

RECOMENDACIONES PARA EL USO DE IMÁGENES DE RESONANCIA MAGNÉTICA ESTRUCTURAL EN EL CUIDADO DE PACIENTE CON EPILEPSIA: CONSENSO DEL GRUPO DE TRABAJO DE NEUROIMÁGENES DE LA LIGA INTERNACIONAL CONTRA LA EPILEPSIA

Andrea Bernasconi,¹ Fernando Cendes,² William H. Theodore,³ Ravnoor S. Gill,¹ Matthias J. Koepp,⁴ Robert Edward Hogan,⁵ Graeme D. Jackson,⁶ Paolo Federico,⁷ Angelo Labate,⁸ Anna Elisabetta Vaudano,⁹ Ingmar Blümcke,¹⁰ Philippe Ryvlin,¹¹ Neda Bernasconi¹

¹ Laboratorio de neuroimágenes en epilepsia, Centro de imágenes cerebrales McConnell. Instituto Neurológico de Montreal. Universidad de McGill, Montreal, Quebec, Canadá.

² Departamento de Neurología, Universidad de Campinas, Campinas, Brasil

³ Sección clínica de epilepsia, Instituto nacional de salud, Bethesda, Maryland

⁴ Instituto de neurología, Universidad colegio de Londres, London, UK

⁵ Departamento de Neurología, Universidad de Washington, escuela de medicina, St Louis, Missouri

⁶ Instituto de Neurociencias y Salud Mental Florey, Universidad de Melbourne, Heidelberg, Victoria, Australia

⁷ Instituto cerebral Hotchkiss, Universidad de Calgary, Calgary, Alberta, Canada

⁸ Instituto de Neurología, Universidad de Catanzaro, Catanzaro, Italia

⁹ Unidad de neurología, Azienda Ospedaliero Universitaria, Universidad de Modena y Reggio Emilia, Modena, Italia

¹⁰ Departamento de Neuropatología, Hospital Universitario de Erlangen, Erlangen, Alemania

¹¹ Neurociencias clínicas, Hospital Universitario de Lausana, Lausana, Suiza

Translated by

Dr Aura Gonzalez Ramirez

Translation verified by

Dr Julio Moreno, Grupo de cirugía de epilepsia UNIEPILEPSIAS, Bogotá, Colombia

Dr Camilo Espinosa -Clinica de epilepsia, Hospital Occidente de Kennedy, Bogotá, Colombia

Dr Fabio Suarez - Clinica de epilepsia, Fundación Cardio-Infantil, Bogotá, Colombia

Dr Carlos Tolosa - Clinica de epilepsia, Clínica Imbanaco, Calí, Colombia

Resumen

La resonancia magnética cerebral estructural es de fundamental importancia para el diagnóstico y tratamiento de la epilepsia, particularmente cuando la cirugía es considerada. A pesar de las recomendaciones y guías previas, en la práctica clínica, el uso de la resonancia magnética es variable a nivel mundial y puede que no se esté aprovechando todo el potencial de los avances tecnológicos recientes para el beneficio de las personas con epilepsia. La comisión de métodos diagnósticos de la liga internacional contra la epilepsia ha encargado al Grupo de Trabajo de Neuroimagen del 2013-2017 a desarrollar un conjunto de recomendaciones que aborden las siguientes preguntas: 1. ¿Quién debería tener una resonancia magnética cerebral? 2. ¿Cuáles son los requerimientos mínimos para un protocolo de epilepsia en resonancia cerebral? 3. ¿Cómo debería ser evaluada la resonancia magnética cerebral? 4. ¿Cómo se puede optimizar la detección de lesiones? Estas recomendaciones están dirigidas a médicos en centros de epilepsia establecidos y neurólogos en hospitales generales. El grupo de trabajo respalda el uso rutinario de las imágenes estructurales tanto en epilepsia focal, como en la epilepsia generalizada de nuevo inicio y describen el rango de situaciones cuando se requiere una evaluación detallada. El grupo trabajo de neuroimágenes identificó un set de secuencias con adquisiciones tridimensionales como base, la neuroimagen armonizada de las secuencias estructurales del protocolo de epilepsia: HARNES-MRI. Dado que estas secuencias están disponibles en la mayoría de resonadores, este protocolo es generalizable independientemente del contexto clínico y del país. El Grupo de trabajo de neuroimagen también respalda el uso de métodos de post-procesamiento de imágenes asistidos por computadora para proporcionar una descripción objetiva de la anatomía y patología del cerebro de un individuo. Al discutir la amplitud y profundidad del alcance de la resonancia magnética, este informe enfatiza el papel único de esta investigación no invasiva en el cuidado de las personas con epilepsia.

