

Desarrollo de un algoritmo para la producción de imágenes sintéticas de la estructura trabecular de los huesos

Polanco Castro, Eduardo

2022-12-02

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/5584>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

Desarrollo de un algoritmo para la producción de imágenes sintéticas de la estructura trabecular de los huesos

Morales Pérez Omar (noveno semestre en Ingeniería Biomédica)¹, Polanco Castro Eduardo (noveno semestre en Ingeniería Biomédica)^{1*}, Vinalay Romero Kevin Luis (octavo semestre en Ingeniería Biomédica)¹

Colín Ortega Juan Carlos (profesor responsable)¹

Barreto Grande Jonás (profesor asesor)¹

Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México¹

Resumen

La adquisición de imágenes médicas reales resulta ser un procedimiento costoso y su uso está limitado por restricciones de privacidad, por lo tanto, la falta de acceso a estas imágenes desemboca en el interés por desarrollar imágenes sintéticas. La producción de imágenes sintéticas de tejido trabecular brinda acceso a imágenes ilimitadas y sin costos de adquisición, haciendo posible que investigadores o personas con experiencia en el campo de la informática biomédica, utilicen dicho producto para la validación de algoritmos diseñados para la segmentación de tejido óseo. Por ende, se plantea el desarrollo de un algoritmo para la producción de imágenes sintéticas de la estructura trabecular de los huesos, caracterizadas por los principios físicos de la Microtomografía Computarizada (μ CT), para ser utilizadas en la validación de algoritmos de segmentación de tejido óseo. La metodología de desarrollo del proyecto comprende generar una imagen de 255x255 píxeles con valores binarios, para después utilizar técnicas de procesamiento que simulen las características técnicas de la μ CT. Finalmente, estos pares de imágenes son generados a partir de una interfaz en la que el usuario puede producir y guardar tantas muestras como lo requiera para validar su algoritmo. Concluyendo que las imágenes producidas a partir del algoritmo desarrollado no representan un tejido óseo específico, pero que están respaldadas por la física de la estructura trabecular y de la adquisición de imágenes mediante μ CT.

Palabras clave: Algoritmo de clasificación, Hueso trabecular, Imágenes médicas, Imágenes sintéticas, Microtomografía computarizada.

***Autor Corresponsal:** eduardo.polanco@iberopuebla.mx

Introducción

El esqueleto es una estructura dinámica formada por huesos, cada hueso es un órgano duro que está compuesto por varios tejidos, principalmente de tejido óseo [1]. Como se observa en la Fig.1, se pueden distinguir dos tipos de tejido óseo, el hueso cortical o compacto es sólido y con baja porosidad (entre 5 y 10%). Contiene una red de finos conductos longitudinales (canales de Havers) y transversales (conductos de Volkmann), que alojan vasos sanguíneos y fibras nerviosas. Constituye el 80% de la masa del esqueleto de una persona adulta, formando la capa externa de todos los huesos y las diáfisis de los huesos largos [2, 3].

Por otro lado, el hueso esponjoso o también denominado trabecular o poroso, está compuesto de un arreglo tridimensional de placas óseas ramificadas llamadas trabéculas, que forman un sistema de cavidades intercomunicadas, que contienen médula ósea y células que reciben nutrientes de la sangre circulante. Este tipo de tejido conforma el 20% del esqueleto de una persona adulta y se encuentra principalmente en la estructura interna de los cuerpos vertebrales, en las epífisis y metáfisis de los huesos largos [2, 3].

En el área de la medicina existe el interés por estudiar las causas y consecuencias de las patologías óseas. Bajo esta idea, se ha considerado al hueso sano como un órgano-tejido vivo dotado de una composición química, una estructura jerarquizada y un sistema de modulación estructural; que son responsables de sus propiedades biomecánicas y de su resistencia [4].

