

Utilización de la Resonancia Magnética intraoperatoria en el tratamiento de tumores cerebrales

David Molina

Marzo 2018

Índice

INTRODUCCIÓN.....	1
EPIDEMIOLOGÍA.....	1
TRATAMIENTO.....	7
REFINANDO LOS LÍMITES.....	9
MATERIAL Y MÉTODOS.....	11
RESULTADOS.....	15
DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS DE LOS ARTÍCULOS REVISADOS.....	15
Tipo de tumor.....	16
Técnica quirúrgica empleada.....	16
Teslas de la RMi.....	17
Tasa de resección completa.....	17
Porcentaje de tumor resecado (resección parcial o subtotal).....	21
Supervivencia libre de progresión.....	24
Seguridad y volumen residual.....	25
Indicación de aumentar la resección post RMi.....	27
Detección de hematomas o hemorragias.....	27
UTILIDAD DE LA RMi EN FUNCIÓN DEL TIPO DE TUMOR.....	28
Adenomas hipofisarios.....	28
Gliomas de bajo grado.....	29
Gliomas de alto grado.....	32
Tumores del área elocuente.....	34
Otros tumores.....	35
DISCUSIÓN.....	37

CONCLUSIONES.....	41
BIBLIOGRAFÍA.....	43

INTRODUCCIÓN

Casi con toda seguridad el salto cualitativo de mayor envergadura que se ha vivido en la Neurocirugía ha sido la incorporación al quirófano de las técnicas de imagen como una herramienta más integrada en el acto quirúrgico. Sin embargo, a día de hoy, todavía no se ha demostrado el efecto que el uso de la Resonancia Magnética intraoperatoria (RMi) ha tenido sobre la efectividad del tratamiento quirúrgico de los tumores cerebrales.

Este trabajo se centra pues en realizar una exploración de la bibliografía reciente sobre el papel que tiene la RMi en el tratamiento de los tumores cerebrales. Con este propósito se analiza la literatura correspondiente a los distintos tipos tumorales, principalmente: adenoma hipofisario, glioma de bajo y alto grado, y craneofaringioma. Una vez ordenados todos los resultados, se tratará de discernir y cuantificar si la RMi tiene utilidad justificada en el tratamiento de dichos tumores cerebrales.

EPIDEMIOLOGÍA

Según los datos de los registros españoles de cáncer, que abarcan aproximadamente un 25% de la población, los tumores primarios del sistema nervioso central (SNC) representan un 2% del total del cáncer en el adulto y hasta casi un 15% en niños menores de 15 años, siendo su incidencia mayor en los varones. El tipo más frecuente de tumor cerebral son las metástasis (1). Sin embargo, aunque los tumores del SNC representan solo el 2% de todos los tumores, producen una morbilidad y mortalidad desproporcionada. Por ejemplo, la tasa anual de mortalidad para los tumores primarios malignos cerebrales en Estados Unidos (2006-2010) fue de 4,25/100.000 personas/año (2). En España, la mortalidad podría estar estabilizada como consecuencia de los avances, tanto en técnicas diagnósticas como en tratamientos (1).

En cuanto al tipo histológico, los más frecuentes en adultos son: meningiomas, tumores hipofisarios y gliomas de alto grado (**Figura 1**) (3).

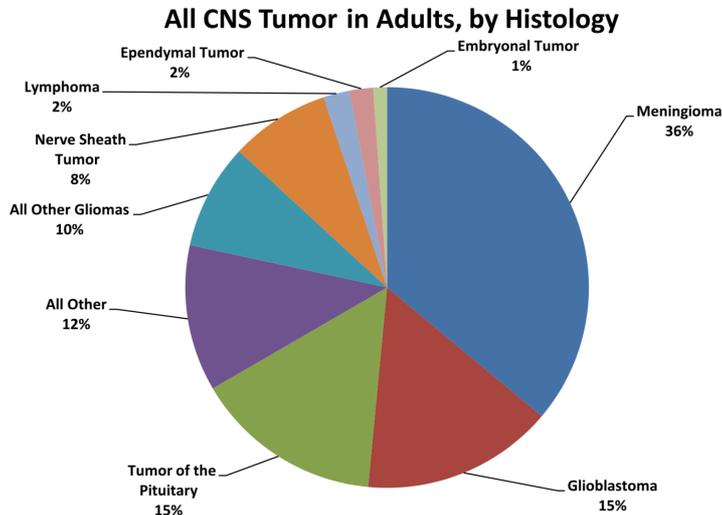


Figura 1. Histología de los tumores de SNC en adultos. Tomado de McNeill KA. Epidemiology of Brain Tumors. *Neurol Clin.* 2016;34(4):981–98.

Por tanto, uno de los tumores cerebrales más frecuentes son los gliomas, que además tienen la supervivencia más corta (4). Estos tumores son más frecuentes en hombres (55%) y raza blanca (5). Según la clasificación de tumores de la Organización Mundial de la Salud (OMS), los gliomas se diferencian en: bajo grado (grados I y II) y alto grado (III y IV) (**Tabla 1**), con mayor agresividad y riesgo de recurrencia/progresión cuanto mayor es el grado tumoral. La mayoría de los gliomas son glioblastomas* (GB), o lo que es lo mismo, gliomas de grado IV (5). El Registro Central de Tumores Cerebrales de EEUU (CBTRUS) estima que la incidencia de gliomas y glioblastomas en ese país es de 6,61 y 3,19 por cada 100.000 habitantes, respectivamente. La supervivencia media de la población con glioblastomas es de, aproximadamente, 10 meses (6)(7). Aunque esto varía según la histología: un

* Según la OMS, desde 2016 no se acepta como válido el término de Glioblastoma Multiforme

astrocitoma pilocítico se asocia a una supervivencia a 10 años superior al 90%, mientras que un glioblastoma solo un 5% a los 5 años.

Tabla 1. Clasificación de los tumores cerebrales. Tomado de: Sinning M. Clasificación de los tumores cerebrales. Rev Med Clin Condes 2017; 28(3): 339-342 .

GLIOMAS DE BAJO GRADO	DIAGNÓSTICO OMS 2016	GRADO OMS
Astrocitoma difuso	Astrocitoma difuso IDH mutado	Grado II
	Astrocitoma difuso IDH nativo	Grado II
	Astrocitoma difuso NOS	Grado II
Oligodendroglioma	Oligodendroglioma IDH mutado y 1p19q codeletado	Grado II
	Oligodendroglioma NOS	Grado II
Oligoastrocitoma	Oligoastrocitoma NOS	Grado II
GLIOMAS ALTO GRADO		
Astrocitoma anaplásico	Astrocitoma anaplásico IDH mutado	Grado III
	Astrocitoma anaplásico IDH nativo	Grado III
	Astrocitoma anaplásico NOS	Grado III
Oligodendroglioma anaplásico	Oligodendroglioma anaplásico IDH mutado y 1p/19q codeletado	Grado III
	Oligodendroglioma anaplásico NOS	Grado III
Oligoastrocitoma anaplásico	Oligoastrocitoma NOS	Grado III
Glioblastoma	Glioblastoma IDH mutado	Grado IV
	Glioblastoma IDH nativo	Grado IV
	Glioblastoma NOS	Grado IV
MEDULOBLASTOMA		
Meduloblastoma genéticamente definido	Meduloblastoma SHH activado y p53 mutado	Grado IV
	Meduloblastoma SHH activado y p53 nativo	Grado IV
	Meduloblastoma no WNT no SHH	Grado IV
Meduloblastoma histológicamente definido	Meduloblastoma clásico	Grado IV
	Meduloblastoma desmoplástico/nodular	Grado IV
	Meduloblastoma con nodularidad extensa	Grado IV
	Meduloblastoma de células grandes/anaplásico	Grado IV
	Meduloblastoma NOS	Grado IV

La incidencia de los gliomas varía en función de la edad y de la histología del tumor. Así, los tumores de grado I (astrocitoma pilocítico) se presentan predominantemente en niños y adultos jóvenes, los tumores de grado II (oligodendrogliomas) en la tercera o cuarta década, y los glioblastomas aumentan en edades más avanzadas, hasta la sexta o séptima década (3).

En Europa, la incidencia de los gliomas es muy similar a la referida en EEUU, con cifras en torno a los 3 casos por 100.000 habitantes, con una supervivencia a corto plazo igualmente desalentadora (8).

Sin embargo, los gliomas no son los únicos tumores que asientan en la cavidad craneal. Los meningiomas, que son los tumores cerebrales más comunes en adultos, representan el 36% de todos los tumores cerebrales según el CBTRUS (5). La incidencia, que aumenta con la edad, es dos veces mayor en mujeres y un 20% mayor en raza negra (5,9). Además, la mayoría de los meningiomas son benignos (grado I), un 5-20% son atípicos (grado II) y un 1-3% malignos (grado III) (10).

Los tumores de hipófisis son los terceros en frecuencia, representando el 15% de todos los tumores cerebrales en adultos. El CBTRUS estima su incidencia en 3,47 casos por cada 100.000 habitantes. Son más frecuentes en mujeres, y su incidencia aumenta con la edad (3). La mayoría son adenomas benignos, y también se incluyen en este grupo los craneofaringiomas. Generalmente son asintomáticos, por lo que se diagnostican de forma incidental especialmente los microadenomas y los tumores no funcionantes, lo que hace difícil estimar la prevalencia (11).

Pero esta patología del sistema nervioso central también puede afectar a los más pequeños. Aproximadamente, según los datos del CBTRUS, 1 de cada 2000 niños estadounidenses padecen algún tipo de tumor cerebral antes de los 14 años. Además, es el tumor sólido más frecuente y la segunda causa de muerte por cáncer en individuos de 0 a 19 años de edad en Estados Unidos y Canadá (12,13). La mayor parte son infratentoriales, aunque en ocasiones se sitúan en zonas supratentoriales donde es común encontrarlos en región supraselar y pineal (14).

Los gliomas, que derivan de células gliales, constituyen la variedad de tumor cerebral más común en niños; de los cuales, la mayoría son astrocitomas

pilocíticos (de bajo grado) (**Figura 2**). La incidencia y la supervivencia varían significativamente según la ubicación y el tipo histológico (12).

Histology	N	All Tumors (%)	Median Age	Incidence Rate
Gliomas	8487	52.9	6.0	2.78
Pilocytic astrocytoma	2821	17.6	7.0	0.93
Other low-grade gliomas	2296	14.3	6.0	0.75
High-grade glioma	1784	11.1	7.0	0.59
Ependymal tumors	879	5.5	4.0	0.29
Other glioma	707	4.4	7.0	0.23
Embryonal tumors	2413	15.0	4.0	0.79
Medulloblastoma	1494	9.3	6.0	0.49
PNET	360	2.2	3.5	0.12
AT/RT	363	2.3	1.0	0.12
Other embryonal tumors	196	1.2	1.0	0.06
Tumors of cranial and spinal nerves	758	4.7	7.0	0.25
Tumors of the pineal region	701	4.4	6.5	0.23
Craniopharyngioma	648	4.0	8.0	0.21
Tumors of the pituitary	625	3.9	12.0	0.20
Germ cell tumors	590	3.7	9.0	0.15
Tumors of meninges	458	2.9	9.0	0.15
Choroid plexus tumors	362	2.3	1.0	0.12
Neuronal and mixed neuronal-glial tumors	140	0.9	9.0	0.05
Lymphomas and hematopoietic neoplasms	70	0.4	6.0	0.02
Other/unclassified tumors	792	4.9	9.0	0.26
Total	16,044	100	7.0	5.26 per 100,000

Figura 2. Mediana de edad al diagnóstico e incidencia de los tumores de SNC pediátricos. Tomado de Tomado de McNeill KA. Epidemiology of Brain Tumors. *Neurol Clin.* 2016;34(4):981–98.

