

# RESONANCIA MAGNÉTICA INTRAOPERATORIA (REMAIN) ¿UNA NUEVA ERA EN LA NEUROCIRUGÍA?

Roberto R. Herrera, Angel J. Viruega

Clínica Adventista de Belgrano, Buenos Aires & Instituto del Diagnóstico de Pergamino, Pergamino, Pcia. de Buenos Aires, Argentina

## RESUMEN

**Objetivo:** describir los fundamentos y detalles técnicos de la construcción de un quirófano con resonancia magnética intraoperatoria.

**Descripción:** se construyó un quirófano blindado, donde se incluyeron un resonador de 0,23 Tesla con apertura lateral y un equipamiento quirúrgico compatible. En el diseño se contempló el espacio apropiado, disponible para el trabajo de los cirujanos.

**Conclusión:** la utilización de resonancia intraoperatoria en neurocirugía es técnicamente posible, representando un adelanto de relevancia.

**Palabras clave:** gliomas - imágenes por resonancia magnética - resonancia magnética intraoperatoria - tumores cerebrales.

## INTRODUCCIÓN

M.G. Yasargil, decía en 1993 en su obra *Microneurosurgery*: "Personalmente yo estoy convencido de que en un futuro cercano, en las modernas salas de operaciones computarizadas, la morfología y la anatomía dinámica y funcional en tres dimensiones, podrán ser examinadas y chequeadas según las necesidades de una situación dada, de acuerdo a los deseos del cirujano".

Más recientemente, refería Peter Black: "hay un creciente reconocimiento que la Neurocirugía con imágenes intraoperatorias es un importante avance, especialmente para la cirugía de los tumores cerebrales"<sup>1</sup>.

Aun en los trabajos en los cuales se evalúan tratamientos multimodales de cirugía con quimioterapia y/o radioterapia, la mayor citorreducción tumoral es siempre un factor favorable, no sólo en el tiempo sino en la calidad de sobrevida de los pacientes<sup>2</sup>.

La longitud en la sobrevida de los pacientes se correlaciona con la extensión de la resección tumoral. Muchos tumores, sin embargo, son difíciles de distinguir intraoperatoriamente del tejido cerebral normal, motivo por el cual frecuentemente se realizan resecciones incompletas<sup>3</sup>.

Las extirpaciones quirúrgicas convencionales, en muchos casos, no son completas aun empleando instrumentos y técnicas de neuronavegación.

Cuando creemos haber extirpado completamente un glioma cerebral, en realidad los estudios de imágenes postoperatorias nos demuestran que hemos dejado una parte de él. Resultados de los grupos de trabajo de Brigham and Women's Hospital<sup>4,5,6</sup> y del Long Beach Memorial Medical Center<sup>7</sup> indican que

cuando el cirujano piensa que ha realizado una resección grosera total, en el 30% de los casos a veces y otras en más del 80% de los casos quedan restos de tumor aún utilizando tecnología de neuronavegación convencional.

En la Universidad de Leipzig, Alemania, Schneider JP et al<sup>3</sup>, evaluaron la cantidad de tejido tumoral residual (en gliomas supratentoriales de bajo grado), mediante imágenes por resonancia magnética (IRM) intraoperatoria, al momento de la operación en que el neurocirujano habría terminado el procedimiento bajo condiciones quirúrgicas convencionales. En algunos casos el porcentaje de tumor reseado sólo había sido del 26% en ese momento de la intervención. En los controles finales, luego de continuar las intervenciones, guiándose con IRM intraoperatoria, el promedio, en el porcentaje final de resección, fue del 96% del volumen tumoral.

## DESCRIPCIÓN

### El resonador magnético

El equipo de resonancia magnética que utilizamos fue un sistema de apertura lateral, de 0,23 Tesla (Philips Medical Systems) igual a los utilizados por W. G. Bradley en el Long Beach Medical Center en California<sup>7</sup>, por G. Barnett en la Cleveland Clinic Foundation y por J. Koivukangas en Oulu University Hospital en Finlandia. Se trata de un sistema resistivo que produce un campo magnético con ejes de 2,1 x 2,3 metros. Se utiliza una bobina craneana circular de 21 cm de diámetro y 5 cm de ancho (Fig 1).

