

2.61.

Título:

Aportación de la reconstrucción y visualización tridimensional de estructuras euroanatómicas en contextos docentes de aprendizaje

Autor/a (es/as):

Ruisoto, Pablo [Universidad de Salamanca (España)]

Juanes, Juan Antonio [Universidad de Salamanca (España)]

Resumo:

La visualización de modelos tridimensionales de estructuras neuroanatómicas permite reducir las demandas cognitivas asociadas a su reconstrucción mental a partir de secciones convencionales. Este trabajo ilustra las ventajas asociadas al análisis visual e interactivo de estructuras neuroanatómicas desde generaciones volumétricas. Para tal fin, se procedió a la segmentación de regiones de interés, desarrollo de modelos en malla o alambre y el renderizado final de las estructuras a través de Amira®. Los resultados incluyen una selección iconográfica de reconstrucciones volumétricas de estructuras neuroanatómicas que permiten una visualización más realista y un análisis interactivo de detalles morfológicos y relaciones espaciales entre dichas estructuras. Se discute el valor docente de este tipo de recursos digitales en el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Palavras-chave:

Imagen médica, generación volumétrica, formación, ressonância magnética.

Introducción

La neuroanatomía ocupa un lugar central en la formación en neurociencias. Sin embargo, la localización de estructuras neuroanatómicas constituye una de las tareas más difíciles para los estudiantes por dos motivos: primero, la complejidad inherente a las relaciones espaciales y características morfológicas de las estructuras encefálicas y segundo, la complejidad de las imágenes radiológicas o de medicina nuclear que implican representaciones limitadas de las estructuras encefálicas tridimensionales (Nolte & Angevine, 2007).

Actualmente, la generación de modelos gráficos visuales interactivo es un recurso didáctico en continua expansión (Williams & White, 2007; Nowinski et al., 2009) debido a la mejora constante del rendimiento de los sistemas de hardware y versatilidad de las aplicaciones informáticas dirigidas al procesamiento avanzado de imágenes (Drake, 1999).

Varios estudios han puesto de manifiesto la necesidad de mejorar el nivel de comprensión en relación a contenidos de anatomía y, por extensión, de neuroanatomía (Older, 2004; Prince et al., 2005) debido a la reducción de las horas dedicadas a clases basadas en la disección de cadáveres (Nolte & Angevine, 2007; Winkelmann, 2007). En este contexto, la incorporación de recursos tecnológicos al proceso de enseñanza y aprendizaje ha supuesto una verdadera revolución (Marks, 2000; Jastrow & Vollrath, 2003; Drake et al., 2009; Sugand et al., 2010), promoviendo el aprendizaje autónomo y un estilo de aprendizaje visual e intuitivo (Leite, Svinicki & Shi, 2009) que facilitan la asimilación de contenidos complejos.

Finalmente, investigaciones recientes han analizado empíricamente la efectividad de modelos gráficos tridimensionales en el aprendizaje de neuroanatomía en comparación con sistemas tradicionales, y que apoyan su utilizando como una valiosa herramienta docente (Estévez et al., 2010; Chariker et al. 2011; Ruisoto et al., 2012).

El objetivo de este trabajo es ejemplificar el valor docente de recursos digitales basados en la generación de representaciones volumétricas y sistemas de exploración tridimensional de estructuras neuroanatómicas en el campo de la neuroanatomía.

Metodología

La generación de los modelos gráficos se realizó siguiendo las fases que se describen a continuación, y empleando Amira® como software de referencia para el procesamiento avanzado de los datos biomédicos contenidos en las imágenes originales:

1. Adquisición de imágenes de Resonancia Magnética (RM)

Se utilizó un equipo de 1.5 T, marca Philips Medical Systems y el protocolo de adquisición consistió en secuencias de la cabeza en el plano axial, coronal y sagital, con los siguientes parámetros: Repetition Time = 412; Echo Time = 6.4; Inversion Time = 300; Thickness = 1.6 mm; Slice Spacing = 0.8 mm; Matrix = 276 x 276; Flip Angle = 90°. Las imágenes fueron potenciadas en T1 y T2 y el formato de los ficheros de datos originales fue DICOM (Fig. 1), obteniéndose vóxeles cúbicos de 0.8 mm y 276x276x200 píxeles.

