

**EFEITOS DO MÉTODO DE IMPLANTAÇÃO IÔNICA NO
TRATAMENTO SUPERFICIAL DO TITÂNIO**

EFFECTS OF THE ION IMPLANTATION METHOD ON TITANIUM SURFACES

Leandro Chambrone¹

Luiz Armando Chambrone²

¹ Professor do Programa de Mestrado em Biodontologia, Universidade Ibirapuera, São Paulo, Brasil.

² Prática privada, São Paulo, Brasil

Os autores relatam não haver conflitos de interesse e nenhum apoio financeiro para este estudo.

Autor para correspondência:

Leandro Chambrone
Faculdade de Odontologia-Universidade Ibirapuera
End.: Av. Interlagos, 1329 – Chácara Flora- CEP: 04661-100.
São Paulo, SP. Brasil 04661-100
Email: chambrone@usp.br

RESUMO

O sucesso proporcionado ao longo do tempo pela interface osso-implante esta diretamente associada à fixação rígida do implante com o osso do leito receptor. Diferentes métodos de tratamento de superfície dos implantes de titânio vêm sendo empregados de forma a melhor o nível de ossintegração. O propósito desta revisão é apresentar os conceitos, utilização e resultados, *in vitro* e *in vivo* existentes na literatura médico-odontológica referentes à utilização do método de implantação iônica (IO) no tratamento superficial do titânio.

ABSTRACT

The success provided over time by the bone-implant interface is directly associated with the rigid fixation of the implant with the bone of the recipient bed. Different methods of surface treatment of titanium implants have been employed in order to improve the level of ossintegration. The purpose of this review is to present the concepts, use and results on the use of the ion implantation method in the surface treatment of dental titanium

DESCRITORES: Osseointegração; implantes dentários; titânio.

DESCRIPTORS: Osseointegration; dental implants; titanium.

INTRODUÇÃO

O sucesso proporcionado ao longo do tempo pela interface osso-implante esta diretamente associada à fixação rígida do implante com o osso do leito receptor.¹ Esta condição, conhecida como osseointegração funcional, pode ser obtida em diferentes sistemas de implantes através de uma conexão proporcionada pelas características geométricas e superficiais (topografia e características químicas) do implante e o tecido ósseo.¹⁻⁷

Desde a identificação inicial das bases biológicas do fenômeno da osseointegração a partir de 1959, o titânio (Ti) passou a ser conhecido por ser um material metálico e biocompatível utilizado na confecção de implantes dentários.^{8,9} Entretanto, a propriedade de osseocondução proporcionada pela superfície do Ti se mostra inferior quando comparada a materiais cerâmicos, tais como o vidro bioativo e o fosfato de cálcio.²

Quimicamente, o titânio tem como uma de suas propriedades específicas permitir uma modificação de sua superfície onde neste se forma uma superfície de fosfato de cálcio de forma natural na presença de

eletrólitos e fluídos corporais.¹⁰⁻¹⁴ Esta interessante propriedade torna possível a modificação da superfície do Ti, contudo a camada de fosfato de cálcio obtida é muito fina, com espessura de alguns nanômetros, formando apenas um filme.¹⁰⁻¹⁴

Laboratorialmente, a implantação de hidroxiapatita ou de outros elementos químicos sobre a superfície de Ti pode ser obtida através de tratamento com plasma, implantação iônica, precipitação de partículas, deposição por laser pulsante, eletroforese ou deposição por imersão.^{7,12} Dentre estas, a implantação de íons ou implantação iônica (IO) é uma das técnicas que passou a ser estudada com maior interesse nos últimos anos.

O propósito desta revisão é apresentar os conceitos, utilização e resultados, *in vitro* e *in vivo* existentes na literatura médico-odontológica referentes à utilização do método de implantação iônica (IO) no tratamento superficial do titânio.