Un equipo semejante de 0,2T de configuración abierta (Magnetom OPEN; Siemens Medical Systems, Erlangen, Germany) fue utilizado por grupos en Los Angeles (UCLA)<sup>9</sup>, Heidelberg<sup>10,11</sup> Erlangen y otros.

La principal ventaja de estos sistemas de apertura lateral, es que permiten un amplio acceso al paciente,

que el cirujano puede operar dentro o por fuera de la zona de 5 Gauss con instrumental convencional y que la camilla debe ser movilizadada sólo 1,5 m para la adquisición de imágenes intraoperatorias.

### El quirófano

Este innovador sistema de intervenciones quirúrgicas, único en Argentina e Iberoamérica, precisamente por ser el primero, planteó muchos desafíos a ingenieros, arquitectos y técnicos encargados de su instalación.

Todo equipo de resonancia magnética funciona en una Jaula de Faraday, o sea dentro de un blindaje de radiofrecuencia, que impide que ingresen ondas de radio dentro del mismo y deterioren la calidad de las imágenes (Fig. 2). Para tal fin, se construyó un blindaje cuyo tamaño es el doble de uno normal, para poder albergar el equipo de IRM, el equipamiento quirúrgico y además permitir el espacio necesario para que los cirujanos operen cómodamente.

Se tuvo que diseñar todo el recinto de forma tal de no provocar fugas de señal en todas las aberturas. Se instaló un sistema de aire acondicionado con filtros absolutos de 100% de partículas y flujo laminar unidireccional con presión positiva interior respecto a exterior. Su instalación fue muy compleja por el hecho de que toda la estructura del blindaje debía estar aislada del edificio y por ende hubo que inventar sistemas de soportes flotantes, para asegurar las cajas con los filtros absolutos. Asimismo, se diseñó un sistema de soporte especial para las grillas de radiofrecuencia, para permitir el ingreso del aire y no de señales de radio.

Las lámparas sialíticas fueron construidas especialmente y son íntegramente compatibles con resonancia

magnética. También se ideó un método de fijación "flotante" de las mismas, que permite su uso, sin interferir el sistema de adquisición de imágenes.

Se colocaron filtros especiales para la alimentación eléctrica de la sala sin entrada de ruidos que alteren la señal, que permiten conectar toda la iluminación y tomas de corriente a circuitos de seguridad que aíslan al paciente completamente de la electricidad. Se colocó un monitor de pantalla de plasma de 50 pulgadas, para seguir las operaciones dentro y fuera de la sala, conectado también a Internet, a la consola del resonador y a una grabadora de DVD para archivo de las imágenes, películas y/o intervenciones quirúrgicas.

Los gases anestésicos ingresan a la sala mediante "guías de onda" con tubuladuras plásticas que tampoco alteran la uniformidad del campo magnético.

Además de las medidas que aseguran máxima esterilidad como en cualquier quirófano, la sala fue equipada con instalaciones de gases anestésicos (nitrógeno, oxígeno, óxido nitroso) y aspiración, más el equipamiento de monitoreo anestésico y electrocardiográfico compatible.

En todo momento se tuvo en cuenta el carácter aséptico de la sala, por lo cual el piso y las paredes tienen un revestimiento lavable, integral y continuo envolvente culminando con cielorrasos sin abertura superior.

Se colocaron varios accesos directos al nitrógeno para alimentar los drills y trépanos neumáticos sin necesidad de utilizar tubos dentro de la sala.

La camilla quirúrgica y el fijador craneano, fueron diseñados por Micromar (San Pablo, Brasil), en duro aluminio, bronce, titanio y cerámica (Fig. 3).