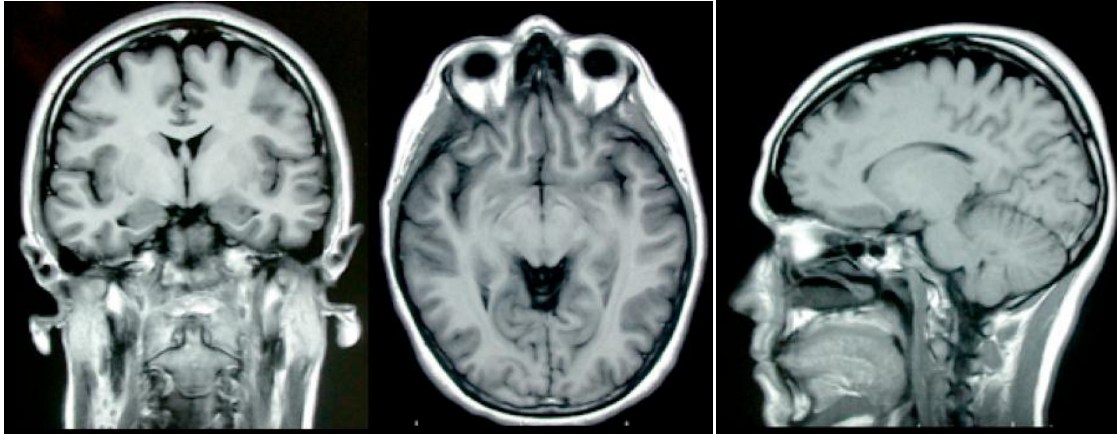


Figura 1. Secciones ortogonales de RM T1 coronal (izquierda), axial (medio) y sagital (derecha).

2. Segmentación de regiones de interés (ROIs)

Consistió en la identificación y delimitación lineal de las imágenes de RM respecto al nivel de sustancia gris, brillo y contraste en correspondencia con las distintas estructuras neuroanatómicas contenidas de forma bilateral e individual para cada conjunto de datos, utilizando el correspondiente editor de Amira® (Fig. 2). Este proceso se realizó de forma manual y bajo supervisión de un neuroanatomista experto para aportar robusted a los resultados. La segmentación automática nos hubiera conducido a clasificar varias estructuras encefálicas en una sola región (problema de subsegmentación), o a segmentar varias regiones en una sola estructura anatómica (problema de sobresegmentación). Las estructuras corticales y subcorticales se etiquetaron en base al conocimiento neuroanatómico y organización espacial según la información proporcionada por puntos de regencia anatómicos o landmarks.

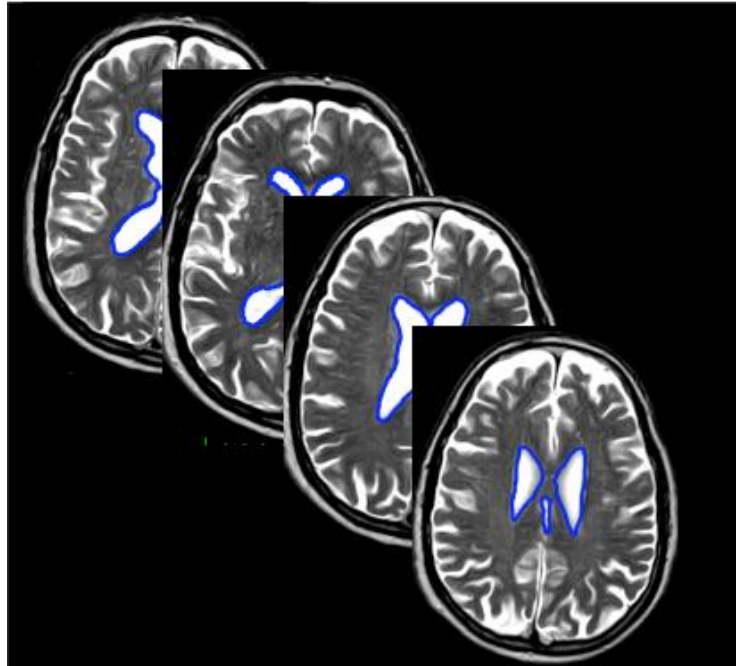


Figura 2. Segmentación manual de los ventrículos en secciones axiales de RM T2 mediante editor Amira.

3. Renderizado de superficie

Este proceso supone la creación de representaciones intermedias de la superficie de los modelos a utilizando la unión de polígonos, en nuestro caso triángulos, que ofrecen una apariencia conjunta de malla para cada modelo relativo a las distintas estructuras encefálicas. El objetivo fue reducir significativamente el peso de los datos y los tiempos de procesamiento requeridos para su visualización. El algoritmo utilizado para la extracción de mallas poligonales de una isosuperficie fue Marching Cubes. Este algoritmo se basa en la división del espacio en vóxeles formados por los valores de intensidad de los 8 vértices del vóxel (cubo), correspondientes a los datos volumétricos originales. El algoritmo recorre cada uno de los vóxeles y, si una o más esquinas del vóxel tiene valores menores que el isovalor especificado, y una o más esquinas tienen valores mayores que el isovalor, sabemos que el vóxel forma parte de la isosuperficie.

