

Efecto de la condición de carga en un implante dental mono componente sobre la distribución de esfuerzos en el hueso tipo IV

Effect of the loading condition of one-component dental implant on the stress distribution in a type IV quality bone

Ing. Perla Sarria Popowski,^I Dr. Jesús Eduardo González Ruíz,^{II} Ing. Diana Rosa González Sánchez,^I Dr. Melchor Rodríguez Madrigal,^I Ing. Roberto Rodríguez Fuentes^I

^I Grupo Biomecánica. Facultad de Ingeniería Mecánica. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Cujae. La Habana, Cuba.

^{II} Centro de Biomateriales. Universidad de La Habana. La Habana, Cuba.

RESUMEN

Introducción: la capacidad de soportar cargas de los implantes dentales osteointegrados es significativo, dependiente de su condición de carga y de la calidad ósea de los maxilares.

Objetivo: analizar la influencia de la condición de carga de un implante dental monocomponente con rosca de perfil cuadrado, sobre la distribución de esfuerzos en el hueso de calidad tipo IV.

Métodos: un modelo tridimensional de un segmento de maxilar humano con un implante dental monocomponente, fue creado. Se usó técnicas de diseño *Computer Assisted Design* y simulado su comportamiento mediante el *Finite Element Method*. En la disimulo se usaron cuatro condiciones de carga del implante dental: axial, buco-lingual, mesio-distal y combinada.

Resultados: en la interfaz hueso cortical - implante se obtuvieron los máximos valores de esfuerzos equivalentes, al evaluar la condición de carga combinada. Por otro lado, en la interfaz hueso trabecular – implante dental, la condición de carga combinada genera los máximos valores de esfuerzos equivalentes, en la parte inferior de la zona apical y los mínimos valores en la región próxima al hueso cortical.

Conclusiones: se obtuvo la distribución de esfuerzos en el implante dental y en su interfaz con los huesos cortical y trabecular. La condición de carga del nuevo implante dental monocomponente estudiado, tiene influencia significativa sobre los niveles de esfuerzos en el implante y en los huesos cortical y trabecular en maxilares con calidad ósea IV.

Palabras clave: condición de carga, implante dental monocomponente, esfuerzos equivalentes de von Mises, análisis por elementos finitos, calidad ósea, rosca cuadrada.

ABSTRACT

Introduction: the load-supporting capacity of osseointegrated dental implants is significant depending on their loading condition and on the maxillae's bone quality.

Objective: to analyze the influence of the loading conditions of a single component dental implant with square thread on the stress distribution in a type IV quality bone.

Methods: a three-dimensional model of a human maxillary segment with a single component dental implant was designed. The Computer Assisted Design techniques were used for design together with the Finite Element Method to simulate its behavior. Three loading conditions of the implant dental were examined: axial, oral-lingual, mesiodistal and combined.

Results: the cortical bone-implant interface showed the highest equivalent stress values when evaluating the combined loading condition. On the other hand, in the trabecular bone-dental implant interface, the combined loading condition generated the highest equivalent stress values just in the lower part of the apical area and the lowest values in the proximal region to the cortical bone.

Conclusions: the stress distribution in the dental implant and in its interface within the cortical bone and the trabecular bone were shown in this study. The loading condition of the new single component dental implant has a significant effect on the levels of stress in the implant and in the cortical and trabecular bones located in the type IV osseous quality maxillae.

Keywords: loading condition, single component dental implant, Von Mises equivalent stresses, finite element analysis, bone quality, square thread.

INTRODUCCIÓN

Los procedimientos quirúrgicos y protésicos en la odontología han evolucionado en función de responder a la necesidad de lograr rehabilitaciones más eficaces y satisfactorias para los pacientes. Con este propósito, los implantes endóseos son usados como sustituto de la raíz del diente, en pacientes parcial o total, edéntulos.¹

En la tasa de éxito de este tipo de tratamiento, aún se reportan fracasos relacionados con la biomecánica del implante.² El análisis mediante el *Finite Element Method* (FEM) ha sido aplicado por muchos autores para pronosticar el comportamiento biomecánico de los implantes dentales.³ En los modelos se tienen en cuenta parámetros tales como; la geometría del implante, la matriz ósea del sistema mandibular, la magnitud

y la dirección de las fuerzas masticatorias. Los esfuerzos, las deformaciones son obtenidos en todo el volumen de control, se usa FEM.

