

BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA VERTEBRAL Y SISTEMAS DE REPARACIÓN (II)

Por Sección de Implantes

INSTITUTO DE BIOMECÁNICA DE VALENCIA

El tratamiento de las diferentes patologías que se pueden presentar en la columna vertebral (lesiones traumáticas, deformidades del raquis o patologías degenerativas) se basa en la utilización de métodos ortopédicos y/o quirúrgicos.

En el capítulo de tratamiento ortopédico la principal indicación terapéutica se basa en el empleo de ortesis, entendiéndose como tal a un dispositivo externo utilizado para restringir, estabilizar o aumentar el movimiento, proporcionar apoyo o reducir la carga sobre un segmento corporal, enderezar o corregir una deformidad, y/o mantener o incrementar el nivel de función.

Para realizar estas funciones, todas las ortesis utilizan sistemas de fuerzas que actúan sobre los segmentos corporales. La aplicación de fuerzas sobre el raquis, para controlarlo de algún modo, altera los patrones de deformación y la cinemática del mismo y, por tanto, constituyen la base científica del tratamiento ortésico del raquis. Por tanto, una ortesis espinal debería

Como servicio de apoyo a fabricantes, comercializadoras y organismos de compra masiva de implantes, el IBV ha desarrollado una oferta completa de asesoramiento técnico en Traumatología y Cirugía Ortopédica

En la segunda parte de este artículo se enumerarán los diferentes tratamientos, tanto ortopédicos como quirúrgicos, de la columna vertebral, así como los criterios de evaluación y diseño de los sistemas de fijación de raquis, puestos a punto por la Sección de Implantes del IBV.

Abreviatura	Área incluida	Usadas principalmente en problemas de:
CO	Cervical	Cuello
CTO	Cérvico-torácica	Cuello
CTLSO	Cérvico-tóraco-lumbosacra	Raquis torácico y lumbar
TLSO	Tóraco-lumbosacra	Raquis torácico inferior y lumbar
LSO	Lumbosacra	Raquis lumbar inferior
SIO	Sacroiliaca	Área lumbosacra

TABLA 1
Nomenclatura utilizada en las ortesis de raquis (Harris, 1973)

considerarse como un sistema de sujeción para prevenir el deterioro en ciertas deformidades, pero no como un sistema corrector utilizado para proporcionar una mejora permanente de las curvaturas, transformando deformidades grandes en otras menores.

Dado que la nomenclatura de las ortesis de raquis es bastante confusa, es interesante presentar la establecida por Harris en 1973 con el propósito de estandarizar la terminología usada en prótesis y ortesis para favorecer la comunicación en este campo. La clasificación de Harris reco-

mienda que las ortesis se describan en términos de las articulaciones englobadas y mediante un análisis del control de su movimiento articular. Con arreglo a esto, las ortesis del raquis pueden clasificarse como muestra la tabla 1.

Los cinco tipos básicos de control utilizados en la clasificación de Harris para indicar el efecto de una ortesis sobre las articulaciones anatómicas son:

- **F** (free): Permite el movimiento libre en cualquier dirección.



Implantes

- **A** (assist): Aplicación de una fuerza externa con el propósito de incrementar el rango, velocidad o fuerza de un movimiento deseado (muelle, motor, alineación para aprovechar la gravedad, etc).
- **R** (resist): Aplicación de una fuerza externa con el objeto de disminuir la velocidad o fuerza de un determinado movimiento.
- **S** (stop): Inclusión de elementos que detengan un movimiento no deseado en una determinada dirección. Utilizado sólo 'S' significa restricción de un movimiento en la posición neutra.
- **H** (hold): Eliminación de todo movimiento en un plano.

Aunque la aplicación de criterios biomecánicos en la valoración y diseño de ortesis de raquis es muy amplia, se ha preferido centrar los objetivos de este artículo en el grupo de tratamiento quirúrgico del raquis

Aunque la aplicación de criterios biomecánicos en la valoración y diseño de ortesis de raquis es muy amplia, se ha preferido centrar los objetivos de este artículo en el grupo de **tratamiento quirúrgico del raquis**. Dado que son múltiples los tratamientos quirúrgicos aplicables a las diversas alteraciones que afectan al raquis, con ánimo de sistematizarlos desde una perspectiva biomecánica se pueden englobar en tres grupos:

- Los tratamientos de *descompresión*, que están indicados en presencia de un

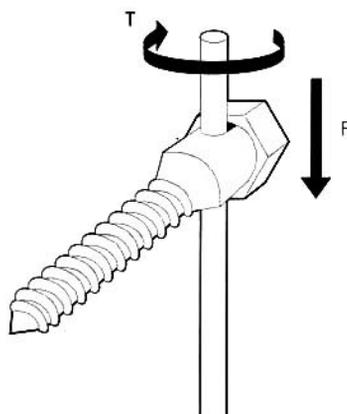


FIGURA 1A. Resistencia a deslizamiento y rotación

déficit neurológico incompleto o progresivo, en el que exista una evidencia clínica de compresión o atrapamiento medular. Las causas pueden ser múltiples: tumoral, traumática, infecciosa, degenerativa o alteraciones relacionadas con el crecimiento. El objetivo de esta técnica es lograr la descompresión medular o la liberación de la raíz nerviosa con un mínimo riesgo quirúrgico.

- Las *fusiones vertebrales* tienen como función disminuir al mínimo la pérdida de movilidad del raquis y minimizar, asimismo, las alteraciones funcionales y estructurales del mismo, es decir, conseguir los máximos efectos terapéuticos con las mínimas consecuencias para el paciente. Las indicaciones básicas de la fusión o artrodesis vertebral son: restablecer la estabilidad clínica cuando se ha comprometido de forma importante su integridad, mantener la corrección conseguida mediante procedimientos mecánicos, evitar la progresión en las deformidades del raquis y, por

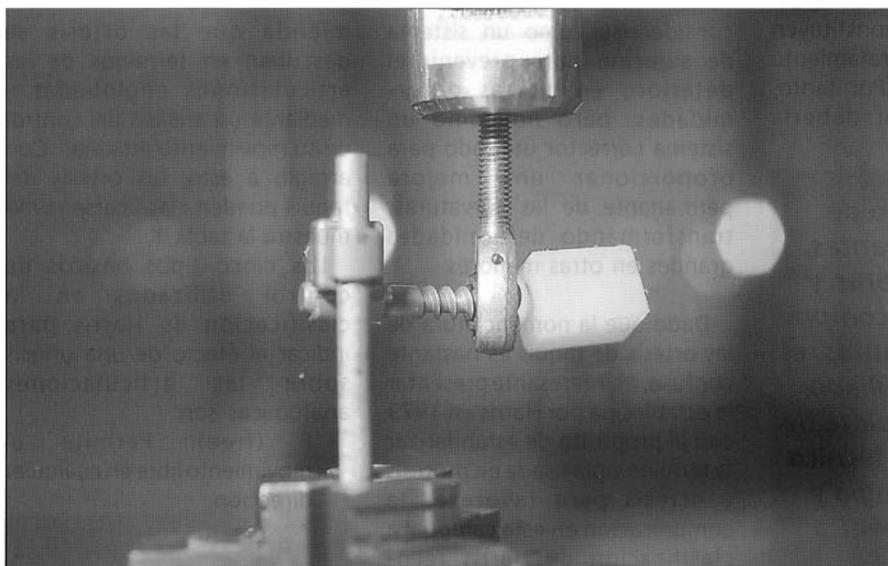


FIGURA 1B. Ensayo de rotación

último, disminuir o eliminar el dolor, rigidizando una determinada región del raquis.

- Las *osteotomías raquídeas* cuya función principal consiste en obtener una corrección de deformidades, alcanzar y mantener la estabilidad del raquis y evitar lesiones en estructuras vitales.

Dentro de los tratamientos quirúrgicos, existe un gran número de sistemas de estabilización (placas, tornillos, barras, etc), utilizándose tanto individualmente como en combinación con injertos óseos y/o sistemas externos de soporte (férulas, yesos y ortesis en general). Para evaluar el comportamiento de los mismos se ha desarrollado gran cantidad de estudios y ensayos biomecánicos, ya que por su destino final, su invasividad y su permanencia en el interior del cuerpo humano, así como por los requerimientos mecánicos a los que se ven sometidos durante su servicio, deben ser sometidos a múltiples controles para verificar sus prestaciones técnicas.

