

Ultrasonido en tiempo real (navegación quirúrgica) en cirugía neurológica

Alberto de Montesinos-Sampedro,* Julia Toscano-Garibay,† Olga Beltrán-Ramírez,† Rosa Elda Barbosa-Cobos,† Joel Jaimes-Santoyo,† María Teresa Ramos-Cervantes,† Sigfrid Leonardo García-Moreno-Mutio,§ Diana Rodríguez-Ballesteros,§ Rafael Mendizabal-Guerra,|| María Esther Ocharán-Hernández†

RESUMEN

En el área de neurocirugía pediátrica del Servicio de Neurocirugía del Hospital Juárez de México, el autor encargado de los casos en niños decidió utilizar la navegación neurológica con apoyo del ultrasonido en tiempo real como otra herramienta en casos específicos, en los cuales se considera de probable beneficio. Para conocer lo descrito por otros grupos se realizó una revisión bibliográfica en bases digitales de artículos científicos, PubMed y ovid, incluyendo búsquedas avanzadas, con las palabras clave neuronavegación, navegación quirúrgica neurológica, pediatría, tumores cerebrales, ultrasonido transoperatorio. Además se describen tres casos representativos de tumores cerebrales resecados con técnica microquirúrgica en donde se llevó a cabo la navegación neurológica quirúrgica con ultrasonido en tiempo real y se dan los comentarios concluyentes al respecto.

Palabras clave: Neuronavegación, navegación quirúrgica neurológica, pediatría, tumores cerebrales, ultrasonido transoperatorio.

ABSTRACT

Ultrasound neurologic navigation is currently being used the Neurosurgery Service of the pediatric neurosurgery wing from Hospital Juárez de México, where the author is neurosurgeon in charge, as a tool for specific cases where a probable benefit is considered. In here, digital scientific databases PubMed and ovid were reviewed using advanced inquiries key words including neuronavigation, neurologic surgical navigation, pediatrics, brain tumors and surgical ultrasound and the resulting descriptions on the subject are listed. Additionally, three cases of resected brain tumors using neurologic surgical navigation assisted by real time ultrasound are described and discussed.

Key words. Neuronavigation, neurological surgical navigation, pediatrics, brain tumors, intraoperative ultrasound.

INTRODUCCIÓN

La neurocirugía y sus ramas como la neurocirugía pediátrica fueron mejoradas durante el siglo XX; esto ha ocurrido en diferentes escenarios, las técnicas de microcirugía,

la cirugía mínima invasiva neurológica, las herramientas quirúrgicas para resección, hemostasia, monitorización, neuroanestesia, microscopios quirúrgicos neurológicos, sistemas de osteotomía, de fresado y la imagenología, que ha incrementado las capacidades diagnósticas y más recientemente las posibilidades de navegación, concepto que se refiere a las acciones de posicionamiento en dos o tres dimensiones del navegante dentro del universo navegable, evitando las colisiones-lesiones en este caso a estructuras vitales, funcionales o vasculares, permitiendo la exploración en sitios distantes o remotos, planificando los eventos, las estaciones y el cumplimiento de un plan estandificado de trabajos específicos durante la trayectoria al destino escogido, manteniendo la posibilidad de reestructurar nue-

* Neurocirujano pediatra, adscrito a Neurocirugía, Hospital Juárez de México, Alumno de la Maestría en Ciencias de la Salud, Instituto Politécnico Nacional.

† Doctora en Ciencias, adscritas a la División de Investigación, Hospital Juárez de México. Profesora de la Maestría en Ciencias de la Salud, Instituto Politécnico Nacional.

‡ Reumatóloga. Jefe de Servicio, Hospital Juárez de México. Alumna de la Maestría en Ciencias de la Salud, Instituto Politécnico Nacional.

§ Biólogo. Alumno de la Maestría en Ciencias de la Salud, Instituto Politécnico Nacional. Residente de Neurocirugía, Hospital Juárez de México.

|| Neurocirujano. Jefe del Servicio de Neurocirugía, Hospital Juárez de México.

† Doctora en Ciencias, Profesora titular de la Maestría en Ciencias de la Salud, Instituto Politécnico Nacional.



vamente estos conceptos u objetivos por completo en algún sitio (cualquiera) del mismo viaje o trayecto.

En los pacientes pediátricos que requieren la utilización de esta herramienta se tienen que tomar algunas consideraciones agregadas, ya que presentan características especiales, como el tamaño, ya que la morfología anatómica craneal (llamado continente) y el encéfalo, o contenido, varían mucho de acuerdo con la edad, variabilidad fenotípica y por patologías; de resistencia en sus tejidos, por ejemplo, la caja craneal en algunos casos imposibilita la colocación de soportes de fijación craneal externo potencialmente dañinos que son requeridos en la mayoría de los sistemas de navegación para ubicar con la mayor certeza las estructuras de interés; además de las limitaciones económicas y de infraestructura que existe en ciertos medios como el nuestro, en donde la resonancia magnética (RM) o la tomografía computarizada transoperatoria, que son elementos generadores de imagen, no es posible obtenerlos para este fin específico de manera constante y sin restricciones, por lo que no pueden obtenerse dichas imágenes de manera seria da y/o repetitiva para los procesos quirúrgicos en tiempo inmediato.

