

Innovaciones en Resonancia Magnética: Potencial de la Espectroscopia Multivoxel

Innovations in Magnetic Resonance Imaging: Potential of Multivoxel Spectroscopy

Cristian Carlos Guerci, ✉ Facundo Correa. ✉

Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad Abierta Interamericana. Argentina.


Como citar: Guerci CC, Correa F. Innovaciones en Resonancia Magnética: Potencial de la Espectroscopia Multivoxel. NeuroTarget. 2024;18(1):32-36.
Disponible en: <https://neurotarget.com/index.php/nt/article/view/455>

Recibido: 02-03-2024

Revisado: 06-04-2024

Aceptado: 21-05-2024

Publicado: 05-06-2024

Editor: Dr. Nelson Quintanal Cordero. 

Resumen

Introducción: La espectroscopia multivoxel en resonancia magnética (ERM) emerge como una técnica innovadora en la identificación de lesiones neurológicas, permitiendo un análisis químico detallado y una resolución espacial superior. Este estudio se propone demostrar las ventajas de esta tecnología, particularmente en el diagnóstico de condiciones tales como infartos cerebrales, tumores y desórdenes metabólicos. A través de una revisión exhaustiva de la literatura y un análisis crítico de casos, la investigación busca proporcionar un marco para la mejora de investigaciones futuras, enfatizando en la importancia de la ERM en el campo médico.

Material y métodos: La investigación se basó en una metodología de revisión y análisis de casos seleccionados. Se realizó una búsqueda sistemática en bases de datos especializadas para recopilar artículos y estudios pertinentes. La información obtenida se combinó y analizó críticamente.

Resultados: La ERM es una técnica avanzada que brinda información detallada sobre la composición química del cerebro, ofreciendo una resolución espacial mejorada y una cobertura anatómica más amplia, lo cual es crucial para la identificación precisa de lesiones neurológicas como infartos, tumores y trastornos metabólicos. Su aplicación es fundamental en el diagnóstico médico, permitiendo la evaluación detallada de los metabolitos cerebrales y la correlación de los cambios metabólicos con ubicaciones anatómicas específicas, lo que la diferencia de otras modalidades de neuroimagen que miden la actividad cerebral de manera indirecta.

Conclusión: La ERM se ha establecido como un avance significativo en la neuroimagen, gracias a su capacidad para analizar la composición química del tejido cerebral de manera detallada. Derivada de la resonancia magnética nuclear (RMN), la ERM se apoya en la alineación de núcleos atómicos en respuesta a campos magnéticos y radiofrecuencias, permitiendo la adquisición de espectros de múltiples unidades volumétricas o voxels, que ofrecen una resolución espacial precisa correlacionando cambios metabólicos con ubicaciones anatómicas específicas. Este desarrollo tecnológico, con mejoras en la potencia del imán y sensibilidad de los detectores, ha optimizado la resolución espacial y los tiempos de adquisición, haciendo de la ERM una herramienta esencial en la investigación cerebral para el diagnóstico y seguimiento de afecciones neurológicas, incluyendo la detección y caracterización de tumores cerebrales y enfermedades neurodegenerativas, donde los cambios metabólicos pueden preceder a los cambios estructurales visibles en imágenes convencionales.

Palabras Clave: Espectroscopia de Resonancia Magnética; Neuroimagen; Neoplasias Cerebrales; Infarto Cerebral; Enfermedades Metabólicas.

Abstract

Background: Multivoxel Magnetic Resonance Spectroscopy (MRS) has emerged as a cutting-edge technique in the neuroimaging field. Its unique capability to provide detailed chemical analysis of brain tissue has significant clinical utility, including the differentiation of various types of brain tumors through distinctive spectroscopic profiles, such as choline presence in gliomas or lactate peaks in highly aggressive tumors, as well as the early detection of neurodegenerative diseases, where metabolic changes often precede structural changes visible in conventional MRI images.

Material and methods: The investigation was grounded on a systematic review methodology, coupled with a critical analysis of selected case studies. A comprehensive database search was conducted to accumulate relevant articles and studies, which were then synthesized and critically examined for in-depth analysis.

