

# ESPECTROSCOPIA POR RESONANCIA MAGNÉTICA

## Parte 1

### Historia

La Espectroscopia por Resonancia Magnética (ERM) es un método de análisis clásicamente utilizado en la química que permite la identificación y cuantificación de los metabolitos en las muestras. Se diferencia de la imagen convencional de resonancia magnética (RM) en que los espectros proporcionan información fisiológica y química en lugar de información anatómica.

La Resonancia Magnética por imágenes y la ERM tienen su origen en la Resonancia Magnética Nuclear (RMN) que fue descrita por primera vez en 1946 simultáneamente por los ganadores del Premio Nobel Edward Purcell, de la Universidad de Harvard, y Felix Bloch, de la Universidad de Stanford. En ese momento, la RMN era utilizada sólo por los físicos para la determinación de los momentos magnéticos de los núcleos atómicos. Fue sólo a mediados de 1970 que comenzó la RMN a ser utilizada en vivo, después de Lauterbur, Mansfield y Grannell quienes introducen el gradiente de campo magnético que les permite determinar la ubicación de la señal emitida. La RMN en vivo

pasó a llamarse Resonancia Magnética (RM) debido a que el término "nuclear" estaba erróneamente asociado con la medicina nuclear. Durante la década de 1980, los primeros equipos médicos de resonancia magnética estuvieron disponibles para uso clínico. Desde entonces, se han realizado mejoras especialmente relacionadas con la intensidad de campo superior. El uso actual de la espectroscopia por RM implica una gran cantidad de técnicas y su uso es predominante en la neuroimagen para complementar los datos anatómicos proporcionados por las secuencias convencionales de RM.

### Bases Físicas

Se utilizan los protones de hidrógeno y carbono que son los átomos más comunes en la mayoría de los tejidos humanos. El isótopo de hidrógeno es el más común, se aproxima al 100%, y además la intensidad de la señal inherente del protón es excelente. Estas dos últimas razones contribuyen a determinar una señal más fuerte, al menos en comparación con otros átomos e isótopos. Por lo tanto, el isótopo de hidrógeno se convirtió

en el caballo de batalla de la espectroscopia por RM.

Hay diferentes intensidades de campo de uso clínico para RM convencional, que van desde 0,2 a 3T. Dado que el objetivo principal de RMS es la detección de señales débiles de los metabolitos, es necesario un campo de fuerza mayor (1.5T o más).

La ERM se basa en las propiedades isoeléctricas del átomo de hidrógeno. Cuando un tejido se expone a un campo magnético externo, sus núcleos resonarán a una frecuencia ( $f$ ) que viene dada por la ecuación de Larmor.

Las interacciones de los campos eléctricos de estos núcleos con las moléculas circundantes causan un cambio en el campo magnético local que conduce a una modificación en la frecuencia de giro del átomo. El valor de esta diferencia en la frecuencia de resonancia se llama desplazamiento químico y proporciona información sobre las moléculas que contienen hidrógeno expresándose en partes por millón (ppm). La posición de desplazamiento químico de un núcleo es independiente de la intensidad de campo. La colina, por ejemplo, se posicionará en 3.22 ppm a 1.5T o 7T.

Los picos que se observan en el espectro de RM están representados en el eje X por un valor que corresponde a la frecuencia del metabolito en ppm de acuerdo con el desplazamiento químico mientras que en el eje Y por un valor que corresponde a la amplitud de pico de ese metabolito.

### Secuencias

La adquisición de un solo voxel es generalmente cúbica y comprende 2 a 3 cc de volumen (fig. 1). Otra forma de exploración disponible es la técnica multivoxel y sus variantes 2d y 3D que pueden analizar en una misma adquisición áreas más extensas del cerebro siendo el tamaño del voxel del orden de los 0,5 a 1 cc.

Las secuencias de tiempo de eco largo tienden a proporcionar una mejor definición de los picos (menos ruido) respecto de las secuencias de tiempo de eco corto, sin embargo hay varias moléculas que se detectan mejor con imágenes de tiempo de eco corto, sobre todo el mioinositol.

### Equipo

Teóricamente cualquier equipo de RM con magneto de alto campo puede ser utilizado para realizar la espectroscopia. Típicamente se utilizan equipos de RM de 1,5 y 3 Tesla. Cuanto mayor sea la potencia del imán, más fácil será discernir los metabolitos presentes en la muestra, dado que la separación entre ellos es mayor (fig. 1).

### Preparación del paciente

No se requiere preparación específica adicional del paciente más allá que para el examen de RM convencional.

