

Análisis mecánico-estructural del injerto óseo en el segmento C3-C5 de la columna cervical como tratamiento de las fracturas con método de elementos finitos

Alejandro González Rebatú y González,¹ Arturo Agraz Cárdenas,² Rodolfo Rico Falfan,³ Juan Alfonso Beltrán Fernández⁴

RESUMEN

Antecedentes: la corporectomía cervical es un recurso quirúrgico necesario para sustituir un cuerpo vertebral dañado por algún accidente. Se evalúa el grado de complejidad de las fracturas por flexión-compresión estadio 5 en el cuerpo vertebral, para determinar si es necesario efectuar corporectomía con injerto óseo. Se requiere conocer el comportamiento estructural del injerto.

Objetivo: reportar los resultados del análisis mecánico-estático estructural de ensamble de un modelo de elementos finitos en el intervalo cervical C3-C5, que incluye un injerto óseo de forma trapezoidal con corte en las plataformas de 10° de angulación, asegurado mediante una placa cervical.

Material y método: estudio observacional en el que se reprodujo un modelo de elementos finitos conformados por las cervicales C3, C4 y C5, con un injerto óseo en la región del cuerpo vertebral de la cervical C4 en una angulación específica, asegurado mediante una placa cervical. Los casos planteados para el estudio son: 80, 637.5 y 6,374.5 N, correspondientes al peso propio de la cabeza, el del paciente y el valor bajo el cual el cuerpo vertebral se fractura o estalla. Se usó el programa ANSYS.

Resultados: se observaron desplazamientos inferiores a 1 mm entre el injerto y los cuerpos vertebrales adyacentes.

Conclusiones: de acuerdo con el concepto de estabilidad de la columna vertebral descrito por White y Panjabi, el modelo se comportó de manera estable, ya que no superó los 3.0 mm que se consideran límites de referencia.

Palabras clave: fracturas cervicales, elementos finitos, tratamiento, estabilidad, injerto óseo.

ABSTRACT

Background: Cervical corpectomy is a surgical resource needed to replace vertebral body damaged by the action of some sort of accident causing a fracture. In flexion compression fractures stage 5 in the vertebral body, the degree of complexity must be evaluated in order to determine if it is necessary to perform a corpectomy with bone graft. Behavior of such a structural graft should be known.

Objective: To report results of the mechanic-static structural analysis of assembly of a model of finite element in the C3-C5 cervical range, including a bone graft of trapezoidal-shaped cut on the platforms at an angle of 10 degrees each, secured by a cervical plate.

Material and method: An observational study was made in which a finite elements model conformed by cervical C3, C4 and C5 was reproduced, with a bone graft in the region of the vertebral body from cervical C4 in an specific angulation, assured by a cervical plaque. The cases presented in the study are: 80 N, 637.5 N and 6,374.5 N, corresponding to the weight of the head, the weight of the patient and the value at which the vertebral body fractures. We used ANSYS program.

Results: The results indicated displacements smaller than 1 mm between the graft and the adjacent vertebral bodies.

Conclusions: According to the concept of backbone stability described by White & Panjabi, the model was stable since no exceeded reference limits of 3.0 mm.

Key words: cervical fractures, finite elements, processing, stability, bone graft.

¹ Jefe de cirugía de columna. Médico adscrito al servicio de Ortopedia y Traumatología.

² Médico residente de cuarto año de ortopedia y traumatología.

³ Médico residente de tercer año de ortopedia y traumatología. Hospital Regional 1° de Octubre, ISSSTE.

⁴ Ingeniero mecánico del Instituto Politécnico Nacional Unidad Zacatenco.

Correspondencia: Dr. Alejandro González Rebatú y González. Hospital Regional 1° de Octubre, ISSSTE, Cirugía de Columna. Av. Instituto Politécnico Nacional 1669, colonia Magdalena de las Salinas, CP 07760, México, DF. Correo electrónico: tyo.rebattu@gmail.com, alexrebattu@hotmail.com

Recibido: mayo 2013.

