

Análisis químico y topográfico de la superficie de implantes dentales

Chemical and topographical analysis of the surface of dental implants

Jose Luis MuñanteCárdenas,
DDS, MSc¹, Richard Landers
MSc, PhD²

Resumen

El objetivo de este estudio fue analizar la composición química y la topografía superficial de implantes de titanio comercialmente puro, obtenidos de tres marcas comerciales utilizadas actualmente en odontología. Fueron analizados nueve implantes de titanio de los siguientes sistemas: As Technology, Neodent y Sistema Nacional de Implantes. El material fue dividido en tres grupos de tres implantes cada uno. Para determinar la composición química se utilizó la técnica de Espectroscopia de Fotoelectrones Excitada por rayos-X (XPS), mientras que para caracterizar la topografía superficial se utilizó Microscopia Electrónica de Barrido (MEB). Fueron identificados titanio, carbono, silicio y oxígeno en todas las muestras analizadas. Otros elementos contaminantes identificados fueron aluminio, azufre, plomo, fósforo, calcio, sodio y nitrógeno. Fueron identificadas impurezas en la superficie de todos los implantes analizados. Consideramos necesario realizar otros estudios que relacionen la presencia y concentración de estos elementos con el proceso de oseointegración.

Palabras clave: implantes dentales, titanio, análisis químico, materiales biocompatibles

Abstract

The aim of this study was to analyze the chemical composition and surface topography of commercially pure titanium implants, obtained from three trademarks frequently used in dentistry. There were nine titanium implants of the following systems: *As Technology*, *Neodent* and *Sistema Nacional de Implantes*. These materials were divided into three groups, with three implants in each group. Photoelectron Spectroscopy Excited by X-ray (XPS) was used to determine the chemical composition, while to characterize the surface topography we used Scanning Electron Microscopy (SEM). Titanium, carbon, silicon and oxygen were identified in all samples analyzed. Other contaminants were: silicon, aluminum, sulfur, lead, phosphorus, calcium, sodium and nitrogen. We identified impurities on the surface of all implants analyzed. We consider necessary to development more studies relating the presence and concentration of these elements with the osseointegration process.

Keywords: dental implants, titanium, chemical analysis, biocompatible materials

1 Cirujano-Dentista. Máster en Cirugía y Traumatología Bucal-maxilofacial. Doctorando en Cirugía. Universidad Estatal de Campinas-UNICAMP, São Paulo, Brasil.

2 Profesor Asociado. Instituto de Física Gleb Wataghin, Departamento de Física Aplicada-Universidad Estatal de Campinas-UNICAMP. São Paulo, Brasil.

Correspondencia:

José Luis Muñante Cárdenas
Universidad Estatal de Campinas, 13414-903
Piracicaba, São Paulo, Brazil
Correo electrónico: jlmunante@fop.unicamp.br

Fecha de recepción: 24-03-12

Fecha de aceptación: 17-05-12

Introducción

Los implantes dentales en base a titanio pasaron a tener amplia aplicabilidad en el área Odontológica a partir de los primeros estudios realizados por Branemark y colaboradores hace ya más de medio siglo.¹ Actualmente, la rehabilitación implanto-soportada es una de las técnicas más previsibles y exitosas dentro de la odontología. Este éxito ha sido parcialmente atribuido, entre otros factores, a la biocompatibilidad de la capa de óxido de titanio (TiO₂) presente en las superficies de los implantes.²

Sin embargo, estas superficies pueden ser potencialmente contaminadas por la adición de compuestos orgánicos e inorgánicos durante el proceso de producción industrial de los implantes. Estos contaminantes han sido señalados como agentes que podrían alterar el proceso normal de oseointegración.^{3,4,5}

Consideramos que futuros efectos nocivos en el comportamiento biológico de los implantes podrían ser evitados mediante la identificación, cuantificación y caracterización precisa de todos los elementos presentes en sus superficies. Por

tanto, el objetivo de los autores en este estudio fue analizar la composición química y la topografía superficial de implantes de titanio comercialmente puro, obtenidos de tres marcas comerciales utilizadas actualmente en odontología.

