



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional

DESARROLLO DE UN MODELO DISCRETO PARA EL ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS CONFIGURACIONALES DEL FIBRINÓGENO Y SU RESPUESTA A CARGAS DE TENSIÓN

Andrés Vicencio Parra¹ y Alejandro Pacheco Sanjuán¹

¹Departamento de Ingeniería Mecánica – Universidad Técnica Federico Santa María
Av. España 1680– Valparaíso – CHILE
e-mails : andres.vicencio@sansano.usm.cl, alejandro.pachecos@usm.cl

RESUMEN

El fibrinógeno es una glicoproteína que se transforma en fibrina y se polimeriza en una malla que da estructura a coágulos de sangre, los cuales pueden causar posibles complicaciones si se llegasen a desprender de la pared arterial [1]. A pesar de su importancia, aun no se tiene una caracterización precisa del comportamiento mecánico de esta estructura [2]. El uso de Dinámica Molecular “All Atoms” (DMAA) puede ayudar al entendimiento de la mecánica del coágulo, pero su alto costo computacional restringe su uso a sistemas relativamente pequeños y tiempos biológicamente poco representativos. En la presente investigación se desarrolló un modelo de grano grueso para representar los cambios configuracionales y la relación fuerza-extensión del fibrinógeno. El modelo consta de 11 cuerpos con una interacción definida mediante energías potenciales de contacto. Los parámetros de los potenciales fueron determinados a través de simulaciones de Monte Carlo basadas en cadenas de Markov. Las funciones de error para el modelo estadístico se calcularon a través de curvas de fuerza-extensión de ensayos experimentales y valores de energía potencial obtenidas de DMAA. Este modelo puede ser utilizado como base para el desarrollo de simulaciones del proceso de polimerización de fibrina disminuyendo considerablemente los costos computacionales.

Agradecimientos

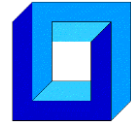
Andrés Vicencio agradece a la DGIIIP-USM por el soporte financiero a su trabajo de investigación.

REFERENCIAS

- [1] S. Yesudasan, X. Wang and R. D. Averett, “Fibrin Polymerization Simulation using a Reactive Dissipative Particle Dynamics Method”, *Biomech Model Mechanobiol*, vol 18, no 5, pp. 1389-1403, October 2018.
- [2] P. K. Purohit, R. I. Litvinov, A. E. Brown, D.E. Discher, J. W. Weisel, “Protein unfolding accounts for the unusual mechanical behavior of fibrin networks”, *Acta Biomater*, vol. 7, pp. 2374-2383, February 2011.



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional

ANÁLISIS DE LA RESPUESTA MECÁNICA DE ARTERIAS CORONARIAS AL INCORPORAR VARIACIONES GEOMÉTRICAS EN LA CAPA ÍNTIMA

O. Molina¹, E. Rivera^{1*}, C. García-Herrera¹, L. Gordillo², E. Cerda² y C. Godoy³

¹Departamento de Ingeniería Mecánica – Universidad de Santiago de Chile

Av. Bdo. O'Higgins 3363 – Santiago – CHILE

²Departamento de Física - Universidad de Santiago de Chile

Av. Bdo. O'Higgins 3363 - Santiago - CHILE

³Escuela de Medicina- Universidad de Santiago de Chile

Av. Bdo. O'Higgins 3363 - Santiago - CHILE

e-mail : eugenio.rivera@usach.cl

RESUMEN

El siguiente trabajo expone un estudio de las respuestas biomecánicas de arterias coronarias humanas considerando una geometría no idealizada en la superficie interior. Las arterias coronarias son responsables de irrigar el corazón, nacientes de los senos aórticos son dos ramificaciones que emergen de la arteria aorta, su función principal consiste en transportar sangre oxigenada hacia el corazón para mantener la homeostasis. El presente estudio, contiene una caracterización de cada capa que compone la pared arterial, que macroscópicamente corresponden a las capas adventicia, media e íntima. Para esto se utilizan datos experimentales de ensayos de tracción uniaxial disponibles en la literatura [1], junto con modelos constitutivos hiperelásticos e isotropos. Los constantes materiales de los modelos constitutivos son ajustado mediante mínimos cuadrados no lineales [2], procurando obtener una alta calidad de ajuste. Posteriormente, se realizan simulaciones numéricas para evaluar el comportamiento biomecánico en las arterias coronarias bajo cargas de presurizado cuasiestático. Un aspecto novedoso en el análisis propuesto es la evaluación de geometrías no idealizadas de arterias que distinguen las tres capas del tejido arterial y que contienen variaciones geométricas observadas en secciones transversales de arterias. El estudio proporciona información sobre la influencia de estas variaciones geométricas en el comportamiento biomecánico arterial.