La cirugía se realiza en la misma sala del resonador, donde son establecidas tres áreas de trabajo. Una es el área del magneto donde el paciente es introducido para la adquisición de imágenes intraoperatorias y donde se debe utilizar instrumental no ferromagnético. La se-

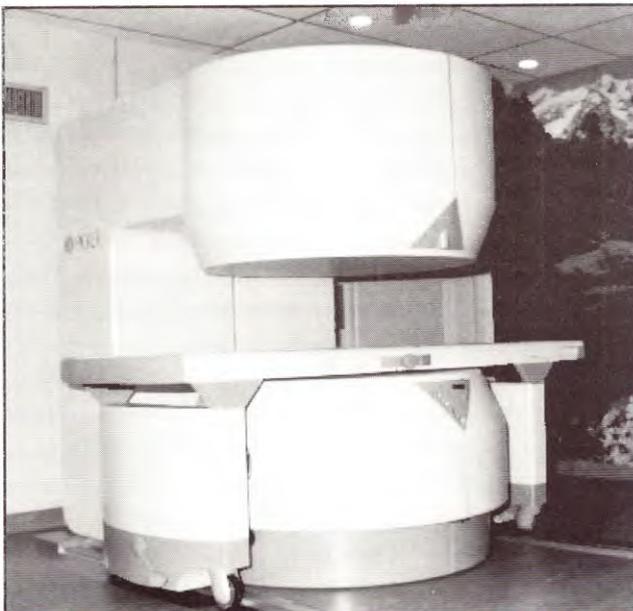


Fig. 1. Resonador magnético.



Fig. 2. Jaula de Faraday.

gunda área es donde se realiza la mayoría de los procedimientos neuroquirúrgicos (entre las líneas de 10 y 0,5 mT) y una tercera zona más alejada, por fuera de la línea de 5 Gauss (0,5 mT), donde se puede colocar el microscopio quirúrgico estándar, equipos de neuronavegación, de anestesia, monitoreo electrofisiológico, electroencefalografía y otros (Figs. 4 y 5).

### DISCUSIÓN

G. Rubino<sup>9</sup> y V. M. Tronnier<sup>10,11</sup> publicaron series retrospectivas demostrando la aplicación y utilidad de este sistema para el tratamiento quirúrgico de tumores supratentoriales, tumores hipofisarios por vía transeptoesfenoidal, resección de lóbulo temporal en cirugía de la epilepsia y otras.

La resonancia magnética ofrece varias ventajas para evaluar el sistema nervioso central y para los tratamientos guiados por imágenes. La capacidad de obtener imágenes multiplanares, la excelente resolución de contraste para definir las estructuras anatómicas normales y patológicas y la de adquirir imágenes de volúmenes del encéfalo en 3D, hacen de la resonancia magnética un instrumento de precisión cuando es aplicado a la neurocirugía. La posibilidad de efectuar secuencias rápidas y ultrarrápidas posibilita evaluar, casi en tiempo real, los movimientos fisiológicos del endocráneo, el movimiento de los instrumentos quirúrgicos y los cambios morfológicos del encéfalo inducidos por el tratamiento<sup>12, 13</sup>.

Estos son los objetivos principales para desarrollar un centro neuroquirúrgico que cuente con la posibilidad de efectuar intervenciones neuroquirúrgicas asistidas o guiadas por imágenes intraoperatorias de resonancia magnética. Una metodología y técnica innovadoras que permiten al neurocirujano salir de la sala de

operaciones seguro de haber extirpado completamente un tumor cerebral o que se ha detenido a tiempo preservando el tejido encefálico sano y realizando así intervenciones más precisas y seguras<sup>14</sup>.

### CONCLUSIÓN

La posibilidad de obtener IRM intraoperatoria en tiempo real, ha llegado para quedarse definitivamente en la neurocirugía moderna iniciando probablemente una nueva era.