Palabras clave: Adultos, epilepsia, pediatría, imagen de resonancia magnética estructural

1. Introducción

Desde su inicio a principios de la década de 1980, los avances constantes en la tecnología de imágenes por resonancia magnética (RM) han llevado a mejoras dramáticas en la capacidad de obtener información detallada de alta calidad sobre el cerebro, proporcionando así información sobre los procesos de la enfermedad. Han surgido enfoques computacionales y nuevas técnicas cuantitativas de adquisición y post-procesamiento de RM para estudiar la neuroanatomía, produciendo marcadores cada vez más sofisticados de integridad microestructural de los tejidos. En epilepsia, la resonancia magnética ha revolucionado nuestra capacidad de detectar lesiones, cambiando el prevalente campo de las correlaciones electroclínicas a un enfoque multidisciplinario. En particular, esta técnica se ha convertido en algo fundamental en el tratamiento de la epilepsia refractaria, ya que la identificación de una lesión clara en la resonancia magnética estructural se asocia con un resultado favorable después de la cirugía¹.

El ritmo rápido de los avances y desarrollos técnicos en neuroimagen no se ha traducido sistemáticamente en atención clínica. Esto se debe a una serie de razones, incluida la variabilidad en los recursos económicos y las infraestructuras técnicas, la dificultad de realizar ensayos controlados aleatorios prospectivos para evaluar el nivel de evidencia, el valor agregado de una prueba dada, y la falta de protocolos estandarizados de adquisición de imágenes y métodos de procesamiento posterior. Colectivamente, estos factores pueden ralentizar o impedir la validación oportuna de los marcadores de imágenes y la evaluación de la generalización, creando así una sensación de desconexión entre la investigación y la práctica clínica. A lo largo de los años, la Liga Internacional contra la Epilepsia (ILAE) ha generado recomendaciones consensuadas sobre el uso de la RM en el diagnóstico y manejo de personas con epilepsia. El primero se publicó en 1997², seguido de pautas centradas en pacientes con epilepsia resistente a los medicamentos³ y neuroimagen funcional⁴ publicadas en 1998 y 2000, respectivamente. En 2009, el subcomité de neuroimagen pediátrica recomendó la resonancia magnética estructural como el examen de elección en la epilepsia de inicio reciente⁵. En 2015, el Informe del Grupo de Trabajo para la Comisión de Pediatría de la ILAE recomendó neuroimágenes en todos los niveles de atención para los recién nacidos con epilepsia, con recomendación de nivel A para resonancia magnética estructural como investigación estándar⁶.

A pesar de las recomendaciones y pautas previas de la ILAE, las prácticas sobre el uso de RM siguen siendo variables en todo el mundo y no se ha aprovechado todo el potencial de los avances tecnológicos en beneficio de las personas con epilepsia. Por lo tanto, la Comisión de Métodos de Diagnóstico de la ILAE ha encargado al Grupo de Trabajo de Neuroimagen 2013-2017 que formule un nuevo consenso de recomendaciones para el uso de RM en epilepsia respondiendo a las siguientes preguntas claves: (1) ¿Quién debe hacerse una RM? (2) ¿Cuáles son los requisitos mínimos para un protocolo de epilepsia por resonancia magnética? (3) ¿Cómo se deben evaluar las imágenes de resonancia magnética (MR)? (4) ¿Cómo optimizar la detección de lesiones? Como el objetivo final de esta recomendación es estandarizar las imágenes de diagnóstico en epilepsia de pacientes ambulatorios y centros de cirugía especializados por igual, la categorización de estas preguntas es intencionalmente amplia e independiente de la definición clínica de farmacoresistencia y resonancia magnética no lesional. A pesar de las pautas de la Academia Americana de Neurología que recomiendan la derivación para la evaluación quirúrgica