Posteriormente, determinando qué lados del vóxel son intersectados por la isosuperficie, podemos crear polígonos triangulares que dividirán el vóxel en regiones que están dentro de la isosuperficie y otras que están fuera. Como el cubo está formado por 8 lados, existen 28 (256) maneras distintas en las que la isosuperficie puede atravesar el vóxel y delimitan hasta 15 tipos de polígonos triangulares del vóxel por la isosuperficie.

Finalmente, conectando los polígonos triangulares de cada uno de los vóxeles que se encuentran en la frontera de la isosuperficie, se obtiene una representación mallada de la isosuperficie con el isovalor buscado. Se trata de un algoritmo rápido pero que no permite mostrar el interior del objeto, así que las disecciones no aportarían ninguna información adicional, por lo que no son consideradas en este trabajo (Fig. 3).

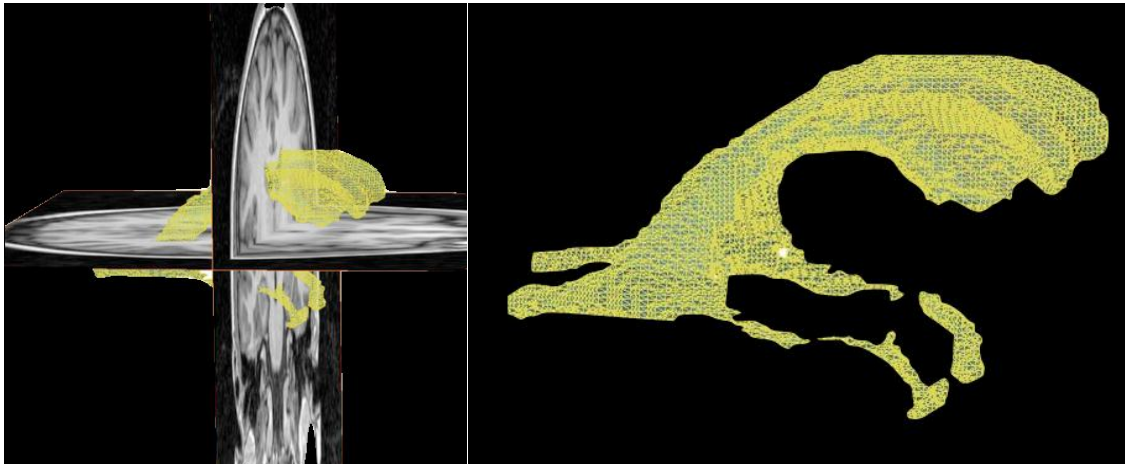


Figura 3. Generación volumétrica del sistema ventricular utilizando modelos de malla o alambre embebido en secciones ortogonales de RM (izquierda) y de forma independiente (derecha)

El guiado visual acompañó todo el proceso, lo que requirió de la visualización simultánea del modelo de superficie y de los planos de las imágenes RM de referencia, utilizando landmarks o estructuras fácilmente identificables de forma visual y puntos craneométricos o landmarks. Finalmente, el modelo de superficie definitivo se exportó en formato DirectX (Fig. 4).

