

LOCALIZACION ESTEREOTAXICA SOBRE IMÁGENES DE ANGIOGRAFIA CEREBRAL

E. Guerra, G. López, J. Teijeiro, L. Ochoa, J. Jordán, C. Ugarte

Centro Internacional de Restauración Neurológica
Ave. 25 No. 15805 e/158 y 160. Rpto. Cubanacán, Playa, Habana, Cuba.

eritk@neuro.sld.cu

RESUMEN

La técnica de localización estereotáxica dirigida por angiografía cerebral, también llamada angiografía estereotáxica, consiste en la obtención de imágenes no paralelas del árbol vascular cerebral realizando una angiografía con la colocación de un marco estereotáxico y localizadores adecuados. El sistema computadorizado de localización por Angiografía Estereotáxica es un "software" médico para la localización de estructuras vasculares del cerebro. Puede ser utilizado en abordajes microquirúrgicos guiados por imagen y asistidos por computadora, tales como resecciones de malformaciones arteriovenosas (MAV), fistulas durales (carótido-cavernosas), tumores cerebrales con patrón vascular definido y cierre de aneurismas micóticos periféricos o asociados a hematoma perilesional. La metodología de trabajo consiste en obtener dos angiografías cerebrales utilizando la técnica de Sustracción Digital durante el transoperatorio de abordajes microquirúrgicos. Una vez obtenidas, las imágenes son transferidas a una computadora personal donde se calcula la transformación homogénea que relaciona las coordenadas estereotáxicas (3D) de un blanco con su posición en el plano de la imagen (2D). Hecho esto el cirujano puede obtener las coordenadas estereotáxicas de cualquier blanco angiográfico de interés quirúrgico como pueden ser las arterias aferentes de una MAV. De esta forma, el sistema contribuye a mejorar el trabajo microquirúrgico, facilitando el reconocimiento espacial de estructuras vasculares de interés. Esto evita una mayor manipulación y daño al tejido cerebral circundante, lo cual repercute en una reducción del riesgo de complicaciones y en una disminución del tiempo quirúrgico. En este trabajo se presentan las principales características, posibilidades y ventajas del sistema así como la metodología de trabajo.

Palabras clave: *angiografía estereotáxica, neurocirugía asistida por computadora, malformaciones arteriovenosas.*

1. INTRODUCCIÓN

Es conocido, que las técnicas de localización estereotáxica brindan innumerables ventajas respecto a los métodos convencionales en la neurocirugía a cráneo abierto debido a la óptima orientación espacial que se logra, lo cual reporta innumerables ventajas para el neurocirujano [15]. Su finalidad es la localización exacta y segura de un objetivo intracraneal predeterminado. La exactitud se consigue mediante la localización de dicho objetivo,

siguiendo parámetros que se miden sobre las imágenes con ayuda de aparatos externos (*localizadores*) los cuales dejan en estas, marcas específicas (*marcas de referencia*) de coordenadas estereotáxicas conocidas. La seguridad se obtiene a través de las imágenes, donde se calculan trayectorias hasta el blanco, buscando que estas no atraviesen regiones cerebrales vitales y dañando mínimamente a las estructuras periféricas a este [20]. El método estereotáxico permite localizar un punto dentro de la cavidad craneal y llegar a él de una forma precisa y reproducible.

La angiografía cerebral es una técnica conocida desde finales de la década del 20. La misma brinda abundante información sobre las estructuras vasculares del cerebro. Su utilización simultánea con estudios de Tomografía Axial Computarizada (TAC) y Resonancia Magnética (RM) [12] en la cirugía estereotáxica por un orificio permite planificar trayectorias que no atraviesen estructuras vasculares para alcanzar lesiones profundas. Su aplicación a la microcirugía guiada por imagen, permite la realización de procedimientos quirúrgicos complejos y de alto riesgo, como pueden ser: resecciones de malformaciones arteriovenosas (MAV), tumores cerebrales con aferencia vascular definida angiográficamente (meningiomas), cierre quirúrgico de fistulas durales (carótido-cavernosas) y tratamiento de aneurismas micóticos periféricos y otros asociados a hematomas perilesionales [2,6]. En estos casos la angiografía estereotáxica se realiza para la localización y reconocimiento de estructuras vasculares de interés microquirúrgico.