Material y métodos

Tabla N.º 1. Resumen de los Sistemas de implantes empleados y sus especificaciones, según los fabricantes. TPS: Plasma Spray de Titanio

Marca	Implante	Tratamiento de superficie	Dimensiones (mm)	Lote	Validez
AS Technology	Titanium Fix	TPS	5x15	76609	2014
Neodent	Titamax Ti	Jateamiento + ataque ácido	5x13	5298	2014
Sistema Nacional de Implantes	INP	Óxido de titanio	5x15	0072/08A01	2012

Se analizaron nueve implantes de titanio comercialmente puro de las siguientes marcas: AS Technology, Neodent e Sistema Nacional de Implantes. Este material se dividió en tres grupos con tres implantes de cada uno: Grupo I (Titanium Fix[®]), Grupo II (Ti Titamax[®]), Grupo III (INP[®]). Los implantes fueron padronizados en relación a su tamaño y longitud (Tabla N.º 1).

Las muestras fueron retiradas de sus embalajes y manipulados por los correspondientes transportadores de implante, evitando así la contaminación. Para caracterizar la composición química de la superficie se utilizó la técnica de espectroscopia de fotoelectrones de rayos X (XPS), mediante un dispositivo analizador de VSW HA 100 VSW Scientific Instrument LTDA[®] (Manchester - Inglaterra), perteneciente al Instituto de Física Gleb Wataghin Departamento de Física Aplicada de la UNICAMP. El análisis se llevó a cabo en un ambiente de ultra vacío (10⁻⁹,10⁻¹⁰ Torr). El análisis topográfico fue realizado con Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) JOEL-JSM, modelo 5600 LV, del Centro de Microscopia Electrónica de la FOP-UNICAMP. Las imágenes fueron captadas usando 10 kV, 15 kV o 22 kV; diámetro de la sonda (spotsize) de 35 o 38 y distancia de trabajo de 32 o 35 mm, según el aumento deseado de la imagen.

Resultados

Los implantes de los grupos I, II y III están representados en los espectros A y B (Figuras 1, 3 y 5, respectivamente). Los elementos químicos se identifican a través de los valores energéticos de los picos, que representan estos elementos dentro de cada gama.

En las tablas N.º 2, 3 y 4 se observa el porcentaje y la concentración atómica detallada de los elementos químicos identificados como contaminantes de superficie. Donde en mayor porcentaje se ubica el oxígeno en todos los grupos de implantes, en segundo y tercer lugar son el carbono y el titanio en los implantes del Grupo II y III, sin embargo en los implantes del Grupo I en segundo lugar es el aluminio seguido de carbono y titanio.

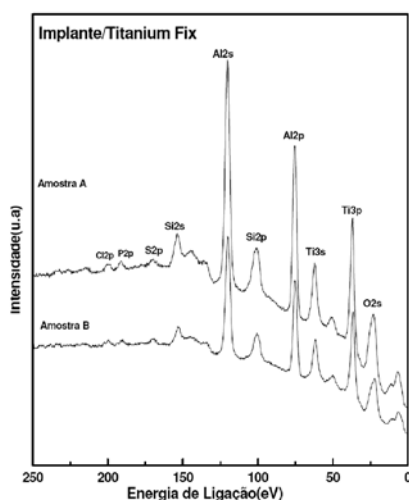


Figura N.º 1. Espectros de los Implantes del Grupo I presentando contaminantes como Al, C, Si y S.

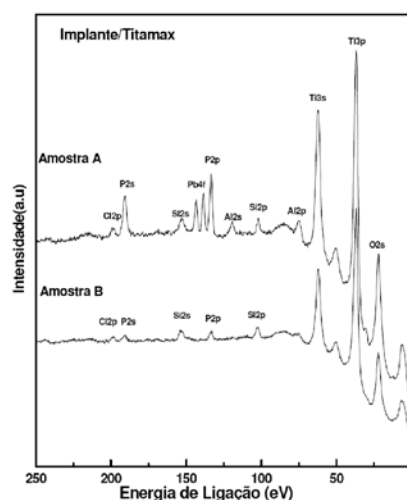


Figura N.º 3. Espectros de los Implantes del Grupo II presentan, además de O y Ti esperados, picos característicos de diversas impurezas de superficie: C, Na, P, Al, Si, Ca y Pb.