### Tiempo

El tiempo necesario para realizar las secuencias adicionales de la espectroscopia por RM es variable, pero los sistemas más modernos de RM pueden realizar una exploración de rutina adecuada en 3 a 5 minutos. Aunque hay que considerar que en algunas situaciones clínicas, es necesario realizar va-

rias exploraciones, es decir utilizar varios voxels exploración, con lo cual el tiempo de adquisición puede ser mayor.

### Controversias de la técnica

La adquisición antes o después de la administración de contraste?

En general, es preferible que la espectroscopia por RM sea realizada antes de la administración del material de contraste. Los resultados de la espectroscopia por RM podrían estar sesgados por la presencia de material de contraste y por lo tanto ser potencialmente engañosa. A efectos prácticos, este sesgo potencial no se ha demostrado, por lo que esto sigue siendo un tema controvertido. En muchos casos, sin embargo, cuando es de interés clínico un área en particular la ERM se realiza mejor después del medio de contraste para localizar áreas donde la barrera hematoencefálica está alterada.

Técnicas de voxel único vs multivoxel:

Por lo general la utilización de una

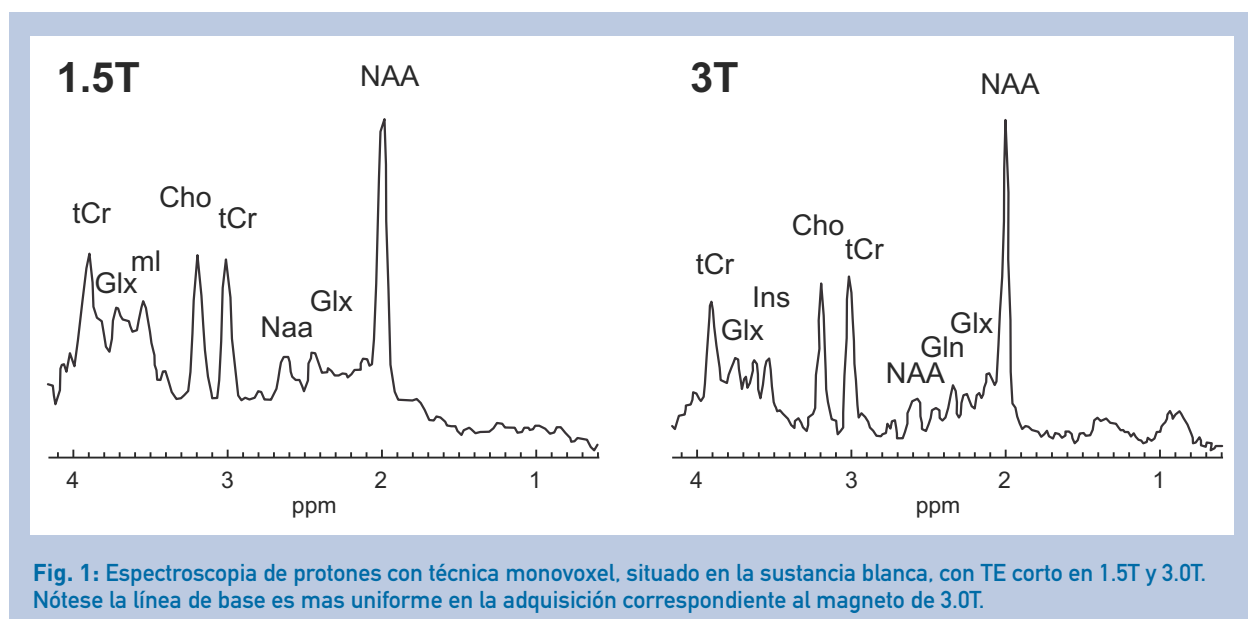
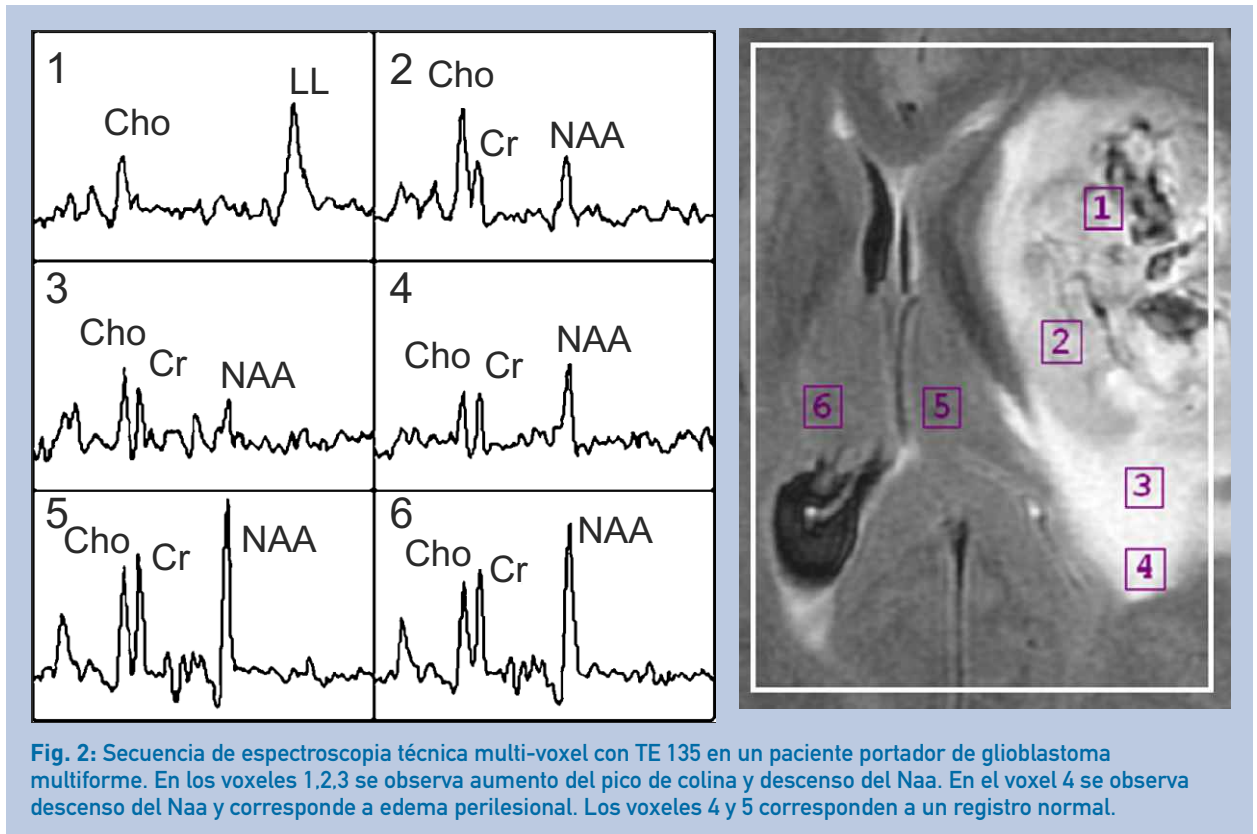