El Sistema Computadorizado de Localización por Angiografía Estereotáxica Transoperatoria (ANGIOWIN) es un "software" médico cuyo objetivo fundamental consiste en la obtención exacta y segura de las coordenadas estereotáxicas de puntos de interés sobre el árbol vascular.

2. METODOLOGÍA

Adquisición de imágenes

La realización de la angiografía estereotáxica constituye el primer paso en la secuencia de trabajo. Este proceder es realizado en el salón de operaciones, sobre la mesa quirúrgica, con una unidad de angiografía digital portátil una vez que ha sido practicada la craneotomía. Para ello se utiliza la técnica estándar de cateterización femoral descrita por Seldinger. Se realizan dos angiografías cerebrales por sustracción digital (preferiblemente una frontal y otra lateral) utilizando un localizador para angiografías previamente esterilizado.

Una vez obtenidas las imágenes de la unidad de Rayos X, estas son transferidas a una computadora personal en copia dura (papel o placas). Esta posibilidad hace al sistema independiente de la unidad de rayos X. No resulta requisito imprescindible que las imágenes sean ortogonales entre sí, aunque esta característica es deseable.

Cálculo de coordenadas estereotáxicas.

Los localizadores para angiografía estereotáxica utilizados consisten en 4 placas radiotransparentes, las cuales contienen 4 esferas metálicas pequeñas que forman un cuadrado de coordenadas estereotáxicas conocidas.

La posición de las marcas de referencia en el plano de la imagen así como sus coordenadas estereotáxicas son utilizadas para calcular la matriz de transformación que relaciona las coordenadas estereotáxicas (3D) de un punto con su proyección en el plano de la imagen (2D) [26]. Es decir:

$$[\alpha u, \alpha v, \alpha] = [x, y, z, 1] \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} \end{bmatrix} \quad (1)$$

donde (u,v) son las coordenadas en la imagen, (x,y,z) las coordenadas estereotáxicas y α es un factor de escala.

Es importante señalar que la transformación inversa no existe, es decir, dado un punto en una de las proyecciones bidimensionales es imposible calcular su posición en el espacio tridimensional. Esto se debe a que un punto en el plano de la imagen contiene la información superpuesta de todos los puntos atravesados por el mismo rayo desde el tubo de rayos X hasta el plano de la imagen obtenida [13]. Para el cálculo de la matriz de transformación, se prefirió utilizar un ajuste por el método de mínimos cuadrados para asegurar que la información suministrada por todas las marcas de referencias sea incorporada a la solución. [1]

Una vez localizadas las marcas de referencia sobre ambas imágenes, se realiza el cálculo de las matrices de transformación. Finalizado este procedimiento, el sistema se encuentra listo para reportar las coordenadas estereotáxicas de cualquier punto de interés.

Planificación quirúrgica.

Durante el transoperatorio, combinándose o no con la guía por TAC o RM, se realiza la planificación sobre las imágenes angiográficas, lográndose una completa integración de toda la información brindada por cada una de estas técnicas imagenológicas. En este momento, el cirujano cuenta con un método computadorizado preciso que le permite localizar estereotáxicamente aferencias vasculares profundas y superficiales de malformaciones vasculares durante el proceder microquirúrgico.

Equipamiento y Principales Opciones

Para el correcto funcionamiento, ANGIOWIN requiere una computadora personal IBM-compatible. La configuración estándar puede ser: procesador Intel Pentium 133 MHz, 16 Mb de memoria RAM, tarjeta de vídeo Super-VGA, Microsoft Mouse o compatible y 1 Mb de espacio libre en el disco duro. Deberá tener instalado MS Windows 95 o

superior. Acoplado a la computadora deberá tenerse, además, un *Scanner* que permita obtener imágenes de 256 niveles de grises a partir de papel o placas.

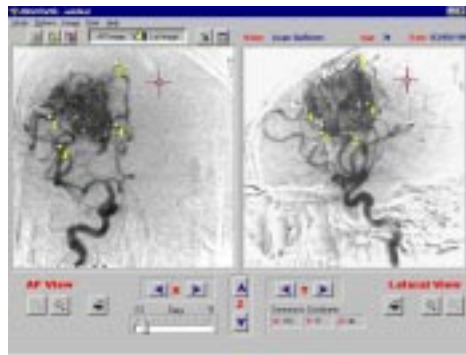
Las principales opciones de trabajo del sistema son:

- Lectura y visualización de las imágenes angiográficas
- Localización de las marcas de referencia.
- Cálculo de coordenadas estereotáxicas.
- Movimiento simultáneo del cursor en ambas imágenes.
- Señalización de puntos de interés.
- Creación de estudios angiográficos.

