

Algoritmo para predecir tensiones con técnicas de inteligencia artificial en una tibia humana

Algorithm for prediction of strains in human tibia by means of artificial intelligence techniques

MSc. Yosbel Angel Cisneros Hidalgo,^I DrC. Raide Alfonso González Carbonell,^I Dr. Armando Ortiz Prado,^{II} Dr. Víctor Hugo Jacobo Almendáriz^{III}

^I Departamento Ingeniería Mecánica. Grupo de Bioingeniería y Biomecánica, Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz". Camagüey, Cuba.

^{II} Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de México (UNAM). Coyoacán. DF, México.

^{III} Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de México (UNAM). Coyoacán. DF, México.

RESUMEN

Introducción: el desarrollo de la informática y sus herramientas influyen de forma significativa en los avances científicos tecnológicos, en la esfera de la salud. La simulación de problemas reales mediante redes neuronales, relaciona intrínseco, la medicina y la informática, por utilizar estas redes modelos basados en el funcionamiento de neuronas humanas. Si a esta potente herramienta unimos un método numérico de cálculo, que permita servir de fuente de datos a la red neuronal, se podrán modelar tejidos y partes del cuerpo humano. Una de las ramas de mayor implementación, podría ser la ortopedia, debido en lo fundamental, a la similitud que tiene el cuerpo humano y su estructura ósea, con las propiedades de los materiales de ingeniería, la cual es un área clave en la aplicación del Método de los Elementos Finitos.

Objetivo: crear un algoritmo que permita dar solución al problema de remodelación ósea de una tibia humana bajo diferentes valores de cargas mecánicas.

Métodos: se empleó el Método de los Elementos Finitos. Se usó el software profesional ABAQUS/CAE para el cálculo de tensiones y deformaciones y una red neuronal para el procesamiento de los valores obtenidos. La red neuronal fue establecida; se aplicó el software MATLAB R2013a.

Resultados: se logró un modelo de red neuronal que posibilita predecir las cargas que una determinada zona de la tibia puede soportar.

Conclusiones: mediante el uso de las técnicas de inteligencia artificial y con el empleo del método de los elementos finitos, fue posible obtener un modelo que pronosticó las magnitudes de tensiones, que una región de la tibia humana podría soportar, en dependencia de los valores de densidades óseas presente en dicha región.

Palabras clave: método de los elementos finitos, redes neuronales artificiales, tibia.

ABSTRACT

Introduction: the development of information sciences and their influence in a significant way the scientific and technological advances in the field of health care. The simulation of real-life problems through neuronal networks intrinsically relates medicine and informatics since these networks use models based on human neuron functioning. If we add to this potent tool a numerical calculation method that allows the neuronal network to serve as a data source, then tissues and parts of the body could be modeled. One of the branches with more implementation in this regard could be orthopedics due to the similarities of the human body and its osseous structures with the properties of the engineering materials and this is a key area in the application of finite element method.

Objective: to create an algorithm that may solve the problems of osseous remodeling of a human tibia under different mechanical load values.

Methods: the Finite Element Method was used together with the professional software ABAQUS/CAE for estimation of strains and deformations and a neuronal network to process the obtained values. The neuronal network was set and then the software MATLAB R2013a was applied.

Results: a neuronal network model that makes it possible to predict the loads that certain area of the tibia may stand.

Conclusions: through the artificial intelligence techniques and the use of the finite element method, it was possible to obtain a model that predicts the strain magnitude that may be supported by a human tibia area depending on the osseous density values present in this area.

Keywords: finite element method, artificial neuronal networks, tibia.

