

Neurocirugía guiada por Imagen, serie de casos del Hospital José Carrasco Arteaga.

María Gabriela Cevallos¹, Alexandra Padilla¹, Fernanda Calle², Fanny Coronel², Lorena Guerrero², Andrea Ortiz², Judith Espinoza² y Pablo Peña-Tapia³.

Resumen

1. Médico Residente Asistencial Unidad de Cuidados Intensivos Hospital José Carrasco Arteaga, Cuenca, Ecuador
2. Médico Residente de Neurocirugía Hospital José Carrasco Arteaga, Cuenca, Ecuador.
3. Médico Neurocirujano del Hospital José Carrasco Arteaga, Cuenca, Ecuador.

Correspondencia:

Pablo Peña. E-mail: pablopenatapia@hotmail.com.
Rayoloma y Pacto Andino. Servicio de Neurocirugía del Hospital José Carrasco Arteaga.
Teléfono [593] 72 861 500. Cuenca-Ecuador.

Fecha de Recepción: 15-05-2012.
Fecha de Aceptación: 13-07-2012

Rev Med HJCA 2012, 4(2):154-160.

Introducción. La Neuronavegación permite identificar intraoperatoriamente estructuras anatómicas críticas, lesiones intracerebrales pequeñas, coordinadas estereotáxicas, límites tumorales y márgenes de resección, aumentando la seguridad y precisión quirúrgicas. El objetivo del presente trabajo es realizar un reporte de una serie de casos de pacientes intervenidos en el Hospital José Carrasco Arteaga.

Métodos. El presente trabajo observacional, prospectivo presenta datos demográficos, diagnóstico y problemas derivados del uso del neuronavegador en pacientes operados por patología intracraneal.

Resultados. Desde el 1/09/2010 al 01/02/2012 se registraron 17 casos. 8 mujeres (47.1%), Dos niños (11.7%). La edad promedio fue 44 ± 2 años. 13 intervenciones (76.5%) por tumores cerebrales, 2 (11.7%) por resección de malformaciones arteriovenosas y en 2 (11.7%) por neuroendoscopías. No se reportaron complicaciones por el uso del neuronavegador, la localización de las lesiones fue exacta y las biopsias estereotáxicas diagnósticas en los 17 casos (100%). El tiempo quirúrgico adicional promedio para preparar el sistema fue 48.7 ± 20 minutos.

Conclusión. La Neuronavegación es un adelanto importante para la neurocirugía en el HJCA que la hace más segura y precisa. La preparación preoperatoria adicional y el mayor tiempo quirúrgico requerido para su aplicación se justifican plenamente por los buenos resultados. Se hacen recomendaciones para mejorar el uso de esta tecnología en el futuro.

Descriptores DeCS. Neuronavegación, Neurocirugía guiada por imagen, estereotaxia sin marco, tumor cerebral.

Image Guided Neurosurgery, cases report from José Carrasco Arteaga Hospital.

Abstract

Background. Neuronavigation allows intraoperative identification of critical anatomy, deep seated small lesions, stereotactic coordinates, tumor borders and resection margins improving surgical safety and accuracy. The objective of this trial is the report of cases from José Carrasco Arteaga Hospital in Cuenca - Ecuador.

Methods. Demographic data, diagnosis, method of image registration, and neuronavigation related problems from a cohort undergoing intracranial surgery were prospectively collected.

Results. Since 09/01/2010 to 02/01/2012 we report 17 cases, 8 female (47.1%), 2 children (11.7%). The average age was 44 ± 2 years. 13 patients (76.5%) had Brain Tumors, 2 patients (11.7%) with microsurgical resections of Arteriovenous Malformations and 2 patients (11.7%) with Neuroendoscopies. No neuronavigation related complications were noted, targeting of lesions was precise and all stereotactic biopsies were diagnostic. Additional surgical time for setting up the system was 48.7 ± 20 minutes.

Conclusion. Neuronavigation represents an important step forward in order to make neurosurgeries at the José Carrasco Arteaga Hospital safer and more accurate. Good results justify undoubtedly additional preoperative workup and longer surgical time. Some recommendations for the future application of this technology are made.

Keywords. Neuronavigation, Image Guided Neurosurgery, frameless stereotaxy, brain tumor

Introducción

El poder localizar con precisión las estructuras patológicas y diferenciarlas de la anatomía normal circundante, comprendiendo correctamente la anatomía quirúrgica, son probablemente las claves para conseguir una intervención neuroquirúrgica exitosa.

La neurocirugía estereotáxica interactiva guiada por imagen, llamada también estereotaxia sin marco o neuronavegación es una novedosa metodología que se viene aplicando desde los años ochenta y permite utilizar las imágenes bidimensionales de tomografía computadorizada o resonancia magnética nuclear como mapas de navegación en los cuales se indica la posición de un determinado instrumento quirúrgico en tres dimensiones. Para esto, el cirujano utiliza un puntero que comunica a un computador su ubicación en relación con el campo operatorio. De inmediato el computador muestra en un monitor la posición de la punta del instrumento, en algunos casos el punto focal de un microscopio, en las respectivas imágenes multiplanares o tridimensionales de Resonancia Magnética o Tomografía del paciente, información que se puede utilizar para planificar la cirugía y también para controlar el avance de la misma [1-4].

