

Modelos anatómicos tridimensionales y de realidad aumentada para el estudio de la neuroanatomía

Three dimensional models and augmented reality for the study of neuroanatomy

Juan S. Davidson-Córdoba^{1*}, Diana P. Duarte-Mora y Laura C. Martínez-Camargo²

¹Servicio de Neurocirugía, Centro Hospitalario Serena del Mar, Cartagena; ²Servicio de Neurocirugía, Universidad Militar Nueva Granada, Hospital Militar Central, Bogotá. Colombia

Resumen

Objetivo: Crear modelos anatómicos tridimensionales y de realidad aumentada para el estudio de la neuroanatomía, a partir de modelos cadavéricos por medio de fotogrametría para su reconstrucción tridimensional, comparando dos software, uno totalmente automatizado y otro semiautomatizado, con los libros clásicos para el estudio de la neuroanatomía. **Método:** Se crearon modelos anatómicos tridimensionales mediante la técnica de fotogrametría por medio de dos software. Los objetos fueron evaluados por los residentes de neurocirugía. **Resultados:** Se crearon tres modelos anatómicos tridimensionales a partir de fotogrametría por cada programa y se evaluaron con una encuesta aplicada a 23 residentes de neurocirugía. **Conclusiones:** No hay diferencia significativa entre la herramienta 3DF Zephyr® 2021 3Dflow para la creación de objetos tridimensionales anatómicos de forma semiautomatizada y el Autodesk ReCap Photo 22.1 Automated Software® 2021 Autodesk, Inc. Los residentes consideran que los modelos realizados en el presente trabajo son útiles en el aprendizaje de la neuroanatomía.

Palabras clave: Neuroanatomía. Fotogrametría. Imágenes de realidad aumentada. Tridimensional. Modelos anatómicos. Anatomía.

Abstract

Objective: Create three-dimensional anatomical and augmented reality models for the study of neuroanatomy, from cadaveric models using photogrammetry for three-dimensional reconstruction, comparing two software, one fully automated and the other semi-automated with classic books for the study of neuroanatomy. **Method:** Three-dimensional anatomical models were created through the photogrammetry technique and by means of two software. The objects were evaluated by the neurosurgery residents. **Results:** Three three-dimensional anatomical models were created from photogrammetry for each program and evaluated with a survey applied to 23 neurosurgery residents. **Conclusions:** There is no significant difference between the 3DF Zephyr® 2021 3Dflow tool for creating anatomical three-dimensional objects in a semi-automated way compared to Autodesk ReCap Photo 22.1 Automated Software® 2021 Autodesk, Inc. The residents consider that the models made in this work are useful in learning neuroanatomy.

Keywords: Neuroanatomy. Photogrammetry. Augmented reality images. Three-dimensional. Anatomical models. Anatomy.

*Correspondencia:

Juan S. Davidson-Córdoba

E-mail: juanse_davidson@icloud.com

0009-7411/© 2023 Academia Mexicana de Cirugía. Publicado por Permayer. Este es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Fecha de recepción: 08-04-2023

Fecha de aceptación: 30-10-2023

DOI: 10.24875/CIRU.23000184

Cir Cir. 2025;93(2):197-201

Contents available at PubMed

www.cirugiaycirujanos.com

Introducción

El conocimiento de la anatomía humana es uno de los pilares de la medicina y del desarrollo de la neurocirugía, contando para su estudio con textos específicos, aunque en el presente existen descripciones muy precisas e imágenes que permiten su comprensión. Por consideraciones éticas y escasez de programas de donación es cada vez menor la exposición de los estudiantes de medicina a especímenes cadavéricos¹⁻³, y adicionalmente, para los residentes de neurociencias, la posibilidad de acceder a modelos anatómicos precisos es baja y los especímenes cadavéricos existentes en anfiteatros pueden presentar un deterioro significativo por el uso y el tiempo⁴, por lo que la creación de modelos anatómicos tridimensionales y de realidad aumentada por medio de técnicas automatizadas, como la fotogrametría, se convierte en una herramienta de mayor precisión anatómica para los residentes de neurocirugía y mejora el aprendizaje de la neuroanatomía⁴.