Aceptado: agosto 2013.

Este artículo debe citarse como: González-Rebatú y González A, Agraz-Cárdenas A, Rico-Falfan R, Beltrán-Fernández JA. Análisis mecánico-estructural del injerto óseo en el segmento C3-C5 de la columna cervical como tratamiento de las fracturas con método de elementos finitos. Rev Esp Méd Quir 2013;18:195-199.

Diversos estudios de la columna, y en particular de la sección cervical, muestran consecuencias importantes de las fracturas del cuerpo vertebral que implican un proceso de rehabilitación de al menos tres a seis meses. Cuando el cuerpo vertebral sufre daños irreversibles, como estallamientos producidos por cargas superiores a 600 kg derivados de diversas situaciones que implican mecanismos de flexión-compresión severos,¹ y accidentes automovilísticos donde existe latigazo cervical,²⁻⁴ entre otras, debe darse atención médica inmediata. La primera acción es aislar la zona dañada y después sustituir el cuerpo vertebral por un injerto óseo mediante corporectomía.⁵⁻⁷ En esta técnica se usan los abordajes por vía anterior y posterior descritos en la bibliografía para asegurar que el injerto permanezca estable hasta el momento en que se fusione con las vértebras adyacentes, lo que garantiza la estabilidad de la columna vertebral y la reincorporación del paciente afectado a una vida casi normal.⁵⁻⁷

En la búsqueda por optimizar los abordajes actuales, se han realizado estudios de la región cervical C3-C7 para conocer los efectos estructurales que sufren las vértebras ante la acción de diversas cargas de compresión. Se ha investigado el comportamiento de las placas cervicales usadas en la corporectomía para asegurar el aislamiento del injerto óseo en el proceso de fusión bajo la acción de cargas de compresión, y se ha observado claramente su influencia en la zona instrumentada.^{8,9}

En este trabajo se muestra el comportamiento del injerto óseo ante la acción de las mismas cargas en relación con la unidad funcional vertebral (Figura 1). Se obtuvieron los principales esfuerzos generados en diversas zonas, en particular en las superficies del injerto óseo y los cuerpos vertebrales adyacentes, así como los desplazamientos existentes, y se compararon con los criterios establecidos por White y Panjabi¹⁰ para saber si había inestabilidad de la columna vertebral. La intervención se hizo únicamente por la vía anterior.⁵⁻⁷

Por medio de los análisis efectuados puede conocerse con mayor detalle el efecto en la zona de interés y determinar variantes en la corporectomía y en los instrumentos usados para la rehabilitación del paciente, como collarines Filadelfia, SOMI, entre otros, que modificarían los tiempos de recuperación del paciente.

El objetivo de este trabajo es desarrollar el programa analítico de elementos finitos, con el fin de que esté al alcance de los médicos para que realicen evaluaciones y simulaciones adecuadas antes de una intervención quirúrgica.

MATERIAL Y MÉTODO

Estudio observacional en el que se reprodujo un modelo de elementos finitos conformados por las cervicales C3, C4 y C5 (Figura 1), con un injerto óseo en la región del cuerpo vertebral de la cervical C4 en una angulación específica (Figura 2), asegurado mediante una placa cervical. Con el programa ANSYS, el modelo se sometió a la acción de cargas de compresión para los casos mencionados. Los resultados se analizaron en conjunto con el departamento de ingeniería mecánica del Instituto Politécnico Nacional Unidad Zacatenco.