En esta revisión se presenta y se subraya la posibilidad del uso de sistemas de navegación y control imagenológico transoperatorio más accesibles y de menor costo y la forma de utilización en los casos pediátricos.^{1,2}

Antecedentes históricos

La neuronavegación tiene su fundamento en la unión de varios conceptos o tecnologías que han generado prácticas aplicables a las intervenciones quirúrgicas:

- La estereotaxia que se define como la ubicación de un punto dentro de un continente con tres dimensiones aplicando el concepto de los planos cartesianos con tres ejes (x-y-z), correspondientes a longitudes en altura, transversalidad y profundidad. Dentro de las investigaciones históricas se menciona que los primeros antecedentes neuroquirúrgicos están en el llamado encefalómetro construido por el profesor en anatomía humana en Moscú, Zernov (Figura 1), utilizado para drenar un absceso en un paciente con epilepsia jacksoniana en 1889; aparentemente sin conocer la existencia de este instrumento, en 1906 Sir Victor Horsley y su asistente Robert H. Clark (Figuras 2 y 3) utilizaron un marco de localización externa con base en los mismos planos ortogonales con fines, primero de investigación en modelos animales, quienes finalmente llaman a dicha herramienta estereotaxia (del griego stereo, tridimensional y taxis, mover hacia).

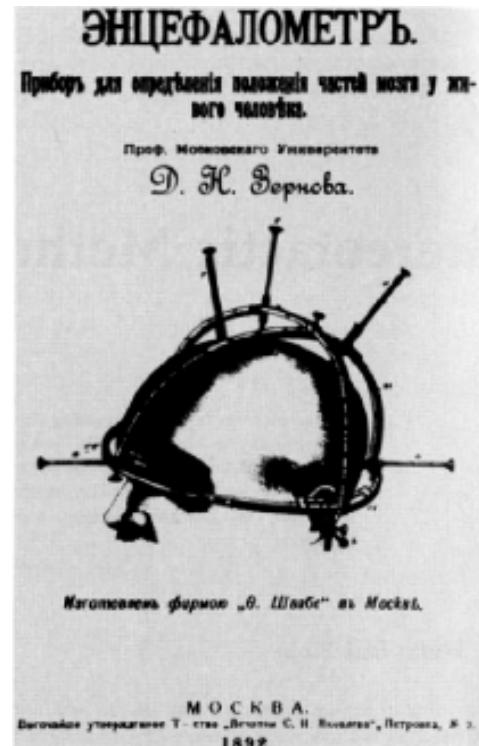


Fig. 1 The booklet by D.N. Zernov with a description of his encephalometer (published in 'Functional and stereotactic neurosurgery' by E.J. Kandel (1989) and reproduced with permission of Plenum Publishing Corporation, New York, USA).

Figura 1. Imagen de encefalómetro Moscú, Zernov.

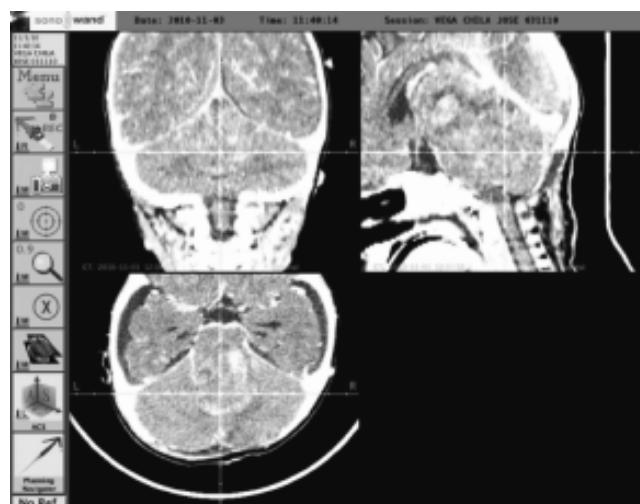


Figura 2. Imagen preoperatoria en tomografía computarizada con contraste en tres ejes, integrada a sistema de neuronavegación. Caso 1. Masculino de tres años, con tumor rabdoide teratoides de la región pineal, donde se aprecia gran volumen, con rechazo del tallo sin gran diferenciación del tejido cerebral, su vascularidad y su extensión infra y supratentorial.



Figura 3. Ultrasonido transoperatorio, en donde se aprecia dentro del abanico ultrasónico de arriba hacia abajo: el encéfalo con hipoeogenicidad en parénquima, hipereogenicidad en espacios perivasculares de Virchow-Robin, lo que demuestra la imagen habitual del encéfalo, el tumor heterogéneo con áreas hiperecogénicas más sólidas y otras hipoecogénicas de características semisólidas o líquidas correspondientes a necrosis interna (flechas pequeñas) y una porción de hoz cerebri (flecha gruesa).