Results: MRS provides unparalleled insight into the chemical composition of brain tissue, differentiating itself from other neuroimaging techniques such as Positron Emission Tomography (PET) and functional MRI (fMRI), which indirectly measure brain activity via blood flow or glucose consumption. MRS is instrumental in elucidating the biochemical processes underpinning neurological diseases by identifying and quantifying specific metabolites. **Conclusion:** Despite its numerous benefits, the implementation of MRS faces technical and practical challenges, including artifacts from magnetic field inhomogeneity or patient movement that can affect spectrum quality, and the requirement of substantial expertise for spectroscopic data interpretation, which confines its use to specialized centers. Addressing these obstacles is crucial for the broader adoption of this technology in clinical settings.

Keywords: Magnetic Resonance Spectroscopy; Neuroimaging; Brain Neoplasms; Cerebral Infarction; Metabolic Diseases.

Introducción

El avance continuo en las técnicas de neuroimagen es esencial para mejorar el diagnóstico y tratamiento de lesiones neurológicas, que representan una significativa carga para la salud pública y la investigación médica. La espectroscopia multivoxel en resonancia magnética (ERM) surge como una herramienta prometedora que proporciona una perspectiva avanzada y detallada de la composición química del tejido cerebral. Este estudio se centra en la ERM debido a su capacidad única para determinar la composición química de los tejidos, mejorar la resolución espacial y la cobertura anatómica, permitiendo así una identificación más precisa de áreas patológicas como infartos cerebrales, tumores y trastornos metabólicos.

En el contexto de los trastornos neurológicos, la ERM multivoxel ha demostrado ser una técnica valiosa, con una utilidad clínica que abarca desde la detección y caracterización de tumores hasta el diagnóstico de enfermedades metabólicas y trastornos degenerativos. Su capacidad para revelar la composición química de los tejidos aporta una dimensión adicional al diagnóstico, más allá de lo que las imágenes convencionales ofrecen.

A pesar de sus ventajas, la ERM multivoxel no está exenta de desafíos; la interpretación de los datos espectroscópicos es compleja y requiere una considerable experiencia, limitando su uso a centros especializados.

Además, existe una necesidad de estandarización en los protocolos y de formación profesional para permitir una adopción más amplia de esta tecnología. La hipótesis de este estudio es que la ERM multivoxel, con su capacidad mejorada para determinar la composición química del cerebro, puede ofrecer un diagnóstico más preciso de las lesiones neurológicas en comparación con otras modalidades de neuroimagen. El objetivo principal es evaluar las ventajas y limitaciones de la ERM multivoxel para mejorar la precisión diagnóstica y potencialmente influir en las decisiones terapéuticas en el manejo de las enfermedades neurológicas.

Materiales y métodos

Criterios de Inclusión y Exclusión:

Inclusión: Estudios publicados en los idiomas inglés o español en los últimos 5 años que utilicen ERM para el diagnóstico neurológico.

Exclusión: Estudios que no se enfoquen en aplicaciones neurológicas o que no utilicen ERM como herramienta principal.

Selección y Tamaño de la Muestra: No aplica un tamaño de muestra específico ya que es una revisión bibliográfica y un análisis de casos.

La selección de estudios se basa en criterios de inclusión y exclusión.

Planificación para la Recolección de los Datos: Se realizó una búsqueda sistemática en bases de datos especializadas como PubMed, Scopus y Web of Science.

Se seleccionaron estudios basados en los criterios de inclusión y exclusión y se extrajeron los datos relevantes para el análisis.

Ámbito del Estudio: El estudio cubrió una amplia gama de aplicaciones clínicas de la ERM en el diagnóstico de enfermedades neurológicas y no se limitó a una región geográfica específica.

Descripción Operacional de las Variables:

Variables principales: Utilidad diagnóstica, precisión en la identificación de lesiones neurológicas, beneficios y limitaciones técnicas.

Tipo de variables: Cuantitativas y cualitativas (precisión diagnóstica, resolución espacial).

Instrumentos para Recolección de los Datos:

Técnicas e instrumentos: Revisión sistemática de la literatura, análisis de contenido, comparación de resultados y síntesis de información.

Plan de Análisis de los Datos: Se utilizaron métodos y técnicas estadísticas para analizar los datos recolectados.

Variables específicas como la precisión diagnóstica de la ERM y características técnicas fueron evaluadas.