Alrededor de los implantes endóseos, se observa una pequeña pérdida de hueso, cuya causa es vinculada con los niveles de esfuerzos y deformaciones.^{4,5} La relación entre el esfuerzo y la pérdida ósea ha sido reportada en diferentes trabajos.⁶ El proceso de reabsorción ósea afecta máxime, la región roscada en la interfaz hueso implante.^{7,8} Los esfuerzos alrededor del implante endóseo son afectados por factores biomecánicos tales como; el tipo de carga, las propiedades del material del implante, su geometría, la superficie, la calidad y cantidad de hueso circundante al implante.^{4,9}

La fuerza masticatoria es aplicada en la interfaz hueso - implante en tres direcciones principales: axial, meso distal y buco lingual.¹⁰ La magnitud de estas fuerzas afecta la distribución de los esfuerzos en el implante y la matriz ósea. El efecto combinado de las fuerzas masticatorias ha sido valorado, se aplica el método de los Elementos Finitos.⁵

Se ha demostrado que el diseño del implante tiene una influencia significativa sobre el nivel de esfuerzo en el hueso.^{11,12} Además, hay otros factores que influyen en los esfuerzos del hueso alrededor del implante; como la inclinación y forma de la rosca.^{8,13,14} Diferentes formas de perfil roscado se emplean en los implantes dentales: triangular, cuadrada y tipo sierra.^{8,13}

La calidad de hueso también, tiene influencia sobre los esfuerzos en la interfaz - hueso implante. Según *Lekholm y Zarb*,¹¹ existen cuatro tipos de calidad ósea. La tasa de éxito de los implantes colocados en hueso con calidad IV oscila entre 50 and 80 %.¹¹

El objetivo de este trabajo es analizar el efecto de las condiciones de carga de un implante dental monocomponente roscado con perfil cuadrado, en la distribución de esfuerzos en hueso con calidad ósea IV.

MÉTODOS

Un implante dental monocomponente anclado, con perfil de rosca cuadrado, de paso 1.2 mm, diámetro máximo 3.8 mm y la longitud de contacto hueso implante 13 mm, ha sido utilizado para el estudio. Un segmento tridimensional de la región molar de una mandíbula humana, donde ha sido fijado el implante dental monocomponente, fue modelado, se empleó técnicas de (Diseño Asistido por Computadoras por sus siglas en inglés) (CAD) y el método de cálculo de esfuerzos y deformaciones FEM.

Este segmento está formado por hueso tipo IV y compuesto por dos volúmenes (*Fig. 1A*): una capa exterior de hueso cortical, con espesor de alrededor de 0,5 mm y una interior de hueso trabecular. La longitud del segmento óseo a lo largo de la dirección meso-distal es de alrededor de 10 mm, mientras que su altura media es cerca de de 32 mm. El implante fue colocado en la mitad del segmento óseo. En el modelo se consideraron diferentes niveles de refinamiento de la malla de elementos finitos, se usó un criterio de convergencia. A última hora, fue utilizada una malla con 185805 nodos y 193727 elementos.