El más frecuente es el astrocitoma pilocítico (grado I según la OMS), que representa cerca del 17% de todos los tumores del SNC en niños de 0-14 años. Tienen una alta tasa de supervivencia a los 10 años (> 96%) (5). Esto se justifica porque generalmente no progresan a variedades más agresivas (12,15).

Otro tipo tumoral frecuente son los tumores embrionarios, que representando el 15% del total, son los tumores cerebrales malignos más comunes en la infancia. (3). La tasa de supervivencia relativa a los 10 años es del 55.5% (5). Hay tres tipos principales: meduloblastoma (MB) que es el más frecuente, tumor neuroectodérmico primitivo (PNET) y tumor teratoide/rabdoide atípico (ATRT) (10). Los meduloblastomas y los tumores neuroectodérmicos primitivos (TNEP) comparten características histológicas similares, pero la OMS estableció su diferencia hace años atendiendo a su ubicación; infratentoriales (fosa posterior) y supratentoriales, respectivamente (12). Los meduloblastomas son

1.7 veces más frecuentes en niños varones y se presentan cuatro veces más a menudo que los tumores supratentoriales (16).

Por tanto, los tumores más comunes del SNC en los niños son astrocitomas pilocíticos, tumores embrionarios y gliomas malignos (**Figura 3**).

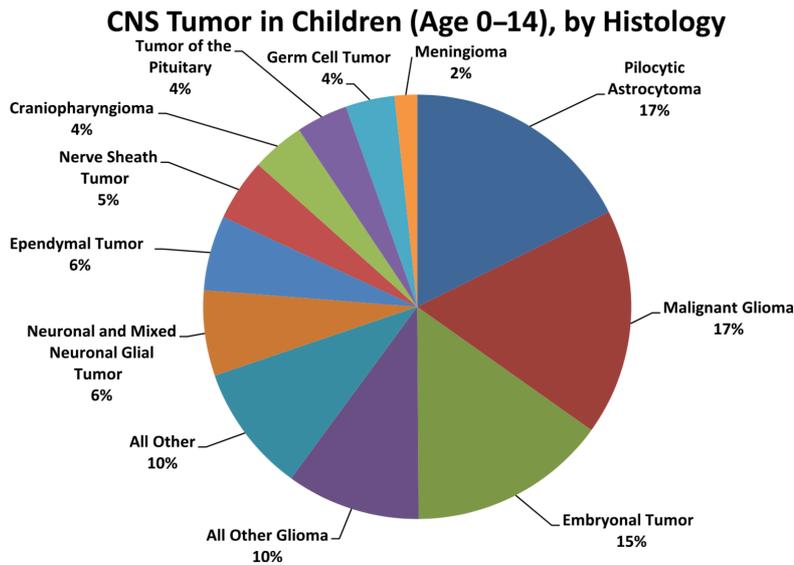


Figura 3. Histología de los tumores de SNC en niños. Tomado de McNeill KA. Epidemiology of Brain Tumors. *Neurol Clin.* 2016;34(4):981–98.

Los craneofaringiomas, poco frecuentes en el ámbito infantil, son tumores supraselares quísticos y calcificados, histológicamente benignos (14). Representan cerca del 6% de todos los tumores intracraneales infantiles (17).

En lo referente a País Vasco y Navarra, varios estudios señalan que la incidencia y mortalidad de cáncer cerebral es mayor que en el resto de España (18,19). Según los datos estimados por el proyecto GLOBOCAN, en 2012 se diagnosticaron en España 2.056 y 1.661 casos nuevos en varones y mujeres respectivamente, lo que representa 6,1 y 4,2 casos por cada 100.000 habitantes (20). Estas tasas están por debajo de la media europea (6.3 y 4.6 respectivamente) (21).

Tan sólo hemos conseguido localizar un estudio de la incidencia de tumores cerebrales en nuestro entorno más próximo. En él, se recoge la casuística de los Servicios de Neurocirugía de Bizkaia (**Figura 4**). Llama mucho la atención que los datos son muy distintos entre el H.U. Basurto y el H.U. Cruces. En el primero se refiere hasta un 26% de gliomas de grados I a III; en cambio en el H.U. Cruces no hay ninguno de estos tipos. En cualquier caso, no es posible discernir si las diferencias se deben a fallos en la clasificación/registro (un 42% de “otros”) o a una selección de pacientes por parte de los Servicios.

	Nº total de casos	% Casos según tipo de tumor						% Casos según tipo paciente		
		Gliomas					Meningiomas	Otros	Infantiles	Adultos
		Astrocitomas				Otros Gliomas				
		Grado I	Grado II	Grado III	Grado IV					
Hospital Santiago Apóstol	-									
Hospital Donostia-Donostia Ospitalea	-									
Hospital de Basurto	64	9,37	3,12	14,06	21,88	9,38	29,69	12,5	4,7	95,3
Hospital de Cruces	153	0,0	0,0	0,0	9,81	26,14	21,57	42,48	6,5	93,5

Figura 4. Incidencia según tipo de tumor en los Hospitales de Basurto y Cruces del País Vasco. Tomado de ASATE. Atlas de los tumores cerebrales en España. 2011. Ed. ASATE, Madrid. 113 pp DL 19673-2011. (Disponible en <http://www.asate.es>).

TRATAMIENTO

La resección quirúrgica, radioterapia y quimioterapia son la base actual del tratamiento para los pacientes con tumores del SNC, especialmente glioblastomas (22). Habitualmente no es posible alcanzar una resección completa (RC) de los gliomas. Además, y a diferencia de lo que ocurre con otros tumores, no se pueden lograr márgenes óptimos ya que en los glioblastomas no existe un margen claro y definido entre la masa tumoral y el cerebro circundante. Sin embargo, la extensión de la resección es un factor pronóstico importante para los pacientes con gliomas de bajo o alto grado (23,24). Otros factores que afectan a la supervivencia son la ubicación del tumor, los

tratamientos combinados, y la edad y el estado del paciente (25). De manera similar, encontramos este tipo de dificultades para garantizar el éxito quirúrgico en otro tipo de tumores, como pueden ser los adenomas hipofisarios o los craneofaringiomas (26–28).

Dado que sobre estas últimas variables no es posible actuar, los intentos de mejorar los resultados de la cirugía de los tumores cerebrales se ha enfocado decididamente en lograr resecciones lo más completas posibles. Ahora bien, una mayor agresividad quirúrgica no justifica pérdidas excesivas de función, por lo que se hace mandatorio disponer de medios para ubicar con exactitud los límites entre tejido sano y tejido tumoral (29–31).

Básicamente, existen dos cauces para alcanzar el objetivo señalado: identificación anatómica e histológica de los tejidos peritumorales y valoración predictiva de la importancia funcional del tejido cerebral a resecar (29).

Para este segundo punto se está incorporando en los quirófanos de neurocirugía la figura del neurofisiólogo, quien revisa la implicación de las distintas zonas del tejido cerebral peritumoral en las funciones cognitivas o motrices del paciente. En este sentido, están ganando popularidad los abordajes quirúrgicos sobre paciente despierto (32).

Por otra parte, la neuronavegación convencional, basada en la colocación de sensores que correlacionan nuestra ubicación durante la cirugía con las imágenes obtenidas durante el preoperatorio (TAC, RMN), ayuda a mejorar la precisión de la resección quirúrgica (32,33).

Es innegable que estos sistemas de neuronavegación han ayudado a evaluar los márgenes tumorales. Sin embargo, estas técnicas están limitadas por una visualización intraoperatoria deficiente de los bordes del tumor y los efectos del desplazamiento cerebral intraoperatorio (distorsión del parénquima cerebral) (22). Estas limitaciones favorecen tejido tumoral residual, visible a principios del postoperatorio en una imagen de resonancia magnética (RM), que no se elimina en un número significativo de pacientes (23,34).

Se han desarrollado varias tecnologías para facilitar la resección óptima, ya que actúan de guía durante la resección, ayudando al cirujano. Estas tecnologías incluyen la resonancia magnética intraoperatoria (RMi), la ecografía intraoperatoria, la tomografía computarizada intraoperatoria (TCi) y la cirugía guiada por fluorescencia con ácido 5-aminolevulínico (5-ALA) (4,22,35,36).

REFINANDO LOS LÍMITES

La resonancia magnética intraoperatoria (RMi) ayuda al cirujano proporcionando imágenes en tiempo casi real con una calidad óptima, lo que permite modificar el abordaje quirúrgico previo y eliminar tumores residuales durante la cirugía. La RMi de alto campo con un sistema de neuronavegación integrado es una herramienta avanzada que puede proporcionar datos anatómicos y funcionales fiables durante la cirugía (37). Además, pueden obtenerse y actualizarse durante la cirugía los datos funcionales y enviarse al sistema de neuronavegación. Esta visualización en tiempo real permite destacar los tractos de fibra de la sustancia blanca y su posición con respecto al tumor, para evitarlos con el objetivo de reducir los déficits neurológicos, particularmente en el caso de tumores infiltrantes como los gliomas (38). La resonancia magnética intraoperatoria (RMi) ha aumentado tanto la extensión de la resección (ER) como las tasas de resección completa (RC) en la cirugía de tumores cerebrales (37).

Sin embargo, la RMi tiene algunas limitaciones como puede ser su coste o la prolongación del tiempo de la cirugía. No está claro aún si la RMi produce mejores resultados quirúrgicos, incluido el nivel de resección y un tiempo de supervivencia más largo, en relación con la resección guiada con neuronavegación convencional (4). Los estudios que han evaluado la RMi con respecto a la resección guiada por neuronavegación convencional han dado resultados muy variables (22,36,39). Hasta donde hemos podido averiguar, no

se ha publicado ninguna revisión sistemática ni meta-análisis sobre el beneficio de la RMI en comparación con la neuronavegación convencional.

MATERIAL Y MÉTODOS

El 28 de noviembre de 2017 introdujimos en la plataforma Pubmed la búsqueda “neurosurgery AND iMRI”, sin ningún tipo de filtro adicional. El resultado fueron 262 documentos encontrados, todos ellos en formato resumen y ordenados por su fecha del más al menos reciente.

The screenshot shows the PubMed search results page for the query "(neurosurgery) AND iMRI". The search results are sorted by "Most Recent" and displayed in "Summary" format. The first six items are visible, each with a checkbox, a title, and a brief summary. The search results are displayed on page 1 of 14. The interface includes a search bar, navigation controls, and various filters on the right side.

Search results
 Items: 1 to 20 of 262

1. [Intraoperative MRI for resection of intracranial meningiomas.](#)
 Chakraborty S, Zavarella S, Salas S, Schulder M.
 J Exp Ther Oncol. 2017 Nov;12(2):157-162.
 PMID: 29161785
[Similar articles](#)

2. [An initial cost-effectiveness analysis of intraoperative magnetic resonance imaging \(iMRI\) in pediatric epilepsy surgery.](#)
 Sacino MF, Huang SS, Keating RF, Gaillard WD, Oluigbo CO.
 Childs Nerv Syst. 2017 Nov 20. doi: 10.1007/s00381-017-3658-9. [Epub ahead of print]
 PMID: 29159426
[Similar articles](#)

3. [Is there an indication of intraoperative MRI in subtotal resection of glioblastoma? - A multicenter retrospective comparative analysis.](#)
 Coburger J, Segovia von Riehm J, Ganslandt O, Wirtz CR, Renovanz M.
 World Neurosurg. 2017 Nov 11. pii: S1878-8750(17)31934-4. doi: 10.1016/j.wneu.2017.11.015. [Epub ahead of print]
 PMID: 29138078
[Similar articles](#)

4. [Intraoperative Magnetic Resonance Imaging for Cranial and Spinal Cases Using Preexisting "C" Shaped Three Side Open 0.2 Tesla Magnetic Resonance Imaging.](#)
 Tewari VK, Tripathi R, Aggarwal S, Hussain M, Das Gupta HK.
 Asian J Neurosurg. 2017 Oct-Dec;12(4):691-694. doi: 10.4103/1793-5482.181144.
 PMID: 29114284 **Free PMC Article**
[Similar articles](#)

5. [Contemporary use of intraoperative imaging in glioma surgery: A survey among EANS members.](#)
 Coburger J, Nabavi A, König R, Wirtz CR, Pala A.
 Clin Neurol Neurosurg. 2017 Dec;163:133-141. doi: 10.1016/j.clineuro.2017.10.033. Epub 2017 Oct 31.
 PMID: 29101863
[Similar articles](#)

6. [Complications of Head Immobilization Devices in Children: Contact Mechanics, and Analysis of a Single Institutional Experience.](#)
 Zaazoue MA, Bedewy M, Goummerova LC.
 Neurosurgery. 2017 Jun 20. doi: 10.1093/neuros/nyx315. [Epub ahead of print]
 PMID: 28973637
[Similar articles](#)

7. [Maximizing safe resections: the roles of 5-aminolevulinic acid and intraoperative MR imaging in](#)

Figura 5. Volcado de pantalla de la búsqueda en PubMed

Aplicando como nuevo filtro “años 2016 y 2017” se redujo la búsqueda a 76 artículos.