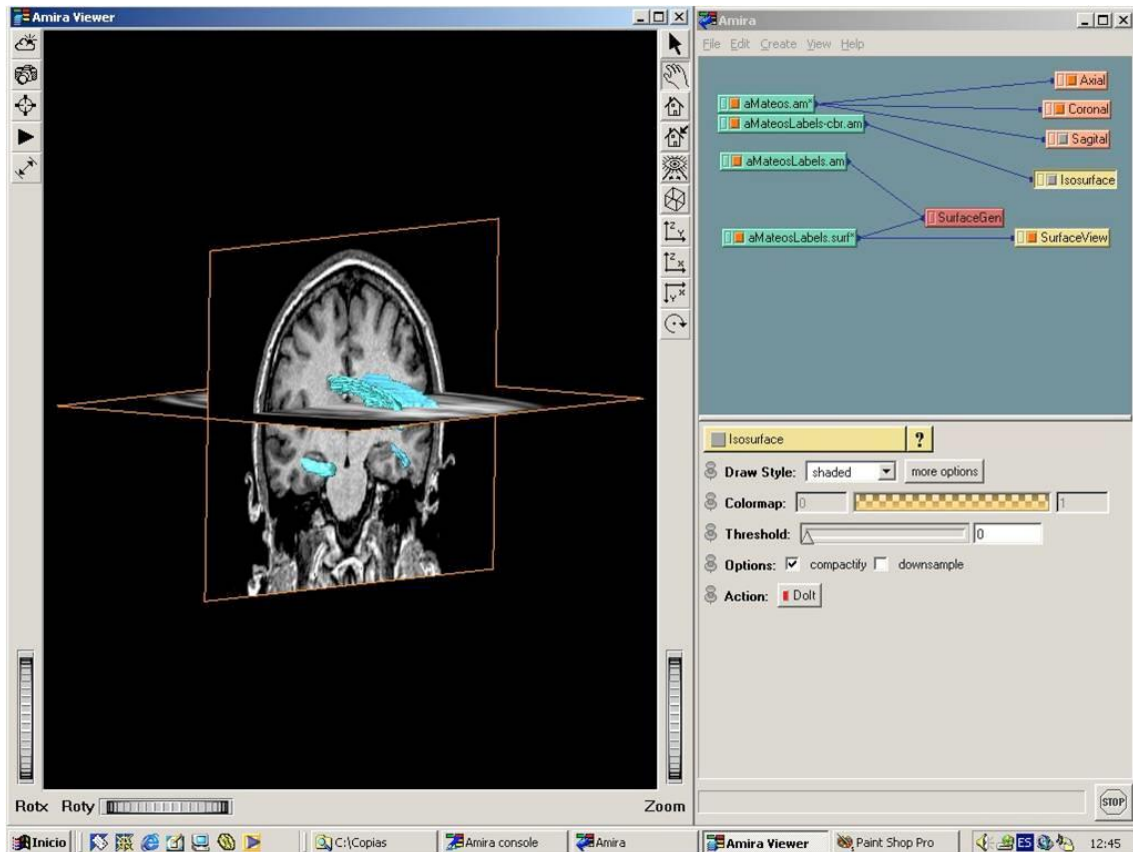


Figura 4. Modelo de superficie definitivo para los ventrículos laterales desarrollado con Amira, previa exportación en formato DirectX

Resultados

Se generaron reconstrucciones volumétricas para las siguientes estructuras neuroanatómicas: cuerpo calloso, núcleo caudado, putamen, pálido, ventrículos laterales, hemisferios cerebrales y tronco encefálico. Estos modelos no corresponden a esquemas o representaciones probabilísticas, sino verdaderas representaciones de las características morfológicas y espaciales de cada de las estructuras referidas.

En las imágenes superiores de la Figura 5 se observa la trayectoria del fórnix o trigono cerebral. Éste se arquea rostralmente, superior a la posición que ocuparía el tálamo, e inferior a la posición que ocuparía cuerpo calloso, formando las columnas posteriores del fórnix. Finalmente, se observa como las dos columnas se juntan en la línea media para formar el cuerpo del fórnix (Fig. 5).

La generación volumétrica del sistema ventricular en las imágenes inferiores de la Figura 5 permite analizar los ventrículos y conductos que los comunican. Los ventrículos se comunicarían a través del foramen de Monro con el tercer ventrículo y el ventrículo IV caracterizado por una cavidad de forma rómbica. Nótese detalles anatómicos de los ventrículos laterales como el cuerpo, asta anterior, asta

posterior y asta inferior a nivel de los lóbulos frontal, occipital y temporal. Desde la vista anterior se observa la disposición en “T” del sistema ventricular donde los brazos laterales corresponden a los ventrículos y la extensión caudal al tercer ventrículo, que se comunica, a través del acueducto de Silvio, con el IV ventrículo (Fig. 5).

