

MODELO DIDÁCTICO DE PIE IMPRESO EN 3D A PARTIR DE ESTUDIO DE IMAGEN

Trigo Montserrat Alarcón Ruíz^a, Miguel Ángel Méndez Velázquez^a, Jaime Alberto Cisneros Ríos^a, Enrique Aguilar Martínez^a, Jesús Eduardo González Gómez^a, Rodrigo Elizondo Omaña^a, Santos Guzmán López^a

^aCentro de Ingeniería Biomédica, Hospital Universitario Dr. José Eleuterio González, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, N.L, ibhu@uanl.mx

RESUMEN

La carrera del Médico cursa por diversas adversidades a lo largo de su aprendizaje, una de estas es el estudio de la anatomía humana la cual requiere bastos niveles de conocimiento y demanda una abstracción visoespacial importante.

El objetivo de este proyecto es generar una herramienta de enseñanza adicional y complementaria a las actuales, que permita al estudiante la comprensión de la anatomía de manera tangible utilizando las tecnologías actuales de segmentación e impresión 3D.

La representación tridimensional impresa de la anatomía humana a partir de estudios de imagen en la enseñanza a los estudiantes de medicina resulta en una poderosa herramienta para la adquisición de conocimientos en búsqueda de una mejor comprensión de la materia, fungiendo como apoyo a métodos convencionales de enseñanza.

Palabras Clave: Impresión 3D, Anatomía, Modelo Anatómico

ABSTRACT

The career of Doctor attends to various adversities throughout his learning, one of these is the study of human anatomy which requires vast levels of knowledge and demands an important visuospatial abstraction.

The objective of this project is to generate a teaching tool that is additional and complementary to the current ones, allowing the student to understand the anatomy in a tangible way using the current segmentation and 3D printing technologies.

The printed three-dimensional representation of human anatomy from imaging studies in the teaching of medical students results in a powerful tool for the acquisition of knowledge in search of a better understanding of the subject, serving as support for conventional methods of teaching.

Keywords: 3D printing, Anatomy, Anatomic Model

ANTECEDENTES

La carrera del Médico cursa por diversas adversidades a lo largo de su aprendizaje, una de estas es el estudio de la anatomía humana la cuál requiere bastos niveles de conocimiento y demanda una abstracción visoespacial importante.

Los métodos convencionales de aprendizaje presentan limitantes que la impresión 3D puede superar.

Debido a la rápida evolución de la manufactura aditiva, el software de segmentación y la accesibilidad de los materiales, los modelos anatómicos tridimensionales pueden significar una herramienta de aprendizaje que, agregado a los métodos actuales, pueden mejorar la capacitación.

En comparativa con los métodos de enseñanza actuales, la Impresión Tridimensional aplicada a la medicina presenta ventajas inasequibles para lo convencional. Este artículo presenta una herramienta adicional en la enseñanza del médico.

El objetivo de este proyecto es generar una herramienta de enseñanza adicional y complementaria a las actuales, que permita al estudiante la comprensión de la anatomía de manera tangible utilizando las tecnologías actuales de segmentación e impresión 3D.

Utilizando solamente software de código abierto, se realizó una segmentación a partir de un estudio de imagen (TAC) de los huesos del pie de un paciente, con el software 3D Slicer v4.8¹ obteniendo una reconstrucción en tercera dimensión en formato STL, se importó a un software de “slicing” para su preparación (Slic3r Prusa Edition v1.36.2) para después importar el código G al software de impresión Repetier 2.0.5 para su impresión en PLA y ABS, el ABS se post-procesó con vapor de acetona en 3 ciclos de 30 minutos cada pieza.

Se obtuvo un modelo tridimensional anatómicamente correcto, que representa fielmente la estructura humana para ser utilizado como herramienta didáctica que facilite la comprensión y estudio de la compleja anatomía del pie.

La representación tridimensional impresa de la anatomía humana a partir de estudios de imagen en la enseñanza a los estudiantes de medicina resulta en una poderosa herramienta para la adquisición de conocimientos en búsqueda de una mejor comprensión de la materia, fungiendo como apoyo a métodos convencionales de enseñanza.