Sobre esta selección se revisaron los títulos (y cuando fue necesario además el contenido del resumen) para recoger únicamente los estudios sobre tumores cerebrales. De esta manera la selección final fue de 20 artículos:

- Zhang H, Wang F, Zhou T, Wang P, Chen X, Zhang J, et al. Analysis of 137 Patients Who Underwent Endoscopic Transsphenoidal Pituitary Adenoma Resection Under High-Field Intraoperative Magnetic Resonance Imaging Navigation. *World Neurosurg.* 2017;104:802–15.
- Roder C, Breilkopf M, Bisdas S, Freitas R da S, Dimostheni A, et al. Beneficial impact of high-field intraoperative magnetic resonance imaging on the efficacy of pediatric low-grade glioma surgery. *Neurosurg Focus.* 2016;40(3):E13.
- Coburger J, Nabavi A, König R, Wirtz CR, Pala A. Contemporary use of intraoperative imaging in glioma surgery: A survey among EANS members. *Clin Neurol Neurosurg.* 2017;163(October):133–41.
- Ghinda D, Zhang N, Lu J, Yao C, Yuan S, WU J-S. Contribution of combined intraoperative electrophysiological investigation with 3-T intraoperative MRI for awake cerebral glioma surgery: comprehensive review of the clinical implications and radiological outcomes. *Neurosurg Focus* 2016; 40(3):E14.
- García S, Reyes L, Roldán P, Torales J, Halperin I, Hanzu F, et al. Does Low-Field Intraoperative Magnetic Resonance Improve the Results of Endoscopic Pituitary Surgery? Experience of the Implementation of a New Device in a Referral Center. *World Neurosurg.* 2017;102:102–10.
- Scherer M, Jungk C, Younsi A, Kickingereeder P, Müller S, Unterberg AW. Factors Triggering Additional Resections and Determining Residual Tumor Volume on Intraoperative MRI. *Neurosurg Focus.* 2016;40(March):1–9.
- Coburger J, Scheuerle A, Pala A, Thal D, Wirtz CR, König R. Histopathological Insights on Imaging Results of Intraoperative Magnetic Resonance Imaging, 5-Aminolevulinic Acid, and Intraoperative Ultrasound in Glioblastoma Surgery. *Neurosurgery.* 2017;81(1):165–74.
- Coburger J, Segovia von Riehm J, Ganslandt O, Wirtz CR, Renovanz M. Is There an Indication for Intraoperative MRI in Subtotal Resection of Glioblastoma? A Multicenter Retrospective Comparative Analysis. *World Neurosurg.* 2018;110:e389–97.
- Giordano M, Samii A, Lawson McLean AC, Bertalanffy H, Fahlbusch R, Samii M, et al. Intraoperative magnetic resonance imaging in pediatric neurosurgery: safety and utility. *J Neurosurg Pediatr* 2016;1–8.
- Ashour R, Reintjes S, Park MS, Sivakanthan S, van Loveren H, Agazzi S. Intraoperative Magnetic Resonance Imaging in Skull Base Surgery: A Review of 71 Consecutive Cases. *World Neurosurg.* 2016;93:183–90.
- Rao G. Intraoperative MRI and Maximizing Extent of Resection. *Neurosurg Clin N Am.* 2017;28(4):477–85.
- Suero Molina E, Schipmann S, Stummer W. Maximizing safe resections: the roles of 5-aminolevulinic acid and intraoperative MR imaging in glioma surgery—review of the literature. *Neurosurg Rev.* 2017;1–12.
- Giordano M, Arraez C, Samii A, Samii M, Di Rocco C. Neurosurgical tools to extend tumor resection in pediatric hemispheric low-grade gliomas: iMRI. *Child's Nerv Syst.* 2016;32(10):1915–22.
- Serra C, Burkhardt J-K, Esposito G, Bozinov O, Pangalu A, Valavanis A, et al. Pituitary surgery and volumetric assessment of extent of resection: a paradigm shift in the use of intraoperative magnetic resonance imaging. *Neurosurg Focus* 2016; 40(3):E17.
- Roldán P, García S, González J, Reyes LA, Torales J, Valero R, et al. Resonancia magnética intraoperatoria de bajo campo para la cirugía de neoplasias cerebrales: experiencia preliminar. *Neurocirugía.* 2017;28(3):103–10.
- Breilkopf M, Bisdas S, Liebsch M, Behling F, Bender B, Tatagiba M, et al. Safety, Utility, and Clinical Results of Continuous Intraoperative Electrophysiologic Monitoring in 1.5T iMRI-Guided Surgery. *World Neurosurg.* 2017;106:198–205.
- Motomura K, Natsume A, Iijima K, Kuramitsu S, Fujii M, Yamamoto T, et al. Surgical benefits of combined awake craniotomy and intraoperative magnetic resonance imaging for gliomas associated with eloquent areas. *J Neurosurg.* 2017;127(October):1–8.

- Nickel K, Renovanz M, König J, Stöckelmaier L, Hickmann AK, Nadji-Ohl M, et al. The patients' view: impact of the extent of resection, intraoperative imaging, and awake surgery on health-related quality of life in high-grade glioma patients—results of a multicenter cross-sectional study. *Neurosurg Rev.* 2018;41(1):207–19.
- Pal'a A, Knoll A, Brand C, Etzrodt-Walter G, Coburger J, Wirtz CR, et al. The Value of Intraoperative Magnetic Resonance Imaging in Endoscopic and Microsurgical Transsphenoidal Pituitary Adenoma Resection. *World Neurosurg.* 2017;102:144–50.
- Fukui A, Muragaki Y, Saito T, Maruyama T, Nitta M, Ikuta S, et al. Volumetric Analysis Using Low-Field Intraoperative Magnetic Resonance Imaging for 168 Newly Diagnosed Supratentorial Glioblastomas: Effects of Extent of Resection and Residual Tumor Volume on Survival and Recurrence. *World Neurosurg.* 2017;98:73–80.

RESULTADOS

En primer lugar, procedimos a ordenar y clasificar los 20 artículos seleccionados, incluyendo como parámetros descriptivos los que referimos a continuación (**Tabla 2**):

Tabla 2. Parámetros revisados en los artículos seleccionados

Tipo de tumor
Técnica quirúrgica empleada
Teslas de la RMi
Porcentaje de tumor resecado
Tasa de resección completa
Supervivencia a largo plazo
Seguridad
Indicación de aumentar la resección post RMi
Detección de hematomas

En general, la primera consideración que nos ha surgido al realizar el trabajo es la escasa consistencia observada entre los diferentes artículos. No utilizan los mismos parámetros, no coinciden en la descripción de las complicaciones, ni siquiera está sistematizada la descripción del equipo de RMi utilizado.

DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS DE LOS ARTÍCULOS REVISADOS

Como hemos señalado en la introducción, el comportamiento postoperatorio de los tumores cerebrales es muy diferente según la variedad de tumor. Por este motivo, el primer criterio para clasificar las publicaciones fue el tipo de tumor sobre el que versa el trabajo analizado.

Tipo de tumor

Por lo que se refiere al tipo de tumor sobre el que se centra el estudio, unos los seleccionan por la variante histológica, mientras que otros lo hacen por su localización.

Así, un trabajo describe estudios referidos a tumores localizados exclusivamente en la base del cráneo, y otros cuatro a tumores que afectan al área elocuente. Se entiende que en estas localizaciones lo que realmente condiciona los resultados es la ubicación; en unos casos por sus peculiaridades de abordaje y relaciones anatómicas, y en el otro por las repercusiones graves para el paciente que supone la pérdida de parénquima cerebral noble.

Los otros 15 artículos estudian resultados según el tipo histológico de tumor, distinguiendo tres tipos principalmente:

- a) Adenomas pituitarios
- b) Gliomas
 - a. De bajo grado (en algunos se centran en pacientes pediátricos)
 - b. De alto grado
- c) Craneofaringiomas

Técnica quirúrgica empleada

En general, parece importante distinguir entre abordajes abiertos y endoscópicos; ya que los resultados obtenidos pueden diferir, dificultando extraer conclusiones sobre la utilidad de la RMi (objeto específico de nuestro trabajo).

De los 20 artículos revisados, la mayoría son tratados con abordajes abiertos. Fuera de estos, en los 5 trabajos de adenomas hipofisarios, la resección endoscópica transesfenoidal es el abordaje de elección salvo en 1 de ellos, que se realiza resección microquirúrgica. En lo referente a los estudios sobre gliomas, 2 de ellos utilizan la resección guiada por fluorescencia con 5-ALA. Para finalizar, resaltar aquellos estudios que tratan sobre tumores de áreas elocuentes, los cuales conllevan una técnica quirúrgica con el paciente

despierto, para lo que se puede asociar la monitorización electrofisiológica. De tal manera podemos comprobar la diversidad de procedimientos llevados a cabo dentro de los estudios seleccionados.

Teslas de la RMI

Al revisar los trabajos llama la atención que algunos refieren el uso de RMI de 3 Teslas. Habida cuenta de que la nitidez de las imágenes de RMI se beneficia mucho de la potencia del campo magnético, se considera conveniente revisar detenidamente de nuevo todos los trabajos para separarlos en función de este parámetro. Es lógico pensar que si se ha introducido una nueva generación de equipos, más potentes, los resultados de su utilidad en la cirugía habrán mejorado sensiblemente y no podrán compararse con la primera generación de equipos.

No todos los trabajos especifican con cuantos Teslas trabajan sus RMI, por lo tanto, dentro de la selección de los 20 artículos tenemos tres grupos diferenciados; los que trabajan con 3 Teslas, los que lo hacen con 1'5 Teslas y por último los que no definen este parámetro, que son la mayoría.

Al revisar con más detalle los dos artículos que citan el uso de 3T RMI (los dos de 2016) se detecta que no se trata de auténticos quirófanos con RMI, sino de instalaciones con una RMI de 3 Teslas ubicada en la vecindad del quirófano. Por tanto, estos dos trabajos representan un entorno totalmente diferente, ya que no permiten realizar la exploración del paciente en el quirófano. Y, por lo tanto, el concepto de redefinición de márgenes y modificación de la resección intraoperatorios no cabe en ellos.

Tasa de resección completa

La resección completa (RC) del tumor es el objetivo primario de cualquier cirugía oncológica. Así como en otras localizaciones del cuerpo para asegurar este objetivo se habla de “amplios márgenes de seguridad”, es obvio que este concepto no es aplicable en la cirugía del sistema nervioso central. Y es

precisamente aquí donde los promotores de la RMI inciden con más empeño: el análisis en tiempo real de los márgenes de la zona reseçada mediante RMI permitiría controlar con exactitud hasta donde debe de extenderse la resección quirúrgica; así como determinar mediante las técnica de neurofisiología la posibilidad de ampliar la resección sin provocar un daño funcional inaceptable.