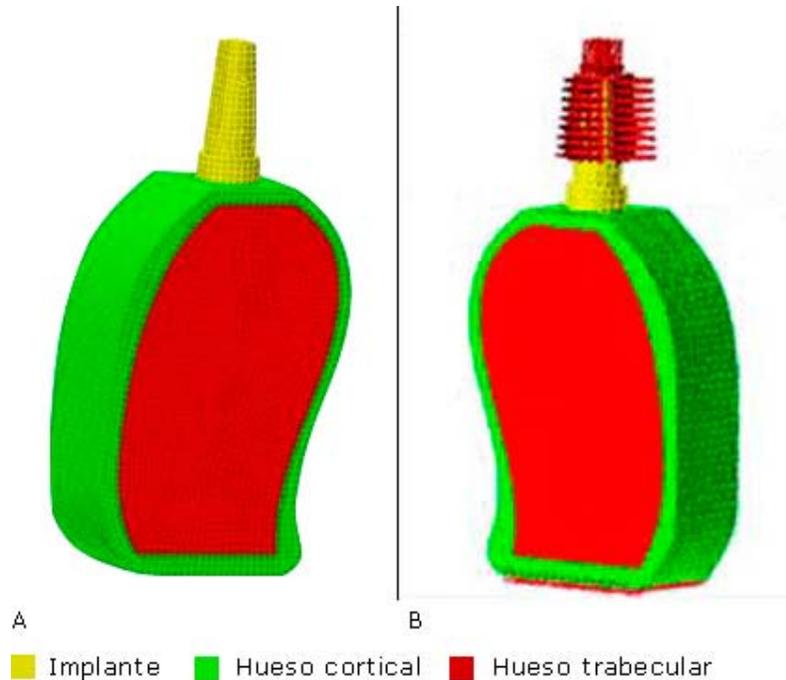


Fig. 1. A). Sección de mandíbula con hueso cortical, trabecular e implante. **B).** Condiciones de fronteras del modelo.

Las cargas fueron aplicadas en la superficie superior de implante. Estuvieron empleadas cuatro cargas diferentes; axial, buco lingual, meso distal y combinadas, con valores: 114,6 N, 17,1 N y 23,4 N al respecto, (Fig. 1B). De acuerdo con *Himmlova*,¹⁰ estas condiciones de carga simulan el efecto de la fuerza masticatoria media de 118,2 N, en la dirección del ángulo de 75° con el plano oclusal. Las propiedades materiales del implante y el hueso se tomaron según lo reportado por *Lin*.¹⁵ Para el hueso trabecular de densidad 0,5 g/cm³ el Módulo de Elasticidad es de 696 MPa y para el hueso cortical de densidad 1,7 g/cm³ es de 13 000 MPa. El coeficiente de Poisson es de 0,3 para ambos. Para el implante de Ti-6Al-4V el Módulo de Elasticidad es de 113 000 MPa y Poisson 0,35.

RESULTADOS

En la [figura 2](#) se muestran los esfuerzos equivalentes en el cuerpo del implante de una aleación de titanio tipo Ti6AlV4 para las cuatro condiciones de carga simuladas. Los mayores valores de esfuerzos se obtuvieron en el pilar y en la zona roscada próxima al cuello del implante. Además, en todas las condiciones de carga simuladas el menor nivel de esfuerzos, se observa en la zona exterior de la rosca. Por otro lado, al comparar los cuatro modelos, se aprecian diferencias entre los niveles de esfuerzos máximos obtenidos, fueron las mayores para la carga combinada, (Fig. 2D). Estos esfuerzos no representan peligro de colapso del implante.