Fig. 1: Espectroscopia de protones con técnica monovoxel, situado en la sustancia blanca, con TE corto en 1.5T y 3.0T. Nótese la línea de base es mas uniforme en la adquisición correspondiente al magneto de 3.0T.



técnica u otra se decide de acuerdo a la historia clínica.

Por ejemplo, se puede utilizar un solo voxel situado en el núcleo lenticular o centro semioval, para evaluar posibles trastornos metabólicos. Sin embargo en un paciente con un tumor cerebral postoperatorio y post-radiación, también se puede realizar un solo voxel centrado si hay un área particular de interés, tales como un nódulo nuevo en el margen de la cavidad de resección (fig. 2). Por otra parte, se puede llevar a cabo la técnica de multi-voxel para estudiar un tumor recurrente o progresivo sobre un área de parénquima cerebral de apariencia normal en las secuencias convencionales.

### Caracterización e interpretación de los picos de espectroscopia

Los metabolitos tienen una posi-

ción particular en el espectro y pueden diferenciarse por las partes por millón (fig. 3).

La interpretación en la práctica clínica habitual comprende una evaluación cualitativa de los picos, comparados con un registro testigo contralateral. Si bien existen métodos para la cuantificación de la concentración de los metabolitos, es necesaria la ayuda de personal especializado (físico-médico).

Los registros de espectroscopia se deben interpretar en conjunto con las imágenes de RM convencionales y la historia clínica.

#### Mioinositol (MI): 3,56 ppm

Esto se cree que es un osmolito que se encuentra principalmente en los astrocitos. Se ha observado que el mioinositol es relativamente mayor en gliomas de bajo grado y menor en tumores de grado superior, tales como astrocitoma anaplásico y