Método

Se adquirieron múltiples fotografías de los especímenes cadavéricos neuroanatómicos disponibles en el laboratorio de anatomía de la Universidad El Bosque con una cámara semiprofesional Canon EOS Rebel T5i, bajo los parámetros modo automático y manual ISO 100, con exposiciones oscilantes f8-f29 y apertura de diafragma de 4 a 10 segundos de todos los especímenes (360°), siguiendo las recomendaciones establecidas en los tutoriales en línea de 3Dflow Academy. Luego, con la técnica de fotogrametría, la cual a partir de múltiples imágenes previamente captadas por fotografía permite crear modelos tridimensionales por medio de *software*⁵, en este caso Autodesk ReCap Photo 22.1® 2021 Autodesk, Inc. y 3DF Zephyr® 2021 3Dflow, se realizó la reconstrucción tridimensional de las imágenes. El primero de los programas solo requirió la carga de las imágenes en sus servidores, ya que el proceso es automatizado. Con el programa 3DF Zephyr® 2021 3Dflow es necesario contar con un equipo capaz de realizar el procesamiento de dichas imágenes; en nuestro caso se utilizó un computador con especificaciones Intel(R) Core(TM) i9-10980XE CPU @ 3.00GHz, RAM 64,0 GB (63.7 GB utilizable) y tarjeta gráfica NVIDIA GeForce RTX™ 3090 Founders Edition. Se procedió a realizar el proceso semiautomatizado, que consta de

una fase previa manual opcional de enmascaramiento de las imágenes para limpiar defectos de la imagen y permitir un mejor emparejamiento de las fotografías, lo cual es realizado por el usuario, y una fase automática posterior para el proceso de creación del objeto tridimensional. Cada modelo fue valorado por un fotógrafo profesional (Juan Manuel Martínez Segura) que evidenció unas condiciones óptimas de luz para poder ser procesados en dichos *software*.

Finalmente se compararon dichas herramientas para definir cuál era el mejor modelo tridimensional y de realidad aumentada que contara con una precisión óptima para el estudio de sus componentes, basándose en una encuesta realizada a los residentes de neurocirugía de la Universidad del Bosque, la Universidad Militar Nueva Granada y el Hospital General de México, comparando los modelos anatómicos creados entre ellos, las imágenes de fotografía cadavérica y los esquemas plasmados en los libros guía de neuroanatomía (Fig. 1).

Posteriormente se tabularon los datos en una matriz realizada en Excel, de la cual se realizó una estadística descriptiva de las primeras ocho variables de la encuesta y se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson para la comparación entre los modelos anatómicos realizados en el programa Autodesk ReCap Photo y los realizados en el programa 3DF Zephyr.

Resultados

Se adquirieron imágenes fotográficas con múltiples parámetros de exposición, apertura de diafragma, en ISO 100, de tres especímenes cadavéricos (hemisferio cerebral, base de cráneo y vértebra C1), en un rango entre 52 y 100 fotos dependiendo de la cantidad de áreas con formas irregulares, las cuales requieren una mayor cantidad de imágenes, como las apófisis y los forámenes en la base del cráneo y la superficie cerebral. Luego se procesaron las imágenes en cada uno de los *software* para la creación de modelos tridimensionales a prueba, obteniendo tres modelos anatómicos por cada programa, es decir, seis en total (Figs. 2 a 4).

Se aplicó una encuesta para evaluar y comparar los modelos anatómicos a 23 residentes de neurocirugía, de los cuales el 82.6% eran hombres, con edades entre 27 y 40 años, con un promedio de edad de 30.3 años (Tabla 1).

En cuanto a las preferencias de literatura para el aprendizaje de neuroanatomía en el cráneo, el 66.6% de los residentes usan el libro de Rhoton y



Figura 1. Montaje para toma de fotografías de especímenes cadavéricos.



Figura 2. Modelos 1 y 2: hemisferio cerebral.



Figura 3. Modelos 1 y 2: vértebra C1 (Atlas).

el 33% usan Rhoton, Netter y Latarjet. Respecto a las preferencias para el estudio de neuroanatomía en la columna, los residentes en su mayoría prefieren Latarjet (44.4%), seguido de *Anatomy Atlas and Interpretation of Spine Surgery* (22.22%) y Latarjet-Carpenter, Springer y Netter, con un 11.11% cada uno⁶⁻¹⁰.