La propuesta que se hace en este estudio es prescindir de los materiales posteriores y en su lugar usar un injerto de forma trapezoidal con plataformas a una angulación específica de 8 a 10°, para mantener la lordosis cervical fisiológica (Figura 1). Este injerto se asegura únicamente con la placa anterior, verificando que no se desplace más de 3 mm. Se requiere un modelo de elementos finitos que permita variar las condiciones de carga en un intervalo de 80 N hasta el valor del estallamiento del cuerpo

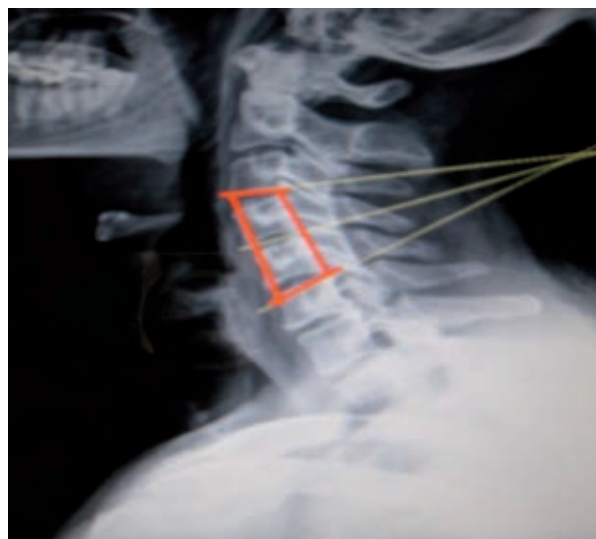


Figura 1. Representación anatómica del injerto óseo.

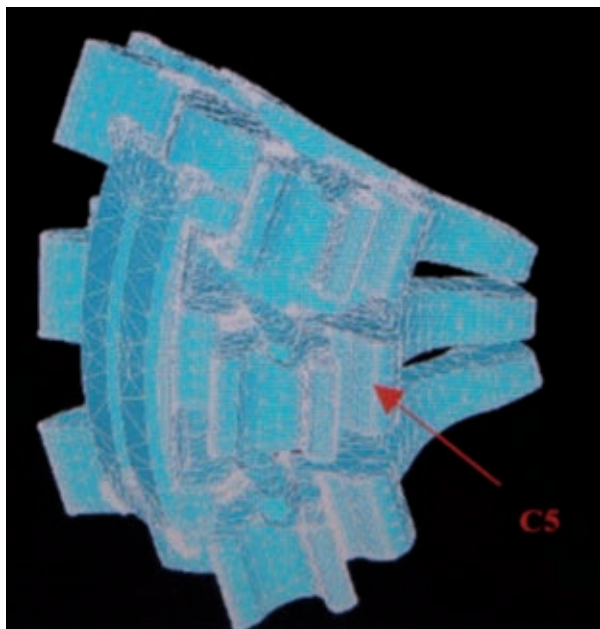


Figura 2. Construcción del modelo de cargas por el método de elementos finitos.

vertebral, el cual aproximadamente ocurre a 6,374.5 N (650 kg). Cuadro 1

En este estudio se muestran los resultados de las corridas de elementos finitos para los casos propuestos y se verifica, además, el valor del desplazamiento, con la idea de establecer un procedimiento de análisis que pueda dar información al médico cirujano y conocer el comportamiento del elemento estructural afectado y la intervención quirúrgica realizada. Esto permitirá optimizar cada uno de los elementos implicados, entre ellos: injerto óseo con angulación, placa cervical y posición de los tornillos.

Análisis numérico

El análisis numérico se realizó con el programa ANSYS. En este caso, se utilizó el elemento tetraédrico SOLID95 para la malla de elementos finitos del modelo tridimensional de CAD, con lo que se obtuvieron 95,782 elementos y 157,633 nodos (Figura 2).

