

# Análisis tridimensional de elemento finito de la transmisión de carga utilizando diferentes inclinaciones de implante y longitudes de cantiléver

Marco Bevilacqua, DDS<sup>1</sup>/Tiziano Tealdo, DDS, MS, DT<sup>2</sup>/Francesco Pera, DDS<sup>1</sup>/Maria Menini, DDS<sup>1</sup>/Alexei Mossolov, ENG<sup>3</sup>/Carl Drago, DDS, MS<sup>4</sup>/Paolo Pera, MD, DDS, PhD<sup>5</sup>

Muchos estudios clínicos han informado de índices de supervivencia elevados en los implantes inclinados. Sin embargo, los implantes inclinados transmiten un aumento de la tensión al hueso en comparación con los implantes colocados de forma vertical. Para resolver eficazmente esta cuestión están justificados los estudios teóricos (mediante ordenador), clínicos y de laboratorio. En este estudio se realizó un análisis tridimensional de elemento finito para analizar la tensión de los implantes inclinados frente a los verticales. Los resultados revelaron evidencias técnicas y biomecánicas de que la inclinación distal de los implantes, férulizados en prótesis fijas completas sin cantiléver, redujo la cantidad de tensión generada en la zona ósea periimplante cuando se comparó con los niveles de tensión observados con los implantes verticales y los segmentos cantiléver en prótesis fijas completas similares.

*J Int Prosthodont 2009;11:197-200.*

La presencia del seno maxilar o del foramen mentoniano/nervio alveolar inferior suele impedir la colocación de implantes largos ( $> 10$  mm) en las zonas distales del maxilar y la mandíbula resorbida. Los implantes cortos ( $< 10$  mm) también pueden inhibir niveles altos de estabilidad primaria inicial, uno de los factores más importantes para la osteointegración satisfactoria de los implantes dentales en los protocolos de carga inmediata<sup>1</sup>. Algunos investigadores han aconsejado el uso de implantes largos e inclinados ( $\geq 13$  mm) para obtener niveles elevados de estabilidad primaria inicial. Adicionalmente, los implantes inclinados pueden optimizar la expansión anterior/posterior de los implantes para lograr un soporte molar satisfactorio para una

prótesis fija completa (PFC) de 12 piezas masticatorias. Este diseño de PFC también elimina el uso de extensiones en ménsula observadas generalmente con los implantes verticales para obtener el mismo número de piezas masticatorias (figura 1). Varios estudios clínicos han arrojado índices de supervivencia elevados de los implantes inclinados<sup>2,3</sup>. Sin embargo, sigue sin conocerse el nivel de tensión generado alrededor de los implantes inclinados. Para esclarecer esta cuestión de forma eficaz está justificada la realización de estudios teóricos (mediante ordenador), técnicos y clínicos.

El objetivo de este estudio técnico fue evaluar la transmisión de carga con implantes de diferente inclinación y diferentes ménsulas mediante un análisis tridimensional (3D) de elemento finito<sup>4</sup>. La hipótesis nula fue la ausencia de diferencias entre los implantes verticales e inclinados con respecto a las tensiones en el hueso periimplante.

## Materiales y métodos

Se creó un modelo de una mandíbula 3D edéntula utilizando un programa informático a medida (FEMAP 8.3 UGS). El valor de malla fue de 140.000 unidades. Los módulos elásticos se establecieron en 103.400 MPa para los implantes de titanio, 13.700 MPa para el hueso cortical, 1.370 para el hueso esponjoso y 210.000 MPa para el marco metálico de la PFC. La proporción de Poisson entre el titanio y el hueso se consideró igual a 0,3.

<sup>1</sup>Lecturer, Department of Prosthetic Dentistry, University of Genoa, Genova, Italy.

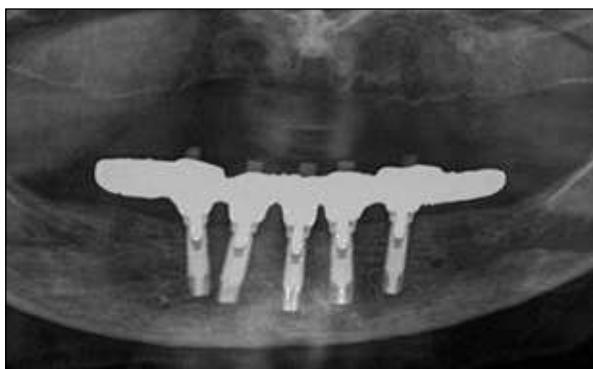
<sup>2</sup>Professor, Department of Prosthetic Dentistry, University of Genoa, Genova, Italy.