El 50% de los residentes han tenido la oportunidad de usar modelos anatómicos tridimensionales y de realidad aumentada para el aprendizaje de neuroanatomía, y el 11.1% no usaría los modelos para su formación. Sin embargo, el 100% de los residentes considera que los modelos realizados en el



Figura 4. Modelos 1 y 2: base de cráneo (óseo).

Tabla 1. Población de estudio

	n (%)
Sexo	
Femenino	4 (17.39)
Masculino	19 (82.6)
Año de residencia	
1	2 (8.69)
2	6 (26.08)
3	7 (30.43)
4	5 (21.73)
5	3 (13.04)
Promedio de edad	30.3 años

presente trabajo son útiles en el aprendizaje de la neuroanatomía.

Referente a la pregunta «Comparando con los modelos cadavéricos que ha tenido a su disposición, ¿considera que los modelos anatómicos tridimensionales y de realidad aumentada son una mejor herramienta para el aprendizaje de neuroanatomía?», el 26% de los residentes consideran que no hay diferencia, el 21.7% que son una mejor herramienta y el 47.8% que son una peor herramienta para el aprendizaje de neuroanatomía.

Al comparar los modelos realizados (modelos 1 en el programa Autodesk ReCap Photo y modelo 2 en el programa 3DF Zephyr) con las figuras plasmadas en los libros escogidos por los residentes como su guía bibliográfica, para el modelo de hemisferio cerebral el 47.8% de los residentes prefirieron el modelo 1, el 13% el modelo 2 y el 30.4% la imagen del libro de Rhoton. Para el modelo de la vértebra C1, el 43.4% prefirieron el modelo 1, el 43.4% el modelo 2 y el 8.6% prefirieron Latarjet. Para el modelo de la base del cráneo, el 60.8% escogieron el modelo 2, el 60.8% el modelo 2 y el 17.3% la imagen de Netter.

Para comparar la definición y la precisión anatómica percibida por los residentes, de los modelos

Tabla 2. Análisis de precisión anatómica y definición de la imagen

	Definición de la imagen	Precisión anatómica
Promedio		
Modelo 1 Hemisferio (Autodesk ReCap Photo)	3.27	3.36
Modelo 2 Hemisferio (3DF Zephyr)	3.04	3.09
p	0.580593089	0.508693651
Promedio		
Modelo 1 Atlas (Autodesk ReCap Photo)	3.45	3.31
Modelo 2 Atlas (3DF Zephyr)	3.45	3.22
p	0.682692308	0.822045998
Promedio		
Modelo 1 Base de cráneo (Autodesk ReCap Photo)	4	2.3
Modelo 2 Base de cráneo (3DF Zephyr)	3.22	3.18
p	0.42014774	0.399507359

realizados en el presente trabajo se asignó un valor a cada variable dispuesta en la encuesta, siendo 5 muy buena, 4 buena, 3 aceptable, 2 mala y 1 muy mala. Se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson y se evidenció que no hay diferencias significativas en la definición ni en la precisión anatómica entre los programas Autodesk ReCap Photo y 3DF Zephyr para todos los modelos anatómicos realizados (Tabla 2).

Discusión

A lo largo de la historia se ha tratado de refinar el conocimiento acerca de la composición del cuerpo humano. Los primeros aportes se encuentran en los papiros de Smith, Ebers y Brugsch («el gran papiro de Berlín»), escritos entre los años 3000 y 2500 a.C., cuyos contenidos describen estructuras craneales. Posteriormente, Alcmeón de Crotona e Hipócrates de Cos, en los siglos V y IV a.C., respectivamente, realizan otras descripciones anatómicas. Por otra parte, de Hipócrates se cuenta con 72 libros y 59 tratados, y así mismo Aristóteles, en esa misma época, brinda en sus escritos información sobre anatomía comparativa y embriología^{1,11,12}.

Entre los años 310 y 250 a.C., Herófilo de Calcedonia y Erasístrato de Ceos realizaron importantes trabajos de investigación, enriqueciendo el conocimiento obtenido hasta ese momento sobre el sistema

nervioso y los vasos sanguíneos y linfáticos. En la época de los antiguos romanos, comprendida entre los años 670 a.C. y 480 d.C., la mayor fuente de conocimiento anatómico provenía de los gladiadores heridos, siendo Claudio Galeno Nicon el principal representante de ese tiempo^{11,12}.