Agradecimientos

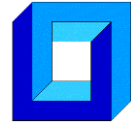
Los autores agradecen el financiamiento DICYT mediante el Proyecto N°052316RM_DAS.

REFERENCIAS

- [1] G. A. Holzapfel, "Determination of layer-specific mechanical properties of human coronary arteries with nonatherosclerotic intimal thickening and related constitutive modeling" *AJP-Heart Circ Physiol*, vol 289, no 1, pp. 4-9, July 2005.
- [2] G. A. Holzapfel, *Nonlinear Solid Mechanics*, New York: John Wiley & Sons Ltd, 2000.



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional

ESTUDIO DE MODELOS GEOMÉTRICOS CON SUPERFICIES CORRUGADAS EN MUESTRAS ARTERIALES

E. Rivera^{1*}, C. García-Herrera¹, L. Gordillo², E. Cerda² y C. Godoy³

¹Departamento de Ingeniería Mecánica – Universidad de Santiago de Chile

Av. Bdo. O'Higgins 3363 – Santiago – CHILE

²Departamento de Física - Universidad de Santiago de Chile

Av. Bdo. O'Higgins 3363 - Santiago - CHILE

³Escuela de Medicina- Universidad de Santiago de Chile

Av. Bdo. O'Higgins 3363 - Santiago - CHILE

e-mail : eugenio.rivera@usach.cl*

RESUMEN

En este trabajo se presenta un estudio biomecánico donde se consideran geometrías arteriales no idealizadas mediante la incorporación de superficies corrugadas, la inclusión de este tipo de superficies es motivada por observaciones histológicas que evidencian la formación de estas superficies en los sistemas biológicos [1]. Por otro lado, las arterias son las principales vías de transporte de sangre oxigenada hacia el cuerpo y su estudio biomecánico es fundamental para comprender de forma integral su aporte y real funcionamiento. Este estudio se centra en la evaluación de la influencia de superficies corrugadas en modelos geométricos arteriales que se someten a pruebas experimentales de tracción uniaxial, corte y presurizado, y que luego son contrastadas con las repuestas biomecánicas de geometrías idealizadas. Esta comparación permite evaluar los cambios locales reflejados mediante las relaciones de tensión-deformación, producto de los cambios geométricos. Con este fin, se desarrollan simulaciones numéricas en el contexto del método de elementos finitos (MEF), donde el comportamiento biomecánico arterial se supone hiperelástico, isótropo e incompresible [2].

Los resultados de este trabajo permiten cuantificar los cambios en el campo de tensiones y deformaciones producto del corrugado superficial presente en geometrías arteriales.

Agradecimientos

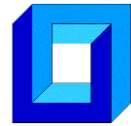
Los autores agradecen el financiamiento DICYT mediante el Proyecto N°052316RM_DAS.

REFERENCIAS

- [1] L.Pocivavsek, S. Ye, J. Pugar, E. Tzeng, E. Cerda, S. Velankar, W.R.Wagner. Active wrinkles to drive self-cleaning: A strategy for anti-thrombotic surfaces for vascular grafts. *Biomaterials*. 2019.
- [2] G. A. Holzapfel, *Nonlinear Solid Mechanics*, New York: John Wiley & Sons Ltd, 2000.



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional

Evaluación biomecánica del riesgo de fractura dental causada por bruxismo

Capetillo, Pavel¹; Meira, Josete²; Yagüe, Rafael²

¹Instituto de Investigación en Ciencias Odontológicas. Facultad de Odontología. Universidad de Chile

²Departamento de Biomateriais e Biología Oral. Faculdade de Odontologia. Universidade de São Paulo