REVISÃO DA LITERATURA

Conceito de Implantação Iônica (IO)

O método de implantação iônica (IO) foi desenvolvido originalmente nos anos 50, para aplicação em semicondutores e posteriormente para melhorar as propriedades de uso de ferramentas metálicas e para gerar condutividade elétrica em polímeros.¹⁵

A IO é um processo em que íons de uma determinada espécie química são lançados contra uma superfície com energia suficiente para que terminem a se depositar no interior do material com profundidade e perfil de deposição controlável experimentalmente (dose de energia e a espécie iônica implantados).^{2,7,12,16-19}

Em um sólido, um íon em movimento perde energia através de uma série de colisões com os átomos e elétrons constituintes. Os principais mecanismos de perda de energia são colisões eletrônicas, nas quais a partícula em movimento excita ou ejeta elétrons de átomos do substrato e as colisões nucleares, nas quais a energia é transferida como um movimento translacional para átomos do substrato. Esse último é o caso do freamento de íons com energia $E < 70$ keV. Colisões desse tipo envolvem perdas discretas de energia e uma deflexão angular significativa da

trajetória do íon criando grande desordem na rede cristalina através de deslocamentos atômicos de suas posições originais numa cascata de colisões atômicas. Esse processo acarreta uma distribuição de vacâncias, átomos intersticiais e outros tipos de desordens de rede na região próxima ao caminho dos íons. À medida que o número de íons depositados no material aumenta, a desordem de cada uma dessas regiões se sobrepõe, gerando regiões bastante alteradas.⁷

A camada alterada dita ativada pode também ser recristalizada por meio de recozimentos cuja duração e temperatura também podem ser controladas experimentalmente. Esse grande número de variáveis representa a principal vantagem do método, uma vez que seu controle permite transpor os limites físico-químicos da tradicional difusão termo-química.^{7,17,20}

Em adição a IO vem sendo descrita por modificar apenas as características superficiais do material, mantendo as propriedades mecânicas não alteradas.^{16,17}

POSSIBILIDADE DE UTILIZAÇÃO DA IO EM IMPLANTODONTIA

O titânio (Ti) caracteriza-se por um sistema bicamada em que a camada superficial é provavelmente uma mistura policristalina de TiO₂, TiN e provavelmente TiS ou Ti₂S₃ decorrentes do tratamento em ácido, relativamente fina ($d < \sim 500$ nm) sobreposta a uma matriz de Ti pura. Enquanto o substrato de Ti é um condutor elétrico bem conhecido, a camada superficial é uma mistura de isolantes e semicondutores.^{17,21,22} Além da desordem local, a IO tem efeito diverso em isolantes e condutores. Em isolantes a implantação iônica cria (e fixa) cargas elétricas localizadas e “canais” ao longo de sua trajetória desde a superfície, com dimensão nanométrica que por sua vez podem ser atacados quimicamente. Em metais, a IO rasa modifica localmente os níveis eletrônicos do material, podendo alterar a função de trabalho e conseqüentemente suas propriedades químicas de superfície.^{7,12}

A IO de íons de cálcio (Ca⁺ ou Ca²⁺) em implantes de titânio permite a formação de moléculas de

hidróxido/óxido de cálcio, titanato de cálcio (de baixa cristalinidade) e óxido de titânio.^{12,16,17} Este processo pode ser um método promissor para modificar a superfície do implante e torná-la quimicamente mais compatível (superfície osseocondutora) com o tecido ósseo receptor favorecendo o aparecimento de ligações primárias entre os íons da superfície dos implantes e os íons presentes no tecido ósseo, bem como acelerar a precipitação de fosfato de cálcio e ativar as células osteogênicas sobre a superfície de Ti, acelerando a formação de tecido osteóide.^{12,16,17} Neste processo, além do embricamento mecânico decorrente da geometria dos implantes e de sua forma de instalação durante os procedimentos cirúrgicos, espera-se que ocorra também o embricamento químico.