3. RESULTADOS

Utilizando el sistema ANGIOWIN se han efectuado un total de 11 resecciones microquirúrgicas guiadas por TAC (en 9 de los casos) y Angiografía Estereotáxica de patologías vasculares fundamentalmente MAVs y fístulas durales. Las edades de los pacientes oscilan entre 13 y 42 años. A estos pacientes se les aplicó el sistema de gradación de Spetzler y Martin [24] para estimar los riesgos de morbilidad y mortalidad quirúrgica. La gradación en todos los casos fue III o IV. La localización fue variada, predominando las lesiones en áreas funcionalmente elocuentes. El modo de presentación fue la hemorragia (5 pacientes) y crisis convulsivas (3 pacientes). Se realizó resección total en todos los casos (Figura 1). La estadía hospitalaria fue como promedio 8 días. No se registró mortalidad quirúrgica, sólo un paciente portador de una MAV en área motora presentó una discreta paresia distal del miembro superior contralateral que se recuperó totalmente.

En todos los pacientes intervenidos se estudió la angioarquitectura de la MAV demostrándose la presencia de aferencias vasculares bien definidas angiográficamente. Muchas de estas aferencias tenían localización profunda sin representación en la corteza cerebral, hecho que dificulta la localización y disección de las mismas para su



posterior división durante la resección circunferencial de la malformación vascular.

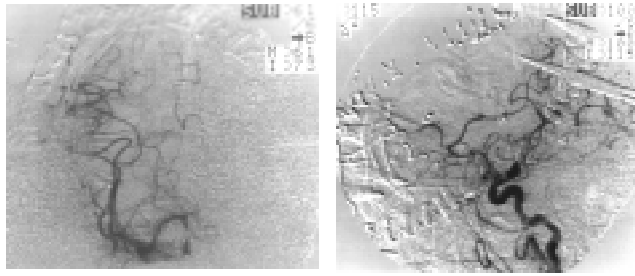


Fig.1. (superior) Angiografías frontal y lateral realizadas durante el transoperatorio a un paciente que presentaba una MAV frontal posterior derecha. Obsérvese las proyecciones de las marcas de referencia así como la localización de las aferencias más importantes. (inferior) Angiografías postoperatorias realizadas al mismo paciente inmediatamente después de finalizada la resección de la MAV antes de concluir la intervención quirúrgica. Obsérvese resección total de la MAV sin daño a estructuras vasculares adyacentes

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La angiografía estereotáxica ha sido fundamentalmente utilizada en la planificación de dosis en radiocirugía, para la definición de trayectorias que no atraviesen estructuras vasculares en la neurocirugía estereotáxica por un orificio (“burr-hole”) y para la selección de blancos según su patrón vascular [16]. También existen reportes de su uso no estereotáxico en la confirmación de resecciones de MAV y cierre de aneurismas inmediatamente después de finalizado el proceder en la propia unidad quirúrgica [19]. En nuestro trabajo se combina el uso de la Angiografía por Sustracción Digital en el transoperatorio con la localización estereotáxica, no con los propósitos antes descritos, sino para guiar procedimientos estereotáxicos microquirúrgicos. Esta aplicación lo convierte en un método de localización más exacto, pues las imágenes angiográficas se obtienen después de la apertura del cráneo. Esto permite planificar sobre una imagen objetivamente más real y de esta forma corregir el desplazamiento que sufren las estructuras intracraneales después de la apertura del cráneo y el espacio subaracnoideo, siendo esta una de las novedades de su aplicación en la microcirugía guiada por imagen. Este método posibilita, además, obtener imágenes consecutivas en diferentes pasos del proceder quirúrgico y concluido el mismo.

El empleo de un algoritmo de cálculo de coordenadas estereotáxicas que no requiere que las imágenes sean ortogonales entre sí, elimina una de las principales limitaciones de otros sistemas de localización basados en la técnica de angiografía estereotáxica. En estos sistemas se puede producir una estimación errónea de las reales dimensiones de la lesión vascular, sobre todo en el caso de lesiones no esféricas, cuando el eje mayor no está correctamente representado en las proyecciones angiográficas tradicionales [5,25]. No obstante, la ortogonalidad entre las imágenes es una característica deseable para lograr una mejor visualización de las marcas de referencias.