e-mail: pcapetillo@odontologia.uchile.cl

RESUMEN

Propósito. Bruxismo es un trastorno que sobrecarga los diente mediante el aumento de intensidad (apriete) y/o dirección horizontal (rechinamiento) de las fuerzas oclusales [1]. Este trabajo evaluó, mediante análisis de elementos finitos, el riesgo de fractura dental en la región cervical ante diferentes escenarios de carga. **Metodología.** Modelos de elementos finitos de un premolar maxilar (esmalte, dentina) y sus estructuras de soporte (ligamento, hueso cortical y trabecular) fueron construidos. Los materiales fueron simulados elástico-lineales, homogéneos e isotrópicos. Restricciones fueron aplicadas en las caras libres del hueso. Cuatro escenarios de carga oclusal (intensidad /dirección) fueron aplicados: *control* (200 N /45°); *rechinamiento* (200 N /15°); *apriete* (500 N /45°); y *apriete con rechinamiento* (500 N /15°). **Resultados.** La distribución de tensión de tracción fue semejante para los cuatro modelos. Presentó dos picos de tensión, en la región cervical y frente al reborde óseo. Para evaluar el riesgo de fractura en la región cervical, las máximas tensiones de tracción fueron comparadas con la resistencia a la tracción del esmalte [2] y dentina [3]. El rechinamiento presentaría riesgo de fractura apenas en esmalte, y el apriete en esmalte y dentina. **Conclusión.** La ocurrencia de ambos factores cuadruplica el riesgo de fractura dental.

Agradecimientos. ANID. Programa Formación de Capital Humano Avanzado/ Beca de Doctorado en el extranjero - Becas Chile.

REFERENCIAS

- [1] Wood ID, Kassir AS, Brunton PA. Effect of lateral excursive movements on the progression of abfraction lesions. *Oper Dent.* 2009;34(3):273-9.
- [2] Tanaka M, Naito T, Yokota M. Finite element analysis of the possible mechanism of cervical lesion formation by occlusal force. *J Oral Rehabil.* 2003;30(1):60-7.
- [3] Sano H, Ciucchi B, Matthews WG, Pashley DH. Tensile properties of mineralized and demineralized human and bovine dentin. *J Dent Res.* 1994;73(6):1205-11.



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional

Infiriendo la orientación de la fibra cardiaca a partir de electrocardiogramas de 12 derivaciones usando redes informadas por física.

Efraín Magaña* y Francisco Sahli Costabal*

* Departamento de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica- Pontificia Universidad Católica de Chile
Av. Vicuña Mackenna 4860 – Santiago – CHILE
e-mail : emmagana@uc.cl, fsc@ing.puc.cl

RESUMEN

Las fibras musculares cardíacas poseen un rol central en la función electromecánica del corazón, por lo que existe un gran interés en estimar la orientación de estas. A pesar de las complicaciones que presenta el estimar la orientación de la fibra. Existen múltiples soluciones que estiman la orientación de la fibra a partir de mapas electro anatómicos del corazón [1]. Aun así, la toma de estos mapas electro anatómicos, corresponde a un procedimiento médico intrusivo, largo y costoso. Es por esto, que en este trabajo se propone el uso de los datos del electrocardiograma de 12 derivaciones para estimar la orientación de las fibras cardíacas usando redes informadas por física. Usando un modelo simplificado de propagación para los electrodos [2] para relacionar la orientación de las fibras con los electrocardiogramas medidos.

A diferencia de los mapas electro anatómicos, los electrocardiogramas son mediciones no invasivas, cortas y de bajo costo. Por lo que, se espera que la metodología propuesta, mejore la accesibilidad y apoye al desarrollo de métodos de predicción para tratamientos médicos personalizados.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo a través del fondo ERAPERMED-134 y la Beca de Doctorado Nacional Folio 21240538.

REFERENCIAS

- [1] C. Ruiz Herrera, T. Grandits, G. Plank, P. Perdikaris, F. Sahli Costabal, and S. Pezzuto, “Physics-informed neural networks to learn cardiac fiber orientation from multiple electroanatomical maps,” *Engineering with Computers*, vol. 38, no. 5. Springer Science and Business Media LLC, pp. 3957–3973, Jul. 21, 2022. doi: 10.1007/s00366-022-01709-3.
- [2] Pezzuto, S., Kal'avský, P., Potse, M., Prinzen, F. W., Auricchio, A., & Krause, R. (2017). Evaluation of a Rapid Anisotropic Model for ECG Simulation. *Frontiers in Physiology*, 8. doi:10.3389/fphys.2017.00265



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile**



**Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional**

**Simulación por elementos finitos de un modelo multiescala en tejido
arterial: implementación y verificación**

Andrés Utrera¹, Matías Pacheco¹, Diego Celentano² y Claudio García-Herrera¹

¹Departamento de Ingeniería Mecánica - Universidad de Santiago de Chile
Av. Bdo. O'Higgins 3363 – Santiago – Chile

e-mail : andres.utrera@usach.cl, matias.pacheco@usach.cl, claudio.garcia@usach.cl

²Departamento de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica, Centro de Investigación en Nanotecnología y
Materiales Avanzados (CIEM-UC), Pontificia Universidad Católica de Chile.