Posteriormente, en 1930 se desarrollaron con base en estos diseños con su mejoramiento y adecuación para cirugía en humanos, hasta lograr los diseños adecuados por Cosman y Wells, realizando intervenciones en seres humanos y para 1947 Spiegel y Wysis aplicaron un leucotomo (del griego *leukos*, blanco y *tome*, sección) a dicho sistema de ubicación quirúrgica se le conoce como estereotaxia y una vez desarrollado se ha utilizado para múltiples intervenciones como son ablaciones, biopsias, punciones y aplicación de estimulación eléctrica profunda, este sistema requiere un marco con fijación externa aplicado al cráneo, de los cuales ya existen diferentes modelos y opciones en la actualidad.

- La imagenología con el desarrollo de la tomografía computarizada, la RM, la angiografía y el ultrasonido médico es un elemento primordial de planeación preoperatoria en la neurocirugía que habitualmente requiere el ejercicio mental cotidiano del neurocirujano, el cual utiliza dicha información para orientarse en el espacio tridimensional y transitar en el universo navegable del encéfalo con sus diferentes instrumentos quirúrgicos, por lo cual para mejorar su capacidad de ubicación en todo momento y principalmente desde un punto de vista milimétrico se requiere llevar estos elementos de imagen de ser una herramienta diagnóstica,

visual únicamente, a transportarse a los diferentes ambientes intervencionistas, siendo la digitalización de las imágenes un elemento clave más para llevar al escenario quirúrgico dicha visualización. Por lo cual se integra a los elementos conceptuales previamente mencionados el concepto de:

- Sistema de posicionamiento global (GPS) basado en las experiencias ultrasonográficas obtenidas en la Segunda Guerra Mundial, en donde con un sonógrafo se ubicaba a través de un sistema de triangulación las ondas de sonido que producían los submarinos enemigos. David Roberts desarrolló inicialmente la posibilidad de ubicar la situación real espacial del paciente y de las herramientas quirúrgicas a través de la triangulación de estas emisiones de sonido en el área de interés, a lo cual se le denominó estereotaxia sin marco (*frameless stereotaxy*), después de esta tecnología se han incorporado y desarrollado muchos adelantos de imagen y de ubicación de los puntos tanto craniométricos capaces de localizar el cráneo del paciente y los elementos anatómicos y quirúrgicos en su interior, primero a través de campos electromagnéticos, después con diodos emisores de luz infrarroja (LEDs), lo que se ha llevado a minimizar en tamaño en las llamadas esferas reflejantes de rayos infrarrojos, las cuales son acopladas a los sistemas de fijación externa del cráneo para mantener la posición del paciente siempre en el mismo sitio y también a las herramientas quirúrgicas para recalibrar las nuevas imágenes y la posición misma de los instrumentos en tiempo real a través de la visualización de todos los puntos de referencia tanto fijos como móviles en un sistema estereoscópico logrado con dos cámaras y un programa automatizado de triangulación, el cual se fundamenta en el mismo GPS llevado a la sala de operaciones.^{3,4}

Utilidad, situación y necesidades en la neuronavegación

En grupos pediátricos hay reportes del uso de la navegación convencional para el tratamiento de epilepsia de difícil control con callosotomía en un grupo de 13 pacientes durante 12 años en el Hospital para el niño enfermo de Toronto, donde se estableció que se requieren aún más estudios para estandarizar su uso.⁵ En grupos de adultos se ha descrito su apoyo, por ejemplo, en 32 casos de tumores correlacionando el grado de correlación entre el ultrasonido transoperatorio y la RM de control postoperatorio, en donde se encontró una correlación intermétodo adecuada con un factor kappa alto (0.72), pero aún con algunos errores producidos por edema en los bordes entre el tumor y el tejido cerebral y por cambios de coágulos y/o artificios producidos por



materiales de hemostasia.^{6,7} Pero se requieren otros estudios, ya que existe poca información proveniente de estudios aleatorizados acerca de la utilidad de la neuronavegación por diferentes razones, algunas de preferencia personal, por la toma de decisiones de los cirujanos antes los comentarios de colegas, por falta de instrumentos de manera universal, por el corto tiempo de existencia en los servicios, lo que hace que algunos cirujanos aun no estén acostumbrados a transformar las imágenes bidimensionales a tridimensionales, o tal vez no les sea completa y adecuadamente presentada la información, o no les sea suficiente para corregir la necesidad de entendimiento anatómico-quirúrgico durante los procedimientos, es por eso que se ha tratado de compensar dicha información cambiando la forma clásica con sólo las imágenes preoperatorias a la realización de imágenes que compensen los cambios quirúrgicos, los cuales siguen siendo el reto, el llamado *brain-shifting*, caída del encéfalo o deformidad cerebral transoperatoria, consecuencia de la disminución del volumen tumoral y del parénquima, siendo la mayor repercusión la falta de definición del borde tumoral del parénquima cerebral normal; para lo cual se ha reportado el uso de tomografía computarizada transoperatoria, la cual por ser de baja seguridad y muy alto costo en niños es menos utilizada que la RM; sin embargo, ésta de igual forma es muy costosa y requiere un tiempo mayor en realizarse y es por lo anterior que los grupos quirúrgicos primordialmente europeos (específicamente en Noruega con los profesores Unsgard, Gronningaeter y cols.) han implementado el uso del ultrasonido, el cual se encuentra más accesible, es de menor costo y de fácil maniobrabilidad una vez que se recibe un buen adiestramiento para su uso.^{7,9}