INTRODUCCIÓN

La ciencia y la tecnología avanzan de forma implacable, a velocidades apreciables en la esfera de la salud, esto se debe a que las nuevas investigaciones científicas se han orientado al beneficio de la sociedad.¹ Las ingenierías constituyen un aliado valioso en el aumento de la calidad de la salud humana, en cuanto al desarrollo de equipos médicos, de biomateriales, así como la modelación de enfermedades mediante computadoras. El uso de la informática en el campo de la salud ha alcanzado en la actualidad un uso importante, estas permiten recopilar, procesar y almacenar datos, con el fin de ayudar a los doctores y especialistas a diagnosticar enfermedades del

paciente.^{2,3} En la modelación de tejidos se han desarrollado varias investigaciones dirigidas a la caracterización de tejidos duros y blandos con mayor aplicación en tejidos duros.^{4,5} El estudio del comportamiento mecánico del hueso, auxiliado de redes neuronales artificiales, posibilita obtener resultados inversos de trabajo, permite determinar qué carga soporta una determinada zona del cuerpo humano, parte de valores conocidos de densidades óseas obtenidas, mediante tomografía axial computarizada (TAC).⁶

Las redes neuronales artificiales son modelos matemáticos que intentan reproducir el funcionamiento del sistema nervioso. Como todo modelo realizan una simplificación del sistema real, que simula y toma las características principales del propio. El cerebro es el elemento principal del sistema nervioso humano y está compuesto por un tipo especial de célula, llamada neurona. Una neurona es una célula viva y como tal, posee todos los elementos comunes de las células biológicas. A su vez, las neuronas tienen características propias que le permiten comunicarse entre ellas, lo que las diferencia del resto de las células biológicas y las relaciona más, con los modelos utilizados en las ciencias informáticas, ya que permiten las funciones básicas de todo ordenador, entrada, salida y almacenamiento de información.⁷

La simulación del comportamiento del hueso ante cargas mecánicas externas, permite establecer predicciones sobre procesos que pueden durar años y cuya evaluación experimental es muy costosa y a veces imposible.⁸ El Método de Elementos Finitos (MEF) constituye una herramienta útil empleada en la modelación del comportamiento del hueso.⁵⁻⁷ Este método consiste en dividir en pequeñas regiones de área la geometría del hueso, y luego formar un sistema de ecuaciones que relacione cada diferencial de área, para luego dar solución al sistema mediante métodos numéricos; la exactitud del método depende de varios factores entre los que están:

- Elección de un correcto mallado o discretizado de la región.
- Elección de un tamaño óptimo de elemento.
- Selección del tipo correcto de elemento a emplear.

Los modelos mecanobiológicos, determinan de forma cuantitativa la influencia del entorno mecánico en la diferenciación de tejidos, así como en su crecimiento, adaptación y modificación estructural, incorpora los procesos biológicos y celulares implicados.¹¹ La utilización de estos modelos es básica en ingeniería de tejidos y en el tratamiento y prevención de situaciones patológicas, como deformaciones congénitas, osteoporosis, osteoartritis, consolidación de fracturas óseas y curación de heridas.¹² El objetivo fundamental de este trabajo es confeccionar un algoritmo que permita predecir las cargas que puede soportar una tibia humana, con el método de los elementos finitos, los modelos mecanobiológicos y las redes neuronales artificiales.

MÉTODOS

Se utilizó el MEF para obtener un conjunto de datos que posterior, se introducen en la red neuronal, la cual tiene la tarea de procesar esa información y brindar al doctor, un resultado favorable aunque los valores de densidades óseas no estén implícitos en el modelo; la red debe aprender de los datos que ya tiene procesados y brindar un resultado con el menor error posible.

Modelo de cargas y condiciones de contorno.

Se utilizó en el estudio un modelo donde a la tibia se le han restringido los seis grados de libertad posibles (empotramiento) en la epífisis proximal, y se aplicaron valores de momento torsor en la epífisis distal. (Fig.1)



Fig. 1. Modelo de cargas y condiciones de contorno.

Valores de cargas aplicados a la tibia

En la siguiente tabla se muestran los valores experimentales de carga, que se emplearon hacia obtener los datos para entrenar y probar la red neuronal artificial.