Esta herramienta hace posible identificar en tiempo real estructuras encefálicas críticas, lesiones intracerebrales pequeñas, límites tumorales y márgenes de resección, así como localizar coordenadas estereotáxicas profundas, con lo que la seguridad y precisión de las intervenciones neuroquirúrgicas han aumentado notablemente, mejorando los resultados.

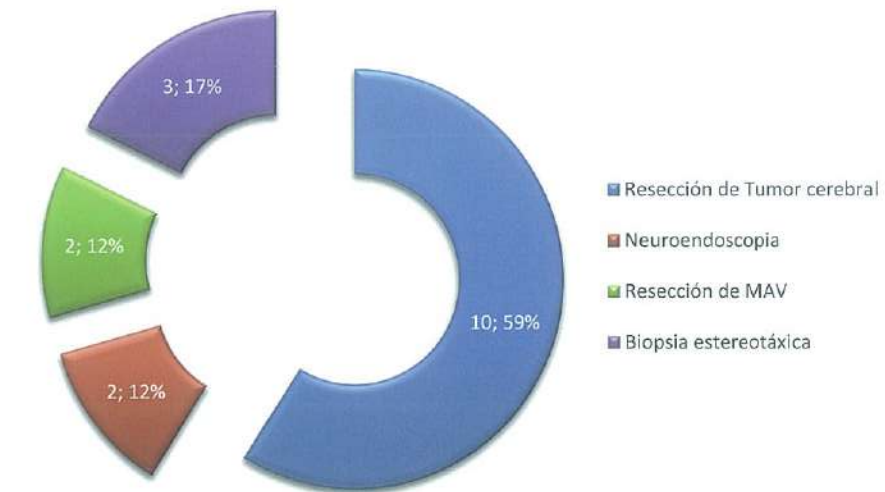


Gráfico N° 1 "Distribución de 17 pacientes intervenidos quirúrgicamente usando Neuronavegación en el HJCA de Cuenca en el periodo 1° de septiembre 2010 – 1° de febrero 2012, según procedimiento realizado"

Los sistemas de Navegación Intraoperatoria Guiada por Imagen se utilizan no sólo en cirugía cerebral, sino también pueden emplearse en cirugía de columna vertebral, de base craneal y otorrinolaringológica así como cirugía ortopédica, principalmente en artroplastia de cadera y rodilla [5-8].

Teniendo como origen común a la cirugía con marcos estereotáxicos, son varios los principios con los que estos equipos pueden trabajar: a) usando brazos mecánicos articulados que actúan como digitalizadores tridimensionales b) mediante la detección de impulsos ultrasónicos, c) la detección óptica de destellos de luz infrarroja, que es el más difundido en la actualidad, ó d) la detección de campos electromagnéticos, la cual está ganando cada vez más aceptación y adeptos [2, 9, 10].

Debido a que en el servicio de Neurocirugía del Hospital José Carrasco se

ha implementado esta tecnología reportamos esta serie de casos.

Material y Métodos

El presente estudio es descriptivo: serie de casos, recolección prospectiva.

Selección de pacientes

Se incluyeron en el reporte los pacientes intervenidos quirúrgicamente por patología intracraneal no traumática desde el primero de septiembre del 2010 hasta el primero de febrero del 2012. Se excluyeron los casos de patología de fosa posterior y los procedimientos neuroendoscópicos estándar como la cirugía denominada Tercer Ventrículo-cisternostomías.

Variables descriptivas

Se registraron datos demográficos, diagnóstico presuntivo, diagnóstico definitivo o histopatológico, método de

TABLA 1

Nº de caso	Edad (años)	Sexo	Diagnóstico definitivo	Método de Registro	Procedimiento
1	64	F	Astrocitoma Grado III	Fiducias	Resección microquirúrgica
2	61	F	Granuloma	Fiducias	Resección microquirúrgica
3	46	F	Astrocitoma de bajo grado	Fiducias	Biopsia estereotáxica
4	36	M	Gliomatosis cerebri	Registro de superficie	Biopsia estereotáxica
5	49	M	Astrocitoma grado III	Fiducias	Lobectomía frontal derecha
6	56	M	Glioblastoma multiforme	Fiducias	Resección microquirúrgica
7	38	M	Astrocitoma grado III, hidrocefalia obstructiva	Fiducias	Biopsia endoscópica + Septostomía + Derivación V-P
8	74	M	Glioblastoma multiforme	Fiducias	Resección microquirúrgica
9	43	M	Meningioma grado I	Fiducias	Resección microquirúrgica
10	21	M	MAV grado I	Fiducias	Resección microquirúrgica
11	9	M	Astrocitoma grado III	Fiducias	Resección microquirúrgica
12	25	M	Estenosis del agujero de Monro, hidrocefalia obstructiva	Registro de superficie	Dilatación endoscópica + Septostomía

Distribución de 17 pacientes intervenidos quirúrgicamente en el HJCA de Cuenca usando Neuronavegación, en el periodo 1º de septiembre 2010 – 1º de febrero 2012 según edad, sexo, diagnóstico, método de registro y procedimiento realizado"

F: Femenino

M: Masculino

PNET: Siglas en inglés de Tumor Neuro Ectodérmico Primitivo

V-P: Ventrículo-Peritoneal

registro de información, tiempo quirúrgico adicional así como las complicaciones y/o problemas técnicos relacionados con el uso del neuronavegador.