Se ha realizado recientemente por un grupo japonés, encabezado por Ohue y cols., un estudio para comparar un sistema de neuronavegación con ultrasonido en tiempo real comparado con un ultrasonido diagnóstico habitual, en tumores cerebrales, pero en adultos en un grupo de 64 pacientes, con la intención de valorar la deformidad cerebral transoperatoria (*brain-shifting*). La conclusión fue que se puede realizar la valoración de dicho cambio quirúrgico adecuadamente y en cualquier momento necesario, logrando establecer la anatomía transoperatoria adecuadamente, pero con una calidad para visualizar el tumor y su relación con el tejido cerebral buena en 35, regular en 26 y pobre en tres pacientes; siendo útil para la resección del tumor al visualizar la extensión del tumor y ver la cantidad de tumor residual, aun así se alcanzó una resección total en 19 casos, subtotal en 27 y parcial en 29 de un total de 75 operaciones.^{10,11}

En población pediátrica se reportó la experiencia inicial con neuronavegación apoyada con ultrasonido en tiempo real por el grupo de Tel Aviv, encabezada por Roth y cols., quienes en 2007 presentaron de forma retrospectiva a 16

pacientes pediátricos con tumores cerebrales, encontrando que es de utilidad para la visualización de los tumores, aunque existe aún pobre diferenciación de tumores axiales gliales, principalmente los de bajo y moderado grado de malignidad en donde la calidad de las imágenes no es aún suficiente para lograr resecciones completas; sin embargo, la utilización de la RM transoperatoria reportada de otros trabajos tampoco ha demostrado mejorarla, ni tampoco incrementar la sobrevida¹²⁻¹⁴ (Figura 1).

Revisión de la literatura

Se realizó la revisión de la literatura en bases digitales de artículos científicos, PubMed y ovid, búsquedas avanzadas, con las palabras clave: neuronavegación, navegación quirúrgica neurológica, pediatría, tumores cerebrales, ultrasonido transoperatorio en sus correspondientes términos en inglés, y se presentan tres casos demostrativos de la utilización de dicha herramienta quirúrgica, en tiempo real combinando el sistema convencional de estudios preoperatorios como tomografía computarizada simple y contrastada para la planificación operatoria y el ultrasonido en tiempo real transoperatorio para la constante reconstrucción de la anatomía quirúrgica patológica, en casos de neoplasias de alta dificultad por su naturaleza y situación anatómica, así como su control postoperatorio.

CASO CLÍNICO

Caso 1

Hombre de dos años y tres meses de edad con secuelas de un infarto cerebral izquierdo relacionado con complicaciones al nacimiento. Fue recibido por presentar dos meses de evolución caracterizados por cefalalgie universal, alteraciones de la movilidad ocular con síndrome de Parinaud y alteraciones del estado de alerta, tendiendo a la somnolencia. En imagen de RM preoperatoria se encontró un tumor heterogéneo de predominio hiperintenso, asimétrico de unos 10 x 12 x 8 cm de diámetros en sus diferentes ejes, con gran captación de medio de contraste y, por lo mismo, con una gran vascularidad, ubicado en la región pineal y cisternas cuadrigeminales. Fue intervenido quirúrgicamente a través de un abordaje supra e infratentorial sagital, en posición de decúbito ventral durante la cirugía y con apoyo de neuronavegador con imágenes en tiempo real a través de ultrasonido de alta definición. Se logró resección subtotal mayor de 90%; el estudio de tomografía computarizada simple y contrastada de control mostró un tumor muy agresivo del tipo rabdoide teratoide corroborado por histopatología de luz e inmunohistopatología (Figuras 2-4).