Tabla. Valores de cargas empleados en las corridas computacionales de la tibia

Valor de la carga (unidades)	Zona
4000 u	Epífisis distal
3000 u	Epífisis distal
2000 u	Epífisis distal
1000 u	Epífisis distal

Modelo de red neuronal empleada. Perceptrón Multicapa (MLP)

El perceptrón multicapa es una extensión del perceptrón simple. La topología de un perceptrón multicapa, está definida por un conjunto de capas ocultas, una capa de entrada y una de salida. No existen restricciones sobre la función de activación aunque en general se suelen utilizar funciones sigmoideas. A continuación se expone el esquema típico, el cual es el modelo más monopolizado en la actualidad. (Fig. 2)

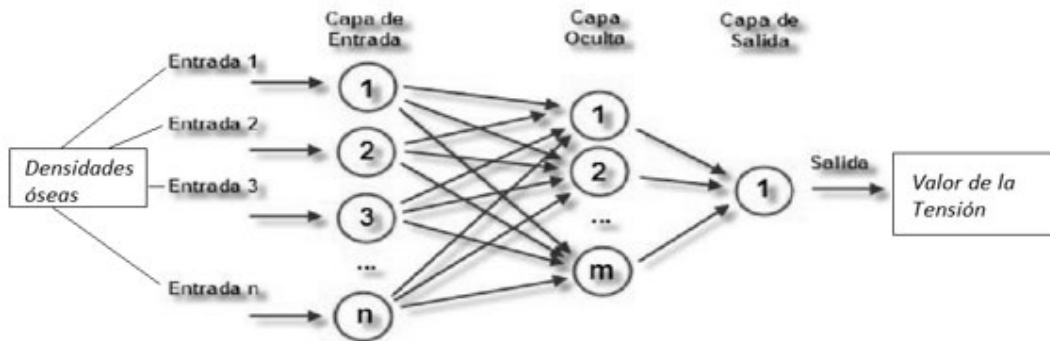


Fig. 2. Esquema típico de un Perceptrón Multicapa.

Algoritmo practicante para vincular el MEF con las técnicas de Inteligencia Artificial.

El siguiente esquema muestra un algoritmo llevado a cabo para vincular las técnicas de inteligencia artificial, con el MEF y los modelos mecanobiológicos. (Fig. 3)

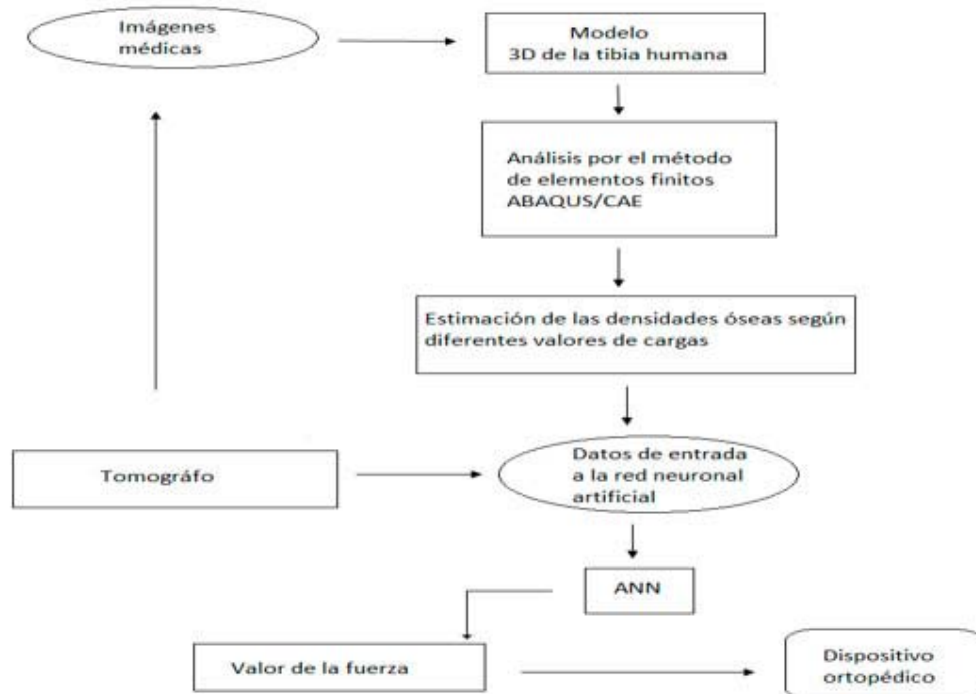


Fig. 3. Algoritmo genérico que se empleó.