ACHADOS HISTOLÓGICOS E QUÍMICOS

A boa biocompatibilidade do Ti esta associada a sua resistência à corrosão, devido à existência de um óxido superficial, como um filme (película) passivo, composto por de íons de Ti ou de óxido de Ti recobrimdo

a superfície.²³ Este filme em contato com soluções eletrolíticas, como as existentes de fluido corporais, sofre uma modificação de sua estrutura.^{2,10,11,13,14} A composição do Ti antes de ser imerso é caracterizado pela presença de TiO₂, Ti-6 Al-4 V e uma mistura de TiO₂ e de Al₂O₃. Após a imersão há o aparecimento de fosfatos de titânio, fosfato de cálcio e titanato de cálcio, associados a radicais de hidratos e hidróxidos, os quais também sejam responsáveis pela biocompatibilidade do Ti.^{2,10,16,17}

Quando da utilização da IO a superfície de Ti apresenta uma maior quantidades de radicais de Ca²⁺ e cargas elétricas positivas, quando comparado ao Ti puro, situação esta que pode acelerar a adsorção de íons de fosfato, quando em contato a eletrólitos.²⁰

Em estudos *in vitro*, os efeitos sobre o mecanismo de osseocondução, adesão, diferenciação e proliferação celular em superfícies de Ti submetidas à IO com diferentes íons demonstraram a biocompatibilidade do Ti implantado.²⁴⁻

²⁶ Entretanto, algumas considerações específicas quanto a dureza, corrosão,

quantidade de íons implantados também foram observadas.

A implantação de oxigênio e fósforo podem provocar um aumento na dureza das amostras conforme se aumenta a quantidade de íons sobre a superfície (na ordem de 2,2 maior quando comparado ao Ti puro).¹⁸ Contudo, em amostras onde se utilizou o Ca há muito pouco aumento na dureza do Ti, bem como a camada de óxido superficial produzida apresenta-se muito mais espessa, quando comparada aos outros dois elementos químicos.¹⁸

Quanto à resistência a corrosão após imersão em fluido corporal simulado os resultados de diferenças estudos demonstraram que superfícies de Ti implantadas com Ca ou P (separados ou em conjunto) se tornaram amorfas, que houve um aumento na resistência a corrosão após exposições curtas e longas e precipitação de fosfato de cálcio sobre os discos de Ti implantada (similar ao o que ocorre em superfícies não implantadas).²⁷⁻²⁹

Conforme previamente mencionado, na IO a quantidade e o número de íons implantados podem ser determinados com precisão. O tipo

de íon ou a combinação entre eles pode ser utilizado para controlar os eventos precoces na adesão das células ósseas sobre implantes de Ti.²⁴⁻²⁶

Nayab *et al.*^{24,25} mostraram que apesar das superfícies submetidas à implantação com íons de Ca terem apresentado uma adesão celular reduzida, estas aumentaram significativamente a proliferação e o subsequente crescimento celular. Contudo, após o prolongamento do tempo de cultura, a adesão celular sobre esta superfície foi significativamente maior do que as superfícies de Ti puro utilizadas como controle.²⁵ Já os discos implantados com potássio argônio, ou baixas doses de Ca apresentaram pouca diferença no comportamento celular, quando comparado ao Ti puro.²⁵ Estes achados sugerem que o potencial de eficácia clínica do Ti pode ser melhorado pela modificação seletiva de sua superfície através da implantação iônica, quando da utilização de diferentes concentrações de íons de Ca.^{24,25}