Zhang et al (40) analiza una serie personal de 137 pacientes operados con RMI. Al concluir la resección planificada conforme a los estudios preoperatorios, la RMI confirmó márgenes libres de tumor (resección total) en el 67%. En los otros 45 pacientes se confirmó existencia de tejido tumoral en los márgenes, aunque sólo en la mitad de ellos pudo ampliarse la resección (un 17% del total), quedando un 16% de pacientes en los que, a pesar de tener constancia de no haber logrado una resección total, no pudo resecarse más. De los 23 pacientes en los que se amplió la resección, una segunda RMI confirmó 19 resecciones completas. Así pues, en esta serie, la RMI permitió pasar de un 67% de resecciones totales a un 81%.

Sin embargo, otros autores presentan cifras muy diferentes. Así, García et al (41) refiere un 83% de resecciones completas sin recurrir a la RMI, mientras que Serra et al (42) en su estudio afirman haber logrado pasar de un 31% de resección total inicial, hasta un 61% al ampliar la resección guiado por la RMI.

En la misma línea, Roder et al (43), refiere que de los 20 pacientes que intervino utilizando RMI, tan sólo 6 se mostraron resección total con la RMI. En el resto se procedió a ampliar la exéresis, lográndose resección total en otros 11. Por lo tanto, en esta serie la RMI permitió pasar de un 30% a un 85% de RC.

Giordano et al (44) divide los resultados en función del tipo tumoral, obteniendo de esta manera las siguientes tasas de resección completa: en los craneofaringiomas de novo aumenta de un 89% inicial a un 100% tras RMI pero en los craneofaringiomas recurrentes el aumento que proporciona la RMI es mayor, pasando del 70% al 100%. En los gliomas supratentoriales se establece el parámetro de RC con una extirpación igual o superior al 98%, siendo así el aumento de un 75% (aunque solo se confirman con RMI el 8%) a un 100%. A su

vez, en los gliomas infratentoriales se obtiene una RC del 66% (se confirma con RMi el 33%) que se extiende al 100% con la RMi. Para concluir, englobando el resto de tumores en el grupo “otros”, la RMi consiguió superar la RC tras la primera intervención de 25 pacientes a 28, un 11%, siendo la muestra de 28 pacientes.

El mismo grupo, en otra publicación Giordano et al (45), realiza una revisión de la literatura, donde exponen que Roder et al consigue RC en el 71% desde que se introdujo la RMi en sus quirófanos, siendo el punto de partida inicial, en la era preRMi de un 41%. También analizan como parámetro la reoperación, donde Shah et al refieren a las 2 semanas un 0% con RMi frente al 777% sin ella. Yousaf et al, estudiando una muestra de 79 tumores valorados con la RMi, concluye que en el postoperatorio inmediato se reintervienen el 0%. Choudry et al analizan las reoperaciones en el primer mes tras la intervención, y concluyen que cuando se utilizó RMi la tasa fue de un 1%, frente al 8% cuando no se utilizó la RMi. Por último, Avula et al extraen los datos en los primeros 6 meses, exponiendo finalmente una tasa de reoperación del 0%, en contraposición del 14% correspondiente a la intervención sin RMi. En la serie propia de Giordano et al aumenta la resección a RC en el 19% tras la primera RMi.

Scherer et al (46) consiguen, tras el uso de la RMi, una RC del 82%. Sin embargo, Coburger et al (47), tras definir la RC como una tasa de resección superior al 95%, concluyen que se establece en un 24% si se emplea la prueba de imagen, y si no, únicamente en un 8%.

Rao (48) ha publicado una revisión de los resultados referidos exclusivamente a gliomas. En dicho trabajo recoge lo publicado por Senft et al quienes establecen una RC del 68% tras el empleo de la RMi. En cambio, Napolitano et al refieren un aumento de dicha tasa del 52% al 73'2%; mientras que Coburger et al analizan las RC en función del campo de la RMi siendo 85% con alto campo y 57% con bajo campo.

En la misma línea, Suero et al (49) en su revisión que abarca 16 artículos, recogen que algunos de ellos exponen sus tasas de resección completa tras la

comprobación de la resección con RMI y su reintervención si era necesaria. Los resultados son bastante dispares, pero en todos los casos superiores al 50%. Así, Coburguer et al alcanzan una RC final del 82%; Nickel et al obtienen hasta un 94%, y Roder et al alcanzan el 74%. Por último, Tsugu et al registran la cifra más baja, con un 56% de resección completa al terminar el procedimiento.

El estudio de Nickel et al (50) compara los diferentes tipos de análisis intraoperatorios para valorar el grado de resección obtenida en el mismo instante de la cirugía, en esta línea determinan un 73% de RC sin ningún tipo de prueba intraoperatoria frente al 94% si se empleaba la RMI, este resultado fue el más completo ya que 5-ALA tan solo obtuvo el 74%.

Fukui et al (51) estudian una serie de 168 casos estableciendo la resección completa en 97 de ellos (58%). La serie de Ghinda et al (52) la componen 672 casos, tratados con craneotomía únicamente 139, de los que son estudiados con RMI 106. Se obtiene una RC inicial del 41'5%, finalizando con una tasa del 60'4% tras confirmarlo con la prueba de imagen intraoperatoria.

Otros estudios no determinan porcentaje de RC, sino que diferencian entre tasas de resección superiores e inferiores al 90%. Por ejemplo, el estudio de Motomura et al (53) confirma la RC con la primera RMI en el 36%, continúan la resección alcanzando en estas nuevas intervenciones una tasa del 50% de resección >90%, entre las que obviamente se encuentran las RC pero sin poder determinar el número exacto de ellas.

En la serie de 110 casos de Breitkopf et al (54) se planifica RC preoperatoria en 90 de ellos, pero de manera intraoperatoria -gracias al empleo conjunto de RMI y monitorización (IOM)- se adapta a 72 casos debido a cercanía del tumor a zonas elocuentes o empeoramiento de la monitorización. De estos 72 casos en los que se procede a reseccionar la totalidad del tumor, finalmente se consigue en 65; es decir, combinando ambos métodos se llega al 90'3%.

Roldán et al (55) establecen la resección planificada en un 48% y Ashour et al (56) en un 39%, lo que implican restos tumorales en el 52% y 61%, respectivamente.

A la vista de lo expuesto, parece que, al menos en su mayoría, los usuarios de RMi consideran que esta herramienta permite un aumento significativo de la tasa de resecciones totales conseguidas en sus pacientes.

Porcentaje de tumor resecado (resección parcial o subtotal)

Este parámetro es secundario al anterior en importancia, ya que el objetivo de la resección completa de acabar con el tumor en su totalidad no siempre es posible, ya sea por localización elocuente, próxima a zonas críticas, en profundidad o cualquier otro motivo que desplace la balanza del riesgo/beneficio de forma negativa para el paciente. De esta forma, el análisis en tiempo real de los márgenes de la zona resecada mediante RMi nos permite aumentar el grado de resección, aunque no sea posible extirpar el 100% de la masa tumoral por riesgo de provocar un daño funcional.

Zhang et al (40), con una serie de 137 pacientes, refieren un aumento de la resección en 23, obteniendo resección parcial (RP) en 4 (17'4%); el resto alcanzaron la RC. Con un resultado en números absolutos bastante similar tenemos el trabajo de García et al (41), con una tasa de RP ampliada por RMi del 23%. En este grupo también encontramos el trabajo de Serra et al (42) que supera su cifra de porcentaje resecado previo de 87% a un 95% tras el empleo intraoperatorio de la RMi.

Aunque otros autores, como Pal'a et al (57), utilizan este parámetro para comparar la efectividad de dos procedimientos: resección de adenoma hipofisario mediante endoscopia o microcirugía. Concluyen que tras la comprobación de la RMi se determinan menos resecciones adicionales en el grupo de endoscopia frente al de microcirugía.

Roder et al (43) justifica por medio de RMi la detección de tumor residual intraoperatorio tras la primera RMi en el 70%, al que se le suma un 29% de resecciones parciales extra debido al uso de esta prueba de imagen. Sin embargo, Giordano et al (44) establece un 33% de resecciones subtotales (RST) en craneofaringiomas, en los gliomas supratentoriales se consigue pasar en el

50% de RP (<90%) a RST (>90%), los gliomas infratentoriales ocurre exactamente lo mismo; aumenta el 50% la resección de RP a RST. Finalizando con este trabajo, el resto de tumores que se analizaron se obtuvo un aumento de resección a RST en 2 casos de toda la serie, compuesta por 30 tumores. Todos estos aumentos de resección en las cirugías del sistema nervioso central fueron posibles gracias a la perspectiva tumoral ampliada por la RMi.

Giordano et al (45) hacen una revisión en la que todos los autores aumentan la resección tras la primera cirugía gracias a la RMi. Algunos de estos autores determinan el porcentaje en el que interviene, obteniendo resultados diversos: Kremmer et al aumentan la resección en el 60% de los gliomas de bajo grado, Samdani et al, Nimski et al y Kubben et al obtienen un valor de aumento del 20-45% no siendo este específico de los gliomas de bajo grado. Roder et al, utilizando una RMi de alto campo consiguen una extirpación adicional en el 52%, mientras que Levy et al lo hacen en el 49% (pero sin ser específico de los gliomas de bajo grado). De forma independiente a la revisión, el grupo de Giordano et al realizan un análisis basado en su propia experiencia y determinan que la RP planeada solo se alcanza en el 50% de los casos, necesitando la RMi para lograrlo en el otro 50% y completar así el objetivo fijado precirugía.

En el trabajo de Scherer et al (46) la RMi amplía la resección de forma contraria a las expectativas en un 56%, siendo el valor general de aumento del 70%. Además, el tumor residual tras la RMi suele ser mayor en los tumores de grado II que en el grado IV.

La revisión de gliomas tanto de alto como de bajo grado que realiza Rao (48) expone un trabajo, de Hatiboglu et al, donde se adjudican a la RMi un total de 47% de resecciones adicionales, incrementando los parámetros de resección de 84 a 99%.

Coburguer et al (47), con sus 70 glioblastomas, han observado que con la incorporación de la RMi lograron triplicar la tasa de resecciones superiores al

95% (aumentaron desde un 8% hasta un 24%). En este mismo trabajo introducen dos términos nuevos para estudiar la eficacia de la RMi:

- Extensión efectiva de la resección o **eEoR**

$$\frac{\text{Volumen tumoral preoperatorio} - \text{Volumen tumoral real postoperatorio}}{\text{Volumen preoperatorio tumoral}} \times 100$$

- Extensión potencial de la resección o **pEoR**

$$\frac{\text{Volumen tumoral preoperatorio} - \text{Volumen tumoral real postoperatorio}}{\text{Volumen preoperatorio tumoral}} \times 100$$

A partir de estos dos índices se puede obtener el valor diferencial ($\Delta\text{EoR} = \text{eEoR} - \text{pEoR}$). Obteniendo un resultado de resección efectiva, eEoR, mayor en el grupo de RMi (78 vs 67%), y al contrario en la resección diferencial ΔEoR , favoreciendo en este caso al grupo no RMi (4 vs 22%).

En la serie de 168 casos de Fukui et al (51) se obtiene una tasa final de RP del 94%. En la misma línea, la serie de Ghinda et al (52) nos expone una resección extra en el 28'3% de los casos, con un aumento medio de la extirpación quirúrgica del 10%, siendo la media final del total de resecciones realizadas 91'97%.

Motomura et al (53) concluye una extensión de la resección mayor o igual al 90% en el 45'5% de los tumores y menor al 90% en el 54'5%. El aporte de la RMi en estos casos es de un 64%, que es la cifra de aumento correspondiente a su utilización. Sin embargo, Breilkopf et al (54) refiere la continuidad de la resección tras la prueba en un 74'5% de su serie, excluidos del porcentaje casos de RC y las detenciones del procedimiento por riesgo quirúrgico inminente para el sistema nervioso central.