Procedimiento y descripción de la tecnología utilizada

Antes de la cirugía se realizó una adquisición volumétrica de Resonancia Magnética Nuclear en T1 (secuencia f3D) con cortes de 1 mm de espesor y una angulación del campo de visión (FOV) de cero grados en un equipo MagnetomSymphony de 1.5 Teslas (Siemens, Alemania). El sistema de Neuronavegación óptica es de la marca

comercial Stealth Tria Plus de Medtronic procedente de Alemania. Año de fabricación 2010.

En los casos de patología tumoral o vascular se administró medio de contraste. Para los casos de neuroendoscopia no se utilizó contraste. Esta información se almacenó en un CD-R para su exportación a la estación de trabajo del Neuronavegador.

El procedimiento incluye la anestesia general del paciente, posicionamiento y fijación de la cabeza en el craneostato de Mayfield (Codman, USA). Se utilizó un brazo articulado para sostener el marco referencial. Se ubicaron

la cámara, estación de trabajo y monitor en su sitio. Se delimitó la lesión o el sistema ventricular en las imágenes de la estación de trabajo y se planificó la intervención. A continuación se realizó el registro de la información del paciente con fiducias o mediante un rastreo de superficie con el puntero, según el caso. Se verificó la exactitud de la información presentada en el monitor y cuando esta fue satisfactoria, con un error de registro menor o igual a 4 mm, guiados por el sistema, se dibujó en la piel la lesión y se marcó la incisión más apropiada (FIGURA 2). Entonces, se preparó el campo operatorio con técnica estéril y se reemplazó el marco referencial por otro estéril. El neuronavegador se usó para guiar la craneotomía, localizar la lesión y controlar el avance del procedimiento. Para las resecciones microquirúrgicas se usó un microscopio ZeissOpmi Vario (Oberkochen, Alemania) sin interfase para Navegación. En el caso de biopsias se usó el sistema Navigus® o el sistema Vertek® con agujas pasivas de Medtronic, Sofamor-Danek (Memphis, USA) y se hizo análisis histológico por congelación para confirmar la certeza del blanco. Para las neuroendoscopías se usó un ventriculoscopio marca Aesculap de 150 mm de longitud con óptica de cero grados (Tuttlingen, Alemania) al cual se fijó un mini marco referencial con esferas pasivas, apropiado para la longitud del instrumento, del sistema Sure-Track® de Medtronic, Sofamor-Danek (Memphis, USA). Las intervenciones microquirúrgicas y las neuroendoscopías fueron grabadas en DVD-R como archivo. Los datos fueron tabulados usando Microsoft Excel Mac 2011.

Resultados

Durante el período de estudio se identificaron 19 pacientes que potencialmente podían beneficiarse del uso de la neuronavegación, de estos, 2 pacientes (1 neuroendoscopia y 1 craneotomía por tumor cerebral) debieron ser intervenidos sin guía de imágenes por falta de todos los implementos técnicos. El neuronavegador se empleó en 17 pacientes. En 10 casos se trató de resecciones de tumores cerebrales, en 2 se extirparon Malformaciones Arteriovenosas (MAV), en 3 pacientes se

FIGURA 1



- A. Fotografía del sistema de Neuronavegación con sus componentes en la ubicación usada en quirófano. Se pueden apreciar la estación de trabajo (Est. Tr), el monitor (m) y la cámara (cam) orientada hacia la cabeza del paciente (cabeza de flecha) y hacia el marco referencial fijo al craneostato de Mayfield (flecha).
- B. Detalle del marco referencial (mr) en posición y su relación con la cabeza del paciente.
- C. El marco referencial (mr) y el puntero de navegación (p) con las esferas pasivas reflectivas.

hicieron biopsias estereotáxicas y en 2, neuroendoscopías. (GRAFICO 1). De estas últimas, una se debió a estenosis unilateral del agujero de Monro realizándose una dilatación del agujero estenótico más una septostomía (FIGURA 3) y en el segundo paciente se tomó una biopsia de un tumor de tercer ventrículo seguida de una septostomía y derivación ventrículo-peritoneal, por hidrocefalia obstructiva.

Las biopsias estereotáxicas fueron diagnósticas en los 17 casos (100%). En el caso de resección tumoral y de MAVs las craneotomías fueron realizadas directamente sobre la lesión y en estas últimas fue posible predecir la ubicación de algunos vasos aferentes y eferentes (Figura 4).

En las neuroendoscopías fue de gran ayuda la guía de imágenes en identificar el lugar más apropiado para la septostomía y también para tomar algunas biopsias de una zona subependimaria que a simple vista impresionaba como normal.