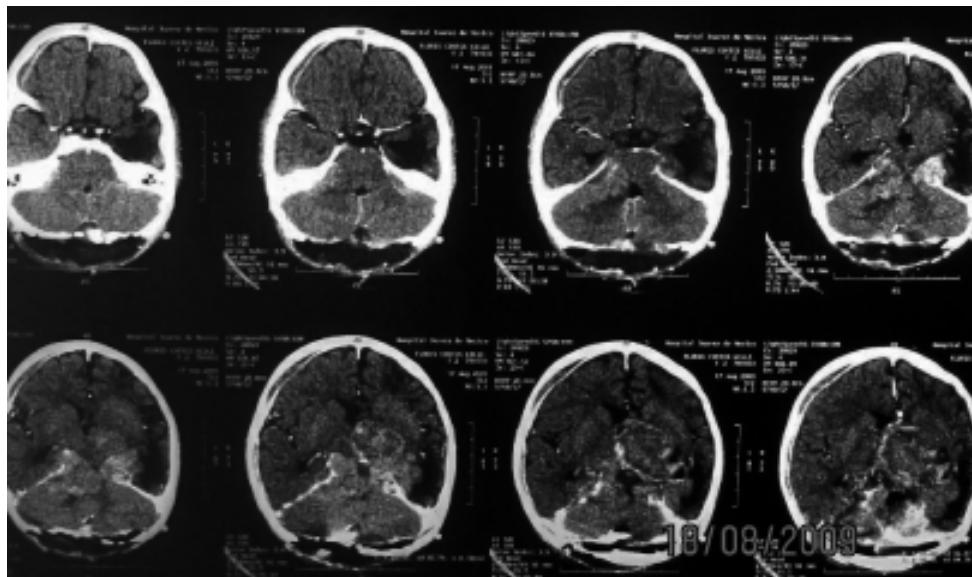


Figura 4. Tomografía postoperatoria de control contrastada. Se muestra la gran resección de 70%, de predominio infratentorial y de la porción posterior del tallo cerebral, con un área residual de predominio retropulvinar izquierdo.

Caso 2

Hombre de siete años sin antecedentes de importancia que presentó cefalalgie holocraneal, de intensidad moderada, pulsátil, con síndrome de neurona motora superior de predominio del lado izquierdo, 15 días previos desarrolló crisis convulsivas generalizadas. A la exploración neurológica se integraron síndrome de neurona motora superior bilateral de predominio izquierdo completo, paresia del tercer nervio craneal derecho por oftalmoplejía externa, síndrome convulsivo, síndrome de hipertensión craneal incipiente por borramiento del borde interno de la papila y síndrome de Weber incipiente. Se realizaron los estudios correspondientes de imagen, encontrando una lesión oval de 5 cm de altura x 4 cm de diámetro transversal, heterogénea, con áreas de necrosis y captación importante de medio de contraste tanto en tomografía como en RM, en la región correspondiente al tálamo medio y pulvinar derechos; proveniente en su origen desde la región periacueductal y tegmento derechos, rechazando y aumentando el volumen colicular derecho; ante lo cual se abordó con biopsia trans cortical, transvertricular por microcirugía, para demostrar la naturaleza histopatológica y así solicitar las herramientas y navegador neurológico quirúrgico correspondiente. En un segundo tiempo quirúrgico de microcirugía, por el mismo abordaje y bajo control de ultrasonido con navegador de tiempo real, se realizó una resección subtotal de más de 95%, siendo necesario finalizar una vez que los potenciales de tallo transoperatorio disminuyeron (Figuras 5-7).

Caso 3

Hombre de tres años referido por alteraciones de la marcha, con predominio a la lateropulsión derecha, cefalalgie progresiva en frecuencia e intensidad de aproximadamente dos a tres meses de evolución; desarrolló una semana previa a su ingreso vómito encefálico, deterioro neurológico por tendencia a la somnolencia, hiperreflexia generalizada y crisis convulsivas tónico-clónicas generalizadas. A la exploración física se integró desnutrición grado II-III, síndrome de hipertensión endocraneal, síndrome convulsivo, síndrome cerebeloso de predominio hemisférico derecho, síndrome de neurona motora superior incompleto bilateral. Se realizó tomografía y RM de cráneo contrastadas, encontrando un tumor de predominio homogéneo, con captación del medio de contraste de aproximadamente 15 x 10 x 15 cm ocupando el hemisferio cerebeloso derecho, así como la fosa temporal en sus dos tercios posteriores con desplazamiento y compresión del tejido cerebral adyacente y, por lo mismo, componente supra e infratentorial con invasión a hueso petroso y una porción extraósea. Se abordó el caso mediante un primer tiempo correspondiente a craniectomía suboccipital derecha, esqueletización de seno sigmoideo, craneotomía temporal derecha con mastoidectomía presigmoidea y toma de biopsia. Se trató de un meduloblastoma (tumor neuroectodérmico primitivo), motivo por el cual fue sometido a un segundo tiempo de resección con control ultrasonográfico en tiempo real microquirúrgico, logrando una resección completa (Figuras 8-10).

