

## Modelos de elementos finitos y ensayos mecánicos, un medio para evaluar placas cervicales

Iñigo Morales Martín<sup>1,2</sup>, Javier Melchor Duart Clemente<sup>3</sup>, Julio Vicente Duart Clemente<sup>4</sup>, Ignacio Bermejo Bosch<sup>1,2</sup>, Alfonso Oltra Pastor<sup>1,2</sup>, Inés Gil Guerrero<sup>2</sup>, Carlos M. Atienza Vicente<sup>1,2</sup>, Enrique Viosca Herrero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CIBER DE BIOINGENIERÍA, BIOMATERIALES Y NANOMEDICINA (CIBER-BBN)

<sup>2</sup>INSTITUTO DE BIOMECÁNICA DE VALENCIA

<sup>3</sup>SERVICIO DE NEUROCIRUGÍA, HOSPITAL LA FE

<sup>4</sup>SERVICIO DE COT, HOSPITAL DE NAVARRA

Gracias a las metodologías desarrolladas por el Instituto de Biomecánica (IBV) ha sido posible evaluar el comportamiento biomecánico de dos tipos de placas cervicales anteriores sin necesidad de realizar ensayos in vitro con muestras cadavéricas. Para ello se han empleado en su lugar ensayos mecánicos y modelos de elementos finitos en los que se ha estudiado el comportamiento del conjunto raquis-implante ante modificaciones del estado del injerto óseo utilizado para conseguir la fusión de las vértebras.

### Finite element models and mechanical testing for cervical plate assessment

The methodologies developed by the Instituto de Biomecánica (IBV) allow for biomechanical behaviour assessment of two types of anterior cervical plates without the need of in vitro testing of cadaveric samples. Instead, mechanical testing and finite element models have been used for studying the effect of bone graft modifications on the behaviour of the spine-implant assembly in order to achieve a proper fusion.

### INTRODUCCIÓN

La fijación de dos vértebras cervicales (artrodesis cervical) es un procedimiento quirúrgico relativamente habitual que va precedido de un procedimiento descompresivo de las raíces nerviosas o de la médula espinal, ya sea mediante la eliminación del disco intervertebral (discectomía) o bien mediante la eliminación de un cuerpo vertebral (corporectomía). Tras el procedimiento descompresivo se interpone entre las vértebras un injerto óseo para lograr la fusión de éstas. Con el fin de proporcionar una mayor estabilidad y favorecer la fusión de las vértebras, se implanta en el paciente una placa (frecuentemente de aleación de titanio) la cual va fijada mediante tornillos a la región anterior de las vértebras a fusionar.

Se pueden distinguir dos tipos principales de placas cervicales anteriores:

- **Estáticas**, que fueron las primeras en aparecer y en las que el movimiento de los tornillos en la placa está restringido.
- **Dinámicas**, las cuales permiten el movimiento de los tornillos con efecto compresivo de las vértebras sobre el injerto.

Las placas dinámicas, gracias a la libertad de movimiento que presentan, permiten una mayor transmisión de cargas a través del injerto óseo y un contacto continuado entre las vértebras y el injerto, lo que en teoría debería proporcionar una mejor fusión vertebral con respecto a las placas estáticas.

A continuación se presenta la metodología desarrollada por el Instituto de Biomecánica (IBV) como alternativa a los ensayos mecánicos en especímenes cadavéricos para evaluar el comportamiento biomecánico del conjunto raquis-implante, que presentan problemas de disponibilidad y gran variabilidad de resultados entre una muestra y otra. Esta metodología permite evaluar de forma efectiva el funcionamiento de las placas cervicales mediante ensayos biomecánicos con bloques de polietileno y métodos numéricos como son los modelos de elementos finitos.

### DESARROLLO

A continuación se describen las metodologías empleadas por el IBV para la evaluación del comportamiento biomecánico de placas cervicales mediante los modelos de elementos finitos y los ensayos biomecánicos.



## > Ensayos mecánicos

Mediante ensayos mecánicos es posible, por un lado, estudiar el comportamiento biomecánico de las placas cervicales y, por otro, validar los modelos de las placas cervicales; esto es, verificar que los resultados obtenidos mediante los modelos de elementos finitos de la placa se corresponden con los resultados obtenidos de forma experimental. El proceso completo que se ha seguido para la validación de los modelos se describe en la figura 1.