Creemos que veremos en los próximos años el perfeccionamiento y la superación vertiginosa de esta nueva herramienta del neurocirujano, que es hoy la resonancia magnética intraoperatoria. Seguramente se combinarán imágenes intraoperatorias con monitoreos neurofisiológicos, se perfeccionará la neurocirugía con el paciente despierto en pro de disminuir el riesgo de lesionar áreas funcionalmente importantes y mejorarán también los sistemas de resonancia magnética.

Pensamos que esta tecnología y metodología, al igual que el microscopio quirúrgico en décadas pasadas y la neuronavegación en la actualidad, serán en un futuro cercano, parte del equipamiento de rutina en todo quirófano donde se realice neurocirugía.

### Bibliografía

1. Kaibara T, Saunders JK, Sutherland GR. Advances in mobile intraoperative magnetic resonance Imaging. **Neurosurgery** 2000; 47: 137-8.
2. Black PM. Management of malignant glioma: role of surgery in relation to multimodality therapy. **J Neurovirol** 1998; 4: 227-36.
3. Schneider JP, Schulz T, Dietrich J, Lieberenz S, Trantakis C, Seifert V et al. Gross-total surgery of supratentorial low-grade gliomas under intraoperative MR guidance. **Am J Neuroradiol** 2001; 22: 89-98.



Fig. 3. Fijador craneano.



Fig. 4. Área de trabajo.



Fig. 5. Equipo completo.

4. Black PM, Moriarty TM, Kikines R, Jolesz FA, Alexander E 3rd. Magnetic resonance imaging therapy: Intraoperative MR imaging. **Neurosurg Clin N Am** 1996; 7: 323-31.
5. Black PM, Moriarty T, Alexander E 3rd, Stieg P, Woodard EJ, Gleason PL et al. Development and implementation of intraoperative magnetic resonance imaging and its neurosurgical applications. **Neurosurgery** 1997; 41: 831-45.
6. Black PM, Moriarty T, Alexander E 3rd, Martin C, Nabavi A, Wong TZ et al. Craniotomy for tumor treatment in an intraoperative magnetic resonance imaging unit. **Neurosurgery** 1999; 45: 423-33
7. Bradley WG. Achieving gross total resection of brain tumors: intraoperative MR imaging, can make a big difference. **Am J Neuroradiol** 2002; 23: 348-9.
8. Kiwit JC, Floeth FW, Bock WJ. Survival in malignant glioma: analysis of prognostic factors with special regard to cytoreductive surgery. **Zentralbl Neurochir** 1996; 57: 76-88.
9. Rubino GJ, Farahani K, McGill D, Van De Wiele B, Villablanca JP, Wang-Mathieson A. Magnetic resonance imaging-guided neurosurgery in the magnetic fringe field: the next step in neuronavigation. **Neurosurgery** 2000; 46: 643-54.
10. Tronier VM, Wirtz CR, Knauth M, Lenz G, Pastyr O, Bonsanto MM et al. Intraoperative diagnostic and interventional magnetic resonance imaging in neurosurgery. **Neurosurgery** 1997; 40: 891-900.
11. Tronier VM, Staubert A, Wirtz CR, Knauth M, Bonsanto MM, Kunze S. MRI guided brain biopsies using a 0.2 Tesla open magnet. Minimally Invasive. **Neurosurgery** 1999; 42: 118-22.
12. Riederer SJ, Taseyan T, Farzaneh F, Lee JN, Wright RC, Herfkens RJ. MR fluoroscopic: technical feasibility. **Magn Reson Med** 1988; 8: 1-15.
13. Chenevert TL, Pipe JG. Dynamic 3D imaging at high temporal resolution via reduced k-space sampling. En **SMRM Conference**, Abstractsm 1993.
14. Lipson AC, Gargollo PC, PM Black. Intraoperative magnetic resonance imaging: considerations for the operating room of the future. **J Clin Neuroscience** 2001; 8: 305-10.