Tablas y Diagramas:

Tablas de resumen de estudios y características técnicas de ERM.

Gráficos de comparación de precisión diagnóstica entre ERM y otras modalidades de imagen para diferentes enfermedades neurológicas.

Este protocolo establece una estructura para llevar a cabo una investigación sistemática y crítica, proporcionando un marco para evaluar el potencial de la Espectroscopia Multivoxel en el campo de la neurología.

Resultados

El protocolo de investigación "Innovaciones en RM: Potencial de la Espectroscopia Multivoxel", liderado por Cristian Carlos Guerci con la tutoría de Facundo Correa, investiga la aplicación de la espectroscopia multivoxel en resonancia magnética para el diagnóstico de lesiones neurológicas. Este estudio resalta cómo la ERM aprovecha la resonancia única de moléculas para determinar la composición química de los tejidos, ofreciendo una herramienta diagnóstica avanzada para identificar enfermedades como infartos cerebrales, tumores y trastornos metabólicos. La metodología se basa en una revisión y análisis exhaustivos de casos seleccionados a través de una búsqueda sistemática en bases de datos especializadas.

El marco teórico subraya la utilidad clínica de la ERM, no solo en la detección y caracterización de tumores sino también en el diagnóstico precoz de enfermedades metabólicas y neurodegenerativas, destacando su capacidad

para detectar cambios metabólicos antes de que se manifiesten cambios estructurales en las imágenes convencionales.⁴ A diferencia de otras técnicas como la Tomografía por Emisión de Positrones (PET) o la Resonancia Magnética de Imágenes funcional (fMRI), la ERM proporciona información directa sobre la composición química del cerebro, lo que la convierte en una herramienta esencial en la neurología.

Sin embargo, la implementación de la ERM enfrenta desafíos técnicos significativos, como artefactos causados por la inhomogeneidad del campo magnético o movimientos del paciente, y la complejidad en la interpretación de los datos espectroscópicos, que requiere experiencia especializada y limita su uso a centros altamente especializados. Para superar estos obstáculos y ampliar la adopción de la ERM, es crucial la estandarización de protocolos y la formación profesional en este ámbito, lo que minimizaría errores en la adquisición y análisis de datos y expandiría la competencia en el uso efectivo de esta técnica avanzada.

Discusión

En el campo de la neuroimagen, la introducción de nuevas tecnologías siempre genera debates interesantes sobre su eficacia, ventajas y limitaciones. La espectroscopia multivoxel en resonancia magnética es una herramienta prometedora para el diagnóstico y tratamiento de una variedad de lesiones neurológicas debido a su capacidad para proporcionar una visión detallada de la composición química del tejido cerebral.¹ Sin embargo, para que la ERM sea ampliamente utilizada en la práctica clínica,² deben abordarse algunos desafíos.

La complejidad de la interpretación de los datos espectroscópicos es uno de los puntos más notables.³ Aunque la ERM ofrece información detallada sobre la composición química del cerebro, su interpretación requiere un alto nivel de experiencia y capacitación especializada, lo que limita su disponibilidad a centros altamente especializados. Este aspecto plantea preguntas sobre la necesidad de programas de formación continua y certificación para profesionales de la salud que deseen utilizar esta tecnología, así como la importancia de establecer estándares de interpretación para garantizar la precisión y fiabilidad de los diagnósticos.⁴

La necesidad de estandarización de los protocolos de adquisición de datos es otro punto importante.⁵ Es fundamental establecer protocolos estandarizados que minimicen la variabilidad entre estudios y centros, ya que la calidad de los resultados de la ERM puede variar según los parámetros de adquisición utilizados. Esto facilitaría la comparación y replicación de estudios, lo que es esencial para el progreso de la investigación en este campo.