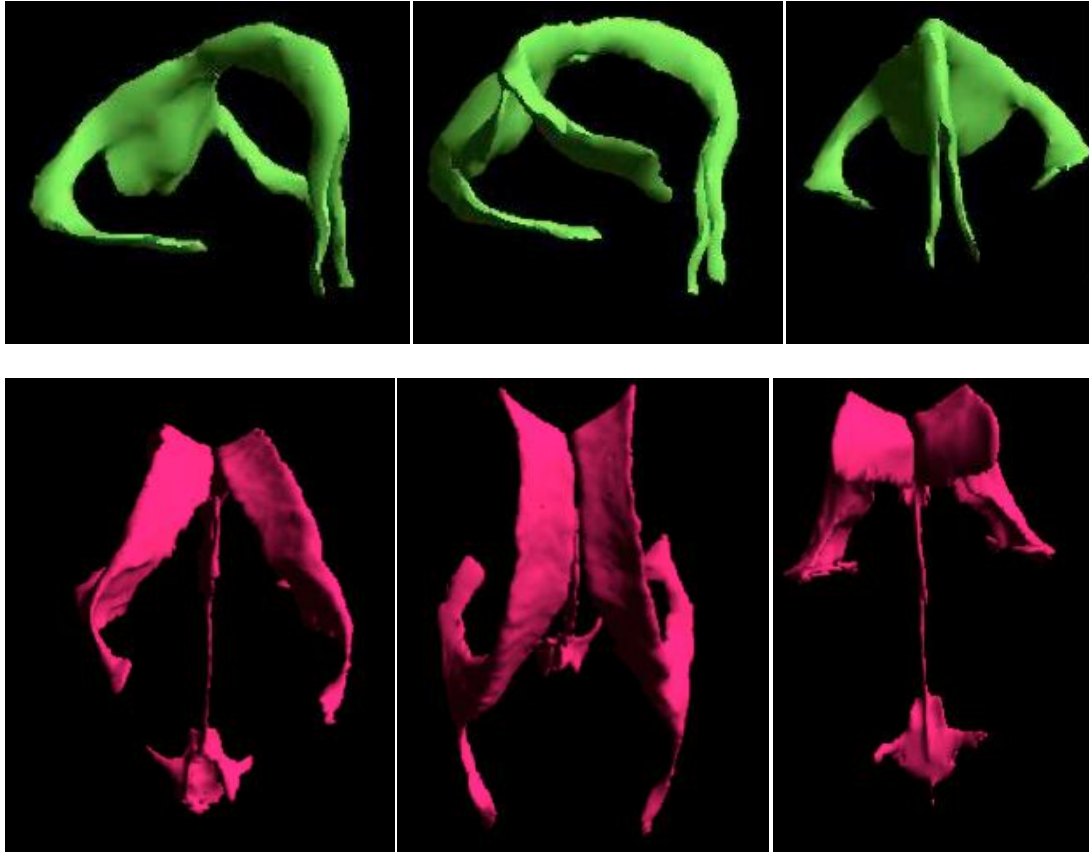


Figura 5. Modelos 3D del fórnix (imágenes superiores) y del sistema ventricular (imágenes inferiores).

A continuación se presenta un selección iconográfica y análisis descriptivo de las modelos 3D embebidas en secciones RM que facilitan la ubicación de los detalles anatómicos y relaciones de vecindad (Fig. 6 y 7).

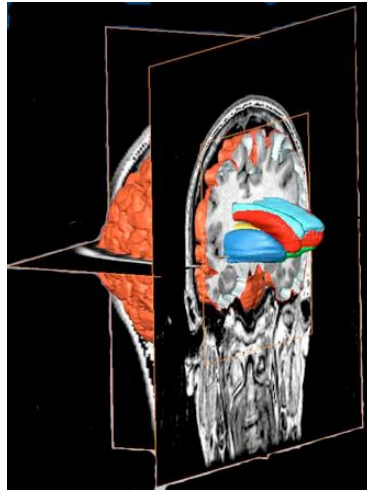


Figura 6. Reconstrucción 3D de la corteza cerebral y estructuras encefálicas profundas como los ventrículos laterales (en azul), el núcleo caudado (en rojo), núcleo putamen (en azul), embebidas en secciones ortogonales de RM.

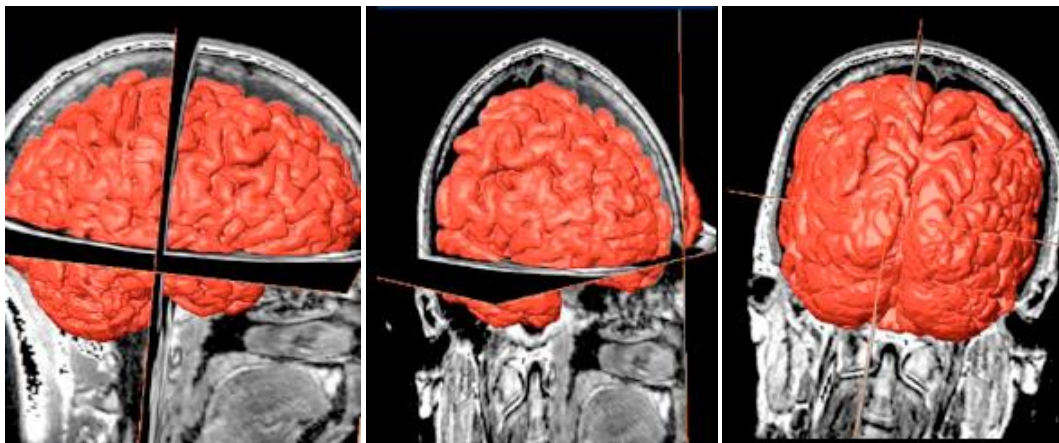


Figura 7. Reconstrucción 3D de la corteza cerebral embebida en secciones ortogonales de RM, utilizando Amira®, y desde diferentes orientaciones espaciales.

Estos modelos 3D facilitan la visualización, localización y manipulación de estructuras encefálicas complejas desde el punto de vista morfológico y espacial, tales como los núcleos basales, cuyas características y relaciones espaciales resultarían imperceptibles a partir del simple análisis de secciones seriadas convencionales. Por lo tanto, ofrecen un potente recurso docente para el estudio interactivo de las estructuras señaladas tanto de forma individual como grupal desde diferentes perspectivas del espacio (Fig. 6, 7 y 8).