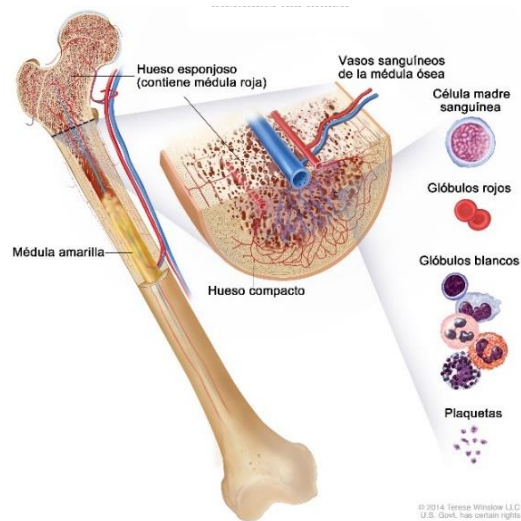


Fig. 1: Anatomía del hueso.

La matriz orgánica del hueso está jerarquizada en tres niveles estructurales diferentes: macro, micro y ultra. El estudio de los niveles estructurales es relevante para el análisis de la resistencia ósea, ya que esta depende de dos variables: la cantidad y calidad ósea. Si bien la cantidad de hueso está sujeta a la densidad mineral ósea (DMO), la calidad precisa del análisis de variables como la macroestructura, la microestructura y la ultraestructura [4].

Por ello, mediante técnicas de imagen numerosos autores han estudiado estos niveles estructurales. Sumado a esto, por su riqueza semiológica y disponibilidad, la radiología se ha posicionado como una herramienta insustituible en el análisis y valoración del tejido óseo [5].

Fig. 15: Par de imágenes utilizadas para la validación de algoritmos de clasificación.

Prueba de algoritmos de clasificación

Se utilizó el algoritmo de clasificación k-means como medio para comprobar que la segmentación del tejido óseo a partir de la imagen procesada representa un reto. Para medir la efectividad de dicho algoritmo, se hace uso de la métrica DICE, que compara la imagen reconstruida a partir de la segmentación del algoritmo, con la imagen que contiene las etiquetas reales, dándole mayor relevancia a los verdaderos positivos, es decir, los píxeles que el algoritmo clasificó como hueso y que en las etiquetas reales sí lo eran. Esta métrica tiene como valor máximo 1, siendo este un caso ideal en el que el algoritmo acierta en todo. En la Fig. 16, se presentan tres casos, la imagen procesada con las características físicas de la μ CT, una imagen con las etiquetas reales con ruido tipo poisson y la imagen sin ruido, pero con valores de grises. La imagen procesada, generada a partir del algoritmo desarrollado, es la que obtiene un DICE menor, lo que permite interpretar que es con esta imagen con la que el algoritmo de clasificación tiene mayor número de errores. Las otras dos pruebas únicamente tienen relevancia para justificar que las imágenes pueden desarrollarse tan difíciles como sean requeridas por el usuario, de tal manera que puedan participar en distintas etapas de validación de un mismo algoritmo, sólo con modificar los procesos a los que

las imágenes son sometidas. Al analizar las imágenes reconstruidas a partir de la clasificación del algoritmo k-means, se puede establecer que este tipo de algoritmos sirve también como una especie de filtro para imágenes con ruido, lo cual resulta importante ya que las imágenes médicas reales siempre están envueltas en ruidos derivados del proceso de adquisición

Como medio de entrega para las imágenes generadas por el algoritmo desarrollado, se diseñó una interfaz con la herramienta App Designer del software Matlab. En la Fig. 17 se presenta la interfaz que será utilizada por la persona que desee probar su algoritmo de clasificación, la cual puede modificar la energía de rayos x y el coeficiente de atenuación del hueso si es que desea representar, a nivel de escala de grises, otra estructura ósea. Además, puede configurar el nivel de ruido de la imagen final para producir y guardar imágenes de manera ilimitada.

Fig. 17: Interfaz desarrollada en Matlab.

Fig. 16: Algoritmo k-means evaluado mediante la métrica DICE.

Conclusiones, perspectivas y recomendaciones.