El tiempo promedio usado en poner a punto el sistema de navegación fue 48.7 minutos. Un inconveniente detectado durante procedimientos microquirúrgicos fue la necesidad de retirar el microscopio del campo operatorio para

poder usar el puntero guía de navegación pues, de lo contrario, el microscopio se interpone entre la cámara, el marco referencial y el puntero, inhabilitándolos.

Con relación al registro y emparejamiento de la información, en una de las biopsias estereotáxicas y en un caso de tumor cerebral, se realizó un rastreo de superficie. En un paciente sometido a neuroendoscopia por hidrocefalia el registro se hizo usando fiducias pues la patología primaria fue un tumor de tercer ventrículo.

Las características demográficas, diagnósticos, método de registro de información y procedimiento realizado se resumen en la Tabla 1.

Discusión

La cirugía guiada por imagen se considera actualmente el tratamiento estándar para muchos procedimientos neuroquirúrgicos y, si bien no es indispensable, aumenta la seguridad y mejora los resultados [11-15]. En forma parecida a un posicionador geográfico satelital, la función de la neuronavegación indica la ubicación con relación a determinados puntos referenciales. Con su uso, las incisiones en la piel y

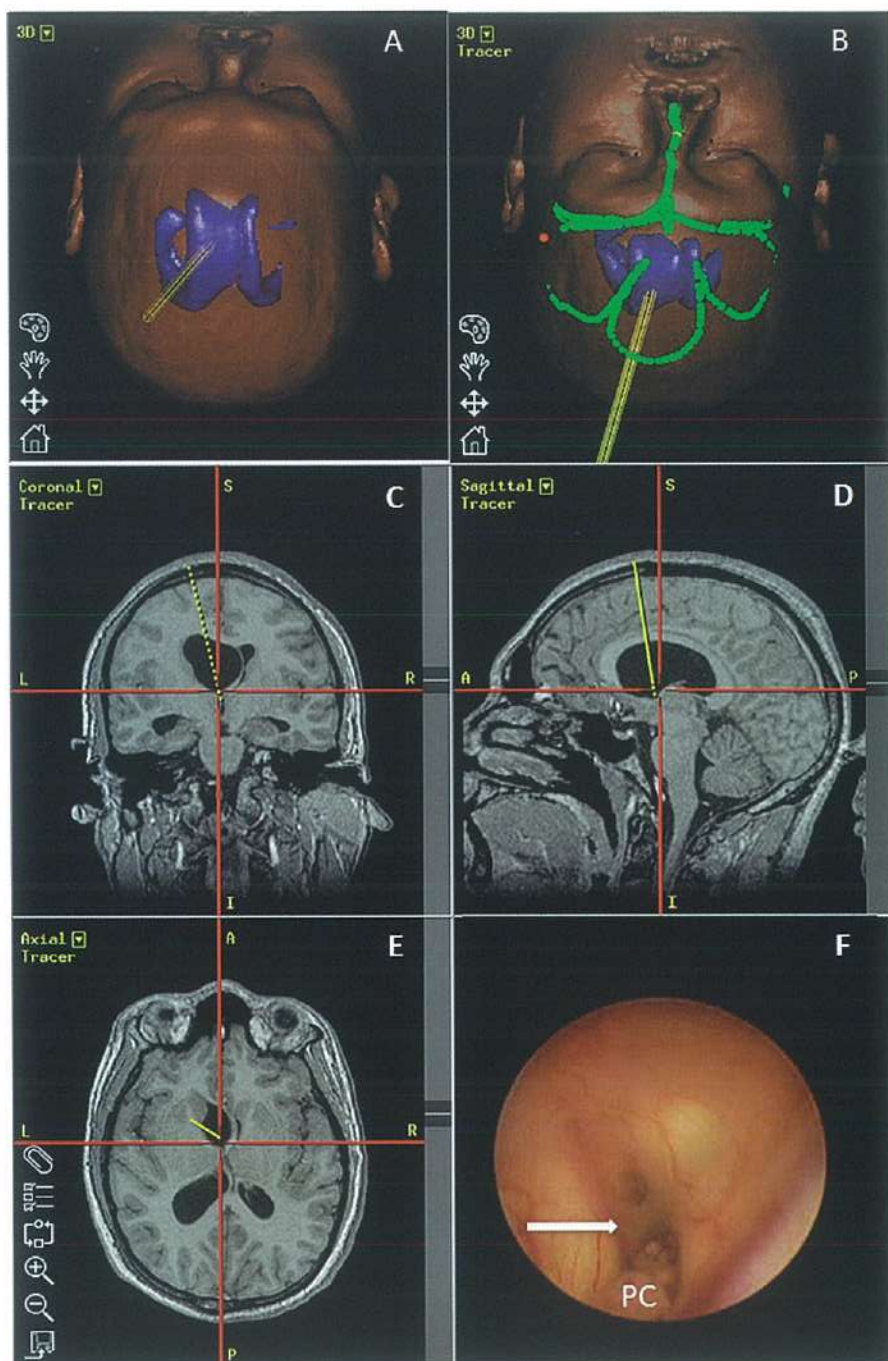
las craneotomías son más pequeñas y precisas, pero no reemplaza a sólidos conocimientos anatómicos y a una minuciosa técnica quirúrgica.