Para restringir el modelo, se ha previsto realizar el procedimiento en la base de la cervical C5 y aplicar cargas axiales de compresión sobre el cuerpo vertebral de C3 (Figura 3) en los niveles propuestos al principio

Cuadro 1. Resultados principales del injerto óseo en el modelo numérico

<i>Carga propuesta</i>	<i>Esfuerzo máximo principal en el injerto óseo (MPa)</i>	<i>Máximos desplazamientos obtenidos en el ensayo numérico (mm)</i>
Peso de la cabeza humana (35.31 N)	0.124	0.0003
Peso promedio del paciente (637.5 N)	0.986	0.00454
Carga máxima de compresión que soporta una vértebra cervical (6,374.5 N)	9.867	0.051246

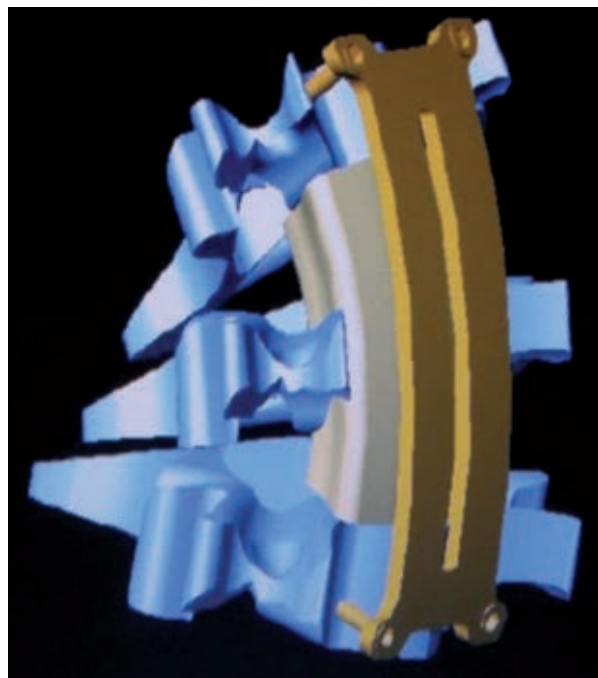


Figura 3. Reconstrucción en 3D por computadora para simular los esfuerzos de carga.

del artículo. Las propiedades usadas para el estudio son las siguientes: los resultados para los esfuerzos, deformaciones y desplazamientos se obtienen mediante el paquete ANSYS con el criterio de von Mises. En el caso en particular, se observará que realizadas las tres corridas, los valores de desplazamiento entre el injerto y las superficies de los cuerpos vertebrales no excedan 3.0 mm, con lo que se obtiene estabilidad de la columna instrumentada.

En el Cuadro 1 se muestran los principales valores de esfuerzos y deformaciones generados en el injerto óseo en el modelo numérico. En la Figura 4 se observan los valores de los esfuerzos y los desplazamientos de las zonas donde existen concentraciones de esfuerzos importantes. En el Cuadro 2 se aprecian los resultados principales del injerto óseo en el modelo numérico comparados con los del modelo experimental, los valores inferiores a los límites de resistencia y el desplazamiento en compresión para el injerto.

La inclusión de la placa cervical es esencial, ya que aísla el injerto de la carga directa aplicada a C3, con lo que se tiene oportunidad de fusionar los elementos implicados.

Las zonas de concentración de esfuerzos deben su valor a la presión que se ejerce entre las plataformas de los cuerpos vertebrales C3, C4 y C5 y, en gran medida, a la geometría del injerto, puesto que induce un efecto de acuñamiento y no se desplaza hacia la parte posterior.

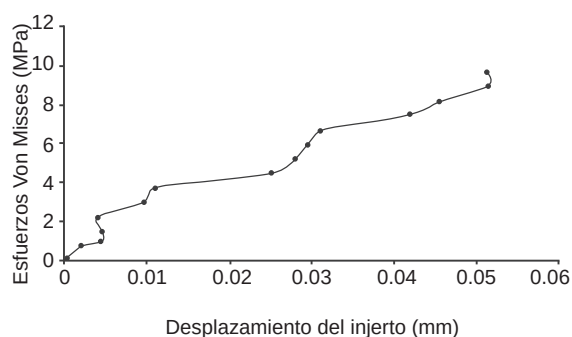


Figura 4. Gráfica de esfuerzos-desplazamientos C3-C5.