Já em condições *in vivo*, apenas um único estudo foi encontrado na literatura. Hanawa *et al.*¹⁷ investigaram

a performance e as propriedades do Ti implantado com Ca²⁺ como um material de implante em relação ao Ti puro. Neste estudo íons de Ca²⁺ foram implantados em um dos lados de discos de titânio puro em um montante de 10¹⁷ íons / cm². Os lados lisos dos discos serviram como grupo controle. Dezoito ratos Wistar machos receberam a implantação de um destes discos na região de tíbia. Os resultados mostraram que o titânio implantado com Ca²⁺ foi superior ao titânio puro no processo de osseocondução, onde uma grande quantidade de novo osso foi formada nas superfícies que receberam a implantação iônica, quando comparada a superfícies lisas, mesmo aos dois dias pós-cirurgia. Os autores observaram também que porções deste osso formaram contato com os íons de Ca²⁺, fato este que não ocorreu sobre as superfícies lisas.¹⁷

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados obtidos através da literatura permitem sugerir que a modificação promovida sobre a superfície do Ti, através da técnica de IO, parece ser capaz de melhorar

a resistência a corrosão e aumentar o crescimento e a proliferação de osteoblastos, tanto *in vitro* quanto *in vivo*, principalmente quando o íon implantado foi o cálcio (Ca^+ ou Ca^{2+}).

Contudo, devido ao baixo número de pesquisas publicadas até o presente momento há a necessidade da condução de novos estudos de forma a esclarecer a real capacidade da superfície de titânio puro submetido à IO, de cálcio ou outros elementos químicos, em induzir melhor biocompatibilidade e aumentar osseointegração entre osso e o implante, tanto *in vitro* quanto *in vivo*.

REFERÊNCIAS

1. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1986; 1(1):11-25.
2. Hanawa T. [Characterization of surface films formed on titanium in electrolytic solutions] *Shika Zairyo Kikai* 1989; 8(6):832-44.
3. Cochran DL. A comparison of endosseous dental implant surfaces. *J Periodontol.* 1999; 70(12): 1523-1539.
4. Li D, Liu B, Han Y, Xu K. Effects of a modified sandblasting surface treatment on topographic and chemical properties of titanium surface. *Implant Dent* 2001;10(1):59-64.
5. Li D, Liu B, Wu J, Chen J. Bone interface of dental implants cytologically influenced by a modified sandblasted surface: a preliminary in vitro study. *Implant Dent* 2001;10(2):132-138.
6. Mustafa K, Wennerberg A, Wroblewski J, Hultenby K, Lopez BS, Arvidson K. Determining optimal surface roughness of TiO(2) blasted titanium implant material for attachment, proliferation and differentiation of cells derived from human mandibular alveolar bone. *Clin Oral Implants Res* 2001;12(5):515-25.
7. Weiser E, Tsyganov I, Matz W, Reuther H, Oswald S, Pham T, Richter E. Modification of titanium by ion implantation of calcium ad/or phosphorus. *Surface and Coatings Technology* 1999; 111 (1): 103-109.
8. Brown D. All you wanted to know about titanium, but were afraid to ask. *Br Dent J* 1997; 182(10):393-394.
9. Brånemark P-I, Gröndahl K, Brånemark BK. Why osseointegration would work and how it did in the first patients treated. Basic facts and philosophical thoughts. In: Brånemark P-I, The osseointegration book: from calvarius to cacaneus. Quintessence Books, Berlin, 2005, p.19-114.
10. Hanawa T, Ota M. Calcium phosphate naturally formed on titanium in electrolyte solution. *Biomaterials* 1991; 12(8):767-74.
11. Damen JJM, Tem Cate JM, Ellingsen JE. Induction of calcium phosphate precipitation by titanium dioxide. *J Dent Res* 1991, 70: 1346-1349.