<sup>3</sup>Director, ITERA, Castelletto Stura, Italy.

<sup>4</sup>Director, Dental Research, Biomet 3i, Palm Beach Gardens, Florida.

<sup>5</sup>Professor and Head, Department of Prosthetic Dentistry, University of Genoa, Genova, Italy.

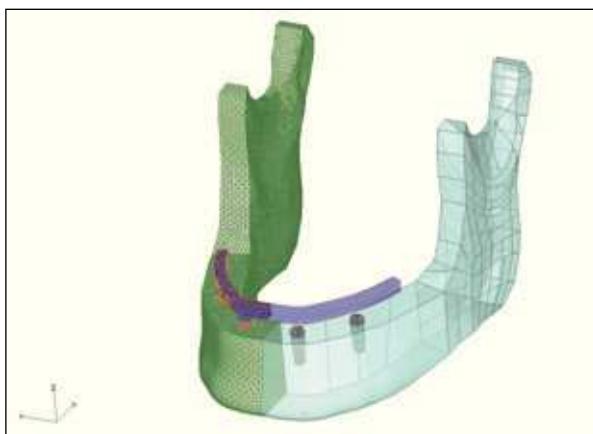
**Correspondence to:** Dr Marco Bevilacqua, Reparto di Protesi Dentaria, Largo R. Benzi 10, Padiglione 4, Ospedale S. Martino, Genova, Italy. Fax: +39-0103537584. e-mail: garibaldi4@libero.it



**Figura 1a** Radiografía panorámica de una mandíbula edéntula con una PFC convencional soportada por implantes verticales colocados en la zona intraforaminal de la mandíbula. Obsérvese la longitud de los segmentos cantiléver distales



**Figura 1b** Radiografía panorámica de una PFC soportada por implantes distales inclinados. Obsérvese la longitud reducida de los segmentos cantiléver sin una reducción significativa de la superficie oclusal de la prótesis



**Figura 2** Modelo tridimensional de una mandíbula edéntula. Se colocaron 4 implantes de tipo tornillo paralelos a la pared en la zona interforaminal de la mandíbula simulando el tratamiento clínico de un paciente edéntulo con una PFC. La primera configuración analizada presentó implantes distales bilaterales verticales y cantiléver de 15 mm

En la primera prueba realizada (prueba 1) se colocó virtualmente un implante de tipo tornillo (4 x 13 mm) paralelo a la pared con una inclinación variable (0, 15, 30 y 45 grados) en la zona molar y se cargó verticalmente con 150 N. Posteriormente se evaluaron las tensiones de von Mises del hueso periimplante tanto en el hueso compacto como en el esponjoso.

En la segunda prueba (prueba 2) se colocaron virtualmente 4 implantes de tipo tornillo (4 x 13 mm) paralelos a la pared en la zona interforaminal de la mandíbula, simulando el tratamiento clínico de un paciente edéntulo con una PFC. La PFC, con un marco metálico virtual (10 mm<sup>2</sup> de sección), fue diseñada con la oclusión del primer molar y la ferulización de todos los implantes. Las conexiones entre la superestructura y los implantes se proyectaron de forma rígida. Se aplicó una carga vertical (150 N) en un segmento cantiléver distal para estimular la fuerza de mordida. Los valores de la tensión de von Mises del hueso periimplante de la PFC se evaluaron según 4 configuraciones, siendo constante la longitud del marco. En la primera configuración, los implantes distales bilaterales se colocaron de forma vertical y los cantiléver median 15 mm de largo (figura 2). En la segunda, tercera y cuarta configuraciones, los implantes posteriores se inclinaron 15, 30 y 45 grados distalmente, y las ex-

tensiones del cantiléver fueron de 11,6, 8,3 y 5 mm, respectivamente.

## Resultados

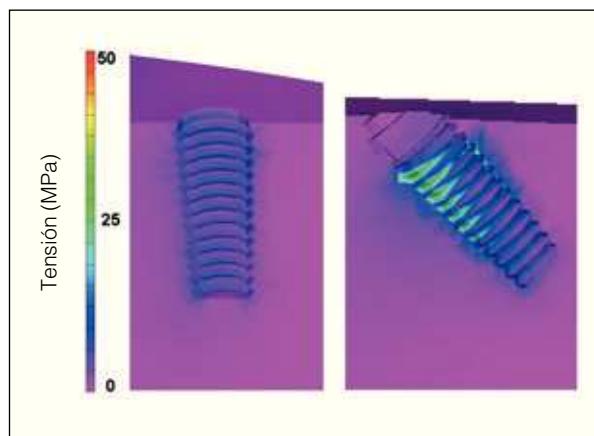
En cada prueba se utilizó para realizar la comparación el valor von Mises más alto en el hueso periimplante.