El uso de esta guía en la neurocirugía guiada por imágenes la convierte en una herramienta de gran valor, puesto que permite a un costo relativamente pequeño planificar la cirugía y lograr una adecuada visualización del árbol vascular cerebral. A pesar de los prometedores resultados obtenidos utilizando técnicas novedosas como la

Angio-Tomografía Computarizada (CT angiography) [4,11] y la Angio-Resonancia Magnética (MR angiography) [7,17]; la angiografía convencional, no obstante su invasividad y riesgo de complicaciones [14], continua siendo la técnica de elección en la imagenología vascular debido a su mayor resolución temporal y espacial y a su posibilidad de mostrar mejor los componentes de una MAV (aferencias, nido y drenajes). [29] (Figura 2) En nuestra experiencia no se ha reportado ningún tipo de complicaciones.

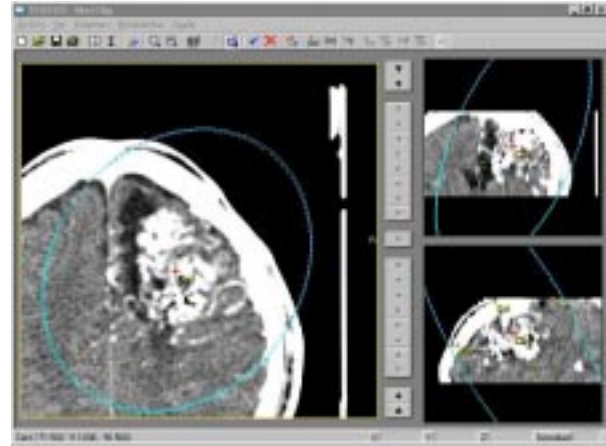


Fig.2. Planificación de la craneotomía sobre imágenes de TAC del caso anteriormente mostrado en la Figura 1. Obsérvese dificultad para localizar los componentes de la MAV.

El diseño e implementación del sistema ANGIOWIN permitió la automatización de la técnica de Angiografía Estereotáxica para el abordaje de lesiones con patrón vascular bien definido. Se conformó un sistema flexible pues no depende de como se realizan los angiogramas y es fácilmente adaptable a diferentes sistemas estereotáxicos. Su interface es cómoda y de fácil manipulación por parte del personal médico, incluso bajo condiciones de esterilidad en el transoperatorio. Esto unido a la explotación al máximo de las potencialidades de las computadoras personales permite aumentar la velocidad y fiabilidad del método de cálculo de las coordenadas estereotáxicas.

Generalmente, las MAVs y aneurismas periféricos pequeños tienen notables problemas de localización espacial y de aproximación quirúrgica, especialmente cuando están situados en áreas intraparenquimales profundas o en la cercanía de zonas elocuentes del cerebro. En tales situaciones, el sistema de localización por angiografía estereotáxica resulta de notable ayuda en el planeamiento quirúrgico, pues brinda al neurocirujano información precisa acerca de la real localización anatómica de la lesión, sobre la mejor vía de acceso quirúrgico y acerca del origen y el curso de las estructuras vasculares aferentes o de drenaje. Esto repercute en una disminución del tiempo de operación y consecuentemente, del riesgo de complicaciones quirúrgicas gracias a la posibilidad de planificar craneotomías pequeñas y de seguir corticotomías bien delimitadas.