El grupo español de Roldán et al (55) refiere haber necesitado de la RMi en un 30% de casos para lograr la resección planificada. De manera similar, en el

trabajo de Ashour et al (56) se atribuye a la RMi un 30% de resecciones adicionales.

Supervivencia libre de progresión

Indiscutiblemente, la supervivencia libre de progresión (SLP) es un parámetro descriptivo importante a la hora de extraer conclusiones y cuestionar la utilidad del procedimiento intraoperatorio. No cabe duda que el porcentaje de resección es importante, pero si no se acompaña de un aumento de la supervivencia, el éxito quirúrgico se pone en entredicho. Aun así nos encontramos con cierta dificultad para extraer estos datos, pues la mayoría de estudios no profundizan en este aspecto o lo hacen de manera indirecta.

Rao (48) en su revisión de gliomas introduce el trabajo de Senft et al, que atribuye al empleo de la RMi el aumento de supervivencia libre de progresión (SLP) de 226 días frente a los 98 sin ella. La revisión concluye que un aumento de la resección aumenta a su vez y de forma paralela el tiempo de supervivencia, de manera más pronunciada en los gliomas de alto grado.

Fukui et al (51) concluyen en su trabajo que la supervivencia libre de progresión y supervivencia global (SG) es superior con resección completa, como es obvio. Establecen la supervivencia en 23 y 11'4 meses vs 12'8 y 5'9 meses si la resección es menor del 100%.

El grupo de Ghinda et al (52) diferencia la supervivencia en función del subtipo de gliomas: bajo y alto grado. En los gliomas de bajo grado detectan un aumento de la SLP si se realiza RC o resección tras RMi. Sin embargo, en los gliomas de alto grado observan que el déficit motor a corto plazo, el grado de la OMS y la RC son factores independientes de la supervivencia global.

Roldán et al (55) observan en su serie una mortalidad global del 16%, lo que equivale a 8 pacientes. No encuentran influencia estadísticamente significativa del tipo tumoral con la mortalidad.

Seguridad y volumen residual

A la hora de finalizar un procedimiento quirúrgico se pretende que la patología por la que se realizó la intervención se haya resuelto y no recidive. Para ello, se hace uso de este parámetro descriptivo, que en definitiva intenta proporcionar un nivel de certeza o de seguridad de que el proceso ha sido correctamente solucionado sin afectar zonas funcionales en la medida de lo posible.

Zhang et al (40) analizan los resultados de la cirugía en su serie de 137 tumores hipofisarios concluyendo volumen tumoral residual (VTR) a los 3 meses en 26 pacientes (19%), de los cuales el 54% presentaban el mismo volumen tumoral y el 46% restante lo había disminuido. Sin embargo, García et al (41) únicamente señala el nivel de sensibilidad y especificidad de RMi, siendo 80 y 100% respectivamente.

En la comparación que realizan Pal'a et al (57) entre cirugía endoscópica y microcirugía se detectan menos resecciones adicionales en el primer grupo, lo que indica de manera indirecta una mayor seguridad en este tipo de cirugía del seno cavernoso.

Otro dato indirecto de la seguridad que proporciona la RMi es la corrección sobre la impresión del cirujano de RC tumoral. Muestra de ello es el trabajo de Roder et al (43), donde dicha impresión se sobrevalora con respecto a la valoración intraoperatoria de la RMi. Además, se detecta volumen residual a los 3 meses en el 59% sin empleo de RMi, siendo tan sólo en el 29% en los que sí se utiliza. En este contexto, Giordano et al (45) incluyen en su revisión varios estudios; Roder et al calculan un 70% de correcciones a los cirujanos tras la supuesta finalización quirúrgica cuando se comprobó en el mismo acto quirúrgico. Además, la ausencia de enfermedad residual a los 3 meses fue un 30% menor para el grupo de RMi. Los otros estudios se centran en el parámetro del VTR desde el punto de vista de las reintervenciones realizadas; donde Shah et al obtienen a las 2 semanas un 0% con RMi frente al 7'77% sin ella, Yousaf et al de una muestra de 79 tumores estudiados con la RMi se reoperan el 0% en el postoperatorio inmediato, Choudry et al analizan el primer mes tras la

intervención concluyendo un 1% frente al 8% si no se utiliza la RMi. El grupo de Avula et al extrae los datos en los primeros 6 meses, exponiendo finalmente una tasa de reoperación del 0% en contraposición del 14% correspondiente a la intervención sin RMi.

Scherer et al (46) refiere un 56% de corrección sobre las expectativas de los cirujanos y concluye que el tumor residual es mayor en los tumores de grado II que los de grado IV. Por el contrario, Rao (48) en su revisión de gliomas adjuntan un estudio (Senft et al) en el que cuantifican la media del volumen residual, siendo 0 cm³ en el grupo de RMi y 0'03 cm³ sin ella. A su vez, Fukui et al (51) también determinan cuantitativamente el valor del VTR, detectando una media de 3'3 cm³.

El grupo de Ghinda et al (52) detecta tumor residual con la RMi en 62 casos de la serie de 106 pacientes; o lo que es lo mismo, en un 58'5% del total.

El resultado de Motomura et al (53) es similar al anterior, detectando VTR en la primera RMi en el 64%, lo que derivó en un aumento de resección.

Breitkopf et al (54) deciden dejar volumen residual, a pesar de verificarlo en la RMi, por la sencilla razón de estar demasiado próximo a zonas elocuentes, o por empeoramiento de la monitorización intraoperatoria.

En el estudio de Coburguer et al (58) determinan, tras comprobar con biopsias posteriormente a la RC, que la iRM posee una sensibilidad del 50% y una especificidad del 100%. Sin embargo, el grupo español de Roldán et al (55) observa un 6% de falsos negativos de resección (4% en RP y 2% en RC). Además detectan, con la primera RMi tras la resección inicial, VTR en el 52%.

Finalmente, Ashour et al (56) deciden dejar restos tumorales, por diversas causas que justifican los cirujanos, en el 26% de los casos estudiados con RMi a pesar de su detección.

Indicación de aumentar la resección post RMI

Este parámetro no puede considerarse como independiente de los anteriores, ya que aumentando el volumen de resección se busca llegar a un nivel de resección óptimo sin alterar la funcionalidad cerebral. La RMI tiene un importante papel en este objetivo; por ejemplo, si tras una intervención se realiza una RMI y ésta nos indica que es necesario aumentar la resección de la zona, lo que estamos consiguiendo es detectar esa parte residual que ha pasado inadvertida durante el proceso quirúrgico convencional.

Como se ha comentado anteriormente, en todos los trabajos se detalla que el uso de la RMI ha dado lugar a un aumento de resección tras la teórica “resección completa”, en un número mayor o menor de casos. Y esto demuestra que la RMI es una gran herramienta en la orientación quirúrgica, ya que, aunque en ocasiones confirma la impresión del cirujano, en muchas otras la corrige.

Detección de hematomas o hemorragias

Algunos autores en sus trabajos incluyen como otra consecuencia positiva del uso de la RMI la posibilidad de detectar intraoperatoriamente hemorragias y hematomas que pueden ser resueltos antes de concluir el acto quirúrgico. Aunque esto no afecta a lo que podríamos llamar estrictamente cirugía oncológica, sí que influye de manera muy decisiva en la calidad del acto quirúrgico al reducir alguna de sus complicaciones severas.

En el artículo que escriben Zhang et al (40) refieren 3 casos de hemorragia en el total de su serie de 137 pacientes, sin hacer referencias a nuevas hemorragias en el postoperatorio que no hubiesen sido detectadas previamente.

En la misma línea, Giordano et al (44) observan en su serie de 19 casos un hematoma epidural que se evacua en la misma cirugía gracias a su detección por RMI.

UTILIDAD DE LA RMi EN FUNCIÓN DEL TIPO DE TUMOR

Como ha quedado recogido en los apartados anteriores, el aspecto más relevante a la hora de valorar la utilidad y eficacia de la RMi es la variedad de tumor (bien histológica o bien de localización), por lo que dedicamos este apartado a comentar, de manera específica, los resultados encontrados en función de las principales variedades de tumor.

Adenomas hipofisarios

Tenemos 5 trabajos: Zhang et al (40), García et al (41), Ashour et al (56), Serra et al (42) y Pal'a et al (57) que tratan sobre la utilidad de esta técnica en la resolución de adenomas hipofisarios, en concreto sobre su resección endoscópica transesfenoidal. Sin embargo, Pal'a et al (57) comparan esta técnica con la resección microquirúrgica del mismo tipo tumoral. Todos indican no detectar complicaciones derivadas del procedimiento.

Encontramos procedimientos realizados tanto con RMi de 1,5T como de 3T. Zhang et al (40) afirman que la prueba les permite identificar la extensión intraselar o invasión del seno cavernoso a tiempo real en la misma intervención, comparar las imágenes con las obtenidas preoperatoriamente y aumentar las tasas de resección. Señalan que hay mayor identificación de restos con T2, aunque a veces necesitan contraste.

García et al (41) establecen la utilidad de la RMi para el cirujano en el 47% de las intervenciones de su serie, con un valor predictivo positivo del 100% y negativo del 96%. La RM de control a los 3 meses mostró el mismo resultado que la RMi en el 97%. Además, gracias a la RMi se consigue un 50% de RC en los tumores recidivantes de cirugías previas sin RMi.

En este contexto, Ashour et al (56) analizan los tumores de la base del cráneo donde encontramos algunos hipofisarios. Establecen la resección adicional en un 30%.

Serra et al (42) establecen la utilidad de esta prueba intraoperatoria en la precisión para determinar la cantidad y ubicación del adenoma residual. Por ello, se consiguen mayores tasas de resección. A su vez, refieren la superioridad de la RMi de 3T, alcanzando hasta el 88% de las RC previstas.

En el trabajo de Pal'a et al (57) se comparan los procedimientos de microcirugía y endoscopia en adenomas hipofisarios. Según sus resultados, la RMi iguala ambos procedimientos en término de tasa de resección, obteniendo RC y RP similares. A pesar de ello, a priori el beneficio es mayor en microcirugía al delimitar la zona a resecar, pero no obstante, la endoscopia logra mejores resultados endocrinos y en tumores invasivos de gran tamaño.

Por tanto, tal y como ha quedado indicado anteriormente, todos estos estudios en adenomas hipofisarios parecen coincidir en que la RMi aumenta el porcentaje de tumor reseado, continuando con la cirugía en gran parte de ellos. Esto es posible por que se consigue delimitar mejor su localización y adaptar la imagen en el mismo instante del proceso quirúrgico.

Gliomas de bajo grado

En lo referente a los gliomas de bajo grado tenemos 10 artículos que enfocan sus resultados en esta dirección: Roder et al (43), Coburguer et al (59), Ghinda et al (52), Scherer et al (46), Giordano et al (44), Rao (48), Suero et al (49), Giordano et al (45), Roldán et al (55) y Motomura et al (53). Dentro de estos, encontramos tres exclusivamente pediátricos (43-45).

Todos los autores coinciden en afirmar que el uso de la prueba de imagen intraoperatoria no ha originado complicaciones ni en el propio acto quirúrgico ni durante el postoperatorio.

En el ámbito pediátrico, Giordano et al (45) analizan una serie de gliomas hemisféricos de bajo grado. Las ventajas que ofrece la RMi en este trabajo es la posibilidad de obtener una imagen actualizada al momento tras los cambios surgidos en el lecho quirúrgico durante la cirugía. Además, diferencia de manera precisa el tejido patológico del normal, lo que implica mayor resección y

preservación de estructuras funcionales. En lo referente a costes, gracias a la prueba se disminuye notablemente las reintervenciones tempranas y las RM postoperatorias.