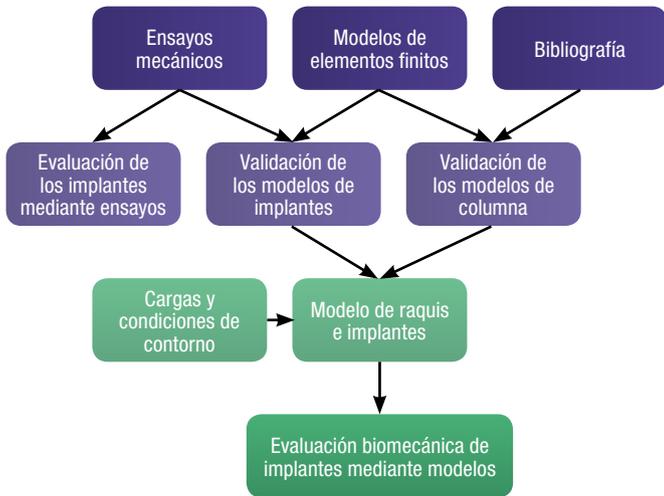


Figura 1. Proceso seguido para la validación de los modelos a partir de los ensayos mecánicos y de bibliografía. Los datos obtenidos en los ensayos mecánicos son también empleados en la evaluación de los implantes.

Para la realización de los ensayos biomecánicos se simulan los cuerpos vertebrales mediante bloques de polietileno y el injerto óseo mediante un muelle de rigidez conocida. El montaje empleado se basa en la norma internacional ISO12189:2008 "Implants for surgery- Mechanical testing of implantable spinal devices- fatigue test method for spinal implant assemblies using an anterior support" (Figura 2).



(a)



(b)

Figura 2. (a) Detalle del montaje empleado en los ensayos mecánicos de las placas cervicales. (b) Ensayo mecánico de compresión basado en la norma ISO 12189:2008.

Mediante el análisis de los datos obtenidos en los ensayos mecánicos (curvas fuerza-desplazamiento) es posible evaluar la rigidez de las distintas placas cervicales, comparando de una forma objetiva y con poca variabilidad el comportamiento de las placas dinámicas frente a las estáticas.

## Modelos de Elementos Finitos

Para evaluar el comportamiento biomecánico de las placas cervicales es necesario desarrollar, en primer lugar, un modelo del raquis cervical que represente de la forma más fiel posible las características tanto geométricas como de los materiales que lo componen (hueso, ligamentos o disco intervertebral). Asimismo, el modelo debe permitir la inclusión de las principales lesiones que se producen en la columna (eliminación del cuerpo vertebral o del disco intervertebral, etc.).

En segundo lugar, debe generarse el modelo de la placa cervical y sus tornillos de anclaje a la vértebra. A partir de los modelos de columna y de la placa cervical, se genera un único modelo raquis-implante sobre el que estudiar la influencia que tiene la modificación de ciertos parámetros de la columna o del implante sobre su comportamiento biomecánico (Figura 4).

El último paso antes de lanzar los análisis es introducir las cargas en el modelo. Para los modelos de raquis-implante de la columna cervical se han aplicado cargas de flexión, extensión y torsión del raquis. Una vez introducidas las cargas, es posible analizar y comparar el comportamiento biomecánico de los dos tipos de placas, estáticas y dinámicas, a partir de los resultados obtenidos, como:

- Porcentaje de carga transmitido a través del injerto óseo y porcentaje transmitido a través de la placa.
- Tensiones en la placa cervical.
- Tensiones en las vértebras adyacentes.

## RESULTADOS

### Ensayos mecánicos

En la figura 3 puede observarse una gráfica de fuerza frente a desplazamiento para una placa dinámica (línea azul) y otra estática (línea verde) en un caso de acortamiento de la longitud del injerto óseo. La gráfica ofrece información relevante sobre la fuerza necesaria para producir un determinado desplazamiento en cada uno de los casos. Para el de la placa dinámica, puede apreciarse cómo se produce un deslizamiento de los tornillos sobre la placa hasta que el bloque superior contacta con el muelle (injerto óseo). Este acoplamiento se hace imposible en el caso de la placa estática.

### Modelos MEF

Como muestra de uno de los resultados que pueden obtenerse mediante los modelos de elementos finitos, en la figura 4 se compara el comportamiento de una placa estática y una dinámica ante una carga de flexión del cuello. Puede apreciarse como, para el caso de las placas cervicales estáticas, la mayor parte de la carga es transmitida a través de la placa, lo que implica mayores tensiones en la placa y la posibilidad de una peor fusión del injerto óseo al ser muy pequeña la carga que pasa por éste.

## CONCLUSIONES

Los modelos de elementos finitos son un método efectivo para evaluar el comportamiento biomecánico de las placas cervicales. Proporcionan información muy valiosa que no es posible obtener mediante ningún otro método, sobre su comportamiento cuando éstas son sometidas a cargas fisiológicas. Los modelos de elementos finitos permiten, asimismo, simular de forma rápida y económica una gran variedad de patologías, casos de cargas, modelos y tallas de placas cervicales.