Tras el fin del Imperio Romano, el estudio del cuerpo humano se trasladó al Medio Oriente durante la edad dorada islámica, entre los años 701 y 1300 d.C. En el Renacimiento, muchos dibujos atómicos fueron aportados por artistas, entre los que destaca Leonardo da Vinci (1452-1519), quien describió por primera vez las meninges cerebrales^{1,11,13,14}.

Desde finales del siglo XX se ha planteado la necesidad imperiosa de realizar modificaciones a la enseñanza tradicional de la anatomía humana, por lo que se ha impulsado el desarrollo de bases de datos y simuladores con los que se puedan realizar interacciones más estrechas y un real afianzamiento del conocimiento teórico-práctico en los estudiantes tanto de ciencias básicas como de residencias médico-quirúrgicas, sin perder el realismo y la riqueza de información que podría proveer un modelo cadavérico. Dentro de las técnicas actuales que emplean el estudio anatómico tridimensional se incluyen, en orden cronológico de aparición, la estereoscopia (1920), la tomografía computarizada y la resonancia magnética (1970), y los modelos de simulación o *software* tridimensionales (1986)¹⁵⁻¹⁸. La característica esencial de estos últimos es que permiten la materialización y la integración de imágenes digitales obtenidas a través de registros fotográficos, tomográficos o por resonancia magnética, que posteriormente son modelados y editados en computadores tridimensionales, y finalmente impresos^{19,20}.

La implementación de modelos anatómicos tridimensionales en el aprendizaje de los estudiantes de medicina puede llegar a proporcionar un diagnóstico oportuno y así mismo generar mayor análisis de diferentes patologías previo a la realización de laboratorios o imagenología, debido al conocimiento integral de la anatomía^{21,22}. Igualmente son de gran ayuda en cuanto a la preparación de los estudiantes antes de iniciar prácticas en exploraciones cadavéricas²³⁻²⁵.

La fotogrametría permite crear imágenes tridimensionales con características de un modelo real, por lo que logra ser de gran ayuda para la formación de estudiantes de medicina o de residentes, tanto en habilidad quirúrgica¹⁷ y razonamiento espacial, en comparación con los métodos convencionales²⁶,

como en apoyo en la presentación de casos clínicos, foros o congresos.

Conclusiones

En el presente estudio se evidencia que no hay diferencia en la calidad visual ni en la percepción por parte de los residentes entre los modelos tridimensionales creados con dos aplicaciones distintas. Adicionalmente, los residentes prefirieron el uso de modelos anatómicos tridimensionales sobre las figuras de los textos guía.

Aunque aún no se ha logrado implementar los modelos tridimensionales como base del aprendizaje de los estudiantes, en este caso los residentes de neurocirugía consideraron que son de gran utilidad en su formación académica. Se espera, en un futuro cercano, lograr su implementación para estudiantes de neurociencias, debido a que pueden ser un gran complemento de diferentes referencias bibliográficas para ayudar a comprender y retener información anatómica²⁷.

Financiamiento

Este estudio no requirió financiamiento.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Consideraciones éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad, consentimiento informado y aprobación ética. El estudio no involucra datos personales de pacientes ni requiere aprobación ética. No se aplican las guías SAGER.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial. Los autores declaran que no utilizaron ningún tipo de inteligencia artificial generativa para la redacción de este manuscrito.