REFERENCIAS

- [1] Adams L.P.: X-ray stereo photogrammetry locating the precise three dimensional position of image points. *Med. Biol. Eng. Comput.* 1981; 19: 569-578.
- [2] Angelo V.D.; Fiumara E.; Gorgolione L.; Florio F.; Ceddia A.: Surgical treatment of a cerebral mycotic aneurism using the stereoangiografic localizer. *Surg. Neurol.* 1995; 44: 263-264.
- [3] Blatt D.R.; Friedman W.A.; Bova F.J.: Modifications based on computed tomographic imaging in planning the radiosurgical treatment of arteriovenous malformations. *Neurosurgery.* 1992; 33: 588-596
- [4] Bova F.J.; Friedman W.A.: Stereotactic angiography: an inadequate method for radiosurgery?, *Int. J. Radiation Oncology Biol.* 1991; 20: 891-895.
- [5] Cunha e Sa M.; Sisti M.; Solomon R.: Stereotactic angiographic localization as an adjunct to surgery of cerebral mycotic aneurysms: case report and review of the literature. *Acta Neurochir Wien.* 1997; 139(7): 625-628.
- [6] Ehrlicke H.H.; Schad L.R.; Gademann G.; Wowra B.; Engenhardt R.; Lorenz W.J.: Use of MR angiography for stereotactic planning. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 1992; 16: 35-40
- [7] Harbaugh R.E.; Schlusberg D.S.; Jeffery R.; Hayden S.; Cromwell L.D.; Pluta D.: Three-dimensional computerized tomography angiography in the diagnosis of cerebrovascular disease. *J-Neurosurg.* 1992; 76: 408-414
- [8] Henri C.J.; Collins D.L.; Peters T.M.: Multimodality image integration for stereotactic surgical planning, *Med. Phys.* 1991; 18(2): 167-177.
- [9] Henri C.J.; Collins D.L.; Peters T.M.: The mathematics of stereotactic localization and multimodality image matching based on projection radiography, in *Stereotactic and Image Directed Surgery of Brain Tumours*, ed. by D.G.T.Thomas (Churchill Livingstone, Edinburgh), 1993, pp 206-216.
- [10] Jungreis C.A.; Lundsford L.D.; Barker D.: Angiographic complications during stereotactic radiosurgery for cerebral arteriovenous malformations. *AJNR.* 1992; 13: 946-948.
- [11] Kelly P.J.: Applications and methodology for contemporary stereotactic surgery. *Neurol. Research.* 1986; 8(1): 2-12.
- [12] Kelly P.J.: *Tumor Stereotaxis.* W.B. Saunders Company, 1991
- [13] Kondziolka D.; Lunsford L.D.; Kanal E.; Talagala L.: Stereotactic magnetic resonance angiography for targeting in arteriovenous malformations radiosurgery. *Neurosurgery.* 1994; 35: 585-591
- [14] Martin N.; Doberstein C.; Bentson J.: Intraoperative angiography in cerebrovascular surgery. *Clin. Neurosurg.* 1991; 37: 312
- [15] Martinez R.; Vaquero J.: *Esterotaxia en tumores cerebrales.* A. Madrid Vicente Ediciones, Madrid, España, 1993
- [16] Spetzler R.F.; Martin N.A.: A proposed grading system for arteriovenous malformations. *J-Neurosurg.* 1986; 65: 476
- [17] Spiegelmann R.; Friedman W.A.; Bova F.J.: Limitations of angiographic target localization in planning radiosurgical treatment. *Neurosurgery.* 1992; 30: 619-624.
- [18] Sutherland I.E.: Three-dimensional data input by tablet. *Procc.IEEE.* 1974; 62(4): 453-471
- [19] Valvanis A.: The role of angiography in the evaluation of cerebral vascular malformations. *Neuroimag. Clin. of North America.* 1996; Vol.3(6): 679-704.

STEREOTACTIC LOCALIZATION ON CEREBRAL ANGIOGRAPHY IMAGES

ABSTRACT

The stereotactic localization directed by cerebral angiography, usually stereotactic angiography, consist in obtaining two non-parallel images of the vascular cerebral tree carrying out an angiography with the placement of a stereotactic frame and a set of fiducials markers. The Computerized System for Intraoperative Stereotactic Angiography Localization (ANGIOWIN), designed at the International Center for Neurological Restoration, is a medical software for the localization of vascular cerebral structures. It can be used as complement in computed-assisted image-guided microsurgical approaches, such as arteriovenous malformations (AVMs) resections, mycotic or haematoma associated aneurysms clipping, vascularized tumors resections, etc. Two angiographic images are obtained using the known DSA method during the intraoperative microsurgical approach. Afterward, they are transferred to a personal computer and the projections of fiducial markers are used to calculate a homogeneous transformation matrix that relates the 3-D frame coordinate of a target to its projected position in the image plane. Then, the neurosurgeon can obtain the stereotactic coordinates of any angiographic target like AVM feeding arteries. In this way, the system contributes to improve the microsurgical approach, facilitating the spatial recognition of vascular structures. This fact, avoids more manipulation and damage to the surrounding cerebral tissue, which rebounds in a reduction of the complications risk and in a decrease of the surgical time. In this work the principal characteristics, possibilities and advantages of the its use are introduced, as well as the work methodology..