1. INTRODUCCIÓN

La anatomía humana es la piedra angular del plan de estudios médicos y el aprendizaje de la anatomía es fundamental para la medicina. El conocimiento sólido de la anatomía macroscópica es ineludible para cada médico en función, ya que establece las bases para las tareas clínicas efectivas, como la realización de exámenes físicos, la evaluación de imágenes radiográficas y la realización de procedimientos como cirugías entre muchos otros.

Se reconoce extensamente que la disección cadavérica o las muestras cadavéricas en curso son los recursos más apropiados para la educación anatómica, ya que estas herramientas proporcionan a los alumnos una importante visión tridimensional (3D) del cuerpo humano, una idea de cómo se sienten las diferentes características anatómicas y una apreciación de la profundidad, fragilidad y variabilidad dentro del cuerpo humano².

Sin embargo, al ser de acceso muy limitado o nulo a los cadáveres, numerosas escuelas médicas se han visto forzadas a implementar nuevas técnicas para el abordaje de las estructuras anatómicas como los modelos de plástico, muestras plastinadas, programas virtuales en 3D e imágenes médicas sustituyendo las disecciones cadavéricas.

En la Escuela de Medicina Lee Kong Chian (Medicina LKC), las sesiones prácticas de anatomía macroscópica se llevan a cabo con una serie de recursos tales como procedimientos de plastinado, modelos de plástico, tabla de Anatomage y estudios de imagen (incluido el ultrasonido)³.

Los modelos de plástico no brindan una visualización exacta de las estructuras anatómicas además de que tienden a ser de muy alto costo⁴, con valores que van desde mil hasta nueve mil pesos y a menudo son sólo de acceso dentro del aula.

Dando lugar a la reconstrucción virtual en 3D la que nos permite visualizar y reconocer las diferentes estructuras anatómicas brindando al estudiante una herramienta más práctica y accesible, no obstante, mantiene el sesgo de la conceptualización volumétrica⁵, por lo que nos dimos a la tarea de formular una mejor manera para poder visualizar y hacer tangible los objetos a estudiar mediante el modelado por deposición fundida (FDM) de modelos anatómicos impresos a partir de estudios de imagen (TAC).

Un estudio realizado por los doctores del departamento de anatomía de la PUMC logró demostrar mediante la creación de un modelo de cráneo impreso en 3D las ventajas para ayudar al estudio de la anatomía, especialmente en el reconocimiento de la estructura, en comparación con los materiales educativos tradicionales⁶.

Otro estudio que buscó demostrar las ventajas de implementar la impresión 3D en la enseñanza de la anatomía fue realizado por el departamento de anatomía de la Sussex Medical School⁴ donde detallaron cómo los estudiantes utilizaron los modelos impresos en el entorno del hogar y los integraron como un recurso de aprendizaje anatómico.

Todas las anteriores resultan en valiosas herramientas y en una excelente alternativa al uso de material cadavérico, ya que los modelos tridimensionales cuentan con las características precisas y detalladas de la anatomía humana. Pueden elegirse para ofrecer una mejor experiencia didáctica sin las preocupaciones culturales y éticas que existen en algunos países sobre el uso cadavérico, la inconveniencia de los olores, el proceso de embalsamiento y conservación de estos.

Sin estas alternativas, la falta de experiencia práctica con especímenes cadavéricos podría comprometer la capacidad de los estudiantes para aprender la organización 3D y las

interacciones de estructuras y órganos, lo que puede conducir a deficiencias en su comprensión de las relaciones anatómicas.

2. OBJETIVOS

- Crear una herramienta didáctica 3D que facilite el estudio de los huesos del pie que sea fácil de reproducir, económica y accesible para los estudiantes, en comparación con otras herramientas de estudio del cuerpo humano.
- Hacer un modelo tridimensional interconectable para que el estudiante pueda interactuar y desarrollar una mejor retención de las estructuras óseas del pie.

3. METODOS

Analizando ampliamente la anatomía de los huesos del pie llegamos a la conclusión de que representa estructuras sencillas de reproducir y trabajar, debido a las densidades propias del hueso y su relación con el software, lo que nos permite tener un mayor control en las variables del modelo y poder evaluarlo de una mejor manera.