Bibliografía

- Habbal O. The science of anatomy: a historical timeline. *Sultan Qaboos Univ Med J*. 2017;17:e18-22.
- Moore KL, Dalley AF, Agur AMR. *Anatomía con orientación clínica*. Barcelona: Lippincott Williams & Wilkins; 2018.
- Rhoton Jr. AL. The cerebrum. *Neurosurgery*. 2007;61(Suppl_1):SHC- 37-119.
- Habbal O. The state of human anatomy teaching in the medical schools of Gulf Cooperation Council Countries: present and future perspectives. *Sultan Qaboos Univ Med J*. 2009;9:24-31.
- De Jesús-Luis AS, Ordóñez-Velázquez S, Pineda-Martínez D, Brenes-Solano B, González-Fernández J. Fotogrametría: cómo crear modelos tridimensionales de bajo costo, con características realistas y fácil manipulación, para su uso en la enseñanza y el diagnóstico médico. *Invest Educ Med*. 2019;(32):100-11.
- Peris-Celda M, Martínez-Soriano F, Rhoton Jr AL, editores. *Rhoton's Atlas of head, neck, and brain. 2D and 3D images*. New York: Thieme; 2017.
- Latarjet M, Ruiz Liard A. *Anatomía humana. Tomos I y II*. 5.a ed. Buenos Aires: Médica Panamericana; 2018.
- Tamraz JC, Comair Y. *Atlas of regional anatomy of the brain using MRI: with functional correlations*. 2nd ed. Berlin: Springer; 2011.
- Carpenter MB. *Neuroanatomía: fundamentos*. 4.a ed. Madrid: Médica Panamericana; 1998.
- Rubin MG, Safdieh JE, Netter. *Neuroanatomía esencial*. Barcelona: Elsevier-Masson; 2008.
- Standring S. A brief history of topographical anatomy. *J Anat*. 2016;229:32-62.
- Katz L. Medicine in the time of Hippocrates. *Revista Médica de la Universidad Veracruzana*. 2007;7:59-62.
- Vicentiu Săceleanu M, George Mohan A, Alexandru Marinescu A, Marinescu A, Vlad Ciurea A. Leonardo da Vinci — ingenious anatomist: 500 years since the death of the famous erudite. *Romanian Journal of Morphology and Embryology*. 2019;60:1391-5.
- Vigo V, Hirpara A, Yassin M, Wang M, Chou D, de Bonis P, et al. Immersive surgical anatomy of the craniocervical junction. *Cureus*. 2020;12:e10364.
- Spitzer VM, Whitlock DG. The visible human dataset: the anatomical platform for human simulation. *Anat Rec*. 1998;253:49-57.
- Garg A, Norman GR, Spero L, Maheshwari P. Do virtual computer models hinder anatomy learning? *Acad Med*. 1999;74(10 Suppl):S87-9.
- Erolin C. Interactive 3D digital models for anatomy and medical education. En: Rea PM, editor. *Biomedical visualisation*. Vol. 2. Cham: Springer; 2019. p. 1-16.
- Rea P, editor. *Biomedical visualisation*. Vol. 7. Cham: Springer; 2020.
- Ye Z, Dun A, Jiang H, Nie C, Zhao S, Wang T, et al. The role of 3D printed models in the teaching of human anatomy: a systematic review and meta-analysis. *BMC Med Educ*. 2020;20:335.
- De Benedictis A, Nocerino E, Menna F, Remondino F, Barbareschi M, Rozzani U, et al. Photogrammetry of the human brain: a novel method for three-dimensional quantitative exploration of the structural connectivity in neurosurgery and neurosciences. *World Neurosurg*. 2018;115:e279-91.
- Jones DG. Anatomy in a post-covid-19 world: tracing a new trajectory. *Anat Sci Educ*. 2021;14:148-53.
- Jacquesson T, Simon E, Dauleac C, Margueron L, Robinson P, Mertens P. Stereoscopic three-dimensional visualization: interest for neuroanatomy teaching in medical school. *Surg Radiol Anat*. 2020;42:719-27.
- Hanna SJ, Freeston JE. Importance of anatomy and dissection: the junior doctor's viewpoint. *Clin Anat*. 2002;15:377-8.
- Fleming C, Sadaghiani MS, Stellan MA, Javan R. Effectiveness of three-dimensionally printed models in anatomy education for medical students and resident physicians: systematic review and meta-analysis. *J Am Col Radiol*. 2020;17:1220-9.
- Rubio RR, Shehata J, Kourmoutas I, Chae R, Vigo V, Wang M, et al. Construction of neuroanatomical volumetric models using 3-dimensional scanning techniques: technical note and applications. *World Neurosurg*. 2019;126:359-68.
- Petriceks AH, Peterson AS, Angeles M, Brown WP, Srivastava S. Photogrammetry of human specimens: an innovation in anatomy education. *Kourmoutas I, Vigo V, Chae R, Wang M, Gurrola J 2nd, Abila AA, et al. Acquisition of volumetric models of skull base anatomy using endoscopic endonasal approaches: 3D scanning of deep corridors via photogrammetry*. *World Neurosurg*. 2019;129:372-7.