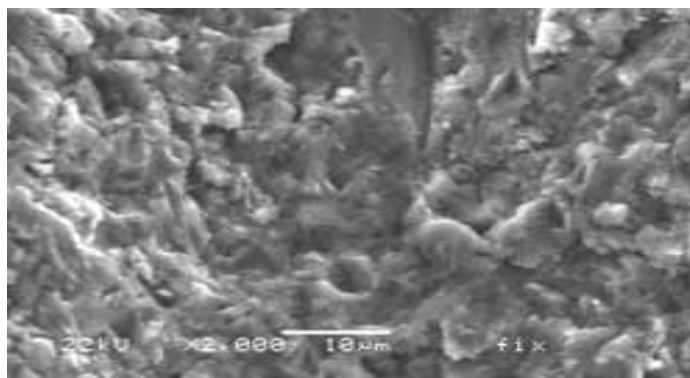


Figura N.º 2. Imagen de MEB de una Superficie de implante del Grupo I (con aumento de 2000 veces).

Tabla N.º 2. Elementos identificados en la superficie de los implantes del Grupo I.

Elementos	Nivel energético (s,p,d,f)	Concentración	Concentración atómica (%)
Oxígeno	1s	147,97	50,5
Aluminio	2p	51,02	17,4
Carbono	1s	48,87	16,7
Titanio	2p	29,35	10
Silicio	2p	14,93	5,1
Azufre	2s	0,97	0,3

Tabla N° 3. Elementos identificados en la superficie de los implantes del Grupo II.

Elementos	Nivel energético (s,p,d,f)	Concentración	Concentración atómica (%)
Oxígeno	1s	212,47	48,8
Carbono	1s	111,86	25,6
Titanio	2p	78,75	18
Sodio	1s	14,31	3,3
Fósforo	2p	9,66	2,3
Aluminio	2s	4,04	0,9
Silicio	2p	2,99	0,7
Calcio	2p	1,49	0,3
Plomo	4f	0,59	0,2

Tabla N.º 4. Elementos identificados en la superficie de los implantes del Grupo III.

Elementos	Nivel electrónico (s,p,d,f)	Concentración	Concentración atómica (%)
Oxígeno	1s	106,23	55,1
Carbono	1s	41,21	21,14
Titanio	2p	40,09	20,8
Silicio	2p	2,24	1,2
Calcio	2p	1,95	1
Nitrógeno	1s	2,97	1,1

Al análisis microscópico se pudo observar diferentes aspectos de la topografía superficial de los implantes, los mismos que están en relación a los diversos tratamientos de superficie utilizados por los fabricantes (Figuras 2, 4 y 6).

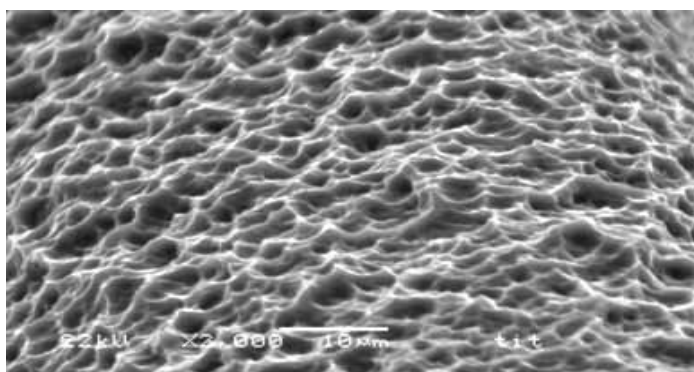


Figura N.º 4. Imagen de MEB de una Superficie de Implante del Grupo II (con aumento de 2000 veces).

Discusión

El descubrimiento del proceso de oseointegración hizo posible que la rehabilitación mediante implantes dentales sea una de las técnicas más previsibles y exitosas en el ámbito de la odontología contemporánea. Así, en los últimos 20 años, el número de procedimientos quirúrgico-implantológicos aumentó exponencialmente en todo el mundo, alcanzando cerca de un millón de procedimientos anuales.⁶ La oseointegración es influenciada por diversos factores, incluyéndose en ellos la topografía y la química de superficie.^{6,7}

La topografía de la superficie de un implante está determinada por el tipo de tratamiento a la que ella fue sometida. Inicialmente, las superficies eran *usadas* o lisas. Posteriormente, surgieron diferentes tipos de tratamiento de superficie (TS) (como condicionamiento ácido, jateamiento por partículas, anodización, entre otros) que fueron desarrollados con la finalidad de crear microrugosidades superficiales, aumentando así el área de contacto tejido óseo-implante y la estabilidad mecánica inicial.⁸