Para concluir, el algoritmo desarrollado tiene la capacidad de producir imágenes de manera ilimitada, lo cual, es útil para validar algoritmos que requieren de grandes conjuntos de entrenamiento para probar su funcionalidad. Si bien, el algoritmo fue desarrollado a partir de la física de la estructura trabecular real y es capaz de generar imágenes sintéticas bajo especificaciones físicas propias de la adquisición de imágenes mediante la μ CT, esto no significa que las imágenes representen un tejido óseo real específico, únicamente se obtienen imágenes prueba con la función de participar en la validación de algoritmos de clasificación. Además, el nivel de dificultad de las imágenes producidas puede variar tanto como sea necesario, obteniendo imágenes

con características relacionadas a su forma de adquisición y con la adición de diferentes tipos de ruido que el software de Matlab ofrece como sal y pimienta, gaussiano, etc. A su vez, en esta etapa del proyecto los resultados obtenidos no están enfocados a temas de diagnóstico, más bien, el algoritmo tiene la finalidad de otorgar imágenes sintéticas e ilimitadas de la estructura trabecular de los huesos, para que investigadores y expertos en procesamiento de imágenes, que se encuentran desarrollando algoritmos de clasificación de tejido óseo, puedan evaluar sus proyectos en una fase de ensayos preclínicos. De esta forma, los autores con base en los resultados que obtengan durante esta etapa, podrán sustentar la traslación de sus ensayos a modelos sintéticos más complejos o incluso a pruebas con imágenes médicas reales.

Referencias

1. K. Saladin, Anatomía y fisiología: la unidad entre forma y función., Sexta ed., Ciudad de México, Ciudad de México: McGraw-Hill, 2012, pp. 144-164.
2. M. Flores, M. Ortiz, A. Cruz y F. López, «La mecánica del hueso: una revisión de los modelos de remodelación óseo,» *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, vol. 6, n° 9, 2018.
3. E. Ramírez, A. Ortiz, R. Schouwenaars y O. Ruíz, «Metodología para el modelado del comportamiento mecánico de hueso esponjoso a partir de sus microestructuras,» *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. 11, n° 2, pp. 199-216, 2010.
4. J. Caeiro, S. Dapía, E. Vaquero, L. Roca y M. Blanco, «Factores determinantes de la resistencia ósea,» *REEMO*, vol. 14, n° 4, pp. 67-74, 2005. 10.1016/S1132-8460(05)72686-6
5. M. Irie, G. Rabelo, R. Spin-Neto, P. Dechichi, J. Borges y P. Soares, « Use of Micro-Computed Tomography for Bone Evaluation in Dentistry,» *Brazilian dental journal*, vol. 29, pp. 227-238, 2018. 10.1590/0103-6440201801979.
6. L. Colabella, A. Cisilino y J. Ballarre «Diseño multiescala de estructuras porosas inspiradas en el hueso trabecular», Buenos Aires: Universidad Nacional del Mar de Plata, 2018.
7. J. Cano, J. Campo, J. Vaquero, J. Martínez y A. Bascones, «High resolution image in bone biology I. Review of the literature,» *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, vol. 12, n° 6, pp. 454-458, 2007.
8. A. Peña, A. Casanova y M. Peña, «Privacidad y confidencialidad en el manejo de los estudios y las redes de imágenes,» *Bios Papers*, vol. 1, n° 2, 2022. 10.18270/bp.v1i2.3911
9. A. Loera, E. Ramírez, O. Ruíz y A. Ortiz, «Generación de modelos tridimensionales de hueso esponjoso a partir de imágenes de su estructura trabecular,» *B Memorias del XXVI Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, 2020.
10. E. Pérez, «Modelado tridimensional de la estructura trabecular y simulación computacional de su comportamiento mecánico», Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2015.
11. C. Peña, D. Albretch, D. Paganin, P. Harris, C. Hall, R. Bassed y M. Dimmock, «Development of a simple numerical model for trabecular bone structures,» *Med Phys*, vol. 46, n° 4, pp. 1766-1776, 2019.

12. A. Grzeszczak, S. Lewin, O. Eriksson, J. Kreuger y C. Persson, «The Potential of Stereolithography for 3D Printing of Synthetic Trabecular Bone Structures,» *Materials (Basel)*, vol. 14, nº 13, 2021.
13. J. Barreto, «Biomedical Informatics,» Clase Informática Biomédica III, 18 mayo 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.overleaf.com/project/626032ddb77aea11e005bad>. [Último acceso: 18 mayo 2022].