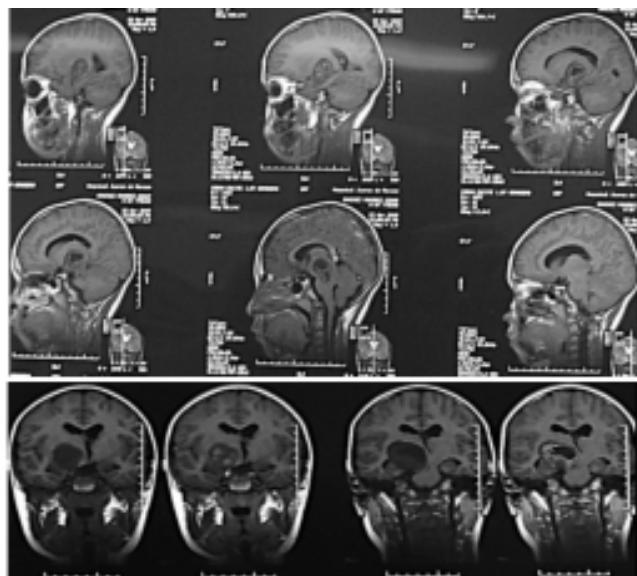
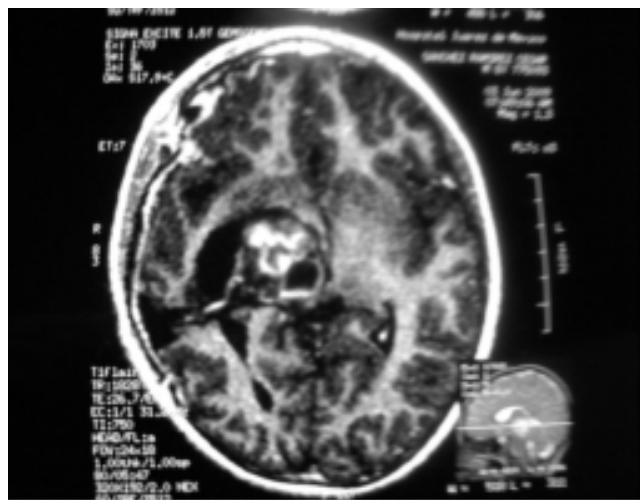


Figura 5. Resonancia magnética preoperatoria, en cortes axial, sagital y coronal, siendo la axial contrastada en donde se encontró un tumor de origen glial, talámico y mesencefálico de características heterogéneas.



Figura 6. Ultrasonido transoperatorio en donde se aprecia un abanico en posición axial, demostrando en lo más superior en encéfalo, con un pequeño espacio hipoeucogénico, representando plano de clivaje lateral al tumor y un tumor homogéneo en el centro del abanico ultrasónico y la contigüidad con el tálamo ipsilateral. Transoperatorio del caso 2.

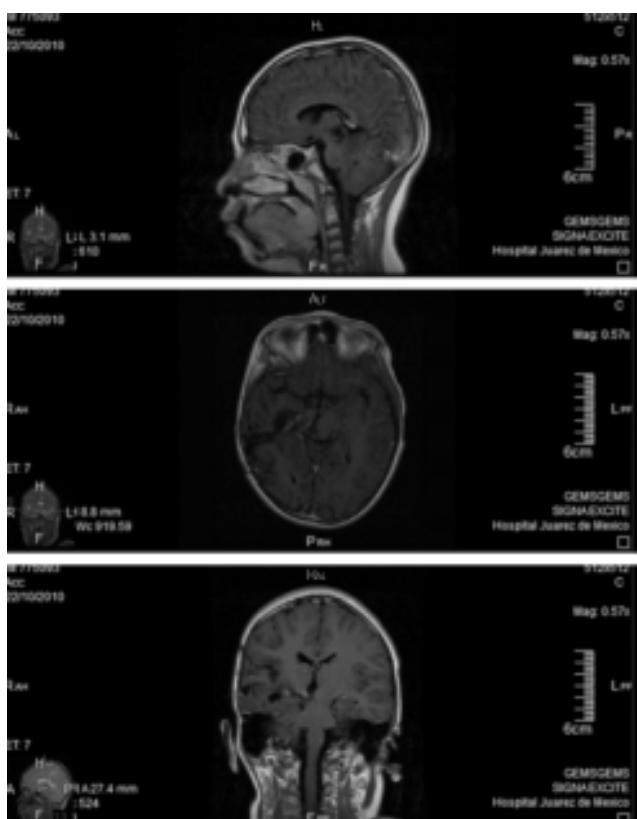


Figura 7. RM de control postoperatorio en tres ejes con medio de contraste, en donde se aprecia una resección subtotal de más de 95%, con un residual de menos de 1 cm hipercaptante en el mesencéfalo.