En la prueba 1, el único implante inclinado, sometido a una carga vertical, demostró una tensión del hueso periimplante mayor que el único implante vertical sometido a la misma carga vertical. La tensión aumentó a medida que aumentaba la inclinación de los implantes unitarios (figuras 3 y 4). Los resultados de la prueba 2 se presentan en la tabla 1. Cuando los implantes se ferulizaron en una PFC, el uso de implantes distales inclinados, con una longitud del cantiléver reducida, provocó una menor tensión mecánica en el hueso periimplante con respecto a los implantes verticales con un cantiléver más largo (figuras 5 y 6). Se observó una reducción de la tensión alrededor de los implantes anteriores con los implantes distales inclinados en comparación con el diseño de PFC con implantes verticales. Con respecto a la tensión del marco de la PFC se observaron valores de von Mises menores con los implantes inclinados que con los verticales.

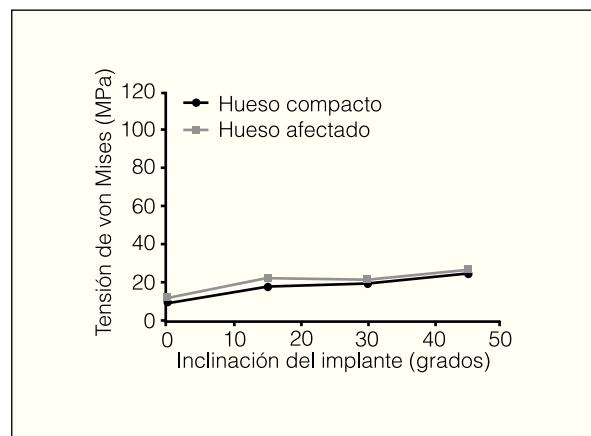
**Tabla 1** Resultados de la prueba 2: valores de la tensión en MPa (% de variación de la tensión\*) en un modelo de implantes ferulizados

Angulación del implante distal	Longitud cantiléver (mm)	Hueso compacto			Hueso esponjoso		
		Implante distal	Implante anterior	Marco metálico	Implante distal	Implante anterior	Marco metálico
0 deg	15	75,0	22,0	100,0	82,0	27,0	110,0
15 deg	11,6	63,0 (-16%)	14,0 (-36,4%)	88,0 (-12%)	68,0 (-17%)	18,0 (-33,3%)	98,0 (-10,9%)
30 deg	8,3	36,0 (-52%)	11,5 (-47,7%)	76,0 (-24%)	43,0 (-47,6%)	14,0 (-48,1%)	84,0 (-23,6%)
45 deg	5	25,0 (-66,7%)	10,0 (-54,5%)	59,0 (-41%)	36,0 (-56%)	12,0 (-55,5%)	63,5 (-42,3%)

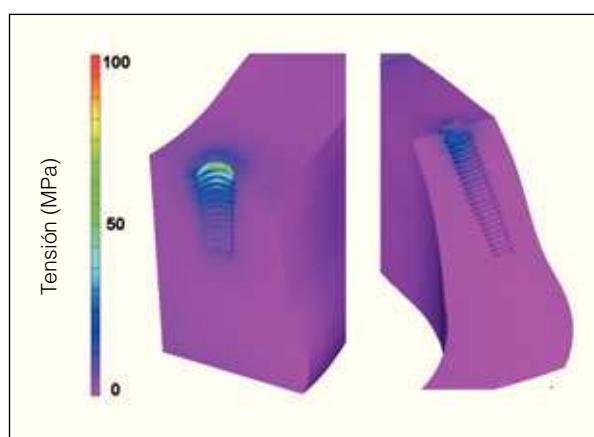
\*Hace referencia a los implantes verticales distales.