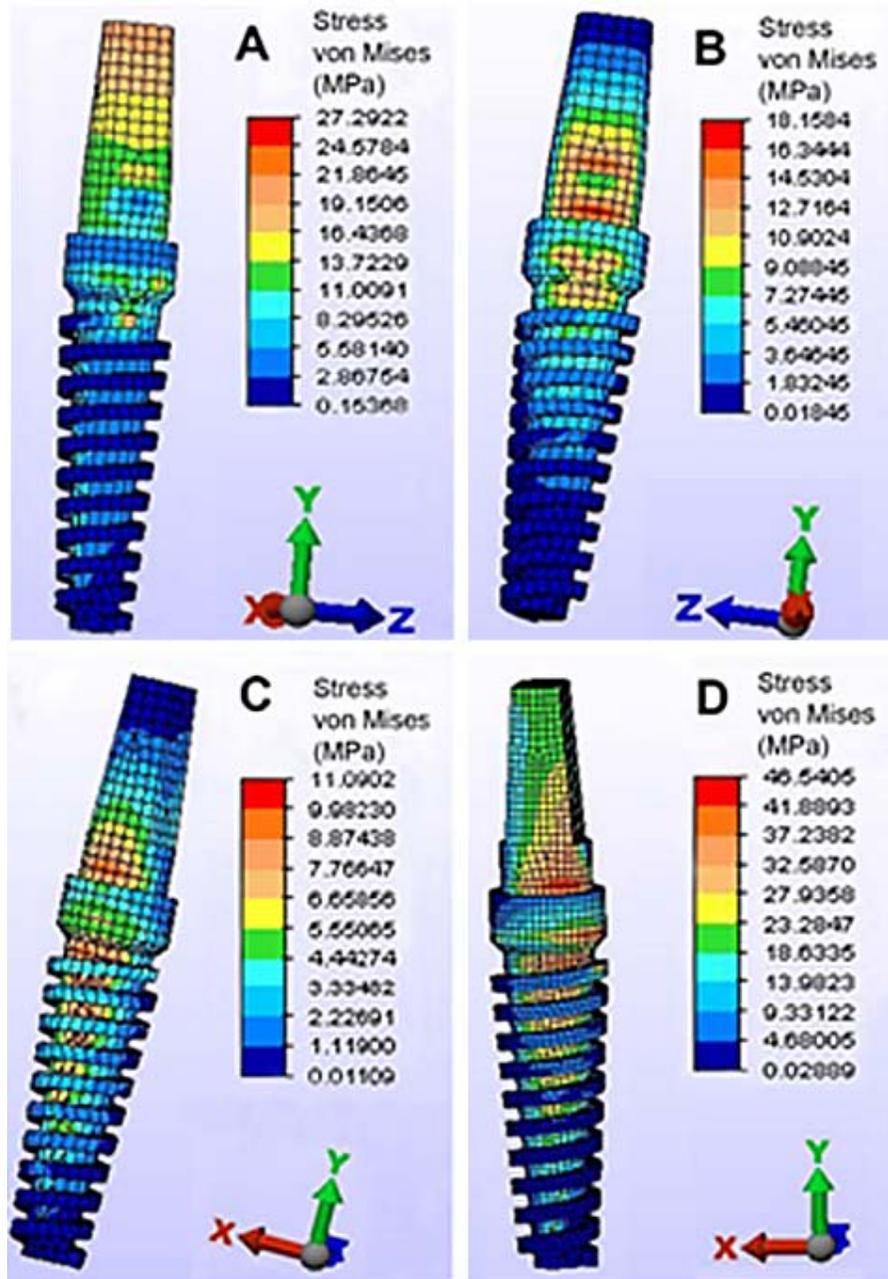


Fig. 2. Distribución de esfuerzos equivalentes en el implante. A). Carga axial. B). Carga buco-lingual. C). Carga mesio-distal. D). Carga combinada.

En la figura 3 se observa que las cuatro condiciones de carga estudiadas generan las mayores concentraciones de esfuerzos en la parte superior del hueso cortical, próximo al cuello de implante. Además, los esfuerzos máximos se obtuvieron al utilizar la condición de carga combinada.

Para la condición de cargas combinadas figura 3D, se observa que los esfuerzos alrededor del implante están en un rango de 12 a 24 MPa. Sin embargo, una excepción de este comportamiento está en la cara distal, de la zona superior del hueso cortical (ampliación en la figura 3), donde prevalecen tensiones entre 0,2 y 6,4 MPa.

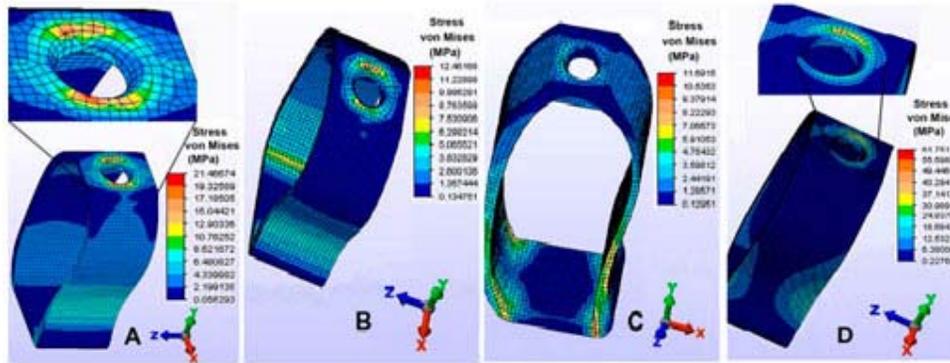


Fig. 3. Distribución de las tensiones equivalentes de von Mises en el hueso cortical. Condición de carga: **A).** Axial. **B).** Buco-lingual. **C).** Mesio-distal. **D).** Combinada.