Avda. Vicuña Mackenna 4860, Macul - Santiago - Chile

e-mail : dcelentano@uc.cl

RESUMEN

El análisis multiescala en el marco de tejidos biológicos es una herramienta que permite comprender el aporte individual de los componentes mecánicamente relevantes en la respuesta macroscópica de estos materiales, utilizando para ello un elemento de volumen representativo (RVE)[1]. La arquitectura de un vaso sanguíneo puede interpretarse mecánicamente como una matriz extracelular reforzada con fibras de colágeno, donde la distribución espacial y ondulación de esta proteína afectan en gran medida la respuesta macroscópica del tejido[2]. En el presente estudio se desarrolla la implementación, verificación y ejemplos in-silico del análisis multiescala para un tejido aórtico mediante el uso del plugin-framework del software FEBio[3].

Agradecimientos

Agradecimientos a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), proyecto FONDECYT 1220956 y DOCTORADO NACIONAL BECAS CHILE 2023-21231932.

REFERENCIAS

- [1] M. Dalbosco, E. A. Fancello, and G. A. Holzapfel, 'Multiscale computational modeling of arterial micromechanics: A review', *Comput Methods Appl Mech Eng*, vol. 425, p. 116916, 2024, doi: 10.1016/j.cma.2024.116916.
- [2] T. C. Gasser, R. W. Ogden, and G. A. Holzapfel, 'Hyperelastic modelling of arterial layers with distributed collagen fibre orientations', *J R Soc Interface*, vol. 3, no. 6, pp. 15–35, 2006, doi: 10.1098/rsif.2005.0073.
- [3] S. A. Maas, S. A. LaBelle, G. A. Ateshian, and J. A. Weiss, 'A Plugin Framework for Extending the Simulation Capabilities of FEBio', *Biophys J*, vol. 115, no. 9, pp. 1630–1637, 2018, doi: 10.1016/j.bpj.2018.09.016.



**XXII Congreso Chileno de
Mecánica Computacional**
3 y 4 de octubre de 2024
Quilpué, Chile



**Sociedad Chilena de
Mecánica Computacional**

DISEÑO DE PRÓTESIS TRANSTIBIAL UTILIZANDO MATERIALES COMPUESTOS E IMPRESIÓN 3D POR SINTERIZACIÓN SELECTIVA POR LÁSER

Ilan Rojas Andana¹ y Alejandro Pacheco Sanjuán¹

¹Departamento de Ingeniería Mecánica – Universidad Técnica Federico Santa María
Av. España 1680– Valparaíso – CHILE
e-mails : ilan.rojas@sansano.usm.cl, alejandro.pachecos@usm.cl

RESUMEN

La amputación de una extremidad inferior afecta significativamente la calidad de vida. En Chile, el 1% de la población adulta enfrenta esta situación. Este trabajo propone el diseño de una prótesis transtibial utilizando materiales compuestos e impresión 3D por sinterización selectiva por láser, cumpliendo con la normativa ISO 10328:2016 para soportar hasta 100 kg (P5). El diseño incluye un cuerpo principal de PA-12 con un adaptador SACH personalizado de acero y tres configuraciones de laminado de fibra de carbono (T800H) con 6 mm de espesor. El ensamblaje considera componentes comerciales de Ottobock certificados para el nivel P5. Los análisis de cargas se desarrollaron mediante modelos de Elementos Finitos en el programa comercial ANSYS. En las pruebas estáticas se utilizó el criterio de falla de Tsai-Wu [1], determinando que la prótesis soporta las cargas sin variaciones significativas según los laminados, con la configuración $\{[0/60/-60]_{3s}\}_3$ siendo la más resistente. En las pruebas de fatiga, los esfuerzos se distribuyen siguiendo las fibras del laminado y se evaluaron mediante los diagramas de vida constante de Kawai [2], cumpliendo con los requisitos de la normativa. Concluyendo, la prótesis diseñada cumple completamente con la normativa ISO 10328:2016, demostrando su viabilidad para certificación y uso seguro.

Agradecimientos

IRA y APS agradecen a ANID por el apoyo financiero prestado a esta investigación derivado del proyecto FONDEF IDeA I+D - ID23I10188.

REFERENCIAS

- [1] Tsai, S. W. and Wu, E. M. (1971). A general theory of strength for anisotropic materials. *Journal of Composite Materials*, 5(1):58–80.
- [2] Kawai, M. and Koizumi, M. (2007). Nonlinear constant fatigue life diagrams for carbon/epoxy laminates at room temperature. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(11):2342–2353. CompTest 2006.