A modo de ejemplo, en la Figura 8 se aprecia el ensanchamiento característico del tronco encefálico a nivel protuberancial y el origen aparente del trigémino a este nivel. En un nivel superior, por encima

del mesencéfalo, se observan los cuerpos mamilares a ambos lados de la línea media. A nivel inferior, en el bulbo raquídeo se pueden identificar las pirámides bulbares (Fig. 8).

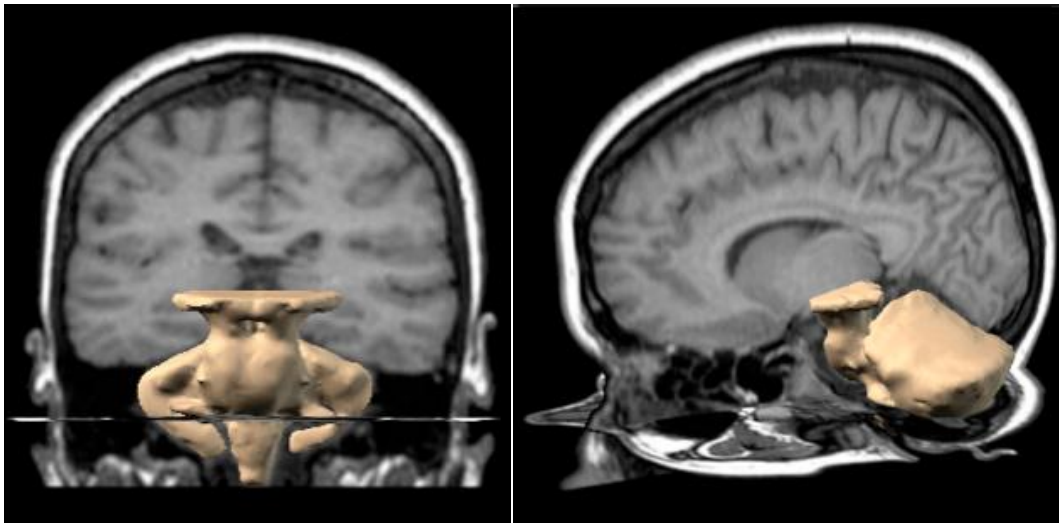


Figura 8. Reconstrucción 3D del tronco encefálico y cerebelo embebidos en una sección coronal y axial de RM desde una vista anterior (imagen de la izquierda) y desde una vista lateral, embebidos en una sección sagital y axial (imagen derecha).

Discusión

Los resultados de este trabajo ilustran el valor docente de recursos digitales basados en la generación de representaciones volumétricas y sistemas interactivos de exploración tridimensional de estructuras neuroanatómicas morfológica y espacialmente complejas.

Los modelos 3D, como los que se presentan en este trabajo, no sólo han potenciado los recursos del sistema pedagógico tradicional, si no que lo han renovado, ofreciendo una visión más completa de las características anatómicas (Reidenberg & Laitman, 2002; McLachlan, 2004; McLachlan, Bligh, Bradley, & Searle, 2004; Turner, 2007; Sugand et al., 2010). Estos recursos mantienen como eje vertebral el énfasis en el uso de ayudas visuales, más allá de las simples ilustraciones de los libros de texto, potenciando estrategias de enseñanza y aprendizaje visuales (O'Byrne, Patry, & Carnegie, 2008; McNulty, Sonntag, & Sinacore, 2009; Nowinski et al., 2009; Sugand et al., 2010).

En las exploraciones de imágenes de RM, las estructuras encefálicas aparecen en escalas de gris, de forma muy diferente respecto a su apariencia real en 3D. Este hecho implica que el neuropsicólogo, realice una traslación mental compleja importante, que requiere de un entrenamiento muy especializado. Otros clínicos como neurólogos, radiólogos, internistas, etc. pasan a través de dicho entrenamiento, sin embargo, no sucede así en el caso de neuropsicólogos, psicólogos o psicólogos

clínicos, lo que implica mayor probabilidad de errores a la hora de interpretar estas imágenes, cada vez más frecuentes en investigación.

La utilidad de los modelos 3D radica en su carácter digital que permite incorporar reconstrucciones volumétricas e integrarlas en aplicaciones multimedia para la exploración visual e interactiva de grandes cantidades de información relativas a estructuras encefálicas. Como consecuencia, se disminuye el tiempo necesario la comprensión profunda de características anatómicas y relaciones espaciales complejas y autonomía del estudiante, tal y como se ya señalado previamente en la literatura (Huk, 2006). La generación volumétrica de estructuras encefálicas no sólo ofrece imágenes visualmente sofisticadas, sino una forma más eficiente de representación de los contenidos neuroanatomicos (Marks, 2000; Jastrow and Vollrath, 2003; Huk, 2006; Nolte and Angevine, 2007; Drake et al., 2009; Estévez et al., 2010).