Las cuatro condiciones de carga aplicadas, generaron los mayores valores de esfuerzos equivalentes dentro del hueso trabecular, en el área correspondiente a la parte inferior de la región apical (Fig. 4). En el exterior de la rosca, hay pequeñas áreas (ampliación en la figura 4) donde están concentrados los mayores valores de los esfuerzos (7,7 MPa bajo la carga combinada).

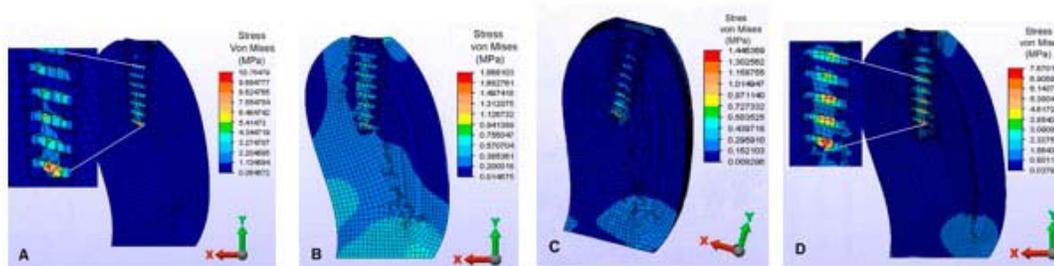


Fig. 4. Esfuerzos equivalentes en la sección transversal del hueso trabecular. Condición de carga: **A).** Axial. **B).** Buco-lingual. **C).** Mesio-distal. **D).** Combinada.

DISCUSIÓN

El éxito de los implantes dentales depende de la influencia en la transmisión de esfuerzos del implante a la matriz ósea, de la calidad ósea, de la geometría del implante, y de las condiciones de carga.^{11,13,16,17} Los resultados muestran la posibilidad de implementar en el modelo, la carga combinada que representa los efectos masticatorios sobre la estructura implante y matriz ósea.

Los niveles de esfuerzos, al igual que los resultados reportados en la literatura,¹⁸⁻²⁰ facilitan la remodelación ósea para la densidad del hueso cortical y trabecular evaluado.

La [figura 5](#) muestra la distribución de esfuerzos en el implante y en los huesos cortical y trabecular. La carga axial genera mayores tensiones que el resto de las direcciones de carga estudiadas. Este resultado corrobora que la distribución de tensiones depende, entre otros factores, de la dirección de la carga. El efecto combinado de las cargas, aporta los mayores valores de esfuerzos tanto para el implante, como para los huesos trabecular y cortical.

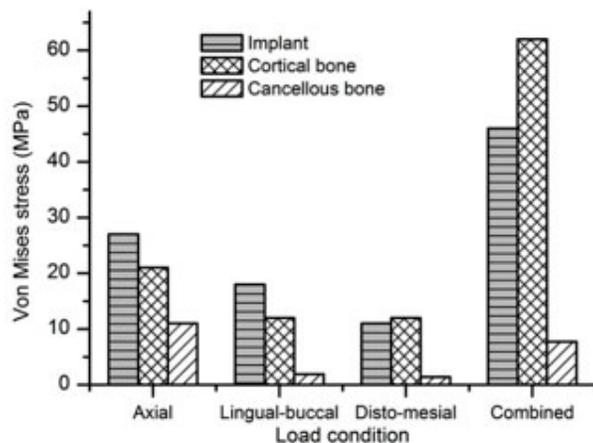


Fig. 5. Influencia de la condición de carga en las máximas tensiones equivalentes de von Mises obtenidas en el implante y en los huesos cortical y trabecular.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Van-Oosterwick H, Duyck J, Vander Sloten J, Vander Perre G, De Cooman M, Lievens S, et al. The influence of bone mechanical properties and implant fixation upon bone loading around oral implant. *Clin Oral Implants Res.* 1998;9(6):407-18.
2. Simonis P, Dufour T, Tenenbaum H. Long-term implant survival and success: a 10–16-year follow-up of non-submerged dental implants. *Clin Oral Implants Res.* 2010;21(7):772-7.
3. Cheng HY, Chu KT, Shen FC, Pan YN, Chou HH, Ou KL, et al. Stress effect on bone remodeling and osseointegration on dental implant with novel nano/microporous surface functionalization. *J Biomed Mater Res A.* 2013;101(4):1158-64.
4. Assenza B, Scarano A, Perrotti V, Vozza I, Quaranta A. Peri-implant bone reactions around immediately loaded conical implants with different prosthetic suprastructures: histological and histomorphometrical study on minipigs. *Clin Oral Invest.* 2010;14(3):285-90.
5. Mahajan A, Kadam KN. The Influence of Mechanical Loads on the Biomechanics of Dental Implant. *Int J Sci Res.* 2014;3(11):1085-90.

