(4):560-6.
27. Sammons RL, Lumbikanonda N, Gross M, Cantzler P. Comparison of osteoblast spreading on microstructured dental implant surfaces and cell behaviour in an explant model of osseointegration. A scanning electron microscopic study. *Clin Oral Implants Res* 2005;16(6):657-66.
28. Mohamed S, Polyzois I, Renvert S, Claffey N. Effect of surface on osseointegration of dental implants surrounded by circumferential bone defects. *Clin Oral Implants Res* 2010;21(5):513-9.
29. Serhan H, Slivka M, Albert T, Kwak SD. Is galvanic corrosion between titanium alloy and stainless steel spinal implants a clinical concern? *Spine J* 2004;4(4):379-87.
30. Sul YT, Kang BS, Johansson C, Um HS, Park Cj, Albrektsson T. The roles of surface chemistry and topography in the strenght and rate of osseointegration of titanium implants in bone. *J Biomed Mater Res A* 2009;89(4):942-50.
31. Wennerberg A, Hallgren C, Johansson C, Danelli S. A histomorphometric evaluation of screw-shaped implants each prepared with two surface roughnesses. *Clin Oral Implants Res* 1998;9(1):11-9.
32. Wong M, Eulenberger J, Schenk R, Hunziker E. Effect of surface topology on the osseointegration of implant materials in trabecular bone. *J Biomed Mater Res* 1995;29(12):1567-75.
33. Zheng I, Tang T, Deng F, Zhao Z. The influence of extraction on the stability of implanted titanium microscrews: a biomechanical and histomorphometric study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24(2):267-74.
34. Zinger O, Anselme K, Denzer A, Habersetzer P, Wieland M, Jeanfils J, et al. Time-dependent morphology and adhesion of osteoblastic cells on titanium model surfaces featuring scale-resolved topography. *Biomaterials* 2004;25(14):2695-711.

Recebido em: 20/2/10
Aceito em: 16/5/10