

Evaluación preliminar de modelo mecánico de cuerpos vertebrales tratados con discoplastía

Preliminary evaluation of mechanical model of vertebral bodies treated with discoplasty

Presentación: 4 y 5 de Octubre de 2022

Doctorando:

Lucas O. Basiuk

Grupo de Mecánica Estadística de Líquidos y Materia Condensada Blanda (MELyMCB), Instituto de Física de Líquidos y Sistemas Biológicos (IFLySiB), Facultad de Ciencias Exactas, UNLP-CONICET - Argentina.

Grupo de Materiales Granulares (GMG), Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional - Argentina.

lucasbasiuk.lb@gmail.com

Director:

C. Manuel Carlevaro

Codirector:

Ramiro M. Irastorza

Resumen

La discoplastía es un procedimiento mínimamente invasivo para tratar pacientes adultos mayores con enfermedad discal degenerativa avanzada con neumodisco, por lo general en la zona lumbar de la columna y con la finalidad de estabilizar y descomprimir los segmentos comprometidos. El procedimiento reduce el dolor del paciente mediante la inyección de cemento óseo en los neumodiscos degenerados consiguiendo así la separación de las vértebras. Mediante el método de elementos finitos se pretende modelizar y evaluar el caso de un paciente ya sometido a la discoplastía debido a su enfermedad discal avanzada, analizar cambios biomecánicos y parámetros como: ángulo resultante del cuerpo vertebral, volumen del foramen de conjunción, volumen de cemento inyectado, entre otros. Los modelos se construyen a partir de imágenes de tomografía computada y se realizan estudios paramétricos de los dominios que los componen: cuerpo vertebral, anillo del disco, núcleo pulposo, y cemento (PMMA).

Palabras clave: Discoplastía percutánea, enfermedad discal avanzada, espaciador de cemento, método de elementos finitos.

Abstract

Discoplasty is a minimally invasive procedure to treat older adult patients with advanced degenerative disc disease with pneumodisc, usually in the lumbar spine, to stabilize and decompress the compromised segments. Advanced degenerative disc disease with pneumodiscs, usually in the lumbar spine, to stabilize and decompress the compromised segments. The procedure reduces the patient's pain by injecting bone cement into the degenerated pneumodiscs, thus achieving separation of the vertebrae. The finite element method is used to model and evaluate the case of a patient who has already undergone discoplasty due to advanced disc disease, to analyze biomechanical changes and parameters such as: resulting angle of the vertebral body, volume of cement injected, among others. The models are built from computed tomography images and parametric studies of the domains that compose them: vertebral body, disc annulus, nucleus pulposus, and cement (PMMA) are performed.

Keywords: Percutaneous discoplasty, advanced disc disease, cement spacer, finite element method.

Introducción

Los trastornos degenerativos de la columna vertebral que provocan dolor son cada vez más frecuentes en adultos mayores donde el principal desafío es encontrar el origen del mismo, que en algunos casos involucran las extremidades inferiores y establecer la modalidad de tratamiento adecuada al caso particular.

La intervención quirúrgica es compleja y se ve limitada de acuerdo a la historia clínica del paciente, las condiciones asociadas a su edad, enfermedades cardiovasculares y cardiopulmonares, cerebrovasculares, diabetes, osteoporosis, etc. aumentando el riesgo de la operación. Pacientes con deformación y/ o inestabilidad degenerativa de la columna hacen mucho más compleja la intervención, sumado a las comorbilidades asociadas y su tratamiento post operatorio.

En particular, para pacientes con patología discal degenerativa lumbar que buscan una intervención mínimamente invasiva y que quieren mantenerse activos y sin dolor, se considera la realización de una discoplastia percutánea (DP) como un tratamiento alternativo. La DP originalmente desarrollada por Varga et. al. [2015] consiste en lograr el aumento del espacio intervertebral y la descompresión indirecta de la raíz nerviosa en esa zona utilizando polimetilmetacrilato (PMMA) como un separador inyectado dentro del neumodisco.

El objetivo de este estudio preliminar es modelizar y evaluar mediante el método de elementos finitos un caso particular de una paciente sometida a una DP, su estado preoperatorio y el resultado post operatorio. Los modelos se construyen a partir de imágenes de tomografía computada, lo que constituye una característica distintiva de este estudio ya que en la bibliografía se analizan modelos ideales.