La calidad de las imágenes obtenidas depende de la superación de problemas técnicos como artefactos causados por la inhomogeneidad del campo magnético o movimientos del paciente. La mejora de la calidad de la imagen y la reducción de artefactos pueden aumentar significativamente

la utilidad clínica de la ERM gracias a avances en tecnología de hardware y software.⁶ La ERM tiene un gran potencial para el diagnóstico precoz y preciso de una variedad de enfermedades neurológicas,⁷ como tumores cerebrales, infartos y trastornos metabólicos,⁸ en términos de aplicaciones clínicas.⁹ La capacidad de detectar cambios metabólicos antes de que se manifiesten cambios estructurales en las imágenes convencionales ofrece una ventaja significativa en la detección temprana y el seguimiento de la progresión de estas enfermedades.¹⁰ Es importante destacar que la ERM no reemplaza por completo a otras modalidades de neuroimagen, como la tomografía computarizada (TC) o la fMRI, sino que las complementa al proporcionar información adicional sobre la composición química del tejido cerebral.¹¹ En conclusión, la espectroscopia multivoxel en resonancia magnética tiene el potencial de revolucionar el diagnóstico y tratamiento de enfermedades neurológicas; sin embargo, para que se utilice con éxito, es necesario abordar problemas técnicos, establecer estándares de calidad y promover la capacitación especializada en su uso.¹² Con el avance continuo en tecnología e investigación,¹³ es probable que la ERM sea cada vez más importante en la práctica clínica,¹⁴ mejorando la precisión diagnóstica y contribuyendo a mejores resultados para los pacientes con enfermedades neurológicas.¹⁵ Por lo tanto, para el diagnóstico y manejo clínico de pacientes con sospecha de enfermedad, la evaluación precisa de lesiones es fundamental. En este contexto, tanto la Resonancia Magnética (MRI) como la Espectroscopia Multivoxel por Resonancia Magnética han surgido como técnicas prometedoras para mejorar la precisión del diagnóstico. Ambos métodos han demostrado ser útiles para evaluar lesiones. Se ha considerado que la resonancia magnética nuclear es una técnica de referencia en este campo porque puede proporcionar imágenes de alta resolución con detalles anatómicos y de contraste mejorados.¹⁶ Por el contrario, la Espectroscopia Multivoxel por Resonancia Magnética proporciona información metabólica detallada sobre las lesiones, lo que puede complementar las imágenes morfológicas obtenidas mediante resonancia magnética nuclear. Al proporcionar información sobre la composición bioquímica de los tejidos, la espectroscopia multivoxel tiene el potencial de mejorar la especificidad en el diagnóstico de lesiones mamarias. Esto puede ser particularmente beneficioso en situaciones en las que las imágenes de resonancia magnética puedan ser ambiguas o insuficientes. Se ha observado que tiene un valor predictivo negativo o VPN de MRI alto, lo que indica que puede excluir de manera segura la malignidad en las lesiones mamarias. Sin embargo, la Espectroscopia Multivoxel por Resonancia Magnética ha demostrado resultados prometedores en la mejora de la especificidad, lo que podría contribuir a reducir la tasa de falsos positivos y reducir la necesidad de procedimientos invasivos adicionales.¹⁷ Sin embargo, la actividad celular y el estado metabólico de las lesiones pueden ser reveladas por la capacidad de la Espectroscopia Multivoxel por Resonancia Magnética para medir los niveles

Aspecto	Tomografía Multivoxel (TMV)	Resonancia Magnética (RM)
Principio de funcionamiento	Utiliza rayos X para generar imágenes tridimensionales de secciones transversales del cuerpo.	Emplea campos magnéticos y ondas de radio para crear imágenes detalladas de tejidos blandos y estructuras anatómicas.
Calidad de la imagen	Las imágenes pueden ser de alta resolución, pero la calidad puede variar dependiendo del área de interés y de la técnica utilizada.	Proporciona imágenes muy detalladas y de alta resolución, especialmente para tejidos blandos, nervios y vasos sanguíneos.
Tiempo de adquisición	La TMV puede ser rápida en comparación con la RM, pero sigue siendo relativamente lenta en comparación con otras técnicas de imagen.	El tiempo de adquisición puede variar, pero la RM tiende a ser más lenta que la TMV, especialmente para estudios detallados.
Sensibilidad a tejidos	Buena para detectar calcificaciones y algunos tipos de tejidos, pero menos sensible a ciertos tejidos blandos.	Excelente para distinguir entre diferentes tipos de tejidos blandos y para detectar anomalías como tumores, lesiones y cambios patológicos.
Precisión / Sensibilidad	Menos sensible para la diferenciación de tejidos blandos en comparación con la RM.	Alta precisión y sensibilidad para la diferenciación de tejidos blandos y detección de anomalías.
Exposición a la radiación	Implica una exposición a radiación ionizante, lo que puede ser una preocupación en términos de riesgos para la salud, especialmente con múltiples exploraciones.	No utiliza radiación ionizante, lo que la hace más segura en términos de exposición del paciente.
Aplicaciones clínicas	Utilizada principalmente en neuroimagen y oncología, aunque también puede ser útil para otros estudios de órganos.	Ampliamente utilizada en una variedad de campos, incluyendo neurología, ortopedia, cardiología, etc.
Contraste	Puede requerir el uso de agentes de contraste para resaltar ciertas estructuras o funciones.	Puede utilizarse con o sin agentes de contraste, dependiendo de la información deseada y las condiciones clínicas del paciente.
Costo	Suele ser menos costosa que la RM.	Puede ser más costosa que la TMV, dependiendo de la instalación y el equipo utilizado.