La información proporcionada por los sistemas de cirugía guiada por imagen está también sujeta a ciertas variables que pueden afectar su precisión [16]. Una de ellas es el método empleado para el registro y emparejamiento de la información entre las imágenes y el paciente. Se sabe que la forma más exacta es el uso del marco estereotáxico, con errores de localización menores a un milímetro, seguida por el uso de marcadores fijos al hueso. El empleo de fiducias adhesivas es el método no invasivo de mejor precisión con errores promedio de 2.62 mm, seguido por el rastreo de superficie [15, 17-19]. Por ello, dependiendo de la exactitud requerida en la cirugía, se elige el método más apropiado. Para minimizar el margen de error de registro se han propuesto algunas soluciones como distribuir las fiducias siguiendo tablas estandarizadas, colocarlas en áreas donde la piel no es muy móvil y usar el registro de superficie cuando la cara y las regiones frontales se pueden localizar y acceder con facilidad [12-15].

En nuestro estudio el registro de superficie se usó en una biopsia estereotáxica de una lesión multicéntrica extensa sospechosa de gliomatosis cerebri, pues en esa época el equipo de resonancia magnética nuclear del hospital estaba fuera de servicio y no se justificaba realizar el estudio con fiducias fuera del mismo pues el paciente había sido sometido ya a una biopsia cerebral abierta y la craneotomía frontal derecha servía como un punto de referencia adicional. En el caso N° 17, la información de la paciente se debió registrar también mediante rastreo de superficie ya que contrariamente a lo planificado, no se pudieron aplicar fiducias pues se habían agotado en suministros. En esta paciente se resecó un adenoma gigante de hipófisis y la navegación se usó principalmente para evitar abrir el seno frontal durante la craneotomía.

Otros inconvenientes de la Neuronavegación óptica son de la necesidad de una línea de visión directa entre las esferas reflectivas y la cámara y la necesidad de fijar la cabeza en un craneostato, lo cual no se puede hacer en niños

FIGURA 2



A. Fiducias en la cabeza del paciente.

B. Registro de la información punto a punto usando el puntero de navegación.

C. Las fiducias han sido retiradas y se ha dibujado en la piel la incisión y la ubicación estimada de la lesión (puntero).

Abajo: Información que aparece en el monitor luego del registro. El sitio de intersección de las líneas verdes representa la punta del instrumento de navegación en los planos coronal, sagital y axial (*). Se observa además una reconstrucción 3D de la cabeza del paciente con las fiducias (**) y en verde, el error aproximado de registro en mm (flecha).

menores de 2 años por el peligro de atravesar con las puntas de sujeción la tabla interna del hueso con el riesgo de sangrados. Una forma de superar estos problemas es el uso de sistemas electromagnéticos que permiten movilizar libremente la cabeza durante el proce-

dimiento y que además no requieren la colocación de fiducias para el registro ni de esferas reflectivas que deben ser detectadas por una cámara. El problema de tener que movilizar el microscopio fuera del campo operatorio para usar la neuronavegación se puede superar con

la adición de una interfase de comunicación con el neuronavegador [10, 20], el cual no dispone el servicio de Neurocirugía del HJCA.

Es también un defecto conocido de la neuronavegación actual la inhabilidad para hacer frente al llamado "brain shift" que hace referencia al desplazamiento y deformación del cerebro una vez expuesto, producido por la fuerza de gravedad y luego de la salida de líquido cefalorraquídeo lo que cambia la ubicación real de las estructuras y hace necesaria para su corrección una actualización del registro de información mediante el uso de métodos transoperatorios de imagen como ultrasonido, tomografía o resonancia magnética nuclear [21].