Se decidió trabajar con la impresión 3D dada su fácil acceso y su bajo costo para la realización de nuestro modelo anatómico.

Utilizando el software 3D Slicer v4.8 a partir de un estudio de imagen (TAC) del pie de un paciente, con cortes de 1.1 mm de espesor con el cual se creó un archivo de datos DICOM (**Fig. 1: Utilizando el software 3D Slicer v4.8 se realizó la segmentación los huesos del pie**) para posteriormente realizar de manera manual la segmentación de cada hueso del pie (huesos del tarso, Metatarsos y Falanges) y así generar una reconstrucción 3D en formato STL (**Fig.2: Se obtuvo un modelo tridimensional de las estructuras óseas del pie**).

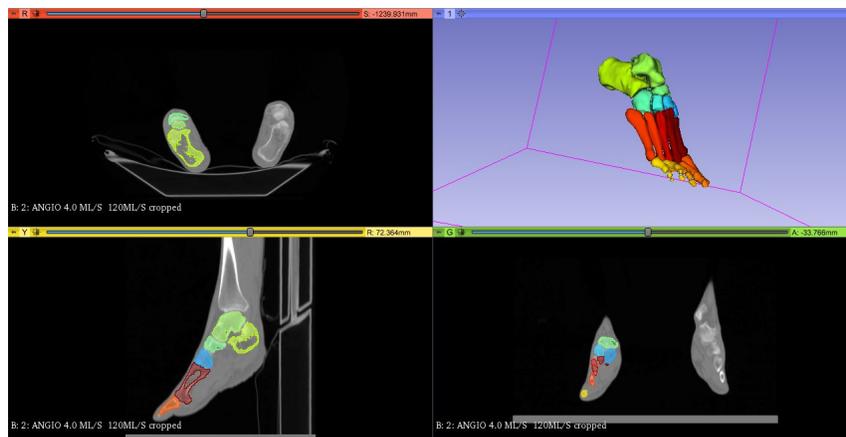


Fig. 1 y 2: Reconstrucción tridimensional de las estructuras óseas del Pie en el Software 3D Slicer v4.8.

Se importó a un software de “slicing” para su preparación (Slic3r Prusa Edition v1.36.2) para después importar el código G al software de impresión Repetier 2.0.5 para su impresión.

En este caso elegimos utilizar la impresora Anycubic Kossel basada en tecnología de modelado de deposición fundida (FDM) utilizando ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) como material principal para el modelo, el ABS se post-procesó con vapor de acetona en 3 ciclos de 30 minutos cada pieza. **(Fig. 3: Impresora Anycubic Kossel basada en FDM)** **(Fig. 4: Se realizó la impresión 3D utilizando la impresora Anycubic Kossel empleando material ABS)**



Fig. 3: Impresora Anycubic Kossel basada en FDM

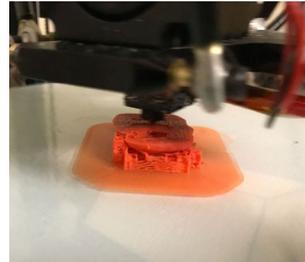


Fig. 4: Impresión 3D empleando material ABS

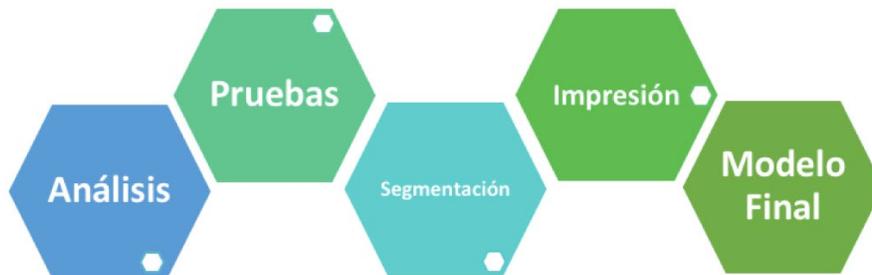


Fig. 5: Metodología del desarrollo

4. RESULTADOS

Se obtuvo un modelo didáctico impreso en 3D a partir de un estudio de imagen (TAC) como herramienta para el aprendizaje y la comprensión de los huesos del pie. **(Fig. 6: Modelo Impreso en 3D con ABS).**



Fig. 6: Modelo Impreso 3D con ABS

Nuestro modelo es capaz de mejorar la forma de aprendizaje de las estructuras óseas del pie mediante el uso de imanes permitiendo al estudiante el ejercicio de reconstruir los huesos del pie.