Desarrollo

Se realizó el estudio preliminar de la zona lumbar baja de la columna, segmentos L4 y L5, de una paciente de 85 años de edad con patología discal degenerativa lumbar y deformación de la columna. Mediante el relevamiento de imágenes de tomografía computada en formato DICOM se construyeron dos modelos tridimensionales de los cuerpos vertebrales, pre operatorio y post operatorio, y el PMMA inyectado, para el caso post operatorio. Se utilizó el software 3D Slicer [Fedorov. et. al., 2012] para generar las geometrías. Con el mismo software también se realizó el suavizado de las superficies para eliminar imperfecciones como agujeros o picos que aparecen como resultado de la construcción del sólido a partir de imágenes.

Obtenidos los modelos tridimensionales, en formato STL, se empleó el software FEBio Studio [Maas et al., 2012] para el mallado de las vértebras, el PMMA y la construcción de los ligamentos involucrados en las vértebras L4 y L5. El mallado adoptado para las vértebras fue del tipo hexagonal de 8 nodos, mientras que para el PMMA el mallado fue tetragonal de 4 nodos, esta configuración es la recomendada por la bibliografía la cual sugiere una malla híbrida (partes malladas con elementos hexagonal y otras con elementos tetragonales) [Finley et. al., 2018]. En cuanto a los ligamentos, utilizamos la configuración de la bibliografía [Finley et. al., 2018] la cual incluye los conjuntos ligamentarios principales, ligamentos longitudinales anteriores, ligamentos longitudinales posteriores, ligamentos flavales, ligamentos capsulares facetarios, ligamentos intertransversos, ligamentos interespinosos y ligamentos supraespinosos.

Además, se estableció un contacto elástico entre las cápsulas facetarias de modo tal reproducir el movimiento articular del conjunto L4 y L5.

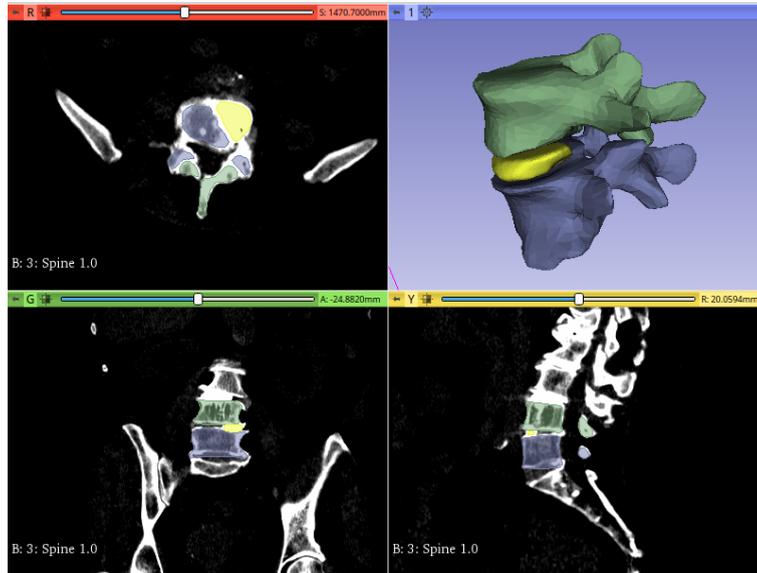


Figura 1: Detalle del software 3D Slicer utilizado para segmentar las imágenes DICOM y obtener el modelo.

Para simplificar el modelo cada vértebra está formada en su totalidad por material neo Hookeano y el PMMA por material isotrópico. Los respectivos módulos de Young han sido definidos de acuerdo a la bibliografía.

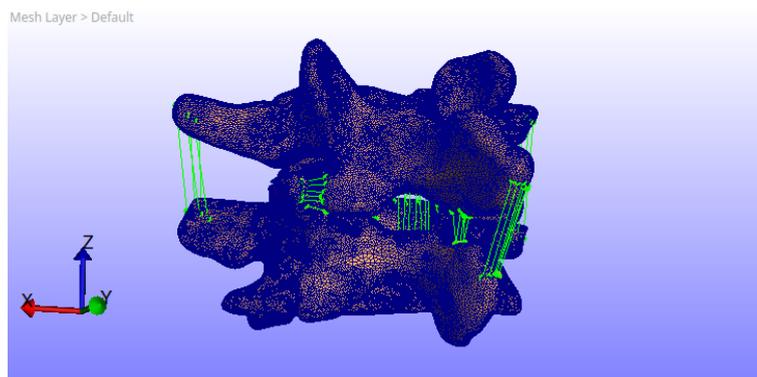


Figura 2: Modelo tridimensional, mallado y con sus correspondientes ligamentos. Hecho con FEBio Studio.