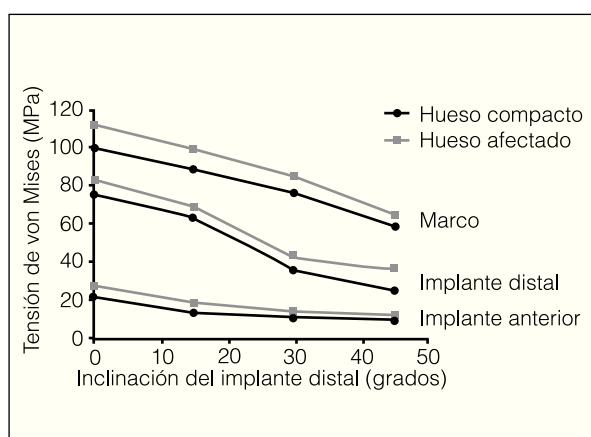
**Figura 3** Tensión de von Mises (MPa) alrededor de implantes unitarios sometidos a una carga vertical de 150 N en el hueso cortical. (izquierda) Modelo de 0 grados (máxima tensión: 10,6 MPa). (derecha) Modelo con 45 grados de inclinación (máxima tensión: 25 MPa)



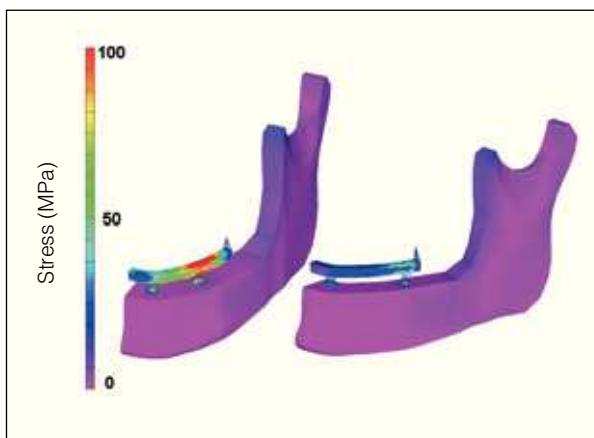
**Figura 4** Resultados de la prueba 1. Valores de la tensión (en MPa) en el modelo de implante unitario sometido a una carga vertical de 150 N



**Figura 5** Tensión de von Mises (MPa) alrededor de los implantes distales ferulizados sometidos a una carga vertical de 150 N en el hueso cortical. Los detalles se muestran sin la visualización del marco. (izquierda) Modelo de 0 grados con extensiones cantiléver de 15 mm (tensión máxima: 75 MPa). (derecha) Modelo con inclinación de 45 grados y extensiones cantiléver de 5 mm (tensión máxima: 25 MPa)



**Figura 6** Representación gráfica de la reducción de la tensión observada en el hueso periimplante rodeando los implantes distales y anteriores ferulizados en una PFC sometidos a una carga vertical de 150 N. Se han trazado las inclinaciones de los implantes, la longitud de los cantiléver y los valores del hueso esponjoso/compacto. También se han trazado las tensiones del marco metálico



**Figura 7** Marco de tensiones de una PFC en hueso cortical. (izquierda) Configuración vertical de implantes con extensiones cantiléver de 15 mm (tensión máxima: 100 MPa). (derecha) Modelo con implantes distales con inclinación de 45 grados y extensiones cantiléver de 5 mm (tensión máxima: 59 MPa)

## Discusión

Dentro de las limitaciones de este análisis virtual tridimensional, los resultados de este estudio demostraron que la carga y la inclinación de los implantes unitarios aumentó la tensión del hueso periimplante en comparación con la tensión observada alrededor de los implantes verticales. Por el contrario, la inclinación de los implantes distales que soportan segmentos en ménsula reducidos ferulizados de forma rígida en una PFC, redujeron la tensión del hueso periimplante y del marco de la PFC en comparación con los implantes verticales que soportan segmentos cantiléver (figura 7). La reducción de la longitud del cantiléver asociada al diseño de las PFC en los implantes inclinados desempeñó un papel clave en la reducción de la tensión periimplante observada.

## Bibliografía

1. Nedir R, Bischof M, Szmukler-Moncler S, Bernard JP, Samson J. Predicting osseointegration by means of implant primary stability. *Clin Oral Implants Res* 2004;15:520-528.
2. Maló P, Rangert B, Nobre M. «All-on-Four» immediate-function concept with Bränemark System implants for completely edentulous mandibles: A retrospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2003;5(suppl 1):2-9.
3. Maló P, Rangert B, Nobre M. All-on-4 immediate-function concept with Bränemark System implants for completely edentulous maxillae: A 1-year retrospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005;7(suppl 1):S88-S94.
4. Van Staden RC, Guan H, Loo YC. Application of the finite element method in dental implant research. *Comput Methods Biomech Biomed Engin* 2006 Aug;9:257-270.