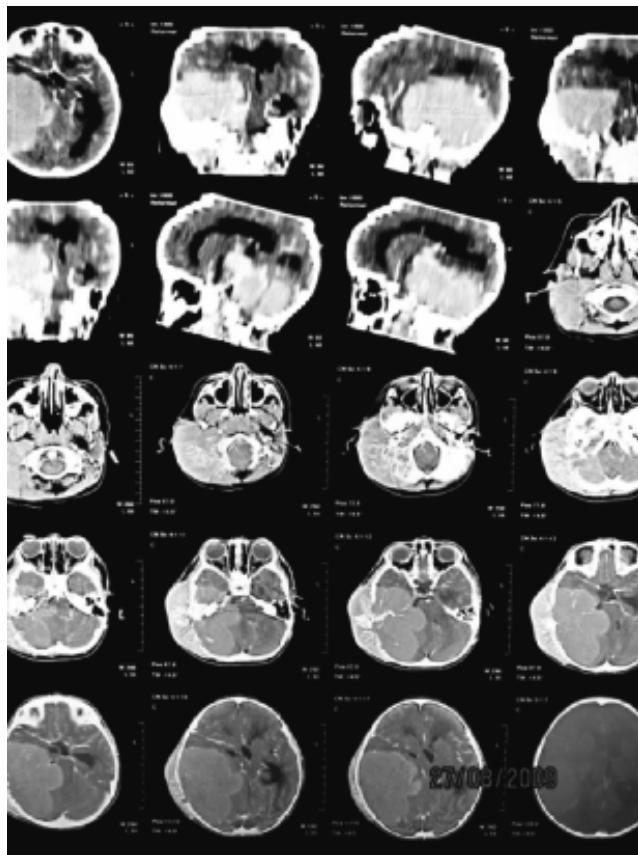


Figura 8. Tomografía computarizada preoperatoria en cortes axiales y sagitales, demostrando el gran tumor vascularizado infiltrante a piso posterior, medio y transcraneal de predominio derecho, correspondiente a un tumor neuroectodérmico primitivo, heterogéneo, muy vascularizado y con compresión, infiltración y deformidad secundaria a las estructuras tanto encefálicas como óseas en contacto con el mismo.

CONCLUSIONES

Se puede constatar en la literatura que existe un interés cada vez mayor para utilizar los sistemas de navegación quirúrgica disponibles. Las principales utilidades en neurocirugía han sido:

- La planeación del abordaje tratando de obtener el sitio más adecuado tanto en seguridad como corredor quirúrgico, así como en el tamaño mínimo necesario para alcanzar el objetivo.
- El control anatómico de estructuras valiosas desde el punto de vista funcional, vascular o con riesgo de dificultar el cierre hermético, etc.
- Para realizar control imagenológico de la cantidad de tumor o lesión retirada, etc. Los diferentes reportes han



Figura 9. Imagen transoperatoria a través de la región parieto-temporal derecha, sobre el tumor, identificando la lesión en el centro del abanico con poca diferenciación en la región temporal lado izquierdo y superior del abanico, por el aire contenido en dicho sitio.

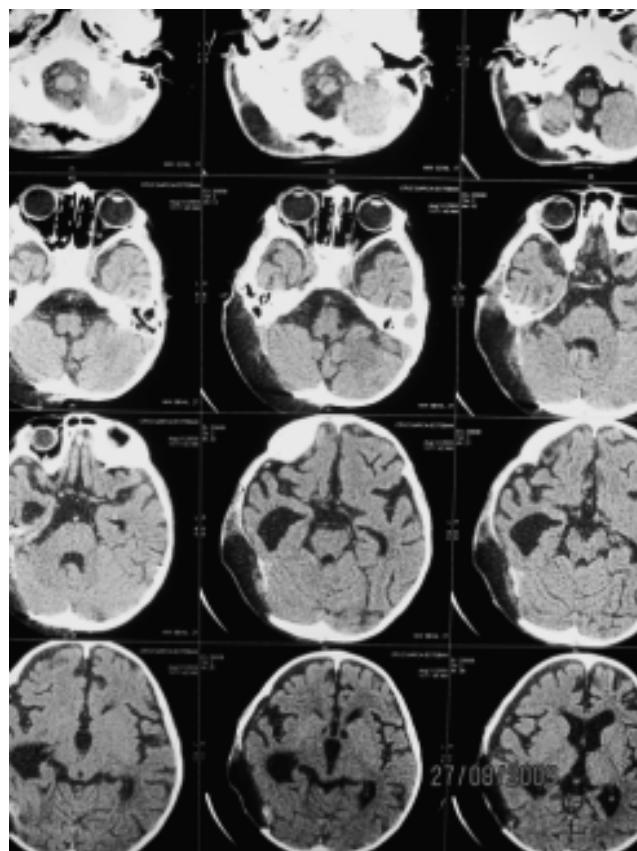


Figura 10. Imagen postoperatoria tomográfica de control en plano axial sin contraste, en donde se encontró una remoción total del tumor y los sitios de osteotomías.



considerado a ésta una herramienta útil para lograr estos objetivos.

En la cirugía de los tres casos presentados, el navegador sirvió adecuadamente para cumplir con dichas necesidades de una forma adecuada, permitiendo el uso constante del mismo las veces necesarias gracias a su maniobrabilidad y la facilidad de obtención de imágenes, lo que permitió mantener un control progresivo de la resección tumoral, así como una adecuada identificación de estructuras vitales y funcionalmente importantes, como en el caso 1: tallo cerebral, tentorio, senos transversos, recto, y vena de galeno, así como las venas cerebrales internas, la lámina cuadrigémina del mesencéfalo con sus correspondientes colículos y estructuras vasculares venosas y arteria cerebral posterior, así como la porción posterior del tercer ventrículo.