Desde un punto de vista procedimental, nuestro trabajo es consistente con previos estudios que defienden el uso de una estrategia de segmentación manual o interactiva para aportar mayor robusted durante el proceso de generación volumétrica.

Este procedimiento se ha considerado un estándar en la interpretación de datos de neuroimagen (Khotanlou, 2008; Shattuck et al., 2008), aunque, se está trabajando en algoritmos y modelos deformables de segmentación automática (Sharma & Aggarwal, 2010).

En los últimos años, al menos dos estudios se han interesado por estudiar el grado de eficacia de la visualización volumétrica en comparación con otros métodos tradicionales. En el primero, se encontró que los estudiantes de Medicina que contaron con recursos de formación visuales en formato digital a través de ordenador puntuaron significativamente por encima de aquellos que no accedieron al contenido online en los exámenes sobre anatomía (McNulty et al., 2009). En segundo, los alumnos de Medicina de primer año que acompañaron sus clases magistrales con un tutorial de neuroanatomía 3D, no sólo consideraron interesante la herramienta, sino que obtuvieron puntuaciones significativamente más altas en el examen final, especialmente en las tareas de mayor dificultad (Venali, Deveze, Lallemand, Guevara, & Mondain, 2010). Recientemente, conducimos un estudio en el que encontramos apoyo empírico a favor de la visualización volumétrica como estrategia más efectiva en tareas de identificación y localización de determinadas estructuras encefálicas (Ruisoto et al., 2012). Esta línea de trabajo es coherente con la utilización de la visualización 3D en contextos formativos y la promoción de recursos didácticos con mayor atractivo visual y (Novak, 2003; Silén et al., 2008; Hamza-Lup & Thompson, 2009; Venali et al., 2010).

Finalmente, futuros estudios deberán analizar el papel de la aptitud visoespacial en el mayor o menor aprovechamiento de estos recursos, ya que los resultados hasta la fecha son controvertidos (Garg et al., 2001; Pani et al., 2005; Huk, 2006; Guillot et al., 2007).

Conclusión

La generación volumétrica de estructuras encefálicas ofreció una representación de información neuroanatómica de alto valor didáctico, permitiendo una visión más realista de las características neuroanatómicas y relaciones espaciales, en comparación con los atlas de neuroanatomía disponibles actualmente.

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento al Prof. Dr. D. Alberto Prats Galino, catedrático del Dpto. de Anatomía Humana de la Facultad de Medicina en la Universidad de Barcelona por su participación durante el proceso de segmentación y renderizado de secciones RM mediante Amira.

Referencias

- Cantillon, P., Irish, B., & Sales, D. (2004). Using computers for assessment in medicine. *British Medical Journal*, 329, 606-609.
- Chariker, J. H., Naaz, F. & Pani, J. R. (2011). Computer-based learning of neuroanatomy: A longitudinal study of learning, transfer, and retention. *Journal of Educational Psychology*, 103(1), 19-31.
- Chumley-Jones, H. S., Dobbie, A., & Alford, C. L. (2002). Web-based learning: Sound educational method or hype? A review of the evaluation literature. *Academic Medicine*, 77, 86-93.
- Drake, R. L. (1999). Anatomy education in a changing medical curriculum. *Kaibogaku Zasshi*, 74:487-490.
- Drake, R. L., McBride, J. M., Lachman, N. & Pawlina, W. (2009). Medical education in the anatomical sciences: The winds of change continue to blow. *Anatomical Sciences of Education*, 2:253-259.
- Estévez, M. E., Kindgren, K. A. & Bergethon, P. R. (2010). A Novel Three- Dimensional Tool for Teaching Human Neuroanatomy. *Anatomical Science of Education*, 11. doi: 10.1002/ase.186.
- Garg, A. X., Norman, G., & Sperotable, L. (2001). How medical students learn spatial anatomy. *Lancet*, 357:363-364.
- Guillot, A., Champely, S., Batier, C., Thiriet, P. & Collet, C. (2007). Relationship between spatial abilities, mental rotation and functional anatomy learning. *Advances in Health Sciences Education*. 12:491-507.