12. Hanawa T. In vivo metallic biomaterials and surface modification. *Materials Science and Engineering: A* 1999; 267(2): 260-266.
13. Healy KE, Ducheyne P. The mechanisms of passive dissolution of titanium in a model physiological environment. *J Biomed Mater Res* 1992;26(3):319-38.
14. Healy KE, Ducheyne P. Hydration and preferential molecular adsorption on titanium in vitro. *Biomaterials* 1992; 13(8):553-561.
15. Leitão E, Barbosa MA, De Groot K. In vitro testing of surface-modified biomaterials. *J Mater Sci Mater Med* 1998; 9(9):543-548.
16. Hanawa T, Kamiura Y, Yamamoto S, Kohgo T, Amemiya A, Ukai H, Murakami K, Asaoka K. Early bone formation around calcium-ion-implanted titanium inserted into rat tibia. *J Biomed Mater Res* 1997; 36(1):131-136.
17. Hanawa T, Kon M, Ukai H, Murakami K, Miyamoto Y, Asaoka K. Surface modifications of titanium in calcium-ion-containing solutions. *J Biomed Mater Res* 1997; 34(3):273-278.
18. Ikeyama M, Nakao S, Morikawa H, Yokogawa Y, Wielunski LS, Clissold RA, Bell T. Surface hardness changes induced by O-, Ca- or P-ion implantation into titanium. *Colloids Surf B Biointerfaces* 2000;19(3):263-268.
19. Krupa D, Baszkiewicz J, Kozubowski JA, Barcz A, Sobczak JW, Bilinski A, Lewandowska-Szumiel MD, Rajchel B. Effect of calcium-ion implantation on the corrosion resistance and biocompatibility of titanium. *Biomaterials* 2001; 22(15):2139-2151.
20. Hanawa T, Kon M, Doi H, Ukai H, Murakami K, Hamanaka H, Asaoka K. Amount of hydroxyl radical on calcium-ion-implanted titanium and point of zero charge of constituent oxide of the surface-modified layer. *J Mater Sci Mater Med* 1998; 9(2):89-92.
21. Bjursten LM, Emanuelsson L, Ericson LE, Thomsen P, Lausmaa J, Mattsson L, Rolander U, Kasemo B. Method for ultrastructural studies of the intact tissue-metal interface. *Biomaterials* 1990; 11(8):596-601.
22. Radegran G, Lausmaa J, Mattsson L, Rolander U, Kasemo B. Preparation of ultra-thin oxide windows on titanium for TEM analysis. *J Electron Microscop Tech* 1991; 19(1):99-106.
23. Itakura Y, Tajima T, Ohoke S. Osteocompatibility of platinum plated titanium assessed in vitro. *Biomaterials* 1989; 10:489-493.
24. Nayab SN, Jones FH, Olsen I. Human alveolar bone cell adhesion and growth on ion-implanted titanium. *J Biomed Mater Res A* 2004; 69(4):651-657.
25. Nayab SN, Jones FH, Olsen I. Effects of calcium ion implantation on human bone cell interaction with titanium. *Biomaterials* 2005; 26(23):4717-4727.
26. Nayab S, Shinawi L, Hobkirk J, Tate TJ, Olsen I, Jones FH. Adhesion of bone cells to ion-implanted titanium. *J Mater Sci Mater Med* 2003; 14(11):991-997.
27. Krupa D, Baszkiewicz J, Kozubowski JA, Barcz A, Sobczak JW, Bilinski A, Lewandowska-Szumiel M, Rajchel B. Effect of phosphorus-ion implantation on the corrosion resistance and biocompatibility of titanium. *Biomaterials* 2002; 23(16):3329-3340.

28. Krupa D, Baszkiewicz J, Kozubowski JA, Lewandowska-Szumiel M, Barcz A, Sobczak JW, Bilinski A, Rajchel A. Effect of calcium and phosphorus ion implantation on the corrosion resistance and biocompatibility of titanium. Biomed Mater Eng 2004; 14(4):525-36.

29. Krupa D, Baszkiewicz J, Kozubowski JA, Barcz A, Sobczak JW, Bilinski A, Lewandowska-Szumiel M, Rajchel B. Effect of dual ion implantation of calcium and phosphorus on the properties of titanium. Biomaterials 2005; 26(16):2847-56.
30.