En el caso 2: arterias tálamo-estriadas, situación del tumor en relación con la ubicación del atrio, región incisural, venas mesencefálicas, cuarto nervio craneal, arteria cerebral posterior, tegmento mesencefálico, plexo coroideo y pedúnculo mesencefálico.

En el caso 3: seno sigmoideo, seno petroso superior, arterias cerebelosa postero-superior, arteria cerebelosa antero-inferior, arteria laberíntica, tallo cerebral y vena de Labé.

En todos los casos permitió acercarse a las estructuras no tumorales, lo suficiente para retirar una gran cantidad de tumor. Por lo mismo, es una herramienta que presenta beneficios en tiempo real, que al relacionarse con un adecuado entrenamiento neuroquirúrgico permite una adecuación anatómica en casos de patología y es capaz de redituar ventajas al cirujano bien entrenado en el contexto neuroquirúrgico-anatómico e imagenológico cerebral, presenta aún límites visuales en áreas muy neumatizadas, en relación con la base de cráneo en aquellos casos en los que no se puede relacionar la imagen con la tomografía contrastada preoperatoria (que son los pacientes de menos de tres años o con un hueso muy adelgazado) y las imágenes de tiempo real transoperatorias. Existen algunas estructuras que requieren ser contrastadas para ser identificadas, ya que durante el desarrollo de la cirugía existen artificios como burbujas, coágulos y sitios con poca diferenciación del tejido normal con el patológico que pueden presentar pobre imagen, por lo que el entrenamiento quirúrgico habitual es esencial, por lo que es relevante la utilización sistematizada del equipo para mejorar aún más los resultados.

REFERENCIAS

1. Barnett GH, McKenzie RL, Ramos L, Palmer J. Nonvolumetric stereotaxy-assisted craniotomy: results in 50 consecutive cases. *Stereotact Funct Neurosurg* 1993; 61: 80-5.
2. Roth J, Beni-Adani L. Classical and real-time neuronavigation in pediatric neurosurgery. *Childs Nerv Syst* 2006; 22: 1065-71.
3. Barnett GH, Kormos DW, Steiner CP, Weisenberg J. Intraoperative localization using an armless, frameless stereotactic wand. Technical note. *J Neurosurg* 1993; 78: 510-4.
4. Dirk W. Drost, et al. Clinical Utility of Contrast-Enhanced Ultrasound in Neurosonology. *Eur Neurol* 2008; 59 (Suppl. 1): 2-8.
5. Eyding J, Wilkening W, et al. Transcranial ultrasound brain perfusion assessment with a contrast agent-specific imaging mode results of a two-center trial. *Stroke* 2005; 36: 2283-5.
6. Seidel G, Meairs S. Ultrasound contrast agents in ischemic stroke. *Cerebrovasc Dis* 2009; 27(Suppl. 2): 25-39.
7. Grunert P, Ungersbock K, Bohl J, et al. Results of 200 intracranial stereotactic biopsies. *Neurosurg Rev* 1994; 17: 59-66.
8. Gronningsaeter A, Kleven A, Omedal S, et al. Sonowand, an ultrasound-based neuronavigation system. *Neurosurgery* 2000; 47: 1373-9.
9. Willems PW, Noordmans HJ, et al. The impact of auditory feedback on neuronavigation. *Acta Neurochir (Wien)* 2005; 147: 167-73.
10. Samdani AF, Schulder M, Catrambone JE, Carmel PW. Use of a compact intraoperative low-field magnetic imager in pediatric neurosurgery. *Childs Nerv Syst* 2005; 21(2): 108-13.
11. Ohue S, Kumon Y, et al. Evaluation of intraoperative brain shift using an ultrasound-linked navigation system for brain tumor surgery. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 2010; 50: 291-300.
12. Roth J, Beni-Adani L, Biyani N, Constantini S. Intraoperative portable 0.12-tesla MRI in pediatric neurosurgery. *Pediatr Neurosurg* 2006; 42: 74-80.
13. Samdani AF, Schulder M, Catrambone JE, Carmel PW. Use of a compact intraoperative low-field magnetic image in pediatric neurosurgery. *Childs Nerv Syst* 2005; 21: 108-13.
14. Roth J, Biyani N, Beni-Adani L. Real-Time Neuronavigation with High-Quality 3D Ultrasound SonoWand in Pediatric Neurosurgery. *Pediatr Neurosurg* 2007; 43: 185-91.

Solicitud de sobretiros:

Dr. Alberto de Montesinos-Sampedro
Av. Instituto Politécnico Nacional, Núm. 5160
Col. Magdalena de las Salinas
C.P. 07760, México, D.F.
Tel.: 5747-7611
Correo electrónico:
demontesinossa@yahoo.com.mx