Continuando con los gliomas infantiles de bajo grado, Giordano et al (44) clasifican sus resultados en función de la anatomía tumoral en gliomas supra e infratentoriales, siendo en ambos grupos de su serie más frecuentes los gliomas de bajo grado. A pesar de ello, los resultados son similares independientemente del subgrupo: la RMi confirma la resección o la aumenta, siempre bajo unos parámetros de seguridad establecidos por la preservación de zonas funcionales.

Roder et al (43) comprueban que al emplear la técnica de RMi en niños sus tasas de RC (81%) a los tres meses son superiores. Además, en caso de quedar VTR, es significativamente menor. Pero no queda ahí, el hecho de proporcionar más seguridad en el procedimiento se refleja en, que a pesar de proceder de manera más radical, las cirugías no se acompañan de mayor morbilidad.

Dejando la neurocirugía exclusivamente pediátrica, tenemos la encuesta realizada por Coburguer et al (59) en la que se recogen datos basados en la experiencia y opinión de cirujanos de diferentes países de Europa. Los resultados reflejan una gran relevancia de la RMi para los gliomas en general, con una puntuación media de cuatro sobre cinco en la escala de Likert. En el subgrupo de gliomas de bajo grado declaran que la herramienta más valiosa o mejor valorada es igualmente la RMi. Además, es la que obtiene mayor puntuación para la orientación quirúrgica de estos gliomas.

Siguiendo en esta línea, el trabajo de Ghinda et al (52) sobre gliomas supratentoriales con RMi 3T observa mayor tasas de resección completa en gliomas de alto grado que en los de bajo grado. A pesar de ello, la RMi en ambos grupos aumenta la capacidad de resección completa y la seguridad del procedimiento, disminuyendo los defectos neurológicos postoperatorios a corto y largo plazo. De manera cuantitativa, la tasa de tumor residual detectado es 58'5% y se continua (siempre que los límites funcionales o la monitorización lo permiten) la resección en el 28'3% de la serie global.

Continuando con los gliomas supratentoriales, Scherer et al (46) cuantifican en un 70% la tasa de resecciones adicionales avaladas por la RMi. Aunque se aumentan las resecciones en ambos grupos (gliomas de bajo y alto grado), ocurre lo mismo que en el trabajo anterior, las tasas y frecuencia de VTR son mayores en el grupo de gliomas de bajo grado. Detectan que en el 56% de los casos la RMi corrige la percepción del cirujano demostrando restos tumorales, disminuyendo posteriormente el tumor residual en un 37%.

En el estudio sobre gliomas Rao (48) observa que la RMi es una herramienta muy útil para ayudar al cirujano a identificar tumor residual en el propio quirófano. Esto hace que aumente la extensión de la resección en todos los gliomas, independientemente de su grado.

Suero et al (49) establecen que la combinación de RMi y 5-ALA aumentan las tasas de resección en los gliomas. En el caso concreto de los gliomas de bajo grado, aseguran que la RMi es muy relevante en su tratamiento.

Roldan et al (55), en los gliomas estudiados con RMi, observa un aumento de su resección y una disminución de la morbilidad postquirúrgica. Intuyen que mejora el pronóstico a corto y largo plazo, aumentando tanto la supervivencia global como la supervivencia libre de progresión. Además, al disminuir la estancia hospitalaria de estos pacientes se disminuyen los costes sanitarios.

En lo referente a gliomas del área elocuente, Motomura et al (53) analizan su serie de casos con cirugía despierta. La RMi mejora el resultado quirúrgico, sobre todo si el tumor presenta anatomía o localización compleja.

Por tanto, estos estudios demuestran la capacidad de la RMi de mejorar la cirugía, no solo en términos de resección, seguridad del procedimiento, supervivencia y calidad de imagen a tiempo real; sino que también mejora los costes al disminuir las reintervenciones, las pruebas complementarias y la estancia hospitalaria de los pacientes. Estos beneficios se producen independientemente de la edad del paciente, ya sea adulto o pediátrico.

Gliomas de alto grado

Los gliomas de alto grado se analizan en 10 trabajos: Coburguer et al (59), Ghinda et al (52), Scherer et al (46), Coburguer et al (58), Rao (48), Suero et al (49), Coburguer et al (47), Roldán et al (55), Motomura et al (53), Nickel et al (50) y Fukui et al (51). Algunos de ellos comparten estudio con los gliomas de bajo grado.

Ninguno de ellos observa complicaciones asociadas al empleo de RMI en el periodo de estudio: ni en quirófano ni en el seguimiento tras la cirugía.

En los datos recogidos por Coburguer et al (59) los resultados reflejan una gran relevancia de la RMI para los gliomas en general, con una puntuación media de cuatro sobre cinco en la escala de Likert, siendo el mejor método para la orientación quirúrgica. Centrando la atención en los gliomas de alto grado observan que la herramienta mejor valorada es la RMI, aunque está equiparada con la 5-ALA.

En la serie de gliomas supratentoriales con RMI 3T expuesta por Ghinda et al (52) observan que la RMI aumenta en ambos grupos la resección completa y la seguridad del procedimiento, obteniendo así un menor riesgo de defectos neurológicos postoperatorios a corto y largo plazo. La tasa de detección de tumor residual es 58'5%, aunque la resección solo se continúa en el 28'3%, ya que en el resto de casos los límites funcionales no lo permiten. Comparando los gliomas de alto grado con sus análogos de bajo grado, se detectan mayores tasas de RC en los tumores de alto grado.

Siguiendo con gliomas supratentoriales, Scherer et al (46) observan el mismo resultado que el trabajo anterior, donde la resección es superior en el grupo de gliomas de alto grado. A pesar de ello, identifican un aumento de la resección en ambos grupos, con una tasa de resecciones adicionales justificada con el empleo de RMI del 70%, disminuyendo de manera simultánea el VTR en un 37%.

Coburguer et al (58) han hecho un estudio en glioblastomas (sin distinguir el grado) en el que comparan diferentes métodos intraoperatorios de orientación. Refieren que la sensibilidad de la RMI para detectar tejido tumoral residual es

de sólo el 50%, frente al 80% con los ultrasonidos intraoperatorios (USi) y el 84% del 5-ALA. Es el único estudio que incluye estudio anatomopatológico sobre biopsia para valorar la sensibilidad de las pruebas. Las tres técnicas muestran una especificidad del 100%.

Suero et al (49) establecen que combinando la imagen tridimensional de RMi y el método 5-ALA se aumentan las tasas de resección en gliomas, sin destacar significativamente sobre el otro la RMi ni 5-ALA.

Otro trabajo sobre glioblastomas realizado por el grupo de Coburguer et al (47) establece que la cirugía es más efectiva con el uso de RMi. Fundamentalmente se debe a que triplica los resultados de resección superior al 95%, aumentando con ello la supervivencia global de la serie.

Rao (48) observa que, independiente del grado de los gliomas, la RMi es una herramienta muy útil para identificar tumor residual en el propio quirófano, lo que aumenta la extensión de la resección. Sin embargo, es en el caso de los de alto grado donde la RMi consigue un mayor incremento en la supervivencia.

Los hallazgos sobre gliomas del grupo de Roldan et al (55) establecen que la RMi supone un aumento de resección y disminución de la morbilidad postquirúrgica independientemente del grado. Pero además, intuyen que mejora el pronóstico a corto y largo plazo, aumentando la SG y SLP. También disminuye los costes de la cirugía, pues disminuye la estancia hospitalaria.

Motomura et al (53) analizan su serie de casos de gliomas que afectan a zonas elocuentes con cirugía en paciente despierto. La RMi mejora el resultado quirúrgico, fundamentalmente en aquellos tumores que presentan anatomía o localización compleja.

El trabajo de Nickel et al (50) detecta mejores resultados, tanto de resección como de comorbilidades postoperatorias, si se emplea RMi o RMi con 5-ALA.

Para finalizar con los gliomas de alto grado, el grupo de Fukui et al (51) se centra en los glioblastomas supratentoriales. Afirman que la RMi de bajo campo

es útil para lograr altas tasas de resección, que se asocian con aumento en la supervivencia y disminución considerable de la recurrencia tumoral.

Recogiendo los datos extraídos podemos comprobar que, a pesar de encontrar ciertas discrepancias sobre la superioridad de RMI o 5-ALA, o sobre los mejores resultados de RMI en gliomas de alto o bajo grado, todos parecen concretar la importancia de RMI en la orientación quirúrgica de estos tumores. Para justificarlo, sus argumentos se fundamentan en el aumento de resección, seguridad, supervivencia y la disminución de costes postoperatorios por imágenes complementarias y reintervenciones, todo esto conseguido por medio de la imagen tridimensional intraoperatoria.

Tumores del área elocuente

En este grupo se analizan los resultados en lo referente a tumores localizados en áreas elocuentes. Todos los autores coinciden en que la RMI favorece los buenos resultados quirúrgicos gracias a la capacidad de localización tumoral y a la preservación de las zonas elocuentes o funcionales en la resección. Además, refieren no asociar complicaciones adicionales al uso de este método de imagen en las cirugías con paciente despierto. Tenemos cinco trabajos que tratan los tumores de dichas zonas, principalmente gliomas: Ghinda et al (52), Coburguer et al (47), Breitkopf et al (54), Motomura et al (53), Nickel et al (50).

Ghinda et al (52), en su serie de gliomas supratentoriales observan que la RMI aumenta la RC y la seguridad del procedimiento aun con paciente despierto, disminuyendo las complicaciones postoperatorias a corto y largo plazo.

El trabajo sobre glioblastomas del área elocuente realizado por el grupo de Coburguer et al (47) establece, de manera similar al estudio anterior, que la cirugía es más satisfactoria con el uso de RMI.

Breitkopf et al (54) determinan que la combinación intraoperatoria de monitorización electrofisiológica y RMI mejora los resultados quirúrgicos de los diferentes tumores (sin especificar tipos) de las regiones elocuentes. Entre los parámetros que observan tenemos el aumento del control sobre la cirugía de

paciente despierto, el aumento de la resección radical y de la seguridad de todo el procedimiento.

En la misma línea pero con una serie de gliomas elocuentes con cirugía despierta, Motomura et al (53) demuestran mediante el empleo de RMi la mejoría del procedimiento quirúrgico, fundamentalmente en aquellos tumores de localización compleja.

Para finalizar con la cirugía de pacientes despiertos, el trabajo de Nickel et al (50) detecta mejores resultados, tanto de resección como de comorbilidades postoperatorias, si se emplea RMi. Además, afirman que la cirugía con el paciente despierto es un método seguro.

Por tanto, todos los documentos analizados exponen un aumento del porcentaje de resección del tumor y a su vez de la seguridad de la intervención. La mayor seguridad y control quirúrgico que ofrece la RMi a la hora de la resección es relevante en todas las cirugías del sistema nervioso central, pues en todas ellas se exponen, en mayor o menor medida, zonas funcionales y elocuentes del cerebro. De esta forma, es lógico pensar que en este grupo de trabajos exclusivos de tumores que afectan directamente a zonas elocuentes dicho parámetro prime sobre todos los demás.

Otros tumores

Para finalizar, este apartado recoge los trabajos que incluyen, de una manera considerable en relación a sus series, otros tipos tumorales como meningiomas, craneofaringiomas, endimomas, gangliomas o neurinomas del acústico.

Por ejemplo, el trabajo de Giordano et al (44) se basa en la experiencia de RMi en ciertos tumores pediátricos. Por un lado estarían los craneofaringiomas de la región selar, donde la RMi consigue proporcionar al final de la intervención una RC en la totalidad de la serie de craneofaringiomas. A su vez aumenta la seguridad del procedimiento. Por otro lado se analiza el papel de la RMi en endimomas, gangliomas y otros tumores en pacientes pediátricos. En estos tipos se concluye que la utilidad de la RMi se centra en detectar VTR y su

relación con las estructuras elocuentes, permitiendo continuar y modificar a tiempo real el proceso quirúrgico, objetivo que sin RMi hubiese sido más que improbable, dando por finalizada la cirugía antes de conseguir el objetivo deseado.