RESULTADOS

En el siguiente gráfico se muestra la evolución del error en el análisis de las tensiones (Fig. 4).

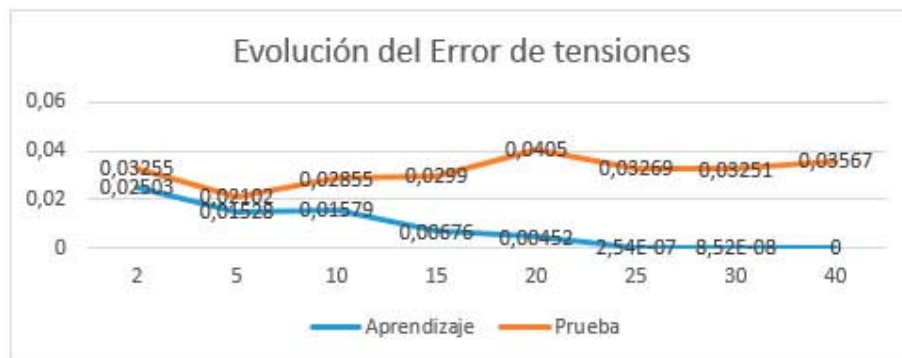


Fig. 4. Gráfico de la evolución del error de prueba y entrenamiento.

Al analizar el gráfico obtenido para el error, se determina como solución óptima una capa intermedia con 5 neuronas. Se toma esta solución ya que a partir de ella aparece un sobre entrenamiento de la red, el que produce una pérdida de generalización, por el uso excesivo de neuronas en la capa intermedia de la red neuronal.

DISCUSIÓN

Para comprobar la red neuronal artificial (ANN) se empleó la técnica de validación cruzada. Consiste en fraccionar los datos de la muestra, en este caso en dos subconjuntos:

- Un subconjunto utilizado para entrenar al modelo (90 % de los datos disponibles).
- Otro subconjunto utilizado para validar y testear el modelo (10 % de los datos disponibles). La ventaja de la validación cruzada es que utiliza todos los datos con que se cuenta en la prueba de entrenamiento y el error es independiente de los datos seleccionados en cada modelo.

Como modelo inicial se tomaron 100 valores de densidades para cada condición de momento torsor aplicado a la tibia y 30 elementos de entrada.

Se tomó en cuenta como modelo de cargas y condiciones de contorno, las que más se adecuan a las condiciones de Cuba, que consiste en la inmovilización total del miembro afectado mediante yeso. Cabe destacar que solo se empleó un valor de momento torsor estático, el cual para mayor exactitud podrían considerarse además, los efectos de la marcha y el peso del paciente.

Se observa que mientras el error de aprendizaje disminuye de forma continua, según aumenta el número de neuronas, el error de prueba no sigue una trayectoria predecible. El error decrece hasta llegar al entrenamiento de capa intermedia con 5 neuronas, luego el error aumenta hasta alcanzar el último punto de entrenamiento que corresponde a la capa intermedia con 40 neuronas. Cabe destacar que para 30 neuronas se alcanza un mínimo relativo, el cual no será considerado debido a que es de valor superior al obtenido, para una capa intermedia con 5 neuronas

Se puede constatar que con un correcto modelado, la red neuronal se puede llegar a predecir con bastante exactitud las condiciones de carga de un paciente mediante de su distribución de densidades.

El modelo matemático de red neuronal desarrollado, servirá como un método aproximado para predecir las tensiones de pacientes, con el empleo, solo de las densidades obtenidas por una TAC.

La aplicación de este tipo de modelo, con el uso de técnicas de inteligencia artificial, en la práctica clínica, resultaría de interés marcado para especialistas en la rama ortopédica para predecir con bastante exactitud, el valor correcto de momento torsor, que deber ser aplicado a los pacientes con el objetivo de corregir deformidades.

Agradecimientos

A la DraC. Yailé Caballero Mota y del Grupo de Inteligencia Artificial de la Universidad de Camagüey por su orientación en la presente investigación.