Por este motivo y con el ánimo de brindar un servicio de apoyo a empresas fabricantes, comercializadoras y organismos de compra masiva de implantes, el IBV ha desarrollado una **oferta completa de asesoramiento técnico** en Traumatología y Cirugía Ortopédica. Dentro de

Dentro de los tratamientos quirúrgicos, existe un gran número de sistemas de estabilización, utilizándose tanto individualmente como en combinación con injertos óseos y/o sistemas externos de soporte

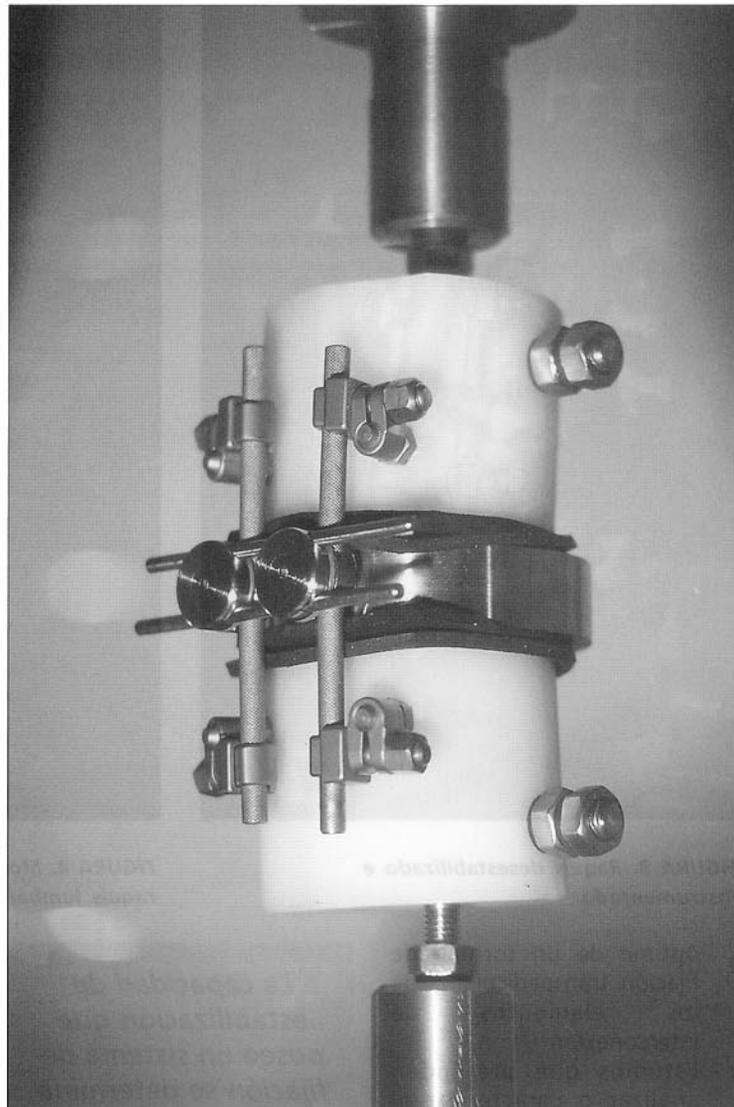


FIGURA 2. Montaje general para el ensayo de sistemas de fijación

esta oferta la Sección de Implantes cuenta, por un lado, con procedimientos de evaluación de fijadores de raquis y por otro ofrece a las empresas fabricantes la posibilidad de desarrollar nuevos productos o bien la mejora de los ya existentes.

Evaluación

Se cuenta actualmente con la experiencia y los medios técnicos necesarios para la evaluación y caracterización completa de cualquier sistema de fijación, debido a la preparación previa de protocolos generales de ensayo que pueden ser adaptados con facilidad en

función del producto a ensayar o a medida del cliente. A continuación y sin la intención de ser exhaustivos se presentarán algunos de los ensayos que se realizan en la Sección de Implantes en el ámbito de la fijación de raquis. Los ensayos para la evaluación mecánica de sistemas de fijación de raquis pueden encuadrarse en dos categorías:

- Estudios que pretenden caracterizar y evaluar el comportamiento de cada uno de los elementos que componen el sistema de fijación; por ejemplo, el estudio de la forma y tamaño