El grupo de Ashour et al (56) se centra en los tumores de la base del cráneo de pacientes adultos. Entre los tipos que forman la serie tenemos meningiomas (>50%), craneofaringiomas y neurinomas del acústico, entre otros. En todos ellos la RMi aporta seguridad en estos procedimientos quirúrgicos de la base del cráneo. Además, la RMi ofrece la capacidad de cambiar decisiones quirúrgicas de manera intraoperatoria y más exacta, restando relevancia a la impresión del cirujano de “resección completa”. De esta forma favorece que el cirujano intente mayor resección en áreas críticas, sin perder por ello la seguridad.

DISCUSIÓN

Hasta aquí hemos procurado restringirnos absolutamente a referir de manera ordenada los datos encontrados en la bibliografía estudiada. Ahora, antes de terminar el Trabajo, incluimos algunas reflexiones personales realizadas a la luz de todo lo revisado. Estas reflexiones tienen una gran limitación, que es nuestra falta de experiencia personal en la cirugía analizada. Con todo, son reflexiones que pueden completar en cierto modo la mera enumeración de resultados publicados.

En primer lugar, querríamos señalar la existencia de un posible sesgo que ha sido pasado por alto al realizar las publicaciones. Nos referimos a la posibilidad real de que el cirujano, sabiendo que la RMI le va a permitir decidir con cierta seguridad si procede ampliar la resección, realice exéresis menos agresivas que aquellos que no disponen de esta herramienta. Ello daría lugar a un número aumentado de resecciones no totales en el primer abordaje, aunque el porcentaje final de resecciones completas, tras comprobar con la RMI la resección planificada, sería superior.

Ahora bien, si fuera cierto que la disponibilidad de la RMI hace que el cirujano opte por “quedarse corto” sabiendo que en un segundo tiempo puede compensarlo, no deja de ser algo que debe verse como avance. De hecho, podría ser esta la explicación de algo que refieren algunos autores: la cantidad e intensidad de los síntomas adversos postcirugía, son peores sin empleo de RMI. Es decir, que la necesidad de llegar a ciegas “al límite tolerable” incrementa no sólo el riesgo sino también la realidad de efectos adversos de la cirugía de resección en los tumores cerebrales.

Otro dato que debe ser tomado en consideración a la hora de aceptar los resultados publicados es el número de pacientes que se incluyen en cada una de las series de los trabajos. Aunque unas pocas publicaciones incluyen series que alcanzan el centenar de casos, la mayoría son series cortas y sus resultados se comparan con series históricas. Bien es verdad que no es fácil desde un punto

de vista ético plantear privar a un grupo de pacientes de una tecnología disponible, que no añade riesgos y que es posible que resulte beneficiosa, por la única razón de disponer de un grupo control; máxime cuando se trata en todos los casos de problemas muy serios de salud, con riesgo cierto para la vida del paciente.

Además, algunos de los pacientes incluidos en estas series son pacientes ya tratados en cirugías anteriores, que por el motivo que sea no se obtuvo resecciones completas o simplemente el tumor recidivó. Este dato es relevante porque en el caso de las reintervenciones además de que la cirugía es más complicada por la mayor cantidad de tejidos fibróticos, el tumor ha demostrado una mayor agresividad. Al incluir este tipo de pacientes en unas series sí y en otras no, se resta capacidad de comparar resultados. Con todo, las publicaciones que incluyen este tipo de pacientes demuestran que la RMi es una solución útil también en estos casos más complicados, siendo capaz de orientar y lograr una resección mayor que la obtenida con los métodos convencionales.

Un dato que puede parecer hablar en contra de la utilidad de la RMi es el hecho de en bastantes casos, tras haberse demostrado la existencia de tumor residual, no se puede continuar ampliando la resección; y, por lo tanto, el beneficio para el paciente queda restringido al ámbito del conocimiento de la situación, sin afectar a la eficacia del tratamiento quirúrgico. Sin embargo, no parece aventurado afirmar que saber que se ha resecado todo lo físicamente posible es un dato que ayuda tanto al cirujano como al paciente.

Una dificultad a la hora de analizar todos estos estudios fue la gran disparidad de datos y conclusiones que hay entre ellos. Por ejemplo, algunos de los estudios concluyen que la RMi ofrece mejores resultados en los gliomas de alto grado (III y IV). Otros sin embargo afirman que los resultados que ofrece la RMi son independientes del grado del tumor en cuestión. Y cómo no, los hay quienes dicen que aplicando la RMi en gliomas de bajo grado los resultados obtenidos

son superiores. A pesar de ello, al menos todos parecen coincidir en que la RMI es una herramienta muy útil para la cirugía de los gliomas en general.

Otra discrepancia hallada, más allá de las meras cifras, se refiere a la preferencia por la RMI o la valoración con 5-ALA. Así, algunos autores afirman que ambos métodos son complementarios y que usados de manera conjunta obtienen mejores resultados, mientras que otros se posicionan claramente a favor de una u otra técnica, ofreciendo para ello los resultados de sus series personales.

Por último, es obligado señalar que la diversidad de parámetros y nomenclaturas que utilizan cada uno de los grupos dificulta muchísimo extraer conclusiones de los mismos. Por ejemplo, a la hora de hablar del porcentaje de resección realizada podemos encontrar GTR (resección tumoral gruesa), RC (resección completa), RP (resección parcial), RST (resección subtotal), EoR (grado de resección extendida)...o incluso algunos estudios que definen su tasa de resección completa con valor igual o superior al 95%. Parece imprescindible que se llegue a un acuerdo de los parámetros a medir (y, por tanto, a publicar) en los estudios que se realicen sobre la utilidad de esta tecnología tan cara y tan exclusiva.

En este sentido, no podemos olvidar que esta técnica tiene un elevado valor económico, que limita mucho su implantación. Por eso, sería aconsejable reunir en los Servicios de Neurocirugía de referencia la patología más compleja, aumentando el volumen de casos y optimizando así el uso que se haga de la RMI.

Y al mismo tiempo, en aquellos centros en los que no se pueden permitir una RMI de alto campo, su homónima de bajo campo, a pesar de no ser tan efectiva por disminuir la calidad de imagen, es suficiente para mejorar los resultados quirúrgicos; tal y como demuestran diversos estudios citados anteriormente, donde establecen que mantiene una elevada sensibilidad y especificidad a la hora de detectar restos tumorales susceptibles de ser resecados.

No ha sido posible con la revisión realizada responder a una de las preguntas que inicialmente nos planteamos: ¿está justificada la inversión económica que supone un quirófano con RMI? Ninguno de los trabajos encontrados contempla

aspectos de coste/beneficio, más allá de señalar que el uso de la RMI disminuye la estancia media (y el coste derivado de la misma). Para justificar económicamente el desembolso de una RMI habría que contemplar multitud de datos muy difíciles de obtener con las herramientas informáticas disponibles a día de hoy en los hospitales. A modo de ejemplo: años de vida productiva ganados para el paciente, gastos de rehabilitación tras la cirugía, tiempo en retornar al trabajo, etc. Y aún así, se seguirían escapando otros que bien pudiéramos llamar “intangibles” como, por ejemplo, la mejora en la calidad asistencial que una inversión como la RMI suele promover en su entorno más próximo (efecto “locomotora”).

CONCLUSIONES

Una vez finalizado el análisis de todos los parámetros de este trabajo hemos formulado las siguientes conclusiones.

En relación a la eficacia de la técnica quirúrgica se puede afirmar que:

1. El uso de RMi aumenta la extensión de la resección tumoral para todas las neoplasias cerebrales.
2. El uso de RMi aumenta la extensión de la resección tumoral para neoplasias gliales, tanto de bajo como de alto grado, así como el porcentaje de resecciones completas.
3. El beneficio del uso de la RMi es mayor y más evidente en los gliomas de alto grado.
4. Una mayor extensión de la resección facilitada por RMi aumenta el tiempo de supervivencia para los pacientes, particularmente con el glioma de alto grado.
5. En el caso de los tumores situados cerca de la corteza elocuente, la eficacia de la RMi mejora sensiblemente al asociar la monitorización neurofisiológica y el mapeo funcional, ya que delimitan mejor los límites funcionales.
6. La RMi permite adaptar, en tiempo real, las imágenes a medida que la resección modifica el parénquima y el campo quirúrgico.

Por otra parte, se constatan otros beneficios derivados del uso de RMi:

7. El uso de RMi facilita la detección y tratamiento de las posibles complicaciones quirúrgicas previo a la salida de quirófano, lo que mejora el resultado.
8. No se detectan complicaciones adicionales como consecuencia del empleo de RMi

9. La RMI reduce la morbilidad y los costes (reintervenciones, pruebas complementarias y estancia hospitalaria).
10. En niños, además de disminuir las pruebas complementarias postquirúrgicas, evita la sedación que dichos procesos requieren.

BIBLIOGRAFÍA

1. SEOM (Sociedad Española de Oncología Médica). Tumores cerebrales. 2017. p. 3/10. Available from: <https://www.seom.org/es/info-sobre-el-cancer/tumores-cerebrales?start=2#content> (accessed 5-2-2018).
2. Ostrom Q, Bauchet L, Davis F, Deltour I, Fisher J, Langer C, et al. The epidemiology of glioma in adults: a “state of the science” review. *Neuro Oncol.* 2014;16(7):896–913.
3. McNeill K. Epidemiology of Brain Tumors. *Neurol Clin.* 2016;34(4):981–98.
4. Wolbers J. Novel strategies in glioblastoma surgery aim at safe, supra-maximum resection in conjunction with local therapies. *Chin J Cancer.* 2014;33(1):8–15.
5. Ostrom Q, Gittleman H, Liao P, Rouse C, Chen Y, Dowling J, et al. CBTRUS statistical report: primary brain and central nervous system tumors diagnosed in the United States in 2007-2011. *Neuro Oncol.* 2014;16(Suppl 4):iv1-63.
6. Deorah S, Lynch CF, Sibenaller ZA, Ryken TC. Trends in brain cancer incidence and survival in the United States: Surveillance, Epidemiology, and End Results Program, 1973 to 2001. *Neurosurg Focus.* 2006;20(4):E1.
7. Yabroff K, Harlan L, Zeruto C, Abrams J, Mann B. Patterns of care and survival for patients with glioblastoma multiforme diagnosed during 2006. *Neuro Oncol.* 2012;14(3):351–9.
8. Graus F, Bruna J, Pardo J, Escudero D, Vilas D, Brell M, et al. Patterns of care and outcome for patients with glioblastoma diagnosed during 2008-2010 in Spain. 2013;15(6):797–805.
9. Dolecek T, Dressler E, Thakkar J, Liu M, Al-Qaisi A, Villano J. Epidemiology of meningiomas post-public law 107-206: the benign brain tumor cancer registries amendment act. *Cancer.* 2015;121(14):2400–10.