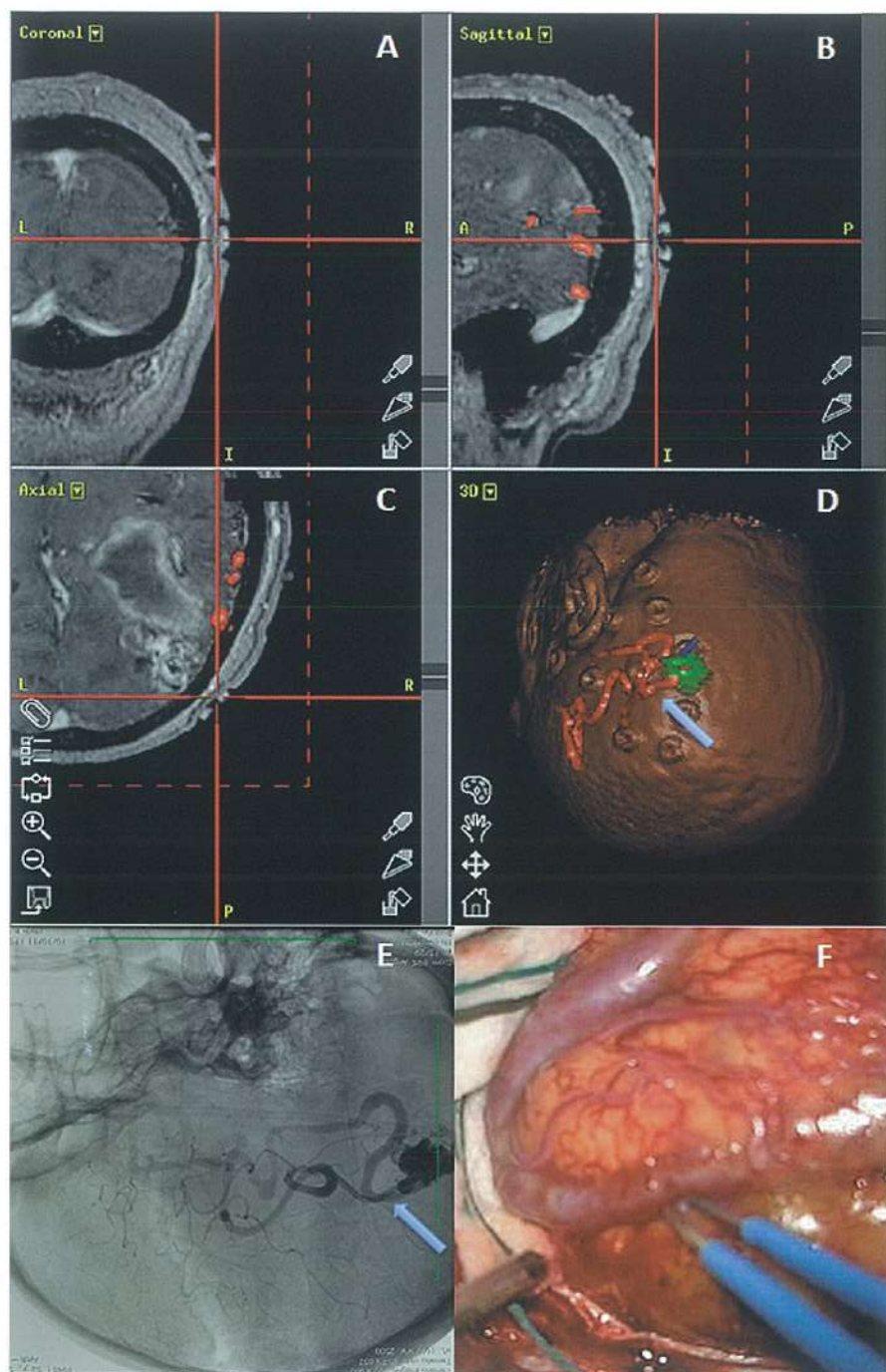
En un estudio publicado recientemente [22] se presentaron una serie de 20 casos de tumores cerebrales intervenidos con neuronavegación en esta misma institución en un período de 15 meses con un tiempo promedio de planeación de 19.7 minutos y un tiempo quirúrgico promedio de 114.5 minutos, a diferencia de este trabajo el tiempo de planeación registrado fue de 48.7 minutos explicado por el tiempo útil de vida de las esferas pasivas reflectivas del equipo que no permite un reconocimiento inmediato de la cámara. Para el presente reporte consideramos pertinente registrar sólo el tiempo adicional generado por el uso de la neuronavegación y no el tiempo quirúrgico total pues se trató de una serie de procedimientos heterogéneos algunos de gran complejidad y larga duración y otros menos complicados como las biopsias lo cual podía prestarse para confusiones.

Con relación al trabajo mencionado, representa un nuevo aporte del nuestro la realización de neurocirugía guiada por imagen en niños, en casos de resección microquirúrgica de Malformaciones Arteriovenosas y en Neuroendoscopías las cuales en la actualidad, la adición de neuronavegación se ha convertido en rutina para casos complejos [20, 23-25].

Conclusión

La neurocirugía guiada por imagen o neuronavegación es un adelanto importante que hace a la cirugía cerebral más segura y precisa, siendo su campo

FIGURA 3

**Caso N° 12. Neuroendoscopia guiada por navegación**

A. Reconstrucción 3D del paciente con demostración del sistema ventricular asimétrico.

B. Registro de superficie. Los puntos verdes son los sitios usados para el emparejamiento de la información.

C, D, E: La línea amarilla representa la trayectoria del instrumento y la intersección de las líneas rojas indica la posición de la punta del endoscopio a nivel del agujero de Monro izquierdo.