- Guttman, G. D, Drake, R. L., & Trelease, R. B. (2004). To what extent is cadáver dissection necessary to learn medical gross anatomy? A debate forum. *Anatomical Record*, 281B, 2-3.
- Hamza-Lup, F. G., & Thompson, T. (2009). Interactive 3D User Interfaces for Neuroanatomy Exploration. *International Conference on Web Information Systems and Technologies*, 130, 23-26.
- Hansen, M. M. (2008). Versatile, immersive, creative and dynamic virtual 3-D healthcare learning environments: A review of the literature. *Medical Internet Journal*, 10, 26.
- Huk, T. (2006). Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability. *J Computer Assisted Learning*. 22:392–404.
- Jastrow, H. and Vollrath, L. (2003). Teaching and learning gross anatomy using modern electronic media based on the visible human project. *Clinical Anatomy*. 16:44– 54.
- Khotanlou, H. (2008). 3D brain tumors and internal brain structures segmentation in MR images. Tesis. Ecole Nationale Superieure des Telecommunications.
- Leite, W. L., Svinicki, M. & Shi, Y. (2009). Attempted Validation of the Scores of the VARK: Learning Styles Inventory With Multitrait–Multimethod Confirmatory Factor Analysis Models, pg. 2. SAGE Publications.
- Marks, S. C. (2000). The role of three-dimensional information in health care and medical education: the implications for anatomy and dissection. *Clinical Anatomy*, 13(6): 448-52.
- McLachlan, J. C., Bligh, J., Bradley, P., & Searle, J. (2004). Teaching anatomy without cadavers. *Medical Education*, 38, 418-424.
- McNulty, J. A., Sonntag, B., & Sinacore, J. M. (2009). Evaluation of computer-aided instruction in a gross anatomy course: A six-year study. *Anatomical Science Education*, 2, 2-8.
- Nolte J. and Angevine J.B. (2007). *The Human Brain in Photographs and Diagrams*. 3rd. St. Louis, MO: Mosby, Inc. p. 272.
- Novak, J. D. (2003). The promise of new ideas and new technology for improving teaching and learning. *Cell Biology Education*, 2, 122-132.
- Nowinski, W. L., Thirunavuukarasuu, A., Ananthasubramaniam, A., Chua, B. C., Qian, G., Nowinska, N. G., Volkau, I., (2009). Automatic testing and assessment of neuroanatomy using a digital brain atlas: method and development of computer- and mobile-based applications. *Anatomical Sciences Education*, 2(5), 244-52.
- Nowinski, W. L., Thirunavuukarasuu, A., Volkau, I., Marchenko, Y., Aminah, B., Gelas, A., & Runge, V.M. (2009). A new presentation and exploration of human cerebral vasculature

- correlated with surface and sectional neuroanatomy. *Anatomical Sciences of Education*, 281:24-33.
- O'Byrne, P. J., Patry, A., & Carnegie, J. A. (2008). The development of interactive online learning tools for the study of anatomy. *Medical Teacher*, 30, 260-271.
- Older, J. (2004). Anatomy: A must for teaching the next generation. *Surgeon*, 2: 79–90.
- Pani, J. R., Chariker, J. H., Dawson, T. E. & Johnson, N. (2005). Acquiring new spatial intuitions: Learning to reason about rotations. *Cognitive Psychology*, 51, 285- 333.
- Prince, K. J., Scherpbier, A. J., van Mameren, H., Drukker, J., & van der Vietuten, C. P. (2005). Do students have sufficient knowledge of clinical anatomy? *Medical Education*, 39(3): 326-32.
- Reidenberg, J.S., & Laitman, J.T. (2002). The new face of gross anatomy. *Anatomical Record*, 269, 81-88.
- Ruisoto, P., Juanes, J. A., Contador, I., Mayoral, P. & Prats, A. (2012). Experimental evidence for improved neuroimaging interpretation using three-dimensional graphic models. *Anatomical Science of Education*. Doi: 10.1002/ase.1275
- Sharma, N., & Aggarwal, L. M. (2010). Automated medical image segmentation techniques. *Journal of Medical Physics*, 35(1), 3-14.
- Shattuck, D. W., Mirza, M., Adisetiyo, V., Hojatkashani, C., Salamon, G., Narr, K. L., Toga, A. W. (2008). Construction of a 3D Probabilistic Atlas of Human Cortical Structures. *Neuroimage*, 39(3), 1064-1080.
- Silén, C., Wirell, S., kvist, J., Nylander, E., & Smedby, O. (2008). Advanced 3D Visualization in Student-Centred Medical Education, *Medical Teacher*, 30, 115- 124.
- Sugand, K., Abrahams, P. & Khurana, A. (2010). The anatomy of anatomy: a review for its modernization. *Anatomical Science of Education*, 3(2): 83-93.
- Turner, R., & Jones, T. (2003). Techniques for imaging neuroscience. *British Medical Bulletin*, 65, 3-20.
- Venali, F., Deveze, A., Lallemand, B., Guevara, N., & Mondain, M. (2010). Enhancement of temporal bone anatomy learning with computer 3D rendered imaging softwares. *Medical Teacher*, 32(7), 282-288.
- Winkelmann, A. (2007). Anatomical dissection as a teaching method in medical school: a review of the evidence. *Medical Education*, 41(1):15-22.
- Williams, M. S. & White, L.E. (2007). *Sylvius 4: An Interactive Atlas and Visual Glossary of Human Neuroanatomy*.