## ABSTRACT

**Objective:** to describe the construction principles and technical details of an operating room with intraoperative magnetic resonance imaging.

**Description:** we constructed a shielded operating room that included a 0,23 Tesla magnetic resonance imaging device with its compatible surgical equipment. An appropriate space was designed to allow the surgeons work.

**Conclusion:** intraoperative magnetic resonance was technically possible, representing a relevant advance.

**Key words:** brain tumors - gliomas - intraoperative magnetic resonance - magnetic resonance imaging

## COMENTARIO

Creo que el bajo campo (0,23 Tesla) es el principal tema de la discusión.

"El alto campo aumenta la calidad de la imagen, tiene un muy amplio espectro de diferentes modalidades de imágenes comparados los previos intraoperatorios con bajo campo"<sup>1</sup>.

Al comparar resultados hasta el año 2001 con 330 pacientes usando 0,2 T con los efectuados con campo alto desde abril de 2002, Nimsky et al (Erlangen-Germany). Dicen que no puede competir el campo bajo debido a la calidad de las imágenes, la variedad de secuencias con franca disminución del tiempo quirúrgico<sup>2</sup>.

Recuerda que los numerosos artefactos por la bobina en el campo bajo, les traía numerosos problemas.

Utiliza técnicas como el T2-weighted half-Fourier, de rápida adquisición que le permite valorar en pocos segundos si existe resección total en ciertos tumores.

La utilización de RM funcional, difusión y espectroscopia, permite disminuir los déficit neurológicos postoperatorios debido a la resección.

La clara delimitación en la calidad de la imagen aumenta la realidad de la información utilizada para la resección<sup>3</sup>.

Schneider et al<sup>4</sup> utilizado un campo de 0,5 T, tuvo más de 10% de artefactos.

El tiempo de resección tumoral fue de 180 a 240 minutos incluido el tiempo de imágenes que de 19 a 88 minutos (promedio de 44 minutos).

Por otro lado ellos manifiestan la franca dificultad en poder diferenciar entre el refuerzo postgadolinio ultratemprano (intraquirúrgico), denominados "cambios inducidos quirúrgicamente", de un refuerzo tumoral remanente, que a veces

presenta aspecto de "masa" a nivel del lecho quirúrgico, a pesar de tener la experiencia de 140 casos.

Es evidente que estos logros serían muy difícil de concretar en un sistema de bajo campo, ya que los tiempos son muy prolongados, la calidad de la imagen es inferior, con lo que la resolución es menor y la valoración de los refuerzos postgadolinio también.

Además según Knauth<sup>5</sup>, la utilización de una sola dosis de gadolinio permite menor delimitación tumoral, en un sistema de campo bajo (0,2 T), debiendo usarse al menos doble dosis para evitar errores diagnósticos intraoperatorios.

Eduardo Mondello

## Bibliografía

1. Nimsky C, Ganslandt O, von Keller B, Fahlbusch R. Preliminary experience in glioma surgery with intraoperative high-field MRI. **Acta Neurochir (Wien) (Suppl)** 2003; 88: 21-9.
2. Nimsky C, Ganslandt O, Fahlbusch R. Functional neuronavigation and intraoperative MRI. **Adv Tech Stand Neurosurg** 2004; 29: 229-63.
3. Nimsky C, Ganslandt O, von Keller B, Romstock J, Fahlbusch R. Intraoperative high-field-strength MR imaging implementation and experience in 200 patients. **Radiology** 2004; 233: 67-78.
4. Schneider JP, Trantakis C, Rubach M, Schulz T, Dietrich J, Winkler D et al. Intraoperative MRI to guide the resection of primary supratentorial glioblastoma multiforme: a quantitative radiological analysis. **Neuroradiology** 2005; 47: 489-500.
5. Knauth M, Wirtz CR, Aras N, Sartor K. Low-field interventional MRI in Neurosurgery: finding the right dose of contrast medium. **Neuroradiology** 2001; 43: 254-8.