Financiamiento

Por la Universidad Nacional Autónoma de México, mediante los proyectos PAPIIT IN115415 y PAPIIT IN115015 y por la Universidad de Camagüey.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. González Carbonell RA, Álvarez García E, Moya Rodríguez J. Tacón de Torque para uso Ortopédico: Propuesta de un Nuevo Diseño. V Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2011. IFMBE Proceedings 33. La Habana: Springer; 2013. p. 912-5.
2. Cisneros Hidalgo YA, González Carbonell RA, Puente Álvarez A, Camue Corona E, Oropesa Rodríguez YE. Aplicación de los modelos mecanobiológicos en los procesos de regeneración ósea. Rev Cub Ortop Traumatol. 2014 [citado 10 Dic 2014]; 28(2): 214-22. Disponible en: http://bvs.sld.cu/revistas/ibi/vol33_3_14/ibi07314.htm
3. Calderín Pérez B, González Carbonell RA, Landín Sorí M, Nápoles Padrón E. Aplicabilidad de la simulación computacional en la biomecánica del disco óptico. Rev Arch Med Camagüey. 2015; 19(1): 73-82.
4. Coelho PG, Fernandes PR, Rodrigues HC, Cardoso JB, Guedes JM. Numerical modeling of bone tissue adaptation—A hierarchical approach for bone apparent density and trabecular structure. Journal of Biomechanics. 2009; 42(7): 830-7.

5. Carretta R, Lorenzetti S, Müller R. Towards patient-specific material modeling of trabecular bone post-yield behavior. *International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering* [Internet]. 2013; 29(2):250-72. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/cnm.2516>
6. Garijo N, Martínez J, García-Aznar JM, Pérez MA. Computational evaluation of different numerical tools for the prediction of proximal femur loads from bone morphology. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2014 [citado 5 feb 2015]; 268(0):437-50. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045782513002570>
7. Kashid S, Kumar S. Prediction of Life of Die Block Using Artificial Neural Network. *Applied Mechanics & Materials*. 4 de agosto de 2014 [citado 13 ene 2015]; (592-594):689-93. Recuperado de: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aci&AN=99680438&site=ehost-live>
8. Cisneros Hidalgo YA, González Carbonell RA, Ortiz Prado A, Jacobo-Armendáriz VH, Puente Álvarez A. Modelo mecanobiológico de una tibia humana para determinar su respuesta ante estímulos mecánicos externos. *Rev Cub Inv Bioméd*. 2015 [citado abri 2015]; 34(1):6.
9. Hazrati Marangalou J, Ito K, Van Rietbergen B. A new approach to determine the accuracy of morphology–elasticity relationships in continuum FE analyses of human proximal femur. *Journal of Biomechanics*. 2012; 45:2884-92.
10. Nagel T, Kelly D. Computational Mechanobiology in Cartilage and Bone Tissue Engineering: From Cell Phenotype to Tissue Structure. En: Geris L, editor. *Computational Modeling in Tissue Engineering* [Internet]. Springer Berlin Heidelberg; 2013. p. 341-77.
11. González Carbonell RA, Ortiz Prado A, Cisneros Hidalgo YA, Alpizar Aguirre A. Bone remodeling simulation of subject-specific model of tibia under torque. En: Braidot A, Hadad A, editores [internet]. 2015 [citado 1 Ene 2015]. p. 446-9. Recuperado de: <http://www.springer.com/engineering/biomedical+engineering/book/978-3-319-13116-0>
12. Cisneros Hidalgo YA, González Carbonell RA, Puente Álvarez A, Camue Corona E, Oropesa Rodríguez Y. Generación de imágenes tridimensionales: integración de tomografía computarizada y método de los elementos finitos. 2014 [citado 5 Ene 2015]; 33(3). Recuperado de: <http://bvs.sld.cu/revistas/ibi/vol33314/ibi07314.htm>

Recibido: 16 de abril de 2015.

Aprobado: 20 de mayo de 2015.

Yosbel Angel Cisneros Hidalgo . Facultad de Electromecánica. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Camagüey. Camagüey, Cuba.
Correos electrónico: yosbel.cisnero@reduc.edu.cu; yosbel.cisneros2013@gmail.com