10. Louis D, Ohgaki H, Wiestler O, Cavenee W, Burger P, Jouvet A, et al. The 2007 WHO Classification of Tumours of the Central Nervous System. *Acta Neuropathol.* 2007;114(2):97–109.
11. Ezzat S, Asa S, Couldwell W, Barr C, Dodge W, Vance M, et al. The prevalence of pituitary adenomas: a systematic review. *Cancer.* 2004;101(3):613–9.
12. Johnson K, Cullen J, Barnholtz-Sloan J, Ostrom Q, Langer C, Turner M, et al. Childhood brain tumor epidemiology: A brain tumor epidemiology consortium review. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2014;23(12):2716–36.
13. Ostrom Q, de Blank P, Kruchko C, Petersen C, Liao P, Finlay J, et al. Alex’s Lemonade Stand Foundation Infant and childhood primary brain and central nervous system tumors diagnosed in the United States in 2007–2011. *Neuro Oncol.* 2015;16(Suppl 10):x1–36.
14. Wells E, Packer R. Pediatric brain tumors. *Contin (Minneapolis Minn).* 2015;21(2):373–96.
15. Stokland T, Liu J, Ironside J, Ellison D, Taylor R, Robinson K, et al. A multivariate analysis of factors determining tumor progression in childhood low-grade glioma: a population-based cohort study (CCLG CNS9702). *Neuro Oncol.* 2010;12(12):1257–68.
16. Packer R, Macdonald T, Vezina G, Keating R, Santi M. Medulloblastoma and primitive neuroectodermal tumors. *Handb Clin Neurol.* 2012;105:529–48.
17. Karavitaki N, Wass J. Craniopharyngiomas. *Endocrinol Metab Clin N Am.* 2008;37(1):173–93.
18. Ugarte M, Adin A, Goicoa T, Casado I, Ardanaz E, Larrañaga N. Temporal evolution of brain cancer incidence in the municipalities of Navarre and the Basque Country, Spain. *BMC Public Health.* 2015;15:1018.
19. Ugarte M, Goicoa T, Etxeberria J, Militino A. Projections of cancer mortality risks using spatio-temporal P-spline models. *Stat Methods Med Res.* 2012;21(5):545–60.

20. Ferlay J, Soerjomataram I, Dikshit R, Eser S, Mathers C, Rebelo M, et al. Cancer incidence and mortality worldwide: sources, methods and major patterns in GLOBOCAN 2012. *Int J Cancer*. 2015;136(5):E359-86.
21. Forman D, Bray F, Brewster D, Gombe Mbalawa C, Kohler B, Piñeros M, et al. Cancer Incidence in Five Continents Vol. X. IARC Scientific Publication No. 164. 2013. Available from: <http://www.iarc.fr/en/publications/pdfs-online/epi/sp164/> (accessed 10-12-2017).
22. Senft C, Franz K, Ulrich C, Bink A, Szelényi A, Gasser T, et al. Low field intraoperative MRI-guided surgery of gliomas: a single center experience. *Clin Neurol Neurosurg*. 2010;112(3):237-43.
23. McGirt M, Chaichana K, Gathinji M, Attenello F, Than K, Olivi A, et al. Independent association of extent of resection with survival in patients with malignant brain astrocytoma. *J Neurosurg*. 2009;110(1):156-62.
24. Stummer W, Reulen H, Meinel T, Pichlmeier U, Schumacher W, Tonn J, et al. Extent of resection and survival in glioblastoma multiforme: identification of and adjustment for bias. *Neurosurg*. 2008;62(3):564-76.
25. Stark A, van de Bergh J, Hedderich J, Mehdorn H, Nabavi A. Glioblastoma: clinical characteristics, prognostic factors and survival in 492 patients. *Clin Neurol Neurosurg*. 2012;114(7):840-5.
26. Theodoros D, Patel M, Ruzevick J, Lim M, Bettegowda C. Pituitary adenomas: historical perspective, surgical management and future directions. *CNS Oncol*. 2015;4(6):411-29.
27. Gao Y, Zhong C, Wang Y, Xu S, Guo Y, Dai C, et al. Endoscopic versus microscopic transsphenoidal pituitary adenoma surgery: a meta-analysis. *World J Surg Oncol*. 2014;11:12-94.
28. Flitsch J, Aberle J, Burkhardt T. Surgery for pediatric craniopharyngiomas: is less more? *J Pediatr Endocrinol Metab*. 2015;28(1-2):27-33.
29. Chourmouzi D, Papadopoulou E, Marias K DA. Imaging of brain tumors. *Surg Oncol Clin N Am*. 2014;23(4):629-84.

30. Choudhri A, Siddiqui A, Klimo PJ, Boop F. Intraoperative MRI in pediatric brain tumors. *Pediatr Radiol*. 2015;45(Suppl 3):397–405.
31. Arbizu J, Domínguez P, Diez-Valle R, Vigil C, García-Eulate R, Zubieta J, et al. Neuroimaging in brain tumors. *Rev Esp Med Nucl*. 2011;30(1):47–65.
32. Freyschlag CF DH. Awake brain mapping of cortex and subcortical pathways in brain tumor surgery. *J Neurosurg Sci*. 2014;58(4):199–213.
33. Orringer D, Golby A, Jolesz F. Neuronavigation in the surgical management of brain tumors: current and future trends. *Expert Rev Med Devices*. 2012;9(5):491–500.
34. Micko A, Wöhrer A, Wolfsberger S, Knosp E. Invasion of the cavernous sinus space in pituitary adenomas: endoscopic verification and its correlation with an MRI-based classification. *J Neurosurg*. 2015;122(4):803–11.
35. Quick-Weller J, Lescher S, Forster M, Konczalla J, Seifert V, Senft C. Combination of 5-ALA and iMRI in re-resection of recurrent glioblastoma. *Br J Neurosurg*. 2016;30(3):313–7.
36. Roder C, Bisdas S, Ebner F, Honegger J, Naegele T, Ernemann U, et al. Maximizing the extent of resection and survival benefit of patients in glioblastoma surgery: high-field iMRI versus conventional and 5-ALA-assisted surgery. *Eur J Surg Oncol*. 2014;40(3):297–304.
37. Ginat D, Swearingen B, Curry W, Cahill D, Madsen J, Schaefer P. 3 Tesla intraoperative MRI for brain tumor surgery. *J Magn Reson Imaging*. 2014;39(6):1357–65.
38. Lu J, Wu J, Yao C, Zhuang D, Qiu T, Hu X, et al. Awake language mapping and 3-Tesla intraoperative MRI-guided volumetric resection for gliomas in language areas. *J Clin Neurosci*. 2013;20(9):1280–7.
39. Incekara F, Olubiyi O, Ozdemir A, Lee T, Rigolo L, Golby A. The Value of Pre- and Intraoperative Adjuncts on the Extent of Resection of Hemispheric Low-Grade Gliomas: A Retrospective Analysis. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg*. 2016;77(2):79–87.

40. Zhang H, Wang F, Zhou T, Wang P, Chen X, Zhang J, et al. Analysis of 137 Patients Who Underwent Endoscopic Transsphenoidal Pituitary Adenoma Resection Under High-Field Intraoperative Magnetic Resonance Imaging Navigation. *World Neurosurg.* 2017;104:802–15.
41. García S, Reyes L, Roldán P, Torales J, Halperin I, Hanzu F, et al. Does Low-Field Intraoperative Magnetic Resonance Improve the Results of Endoscopic Pituitary Surgery? Experience of the Implementation of a New Device in a Referral Center. *World Neurosurg.* 2017;102:102–10.
42. Serra C, Burkhardt J, Esposito G, Bozinov O, Pangalu A, Valavanis A, et al. Pituitary surgery and volumetric assessment of extent of resection: a paradigm shift in the use of intraoperative magnetic resonance imaging. *Neurosurg Focus.* 2016;40(3):E17.
43. Roder C, Breikopf M, Bisdas S, Freitas R, Dimostheni A, Ebinger M, et al. Beneficial impact of high-field intraoperative magnetic resonance imaging on the efficacy of pediatric low-grade glioma surgery. *Neurosurg Focus.* 2016;40(3):E13.
44. Giordano M, Samii A, Lawson McLean A, Bertalanffy H, Fahlbusch R, Samii M, et al. Intraoperative magnetic resonance imaging in pediatric neurosurgery: safety and utility. *J Neurosurg Pediatr.* 2017;19(1):77–84.
45. Giordano M, Arraez C, Samii A, Samii M, Di Rocco C. Neurosurgical tools to extend tumor resection in pediatric hemispheric low-grade gliomas: iMRI. *Childs Nerv Syst.* 2016;32(10):1915–22.
46. Scherer M, Jungk C, Younsi A, Kickingereeder P, Müller S, Unterberg A. Factors Triggering Additional Resections and Determining Residual Tumor Volume on Intraoperative MRI. *Neurosurg Focus.* 2016;40(3):E4.
47. Coburger J, Segovia von Riehm J, Ganslandt O, Wirtz C, Renovanz M. Is There an Indication for Intraoperative MRI in Subtotal Resection of Glioblastoma? A Multicenter Retrospective Comparative Analysis. *World Neurosurg.* 2018;110:e389–97.

48. Rao G. Intraoperative MRI and Maximizing Extent of Resection. *Neurosurg Clin N Am.* 2017;28(4):477–85.
49. Suero E, Schipmann S, Stummer W. Maximizing safe resections: the roles of 5-aminolevulinic acid and intraoperative MR imaging in glioma surgery—review of the literature. *Neurosurg Rev.* 2017;18.
50. Nickel K, Renovanz M, König J, Stöckelmaier L, Hickmann A, Nadji-Ohl M, et al. The patients' view: impact of the extent of resection, intraoperative imaging, and awake surgery on health-related quality of life in high-grade glioma patients—results of a multicenter cross-sectional study. *Neurosurg Rev.* 2018;41(1):207–19.
51. Fukui A, Muragaki Y, Saito T, Maruyama T, Nitta M, Ikuta S, et al. Volumetric Analysis Using Low-Field Intraoperative Magnetic Resonance Imaging for 168 Newly Diagnosed Supratentorial Glioblastomas: Effects of Extent of Resection and Residual Tumor Volume on Survival and Recurrence. *World Neurosurg.* 2017;98:73–80.
52. Ghinda D, Zhang N, Lu J, Yao C-J, Yuan S, Wu J-S. Contribution of combined intraoperative electrophysiological investigation with 3-T intraoperative MRI for awake cerebral glioma surgery: comprehensive review of the clinical implications and radiological outcomes. *Neurosurg Focus.* 2016;40(3):E14.
53. Motomura K, Natsume A, Iijima K, Kuramitsu S, Fujii M, Yamamoto T, et al. Surgical benefits of combined awake craniotomy and intraoperative magnetic resonance imaging for gliomas associated with eloquent areas. *J Neurosurg.* 2017;127(4):790–7.
54. Breitung M, Bisdas S, Liebsch M, Behling F, Bender B, Tatagiba M, et al. Safety, Utility, and Clinical Results of Continuous Intraoperative Electrophysiologic Monitoring in 1.5T iMRI-Guided Surgery. *World Neurosurg.* 2017;106:198–205.
55. Roldán P, García S, González J, Reyes L, Torales J, Valero R, et al. Resonancia

- magnética intraoperatoria de bajo campo para la cirugía de neoplasias cerebrales: experiencia preliminar. *Neurocirugia*. 2017;28(3):103–10.
56. Ashour R, Reintjes S, Park M, Sivakanthan S, van Loveren H, Agazzi S. Intraoperative Magnetic Resonance Imaging in Skull Base Surgery: A Review of 71 Consecutive Cases. *World Neurosurg*. 2016;93:183–90.
57. Pal'a A, Knoll A, Brand C, Etzrodt-Walter G, Coburger J, Wirtz C, et al. The Value of Intraoperative Magnetic Resonance Imaging in Endoscopic and Microsurgical Transsphenoidal Pituitary Adenoma Resection. *World Neurosurg*. 2017;102:144–50.
58. Coburger J, Scheuerle A, Pala A, Thal D, Wirtz C, König R. Histopathological Insights on Imaging Results of Intraoperative Magnetic Resonance Imaging, 5-Aminolevulinic Acid, and Intraoperative Ultrasound in Glioblastoma Surgery. *Neurosurg*. 2017;81(1):165–74.
59. Coburger J, Nabavi A, König R, Wirtz C, Pala A. Contemporary use of intraoperative imaging in glioma surgery: A survey among EANS members. *Clin Neurol Neurosurg*. 2017;163:133–41.