Si bien estos TS poseen una extensa y bien documentada literatura que respalda el éxito alcanzado para cada técnica,^{9,10,11} poca diferencia clínica e histológica ha sido observada entre estas superficies después de 21 días de instalación del implante o una vez que este entra en función. Esto ha mantenido abierto el debate sobre cual sería el TS ideal en implantología.¹²

Químicamente, la superficie de los implantes consta de una delgada capa de óxidos de titanio y su limpieza ha sido considerada un requisito indispensable para lograr la oseointegración.^{13,14} Sin embargo, en este estudio, el análisis XPS mostró claramente que la composición química de la capa de óxido superficial consistió de titanio (Ti), oxígeno (O), silicio (Si) y carbono (C) en todas las muestras. Este mismo resultado fue reportado en otros estudios.^{15,16} Fueron identificados además elementos como aluminio (Al), azufre (S), plomo (Pb), fósforo (P), calcio (Ca), sodio (Na) y nitrógeno (N), también identificados en estudios previos.¹⁷

La presencia de contaminantes en las superficies depende en gran medida de las condiciones de fabricación, mecanizado, temperatura, exposición al aire, lubricantes, esterilización, almacenamiento, embalaje y manipulación de los implantes.¹⁸ Todos estos procesos pueden potencialmente contaminar las superficies con sustancias orgánicas e inorgánicas.^{19,20}

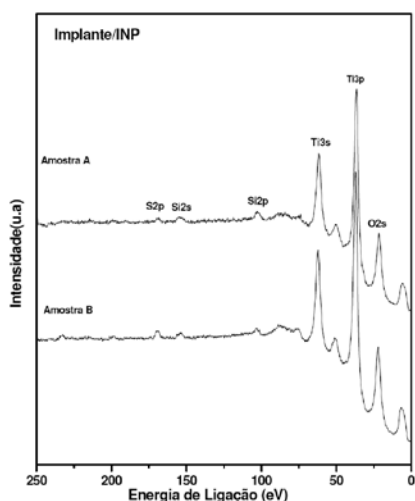


Figura N.º 5. Espectros de los Implantes del grupo III muy parecidos, presentando picos característicos de impurezas como S y Si, además de los esperados Ti y O.

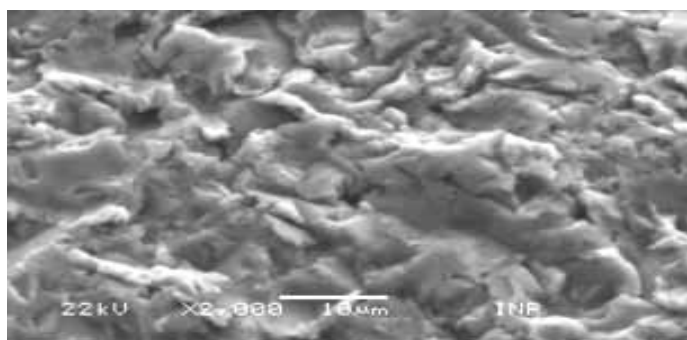


Figura N.º 6. Imagen de MEB de una Superficie de implante del Grupo III (con aumento de 2000 veces)

Cuando analizamos los grupos, observamos que el Grupo I (Titanium Fix) presentó los siguientes contaminantes: C, Si, S y Al. Este implante recibió TS en base a *Plasma Spray de Titanio* (TPS) un proceso en el cual el titanio fundido es pulverizado sobre la superficie del implante, promoviendo así rugosidades. Sin embargo, según el análisis químico, el Al presentó una concentración elevada (17 %). Si consideramos que la muestra fue tratada con TPS (según información del fabricante), el Al presente probablemente esté relacionado con la contaminación por óxido de alúmina (Al_2O_3) o por el uso de instrumentos rotatorios que pudieron contaminar superficialmente las muestras.²¹ Esto podría indicar deficiencias en los procesos de limpieza. Otros contaminantes como S podrían indicar problemas en la eliminación completa de agentes ácidos (H_2SO_4) utilizados para el acondicionamiento de superficies.

El Grupo II (Titamax) presentó por su parte el mayor número de contaminantes: C, Pb, Al, Si, Ca, Na y P. Los implantes de este grupo recibieron doble TS: por jateamiento de partículas de alúmina y acondicionamiento ácido.