F. Imagen endoscópica que muestra el agujero de Monro estenótico (flecha). Nótese el plexo coroideo (PC).

de aplicación amplio y versátil. La preparación preoperatoria adicional y el mayor tiempo quirúrgico requerido para su aplicación se justifican plenamente pues ayuda a reducir la morbilidad ope-

ratoria y mejorar los resultados. Para maximizar la exactitud del procedimiento se deben seguir ciertas guías en la aplicación de fiducias y limitar el registro de superficie a los casos que per-

miten tolerar un mayor margen de error y en los que las estructuras faciales y frontales son claramente accesibles y visibles. Con el objetivo de garantizar, ampliar y mejorar en el futuro la aplicación de esta tecnología en nuestros pacientes, se recomienda asegurar un abastecimiento adecuado de insumos, soporte técnico y mantenimiento regular de los equipos así como la complementación del sistema con otro electromagnético y con una interfase para el microscopio quirúrgico.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores

PPT es responsable por los conceptos del estudio, diseño y definición de los conceptos académicos. MGC, AP, FC, FC, LG, AO y JE son responsables de la revisión bibliográfica. PPT realizó las cirugías. Todos los autores son responsables de la adquisición de datos; LG, AO y JE son responsables por el análisis estadístico. MGC, AP prepararon el manuscrito, edición y revisión. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Agradecimientos

Agradecemos al personal médico-quirúrgico y al servicio de Anestesia del Hospital José Carrasco Arteaga del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social.

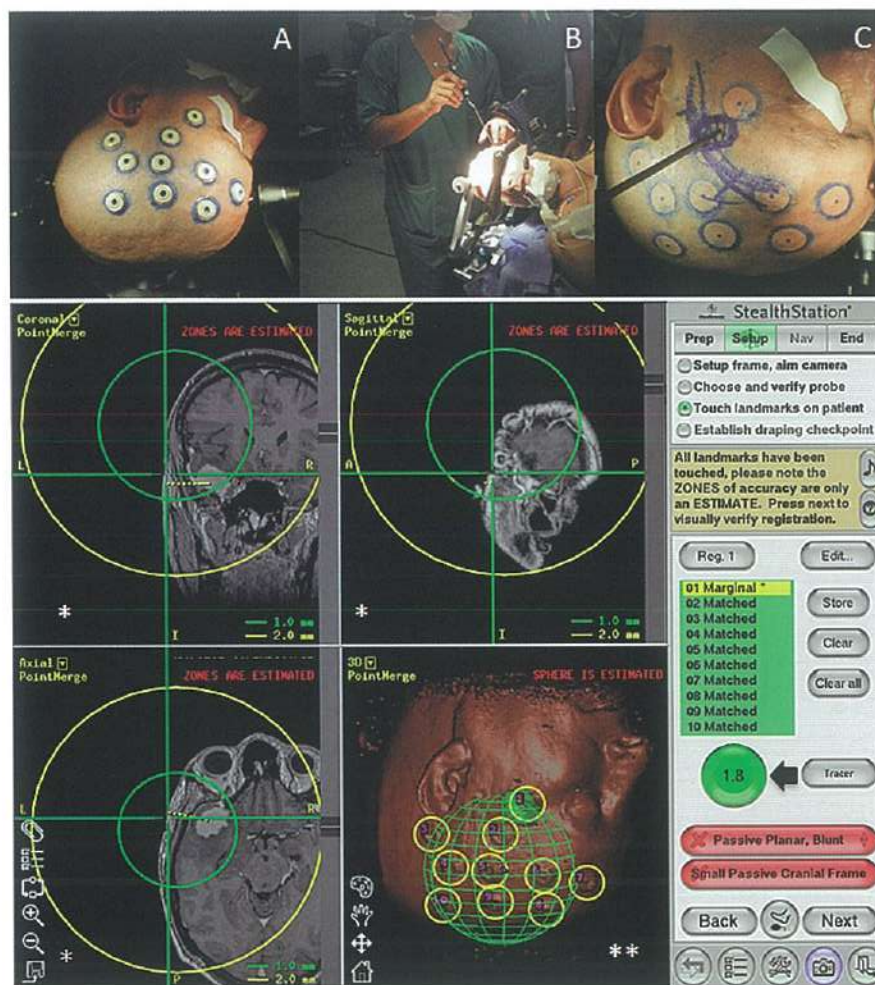
Abreviaturas

MAV: Malformación Arterio-Venosa. HJCA: Hospital José Carrasco Arteaga.

Referencias

1. Roberts DW, Strohbehn JW, Hatch JF, Murray W, Kettenberger H: A frameless stereotaxic integration of computerized tomographic imaging and the operating microscope. *Journal of neurosurgery* 1986, 65:545-549.
2. Watanabe E, Watanabe T, Manaka S, Mayanagi Y, Takakura K: Three-dimensional digitizer (neuronavigator): New equipment for computed tomography-guided stereotaxic surgery. *Surgical Neurology* 1987, 27:543-547.
3. Okudera H, Kobayashi S, Hongo K. Computers in neurosurgery. In: Kobayashi S, Goel A, Hongo K, editors. *Neurosurgery of complex tumors and vascular lesions*. Tokio: Churchill Livingstone 1997, 415-427.

FIGURA 4



Caso N° 14. Resección de Malformación Arterio Venosa (MAV)

A, B, C: Imágenes coronal, sagital y axial, que muestran la posición de la punta del instrumento de navegación (intersección de las líneas rojas).

D: Reconstrucción 3D que muestra en verde el nido de la MAV, en azul obscuro el puntero de navegación y en rojo los vasos aferentes y eferentes (flechas), con excelente correlación con la imagen angiográfica (E) y los hallazgos intraoperatorios (F).