6. Lin CL, Lin YH, Chang SH. Multi-factorial analysis of variables influencing the bone loss of an implant placed in the maxilla: Prediction using FEA and SED bone remodeling algorithm. *J Biomech.* 2010;43(4):644-51.
7. Shelat S, Kularashmi BS, Annapoorani H, Chakravarthy R. Effect of two different abutment types on stress distribution in the bone around an implant under two loading conditions. *J Dent Implant.* 2011;1(2):80-5.
8. Lan TH, Du JK, Pan CY, Lee HE, Chung WH. Biomechanical analysis of alveolar bone stress around implants with different thread designs and pitches in the mandibular molar area. *Clin Oral Invest.* 2012;16(2):363-9.
9. Merdji A, Bouiadjra BB, Chikh BO, Mootanah R, Aminallah L, Serier B, et al. Stress distribution in dental prosthesis under an occlusal combined dynamic loading. *Mater Design.* 2012;36(1):705-13.
10. Himmlova L, Dostalova T, Kacovsky A, Konvickova S. Influence of implant length and diameter on stress distribution: A finite element analysis. *J Prosthet Dent.* 2004;91(1):20-5.
11. Sevimay M, Turhan F, Kilicarslan MA, Eskitascioglu G. Three-dimensional finite element analysis of the effect of different bone quality on stress distribution in an implant-supported crown. *J Prosthet Dent.* 2005;93(3):227-34.
12. Li T, Kong L, Wang Y, Hu K, Song L, Liu B, et al. Selection of optimal dental implant diameter and length in type IV bone: a three-dimensional finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2009;38(10):1077-83.
13. Anitua E, Tapia R, Iuzoriaga F, Orive G. Influence of implant length, Diameter and Geometry on Stress Distribution: A Finite Element Analysis. *Int J Periodont Restorative Dent.* 2010;30(1):89-95.
14. Faegh S, Sinan M. Load transfer along the bone – dental implant interface. *J Biomech.* 2010;43(9):1761-70.
15. Lin D, Li Q, Li W, Swain M. Dental implant induced bone remodeling and associated algorithms. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2009;2(5):410-32.
16. Eraslan O, İnan Ö. The effect of thread design on stress distribution in a solid screw implant: a 3D finite element analysis. *Clin Oral Investig.* 2010;14(4):411-6.
17. Şahin S, Cehreli MC, Yalcin E. The influence of functional forces on the biomechanics of implant-supported prostheses-a review. *J Dent.* 2002;30(7):271-82.
18. Djebbar N, Serier B, Bouiadjra BB, Benbarek S, Draï A. Analysis of the effect of load direction on the stress distribution in dental implant. *Mater Design.* 2010;31(4):2097-101.
19. Okumura N, Stegaroiu R, Kitamura E, Kurokawa K, Nomura S. Influence of maxillary cortical bone thickness, implant design and implant diameter on stress around implants: a three-dimensional finite element analysis. *J Prosthodont Res.* 2010;54(3):133-42.

20. Wang C, Li Q, McClean C, Fan Y. Numerical simulation of dental bone remodeling induced by implant-supported fixed partial denture with or without cantilever extension. *Int J Numer Methods Biomed Eng.* 2013;29(10):1134-47.

Recibido: 2 de mayo de 2015.
Aprobado: 3 de junio de 2015.

Perla Sarria Popowski. Grupo Biomecánica. Facultad de Ingeniería Mecánica. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" Cujae. 119 s/n, Marianao, La Habana, Cuba.
Correo electrónico: perla@mecanica.cujae.edu.cu