Otros contaminantes identificados, como Ca y Na, pueden estar presentes debido al uso de detergentes industriales durante los procesos de limpieza. Estos elementos también pueden ser identificados cuando los implantes son sometidos a esterilización por autoclave o cuando son sumergidos en agua.^{22,23}

La contaminación por P, Pb y Si podrían estar relacionados a los residuos de los materiales de pulido y lubrica-

ción, y su presencia sugeriría también una deficiencia en la limpieza final de los implantes.²³ Además, la contaminación con Si ha sido relacionada al uso de empaques de vidrio, mientras que la presencia de Mg puede deberse al contacto con guantes durante la manipulación de los implantes. La contaminación con Pb también puede ser posible durante el proceso de envasado.^{18,20}

El Grupo III (INP) presentó los siguientes contaminantes: C, Si, Ca e N. Este grupo recibió TS por jateamiento con partículas de Ti_2O_3 . La contaminación por C y N identificados podría estar relacionada con la adsorción de este elemento de la atmósfera durante su manipulación o envasado, siendo considerada como inevitable.²⁴ Aunque según la ASTM - F67, trazas de carbono en las superficies de los implantes no representaría necesariamente una contaminación, su presencia también podría estar relacionada a restos de disolventes cetónicos usados durante el proceso de fabricación.¹⁵

Aunque los límites normales y patológicos de la presencia de estos elementos químicos (señalados como contaminantes de superficie) aún no están claramente definidos, se ha sostenido que pueden actuar como células electrolíticas e interferir con el proceso de osteointegración.^{4,25,26,27} Así, iones de Al son sospechosos de interferir en la formación ósea por una posible acción competitiva con el calcio. Además, iones de Al son residuos de difícil remoción y su presencia puede alterar la química de la superficie, disminuyendo la resistencia a la corrosión del titanio.²⁸ Para Orzini

et al. (2000)¹³, las superficies contaminadas con estos iones deberían ser consideradas como citotóxicas. Elementos como el Si y Mg han sido claramente identificados en implantes que presentaron fallas en la osteointegración. Otros elementos como C, debido a su condición hidrofóbica, teóricamente podrían dificultar la adherencia de las biomoléculas, fibroblastos y osteoclastos a la superficie del implante.¹⁹

En contraste, diversos estudios que evaluaron clínica e histológicamente la presencia de elementos como C, Al, Na, Ca, Si, Fe, P y Cr llegaron a la conclusión de que, en pequeñas concentraciones, estos elementos aparentemente no afectan el proceso normal de osteointegración.^{9,10,14,23,29}

Conclusiones

El análisis por XPS reveló los elementos Ti, O, Si y C en todos los grupos evaluados. Los implantes Titamax presentaron el más amplio espectro de contaminantes.

Futuros efectos adversos en el comportamiento biológico de los implantes podrían evitarse mediante la identificación y cuantificación precisa de los elementos presentes en sus superficies.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a:

Prof. Dra. Erika Harth-Chú por su ayuda en el desarrollo y corrección del manuscrito.

Prof. Dr. José A Barbosa por su contribución económica para la ejecución de esta investigación.