Tabla 1: Comparación Tomografía Multivoxel y MRI.

de metabolitos particulares, como la colina. Esto puede ayudar a distinguir entre tejidos benignos y malignos y ayudar a caracterizar las lesiones de manera más precisa. La Espectroscopía Multivoxel por Resonancia Magnética puede mejorar la especificidad del diagnóstico al proporcionar información bioquímica detallada, lo que puede reducir el riesgo de falsos positivos y minimizar la necesidad de biopsias innecesarias. Sin embargo, la Espectroscopía Magnética Multivoxel puede utilizarse como sustituto de las imágenes de MRI convencionales, lo que permite una evaluación más completa y precisa de las lesiones mamarias.

La combinación de datos metabólicos y morfológicos puede mejorar la precisión de los diagnósticos y la capacidad de tomar decisiones clínicas.¹⁸ (tabla 1).

Por último, pero no menos importante, la Espectroscopía Multivoxel por Resonancia Magnética se presenta como un método prometedor para evaluar las lesiones mamarias. Ofrece información metabólica detallada que puede mejorar la especificidad del diagnóstico y complementar las imágenes de MRI convencionales. Sin embargo, se necesitan estudios adicionales para confirmar su utilidad clínica y determinar su lugar en el algoritmo diagnóstico estándar de

enfermedades mamarias. (Ilustración 1)

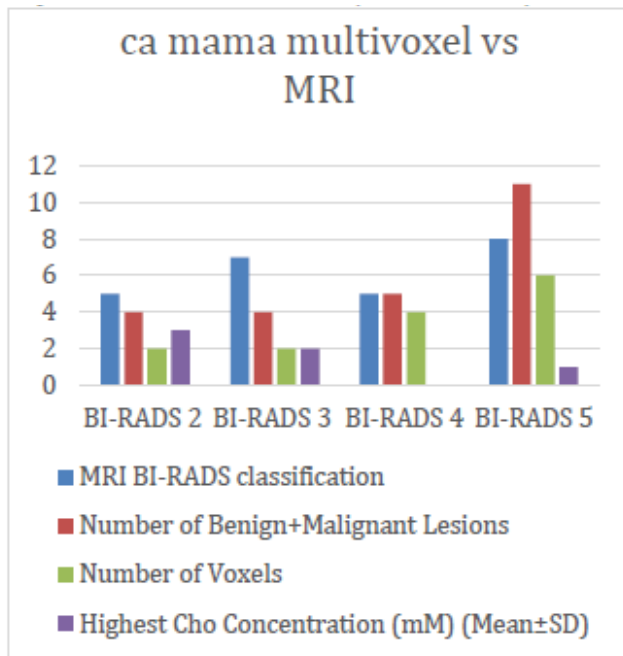


Ilustración1: CA mama, diagnóstico por Multivoxel y MRI

Conflictos de interés

El autor declara explícitamente no poseer ningún conflicto de interés en el presente trabajo.