Parte	Material	Módulo de Young [MPa]
Vértebra L4 y L5	Neo Hookeano	100
Disco intervertebral	Neo Hookeano	23.8
PMMA	Neo Hookeano	2400

Tabla 1: Detalle del material empleado en cada pieza y su módulo de Young..

Entonces, hemos construido este primer modelo a través del cual determinamos, volumen de PMMA inyectado, distancias anteriores y posteriores entre vértebras para cuantificar el resultado de haber inyectado el cemento, estimación adimensional de deformaciones y tensiones de Von Mises de manera de identificar las zonas más afectadas y hemos cuantificado el volumen del foramen de conjunción.

Resultados

Pre operatorio

En la Tabla 2 se resumen las mediciones realizadas sobre el espacio intervertebral del modelo tridimensional preoperatorio. Estas mediciones se realizaron con el software FEBio Studio.

También se midió el ángulo resultante entre las vértebras L4 y L5 mediante la técnica de Cobb y su valor fue de 6°.

Distancias [mm]	
Posterior derecha	3.46
Posterior izquierda	4.84
Anterior derecha	0.0
Anterior izquierda	0.0

Tabla 2: Detalle de las distancias medidas sobre el espacio entre vértebras. Espacio intervertebral.

Post operatorio

En la Tabla 3 se resumen las mediciones realizadas sobre el espacio intervertebral del modelo tridimensional post operatorio, con el PMMA ya inyectado. Estas mediciones se realizaron con el software FEBio Studio.

Distancias [mm]	
Posterior derecha	7.07
Posterior izquierda	6.61
Anterior derecha	7.40
Anterior izquierda	5.24

Tabla 3: Detalle de las distancias medidas sobre el espacio entre vértebras. Espacio intervertebral.

Conclusiones

El objetivo de este estudio es comenzar el camino hacia la evaluación personalizada de casos de pacientes con patologías en la columna vertebral, en particular a aquellos que se han sometido a una discoplastia, evaluar la biomecánica del resultado postoperatorio y poder facilitar una herramienta más para perfeccionar la metodología en quirófano.

Este trabajo preliminar se ha limitado a mediciones del tipo geométricas que son de utilidad para los médicos pero que por sus características son difíciles de caracterizar con las técnicas de imágenes clínicas convencionales. En ese aspecto, la construcción de modelos tridimensionales constituyen una herramienta novedosa en este tipo de intervenciones. Asimismo, hemos comenzado a desarrollar las primeras simulaciones mecánicas con resultados no concluyentes aún, pero que en líneas generales nos permiten desarrollar varios ensayos computacionales (torsión, flexión, compresión) que brindan información de la separación y movilidad adquirida luego de la intervención.

Referencias

- Camino Willhuber, G., Kido, G., Pereira Duarte, M., Estefan, M., Bendersky, M., Bassani, J., Petracchi, M., Gruenberg, M., & Sola, C. (2019, September 6). Percutaneous Cement Discoplasty for the Treatment of Advanced Degenerative Disc Conditions: A Case Series Analysis. *Global Spine Journal*, *10*(6), 729–734. <https://doi.org/10.1177/2192568219873885>
- Fedorov, A., Beichel, R., Kalpathy-Cramer, J., Finet, J., Fillion-Robin, J. C., Pujol, S., Bauer, C., Jennings, D., Fennessy, F., Sonka, M., Buatti, J., Aylward, S., Miller, J. V., Pieper, S., & Kikinis, R. (2012, November). 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magnetic Resonance Imaging*, *30*(9), 1323–1341. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001>
- Finley, S. M., Brodke, D. S., Spina, N. T., DeDen, C. A., & Ellis, B. J. (2018, April 26). FEBio finite element models of the human lumbar spine. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, *21*(6), 444–452. <https://doi.org/10.1080/10255842.2018.1478967>
- Jia, H., Xu, B., & Qi, X. (2022, June 20). Biomechanical evaluation of percutaneous cement discoplasty by finite element analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *23*(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05508-1>
- Maas, S. A., Ellis, B. J., Ateshian, G. A., & Weiss, J. A. (2012, January 1). FEBio: Finite Elements for Biomechanics. *Journal of Biomechanical Engineering*, *134*(1). <https://doi.org/10.1115/1.4005694>
- Varga, P. P. (2015, February 10). *Experiences with PMMA cement as a stand-alone intervertebral spacer*. SpringerLink. Retrieved September 12, 2022, from https://link.springer.com/article/10.1007/s00132-014-3060-1?error=cookies_not_supported&code=a44bc38c-bcde-4707-92db-8df08844fd67