Referencias bibliográficas

- Szmukler-Moncler S, Piattelli A, Favero GA, Dubruille JH. Considerations preliminary to the application of early and immediate loading protocols in dental implantology. *Clin Oral Implants Res.* 2000; 11: 12-25.
- Albrektsson T, Branemark PI, Hansson HA, Lindstrom J. Osseointegrated titanium implants. Requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man. *Acta Orthop Scand* 1981;52(2):155-70.
- Kasemo, B.; Lausmaa, J. Surface science aspects on inorganic materials. *Crit Rev Biocompatibil*,1986; 2 :335-380.
- Olefjord I, Hansson S. Surface analysis of four dental implants systems. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1993; 8(1): 32-40.
- Schwarz F, Herten M, Sager M, Wieland M, Dard M, Becker J. Histological and immunohistochemical analysis of initial and early osseous integration at chemically modified and conventional SLA titanium implants: preliminary results of a pilot study in dogs. *Clin Oral Implants Res.* 2007; 18: 481 - 8.
- 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.
- Esposito M, Coulthard P, Thomsen P, Worthington HV. The role of implant surface modifications, shape and material on the success of osseointegrated dental implants. A Cochrane systematic review. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2005;13:15-31.
- Jarmar T, Palmquist A, Branemark R, Hermansson L, Engqvist H, Thomsen P. Characterization of the surface properties of commercially available dental implants using scanning electron microscopy, focused ion beam, and high-resolution transmission electron microscopy. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2008 ;10(1):11-22.
- Guo Z, Zhou L, Rong M, Zhu A, Geng H. Bone response to a pure titanium implant surface modified by laser etching and microarc oxidation. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2010; 25(1):130-6.
- Wennerberg A, Albrektsson T. Effects of titanium surface topography on bone integration: a systematic review. *Clin Oral Implants Res.* 2009; 20 (4):172-84
- Del Fabbro M, Testori T, Francetti L, Weinstein R. Systematic review of survival rates for implants placed in the grafted maxillary sinus. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2004; 24(6): 565-77.
- Wennerberg A, Albrektsson T, Lausmaa J. Torque and histomorphometric evaluation of c.p. titanium screws blasted with 25 and 75 μ m-sized particles of AL_2O_3 . *J Biomed mater res* 1996;30:251-260.
- Orsini G, Assenza B, Scarano A, Piattelli M, Piattelli A. Surface analysis of machined versus sandblasted and acid-etched titanium implants. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2000;15(6):779-84.
- Piattelli A, Degidi M, Paolantonio M, Mangano C, Scarano A. Residual aluminum oxide on the surface of titanium implants has no effect on osseointegration. *Biomaterials.* 2003; 24(22):4081-9.
- Larsson C, Thomsen P, Aronsson BO, Rodahl M, Lausmaa J, Kasemo B, Ericson LE. Bone response to surface-modified titanium implants: studies on the early tissue response to machined and electropolished implants with different oxide thicknesses. *Biomaterials.* 1996;17(6):605-16.
- Lu X, Wang Y, Yang X, Zhang Q, Zhao Z, Weng LT, Leng Y. Spectroscopic analysis of titanium surface functional groups under various surface modification and their behaviors in vitro and in vivo. *J Biomed Mater Res A.* 2008 Feb; 84(2):523-34.
- Maeztu M A, Alava J I, Gay-Escoda C. Ion implantation: surfacetreatment for improving the bone integration of titanium and Ti6Al4V dental implants. *Clin. Oral Impl. Res.* 14, 57-6. 2003.
- Binon PP, Weir DJ, Marshall SJ. Surface analysis of an original Branemark implant and three related clones. *Int. J Oral Maxillofac. Implants* 1992; 7(2): 168-75.
- Lausmaa J. Surface spectroscopic characterization of titanium implant materials. *J Elect Spectr Rel Phen* 1996; 81:343-61.
- Esposito E, Lausmaa J, Hirsch JM, Thomsen P. Surface analysis of failed oral titanium implants. *J Biomed Mater Res* 1999;48:559-68.
- Sardinha, S. Análise química e topográfica da superfície de implantes de titânio comercialmente puro através de espectroscopia de fotoelétrons excitada por raios - X (XPS) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) [Tese]. Piracicaba: UNICAMP/FOP; 2003.
- Park JY, Davies JE. Red blood cell and platelet interactions with titanium implant surfaces. *Clin Oral Implants Res.* 2000;11:530-9.
- Shibli JA, Marcantonio E, d'Avila S, Guastaldi AC, Marcantonio E Jr. Analysis of failed commercially pure titanium dental implants: a scanning electron microscopy and energy-dispersive spectrometer x-ray study. *J Periodontol.* 2005; 76(7):1092-9.
- Wever D. Electrochemical and surface characterization of nickel-titanium alloy. *Biomaterials* 1998; 19(7); 761-69.
- Lumbikanonda, N, Sammons, R. Bone cell attachment to dental implants of different surface characteristics. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2001; 16: 627-636.
- Leize, E-M., Hemmerlé, J., Leize, M. Characterization, at the bone crystal level, of the titanium-cating/ bone interfacial zone. *Clin Oral Impl Res*, 2000; 11 (4): 279-288.
- Mc Cracken, M. et al., Analysis of Ti-6Al-4V implants placed with fibroblast growth factor 1 in rat tibiae. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2001;16: 495- 502.
- Aparicio C, Gil FJ, Fonseca C, Barbosa M, Planell JA. Corrosion behavior of commercially pure titanium shot blasted with different materials and size of shot particles for dental implant applications. *Biomaterials* 2003;24:263-73.
- Jofré J, Conrady Y, Carrasco C. Survival of splinted mini-implants after contamination with stainless steel. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2010; 25(2):351-6.