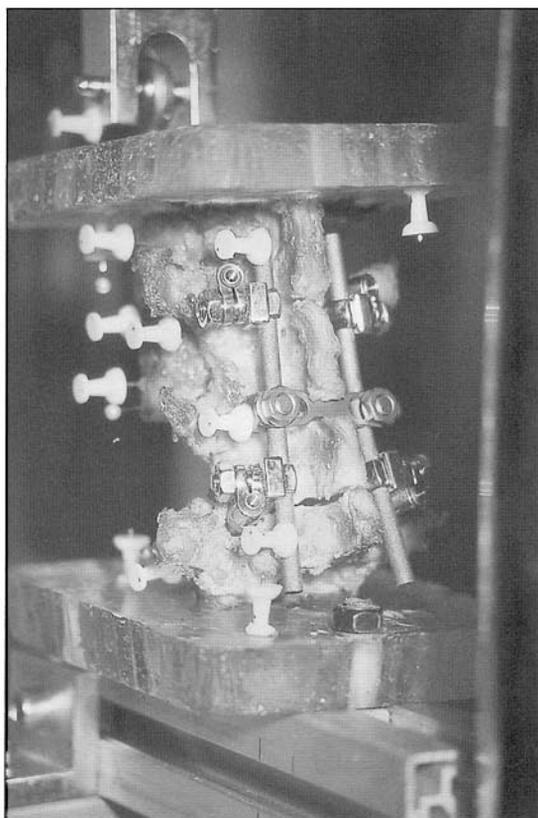


FIGURA 3. Raquis desestabilizado e instrumentado

óptimo de un tornillo de fijación transpedicular y de los elementos de interconexión.

- Estudios que pretenden analizar o caracterizar el comportamiento global de determinados montajes como, por ejemplo, la rigidez a flexión de un sistema CD.

Incluidos dentro del primer grupo de ensayos se encuentran los de deslizamiento, realizados sobre las piezas de conexión tornillo-barra de los sistemas de fijación de raquis (acoples). Este tipo de ensayos pretende analizar si los acoples son capaces de soportar las cargas a las que se ven sometidos durante su funcionamiento sin que se produzca el deslizamiento o giro entre elementos (barras o tornillos) (Figura 1).

Otro de los elementos más frecuentemente analizados en este primer grupo son los tornillos transpediculares y en

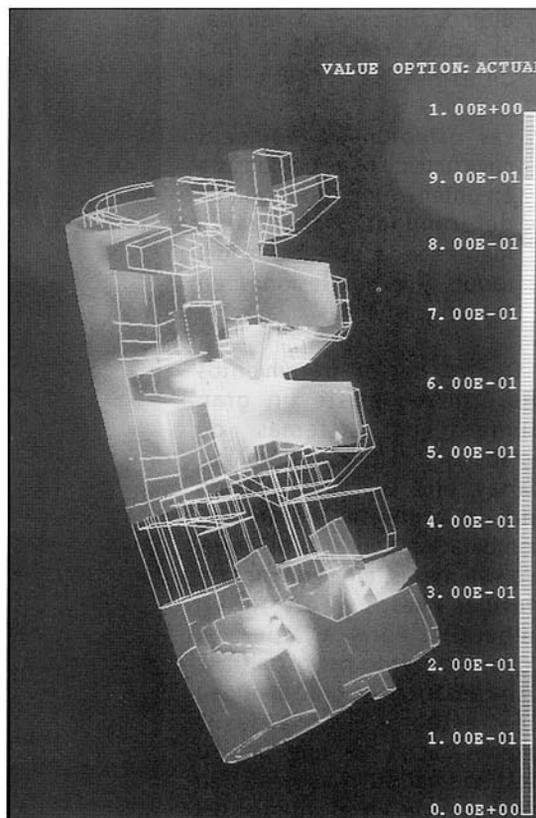


FIGURA 4. Modelo de elementos finitos del raquis lumbar

La capacidad de estabilización que posee un sistema de fijación se determina principalmente realizando ensayos de resistencia o carga de fallo (estática y a fatiga) y de rigidez

especial la resistencia de su anclaje al hueso, empleando un ensayo de extracción o pull-out para caracterizarlos. Dicho ensayo consiste en el registro de la fuerza necesaria para extraer un tornillo insertado sobre un determinado material, normalmente hueso.

Para la realización de los ensayos englobados en el segundo grupo, destinados a caracterizar el comportamiento global del implante, se

instrumenta uno o varios segmentos de raquis, modelados como cuerpos vertebrales de material sintético con discos de material elástico, pero con geometrías simplificadas sin incluir ligamentos ni elementos de conexión. La ventaja evidente que se desprende de este tipo de modelo físico para su utilización en laboratorio es la estandarización de condiciones de ensayo, pudiendo compararse fácilmente el comportamiento de diferentes sistemas de fijación (Figura 2).