Esta herramienta posee una ventaja de movilidad en comparación a los modelos cadavéricos además de no necesitar una infraestructura para su mantenimiento y conservación.

Realizamos una encuesta a los alumnos que habían concluido la materia de anatomía macroscópica de la Facultad de Medicina de la UANL y obtuvimos como resultado una amplia aceptación hacia el modelo impreso en 3D.

Recaudamos las respuestas siendo estas favorables acerca del uso de nuestro modelo como herramienta para la enseñanza de la anatomía humana llegando a la conclusión de que si esta herramienta hubiera existido mientras cursaban la materia de anatomía macroscópica habrían podido obtener mejores conocimientos de ésta y por ende mejores resultados académicos.

5. CONCLUSIONES

Existe un extenso rango de universidades de medicina en donde la anatomía es un componente clave curricular para el estudiante. Sin embargo, muchos de ellos no tienen el acceso a especímenes cadavéricos por lo que se han visto forzados a implementar nuevas herramientas para el estudio del cuerpo humano buscando que tengan las mismas ventajas de trabajar con modelos cadavéricos.

Los modelos impresos en 3D representan una nueva categoría de recursos disponibles para su uso en la enseñanza de la anatomía humana. Tienen la ventaja sobre las imágenes estáticas y los modelos virtuales tridimensionales gracias a su capacidad tangible y manipulable, además de tener un costo relativamente bajo y de ser reproducibles.

El ser manipulables permite al estudiante poder mejorar el aprendizaje mediante la descarga cognitiva durante la resolución de problemas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Fedorov, A., Beichel, R., Kalphaty-Cramer, J., Finet, J., Fillion-Robbin, J.-C., Pujol, S., Bauer, C., Jennings, D., Fennessy, F., Sonka, M., Buatti, J., Aylward, S., Miller, J. V., Pieper, S. and Kikinis, R., “3D slicers as an image computing platform for thw quantitative imaging network,” *Magn. Reson. Imaging* **30**(9), 1323–1341 (2012).
- [2] Hąc-wydro, K., Mateja, A., Ożóg, A. and Miśkowiec, P., “Pt Sc,” *J. Mol. Liq.*(2016) (2017).
- [3] Mogali, S. R., Yeong, W. Y., Tan, H. K. J., Tan, G. J. S., Abrahams, P. H., Zary, N., Low-Ber, N. and Ferenczi, M. A., “Evaluation by medical students of the educational value of multi-material and multi-colored three-dimensional printed models of the upper limb for anatomical education,” *Anat. Sci. Educ.* **11**(1), 54–64 (2018).

- [4] Smith, C. F., Tollemache, N., Covill, D. and Johnston, M., “Take away body parts! An investigation into the use of 3D-printed anatomical models in undergraduate anatomy education,” *Anat. Sci. Educ.* **11**(1), 44–53 (2018).
- [5] M., S. I., T., M. M., N., H. M., Aislinn, B., Anthony, A., Elizabeth, O., Evan, D., Taimi, L., Glen, N., Douglas, L. and Matthew, L. W., “Three-dimensional printing of X-ray computed tomography datasets with multiple materials using open-source data processing,” *Anat. Sci. Educ.* **10**(4), 383–391 (2017).
- [6] Chen, S., Pan, Z., Wu, Y., Gu, Z., Li, M., Liang, Z., Zhu, H., Yao, Y., Shui, W., Shen, Z., Zhao, J. and Pan, H., “The role of three-dimensional printed models of skull in anatomy education: A randomized controlled trail,” *Sci. Rep.* **7**(1), 1–11 (2017).