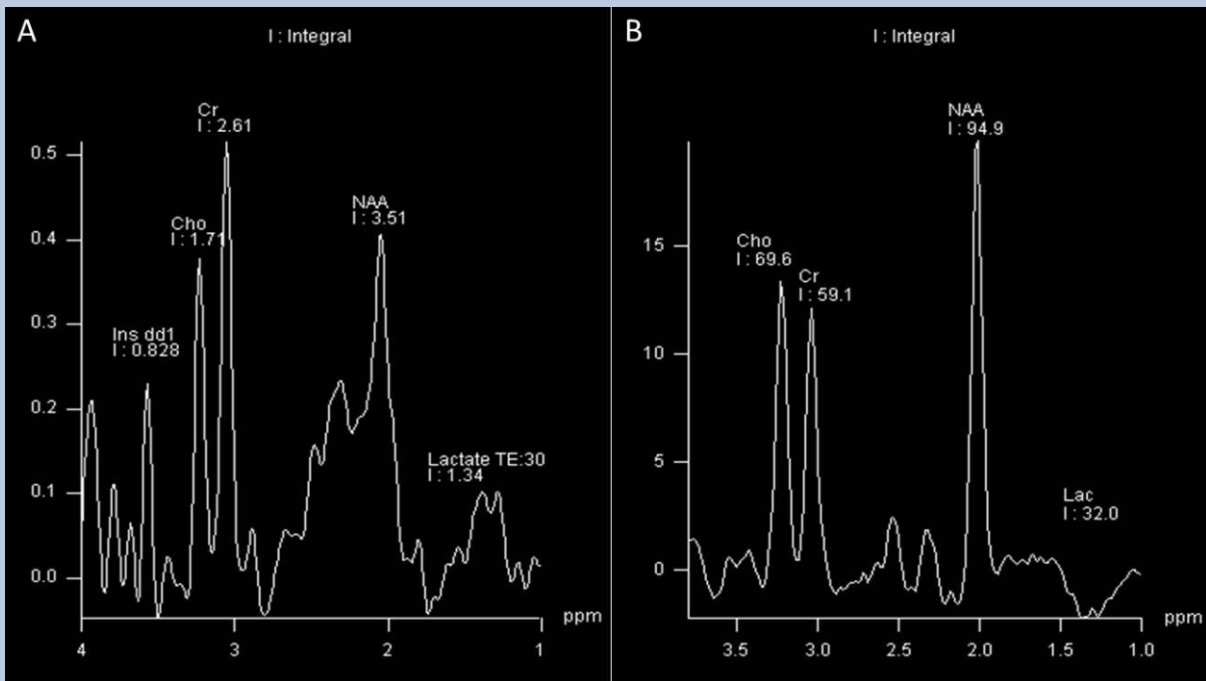
glioblastoma multiforme.

#### Colina (Cho): 3,2 ppm

Generalmente se relaciona a este metabolito con la síntesis de las membranas celulares y por tanto cuando está aumentado puede ser un marcador metabólico indirecto de replicación de membrana celular. Sin embargo este pico es en realidad una combinación de varios picos de resonancia de las moléculas que contienen colina, incluyendo fosfolípidos.

#### La creatina (CRE): 3,0 ppm

Se relaciona con los estados de energía celular y el metabolismo intracelular. Por lo tanto, es un signo de las reservas de energía intracelular. Como pasa con el pico de Cho, este pico es en realidad una combinación de varios picos de resonancia de las moléculas que contienen creatina como fosfocreatina.



**Fig. 3:** Espectroscopia por RM realizada con TE=30 (A) y TE = 135ms (B). Obsérvese inversión del pico de lactato en el TE largo y mayor número de picos cuando se utiliza TE corto. Cho- colina; Cr- creatina; NAA- N-acetilaspártato; Ins dd1- mioinositol.

**N-acetil aspártato (NAA): 2.0 ppm**  
 Se cree que se encuentra principalmente dentro de las neuronas aunque algunos creen que los oligodendrocitos pueden contener algo de NAA. En general, el pico normal de NAA es una señal que representa integridad o viabilidad neuronal. Lo contrario se cree que es cierto también, es decir, ausencia de señal normal de NAA es un signo de degradación neuronal.

**Lactato (ALC): 1.3 ppm**  
 Es un producto del metabolismo anaeróbico (glicólisis) y por lo tanto una señal de metabolismo no oxidativo. Aunque esto se puede ver en pequeñas cantidades, normalmente en algunos estados fisiológicos del sistema nervioso central (tales como cerebro recién nacidos), puede ser una señal hipoflujo cerebral (incluyendo la hipoxia, anoxia, o infarto), de metabolismo

anormal (acidosis láctica o de lactato que producen trastornos metabólicos genéticos) y necrosis (tumor, el tratamiento y el tumor y el tratamiento combinado).

**Los lípidos (LIP): 0.9 ppm**  
 Los lípidos se encuentran normalmente dentro de las paredes celulares y por lo general no es evidente en el espectro normal. Cuando es evidente, por lo general se cree que está relacionada a la ruptura de membrana celular.