La capacidad de estabilización que posee un sistema de fijación se determina principalmente realizando ensayos de resistencia o carga de fallo (estática y a fatiga) y de rigidez. La resistencia define la magnitud de la carga a la que el sistema implante-raquis falla, ya sea por colapso mecánico de la estructura, o por fallo en la interfase metal-hueso. Este tipo de ensayos puede ser estático, es



decir aplicando las cargas a velocidades bajas, o dinámico en el que se aplican diferentes niveles de carga de forma cíclica y se registra el número de ciclos necesarios hasta llegar al fallo por fatiga. La rigidez define la resistencia que presenta la estructura a ser deformada cuando se ve sometida a carga. La relevancia clínica de la rigidez reside en que, a mayor valor de la rigidez del sistema, menores son los movimientos entre los elementos estabilizados del raquis.

Tanto la rigidez como la resistencia de un sistema de estabilización o fijación dependen del tipo de carga que actúe sobre el raquis. Por tanto, para conocer exhaustivamente el comportamiento de un sistema determinado será necesario caracterizar estos dos parámetros mecánicos bajo cargas de compresión axial, flexión, extensión, flexión lateral y torsión.

También puede resultar útil, en ocasiones, caracterizar el comportamiento de los sistemas de fijación frente a diferentes condiciones clínicas sobre especímenes cadavéricos o animales. La técnica se basa en provocar lesiones e instrumentar con un sistema determinado, registrando la rigidez con que dicho sistema restaura al raquis desestabilizado (Figura 3). Se cuenta en este campo con los medios materiales necesarios (armario ultracongelador, animalario, quirófano) para realizar con éxito este tipo de ensayos, que pueden ser de mucha utilidad como etapa final en la evaluación de un sistema de fijación de raquis.

Diseño

En muchos casos, los ensayos de evaluación deben ser el primer paso para realizar un nuevo diseño o una modificación del existente. Por este motivo, se ofrecen desde esta sección de

En muchos casos puede ser interesante relacionar las cargas y momentos que actúan sobre los componentes del sistema de fijación con los niveles de tensiones y deformaciones que dichas cargas provocan sobre los mismos

Implantes servicios de asesoramiento al diseño y desarrollo de nuevos sistemas de fijación, como apoyo a la empresa.

Por ejemplo, si al realizar un ensayo de extracción de un tornillo transpedicular se obtuvieran unos valores que no aseguraran una buena fijación del mismo, se plantearía una modificación del diseño que aumentara su resistencia a la extracción sin disminuir su resistencia a flexión.

En muchos casos puede ser interesante relacionar las cargas y momentos que actúan sobre los componentes del sistema de fijación con los niveles de tensiones y deformaciones que dichas cargas provocan sobre los mismos. Para tratar este problema la técnica de análisis más utilizada hoy en día es el método de los elementos finitos. Este método aborda la resolución del estado tenso-deformacional de estructuras complejas sometidas a cargas, mediante la descomposición del modelo en un conjunto de elementos conexiónados entre sí,

En muchos casos, los ensayos de evaluación deben ser el primer paso para realizar un nuevo diseño o una modificación del existente

denominado malla de elementos finitos, para los que se resuelven de forma aproximada las ecuaciones que proporciona la ciencia de materiales. Estos modelos permiten simular mediante el modelo en estudio, tanto la geometría como el comportamiento de los materiales originales (raquis e instrumentación).

Utilizando como plataforma un programa comercial de elementos finitos, se ha desarrollado un modelo tridimensional del raquis que incorpora las propiedades mecánicas de los materiales y las características geométricas de las partes que lo componen (vértebras, disco, ligamentos, diámetro de los tornillos y barras, etc). Este modelo permite simular diferentes lesiones y estudiar el comportamiento del fijador en su conjunto o de alguno de sus componentes frente a diferentes solicitaciones externas (Figura 4). Mediante esta técnica se analiza de forma rápida si el sistema de fijación se comportará correctamente una vez implantado, permitiendo modificar el diseño de los componentes más solicitados mecánicamente basándose en los resultados del análisis. Esta herramienta, por tanto, puede ser de mucha utilidad para evitar el fracaso temprano de los fijadores de raquis una vez implantados o simplemente para acelerar el desarrollo de prototipos mediante el método de prueba y error. Así pues, la aproximación a la evaluación y diseño de implantes que se realiza en el IBV intenta cubrir al máximo tanto las situaciones de laboratorio como el comportamiento en uso, clínico, de estos sistemas.

BIBLIOGRAFÍA

Harris, E.E. (1973) *A new orthotics terminology. A guide to its use for prescription and fee schedules.* Orthot. Prosthet. 27(2), 6-19.

□