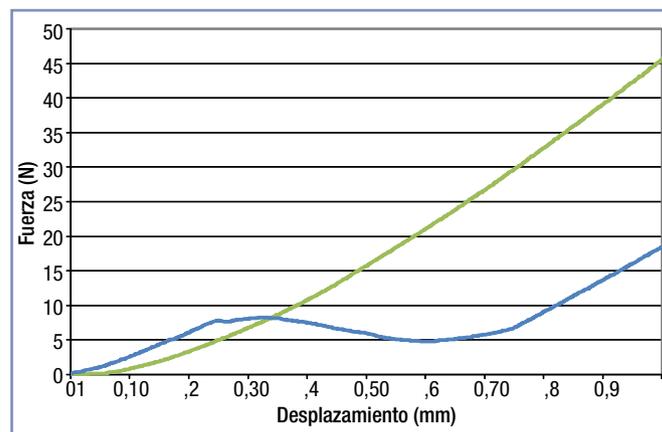


Figura 3. Gráfica de desplazamiento frente a fuerza para una placa dinámica (línea azul) y otra estática (línea verde) ante un caso de acortamiento del injerto óseo.

La evaluación de placas cervicales mediante ensayos mecánicos con bloques de polietileno permite reducir la variabilidad entre ensayos con respecto a los ensayos con especímenes cadavéricos, proporcionando información más objetiva y representando, junto con los modelos de elementos finitos, una potente herramienta para la evaluación de este tipo de implantes.

### AGRADECIMIENTOS

A la FUNDACIÓN MAPFRE por la financiación del proyecto "Comparación del comportamiento biomecánico de placas cervicales fijas y dinámicas en modelos de elementos finitos" dentro de las Ayudas a la Investigación 2007 – Salud.

A la empresa AESCULAP, Grupo B. Braun por la cesión de las placas cervicales para los ensayos mecánicos.

El CIBER-BBN es una iniciativa enmarcada en el VI Plan Nacional I+D+i 2008-2011, Iniciativa Ingenio 2010, programa Consolider, Acciones CIBER y financiada por el Instituto de Salud Carlos III con ayuda del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

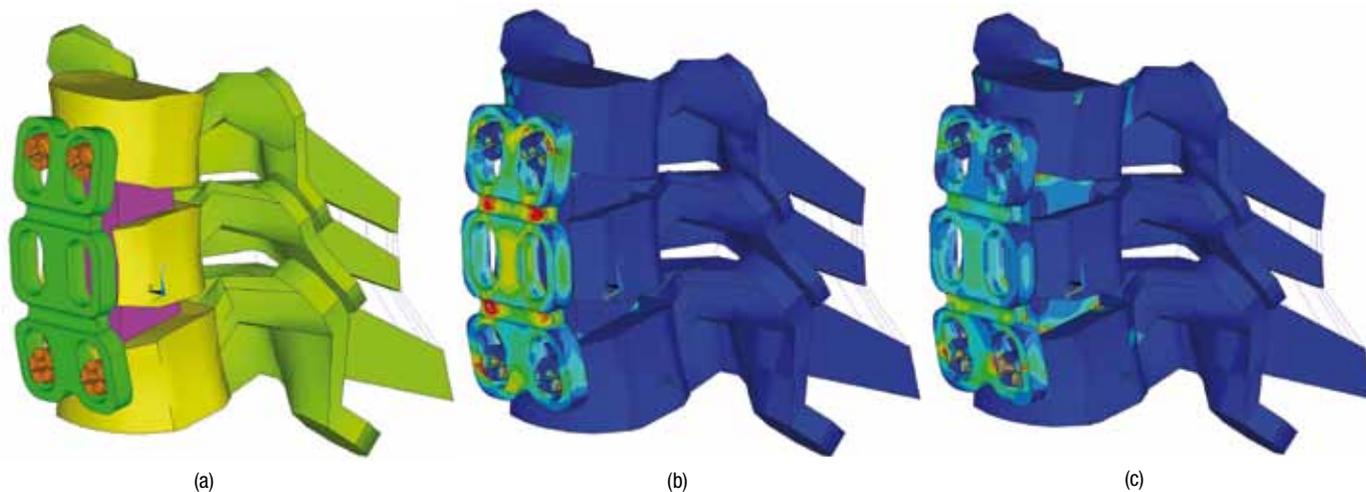


Figura 4. (a) Modelo de elementos finitos de raquis cervical con placa cervical anterior (en color verde oscuro), tornillos de fijación (color marrón) e injerto óseo (en color rosa). (b) Gráfico de tensiones equivalentes de Von Mises para el mismo modelo ante una carga de flexión del cuello. (c) Tensiones equivalentes para una placa dinámica ante la misma carga de flexión.