Bibliografía

- Surur A, Cabral JF, Marangoni A, Marchegiani S, Palacios C, Herrera E, et al. Aportes de la espectroscopía por resonancia magnética en las lesiones cerebrales. 2010.
- Liang MZ, Tang Y, Chen P, Tang XN, Knobf MT, Hu GY, et al. Brain connectomics improve prediction of 1year decreased quality of life in breast cancer: A multi-voxel pattern analysis. *Eur J Oncol Nurs Off J Eur Oncol Nurs Soc.* febrero de 2024;68:102499.
- Li J, Guo B, Cui L, Huang H, Meng M. Dissociated modulations of multivoxel activation patterns in the ventral and dorsal visual pathways by the temporal dynamics of stimuli. *Brain Behav.* 4 de junio de 2020;10(7):e01673.
- Tal A, Zhao T, Schirda C, Hetherington HP, Pan JW, Gonen O. Fast, regional three-dimensional hybrid (1D-Hadamard 2D-rosette) proton MR spectroscopic imaging in the human temporal lobes. *NMR Biomed.* junio de 2021;34(6):e4507.
- Collins GS, Reitsma JB, Altman DG, Moons KGM. Transparent reporting of a multivariable prediction model for individual prognosis or diagnosis (TRIPOD): the TRIPOD statement. *BMJ.* 2015;350:g7594-g7594.
- Mangalore S, Kumar M, Pal P, Saini J, Pasha S, Yadav R. Role of Multivoxel MR Spectroscopy Progressive Supranuclear Palsy-A Preliminary Study. *Neurol India.* 2022;70(6):2388.
- Okamoto K, Watanabe H, Umeda M, Oda M, Kanamatsu T, Tsukada Y, et al. Multivoxel Metabolic Rate Measurement in Human Brain Following Oral Administration of [113 C] glucose with 2-T Highly Sensitive 13 C-MRS System.
- Fayed Miguel N, Morales Ramos H, Modrego Pardo PJ. Resonancia magnética con espectroscopia, perfusión y difusión cerebral en el diagnóstico de los tumores cerebrales. *Rev Neurol.* 2006;42(12):735.
- Neural representations of haptic object size in the human brain revealed by multivoxel fMRI patterns [Internet]. [citado 28 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://journals.physiology.org/doi/epdf/10.1152/jn.0016.2020>
- Doose A, Tam FI, Hellerhoff I, King JA, Boehm I, Gottloeber K, et al. Triangulating brain alterations in anorexia nervosa: a multimodal investigation of magnetic resonance spectroscopy, morphometry and bloodbased biomarkers. *Transl Psychiatry.* 12 de agosto de 2023;13:277.
- Christidi F, Karavasilis E, Argyropoulos GD, Velonakis G, Zouvelou V, Murad A, et al. Neurometabolic Alterations in Motor Neuron Disease: Insights from Magnetic Resonance Spectroscopy. *J Integr Neurosci.* 24 de abril de 2022;21(3):87.
- Verburg N, Koopman T, Yaqub MM, Hoekstra OS, Lammertsma AA, Barkhof F, et al. Improved detection of diffuse glioma infiltration with imaging combinations: a diagnostic accuracy study. *Neuro-Oncol.* marzo de 2020;22(3):412-22.
- Multiparametric MR Imaging of Diffusion and Perfusion in Contrastenhancing and Nonenhancing Components in Patients with Glioblastoma [Internet]. [citado 28 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://pubs.rsna.org/doi/epdf/10.1148/radiol.2017160150>
- Majós C. Espectroscopia por resonancia magnética de protón en el diagnóstico de tumores cerebrales. *Radiología.* enero de 2005;47(1):1-12.
- Taschereau-Dumouchel V, Kawato M, Lau H. Multivoxel pattern analysis reveals dissociations between subjective fear and its physiological correlates. *Mol Psychiatry.* 2020;25(10):2342-54.
- Nelson SJ. Analysis of volume MRI and MR spectroscopic imaging data for the evaluation of patients with brain tumors. *Magn Reson Med.* 2001;46(2):228-39.
- Li BSY, Gonen O. Multivoxel 1HMRS to the Edge of the Human Brain: Intrinsic Lipids Suppression at High Magnetic Fields.
- Dorrius MD, Pijnappel RM, van der Weide Jansen MC, Jansen L, Kappert P, Oudkerk M, et al. The added value of quantitative multi-voxel MR spectroscopy in breast magnetic resonance imaging. *Eur Radiol.* 2012;22(4):915-22.