4. League D: Interactive, image-guided, stereotactic neurosurgery systems. AORN journal 1995; 61:360-370.
5. Costa F, Cardia A, Ortolina A, Fabio G, Zerbini A, Fornari M: Spinal navigation: standard preoperative versus intraoperative computed tomography data set acquisition for computer-guidance system: radiological and clinical study in 100 consecutive patients. Spine 2011; 36: 2094-2098.
6. Lorenz KJ, Fruhwald S, Maier H: The use of the BrainLAB Kolibri navigation system in endoscopic paranasal sinus surgery under local anaesthesia An analysis of 35 cases. Hno 2006; 54:851-860.
7. Hirschmann MT, Afifi FK, Helfrich C, Wirz D, Schwagli T, Overhoff HM, et al: Navigated total hip arthroplasty using a 3-D freehand ultrasound system: technical note and preliminary results. Orthopedics 2011; 34 :816-820.
8. Cheng T, Zhao S, Peng X, Zhang X: Does computer-assisted surgery improve postoperative leg alignment and implant positioning following total knee arthroplasty? A meta-analysis of randomized controlled trials? Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy. Official Journal of the ESSKA 2011.
9. Gumprecht HK, Widenka DC, Lumenta CB: Brain Lab Vector Vision Neuronavigation System: technology and clinical experiences in 131 cases. Neurosurgery 1999; 44: 97-104.
10. Hayhurst C, Byrne P, Eldridge PR, Mallucci CL: Application of electromagnetic technology to neuronavigation: a revolution in image-guided neurosurgery. Journal of neurosurgery 2009; 111:1179-1184.
11. Roessler K, Ungersboeck K, Dietrich W, Aichholzer M, Hittmeir K, Matula C, et al: Frameless stereotactic guided neurosurgery: clinical experience with an infrared based pointer device navigation system. Acta neurochirurgica 1997; 139:551-559.
12. West JB, Fitzpatrick JM, Toms SA, Maurer CR, Jr., Maciunas RJ: Fiducial point placement and the accuracy of point-based, rigid body registration. Neurosurgery 2001; 48:810-816.
13. Wang M, Song Z: Distribution templates of the fiducial points in image-guided neurosurgery. Neurosurgery 2010; 66:143-150.
14. Shamir RR, Freiman M, Joskowicz L, Spektor S, Shoshan Y: Surface-based facial scan registration in neuronavigation procedures: a clinical study. Journal of neurosurgery 2009; 111:1201-1206.
15. Shamir R, Joskowicz L, Shoshan Y. Fiducial optimization for minimal target registration error in image-guided neurosurgery. IEEE transactions on medical imaging 2011.
16. Maurer CR, Jr., Fitzpatrick JM, Wang MY, Galloway RL, Jr., Maciunas RJ, Allen GS: Registration of head volume images using implantable fiducial markers. IEEE transactions on medical imaging 1997; 16:447-462.
17. Alp MS, Dujovny M, Misra M, Charbel FT, Ausman JI: Head registration techniques for image-guided surgery. Neurological research 1998; 20:31-37.
18. Woerdeman PA, Willems PW, Noordmans HJ, Tulleken CA, van der Sprenkel JW: Application accuracy in frameless image-

- guided neurosurgery: a comparison study of three patient-to-image registration methods. Journal of Neurosurgery 2007; 106:1012-1016.
19. Fitzpatrick JM, West JB, Maurer CR, Jr: Predicting error in rigid-body point-based registration. IEEE transactions on medical imaging 1998; 17:694-702.
20. Sangra M, Clark S, Hayhurst C, Mallucci C: Electromagnetic-guided neuroendoscopy in the pediatric population. Journal of Neurosurgery Pediatrics 2009; 3:325-330.
21. Ohue S, Kumon Y, Nagato S, Kohno S, Harada H, Nakagawa K, et al: Evaluation of intraoperative brain shift using an ultrasound-linked navigation system for brain tumor surgery. Neurología medico-chirúrgica 2010; 50:291-300.
22. Arias C, Flor M, Ganzino R, Espinoza M, Santillan F: Cirugía de Tumores Cerebrales guiados por neuronavegación, dos años de seguimiento. Ateneo 2011; 14:27-29.
23. Schulz M, Bohner G, Knaus H, Haberl H, Thomale UW: Navigated endoscopic surgery for multiloculated hydrocephalus in children. Journal of neurosurgery Pediatrics 2010; 5:434-442.
24. Schroeder HW, Wagner W, Tschiltzschke W, Gaab MR: Frameless neuronavigation in intracranial endoscopic neurosurgery. Journal of neurosurgery 2001; 94:72-79.
25. Rohde V, Behm T, Ludwig H, Wachter D: The role of neuronavigation in intracranial endoscopic procedures. Neurosurgical review 2011.

Como citar este artículo:

Cevallos M, Padilla A, Calle F, Coronel F, Guerrero L, Ortiz A, Espinoza J, Peña-Tapia P. Neurocirugía guiada por Imagen, serie de casos del Hospital José Carrasco Arteaga. Rev Med HJCA 2012; 4(2):154-160.