CONCLUSIONES

Los valores reportados no indican desplazamiento del injerto ni de las superficies de los cuerpos vertebrales adyacentes. Debe recordarse que de acuerdo con el criterio de estabilidad, si el desplazamiento entre dichos elementos supera 5 mm hay inestabilidad en la sección instrumentada y, por tanto, no se logra una correcta fusión. En este trabajo se demostró de forma mecánica estructural que el injerto con angulaciones de las plataformas adecuadas a la anatomía de las vértebras (para mantener la lordosis fisiológica), sometido a cargas, no sufre un desplazamiento mayor de 1 mm, y la simulación con el programa de elementos finitos lo corrobora al mostrar su estabilidad absoluta y consolidación adecuada. Por esta razón, este trabajo proporciona un modelo preliminar que permite evaluar situaciones diversas de carga propuestas por los médicos cirujanos con la idea de conocer el comportamiento de los elementos y determinar la intervención con un injerto óseo de geometría idónea.

La creación de un modelo de elementos finitos que simula por computadora las cargas y los movimientos representa la antesala a la evaluación del tratamiento con corporectomía, injerto óseo, placa y tornillos.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su reconocimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, al Instituto Politécnico Nacional, sección de estudios de posgrado e investigación, y al Hospital Regional 1° de Octubre por todo el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

Este trabajo fue llevado a cabo por autores mexicanos y actualmente no se conoce ninguno similar en la

Cuadro 2. Resultados numéricos principales del injerto óseo en el modelo numérico contra el modelo experimental

	Máximos desplazamientos obtenidos en el ensayo numérico (mm)	Máximos desplazamientos obtenidos en el ensayo experimental con espécimen instrumentado (mm)	Diferencia (mm)
Peso de la cabeza humana (35.31 N)	0.0003	0.0	0.0003
Peso promedio del paciente (637.5 N)	0.00454	0.01	0.00546
Carga máxima de compresión que soporta una vértebra cervical (6,374.5 N)	0.051246	1.67	1.618

bibliografía mundial, lo que lo convierte en un estudio original e innovador.

REFERENCIAS

1. Panjabi M, White A. Biomechanics of non-acute cervical spinal cord trauma. *Spine* 1988;13:838-842.
2. Allen BI, Ferguson RI, Lehmann T. A mechanistic classification of closed, indirect fractures and dislocations of the lower cervical spine. *Spine* 1982;7:1-27.
3. Yoganandan N, Haffner M, Maiman D, Nichols H, et al. Epidemiology and injury biomechanics in motor vehicle related trauma to the human cervical spine. *Sae* 1989. Doi:10.4271/892438.
4. Huelke D, et al. 1981 Cervical injuries suffered in automobile crashes. *J Neurosurgery* 1981;54:316-322.
5. Thorson J. Neck injuries in road accidents. *Scand J Rehab Med* 1972;4:110-113.
6. Bohler J. Anterior stabilization for acute fractures and non-union of the dens. *J Bone Joint Surg Am* 1982;64:18-27.
7. Bohler J, Gaudernack T. Anterior plate stabilization for fracture-dislocation of the lower cervical spine. *J Trauma* 1980;20:203-205.
8. Bohlman H. Acute fractures and dislocation of the cervical spine: an analysis of three hundred hospitalized patients and review of the literature. *J Bone Joint Surg Am* 1979;61:1119-1142.
9. Beltrán J. Distribución de esfuerzos por la acción de cargas de compresión en la vértebra cervical C5, empleando el método del elemento finito. *Científica* 2005;9:135-142.
10. Carbajal M. Biomecánica de un dispositivo de fijación interna para el tratamiento, mediante el sistema Dufoo de padecimientos que afectan a los cuerpos vertebrales. Tesis de doctorado. México: Sepi-Esime Zacatenco, 2005.