a centros especializados y las recomendaciones de la ILAE que definen la epilepsia refractaria (La falta de respuesta a dos medicamentos adecuadamente probados)^{7,8}, a menudo estos criterios no son aplicados por los médicos tratantes, y en promedio, los pacientes adultos que se someten a cirugía han tenido una epilepsia intratable durante 20 años o más⁹⁻¹⁰. Además, la terminología “resonancia magnética no lesional” actualmente está mal definida y depende de múltiples factores, incluido el tipo de imagen, la experiencia del lector y el uso de post-procesamiento.¹²⁻¹³

2. Materiales y métodos

Las recomendaciones actuales se derivan de las siguientes consideraciones, con el objetivo de proporcionar una visión en consenso sobre el papel de la resonancia magnética estructural en epilepsia. Primero, se basan en informes previos de neuroimagen de la ILAE. En segundo lugar, derivan de protocolos clínicos realizados en las instituciones de los miembros del Grupo de trabajo de neuroimagen con secuencias básicas disponibles en la mayoría de los escáneres de RM y, por lo tanto, generalizables a muchos centros, independientemente del entorno clínico y del país. En tercer lugar, se consideran documentos de revisión, pautas basadas en evidencia e informes sobre el papel de la resonancia magnética estructural en el diagnóstico y manejo de la epilepsia,¹⁴⁻²⁵ con especial atención a los estudios que cumplen al menos algunos estándares para la clasificación de evidencia. Estas fuentes de información se complementaron con una revisión de la literatura basada en una consulta Ovid MEDLINE entre 2002 y 2018. La estrategia de búsqueda y la lista de 67 publicaciones identificadas se detallan en el Material S1. Nuestras recomendaciones, que tienen en cuenta las indicaciones clínicas, los nuevos desarrollos en el hardware, las secuencias de resonancia magnética, y los hallazgos de la investigación, se aplican principalmente a pacientes adultos; sin embargo, los principios generales también aplican para los niños. Además, son intencionalmente amplios para ayudar a los médicos en centros de cirugía de epilepsia establecidos y clínicas de neurología general por igual. La implementación de tales recomendaciones necesariamente variará según los recursos disponibles y la organización de la atención. Idealmente, en los países desarrollados, solo los centros que cumplan con los estándares apropiados deberían tomar imágenes de pacientes con epilepsia. En entornos de recursos limitados donde la infraestructura técnica y la capacitación de especialistas pueden no estar disponibles, la atención de pacientes con epilepsia aún debe brindarse; estas recomendaciones son, por lo tanto, un recurso esencial para persuadir a las organizaciones locales de salud de proporcionar o mejorar tanto la capacitación como el acceso a los servicios de resonancia magnética.

En los siguientes párrafos, las recomendaciones del Grupo de trabajo de neuroimagen sobre el uso de la resonancia magnética pertenecen al protocolo propuesto de neuroimagen armonizada de secuencias estructurales de epilepsia (HARNESS-MRI) (como se describe en la Sección 2.2.2).

2.1 ¿Quién debería tener una resonancia magnética cerebral?

Una vez que ocurre la primera crisis, la recurrencia dependerá de numerosos factores. En comparación con los pacientes en los que se desconoce la causa, la tasa de recurrencia de las crisis se duplica en aquellos con una lesión en la RM, del 10% al 26% al año y del 29% al 48% a los

5 años.²³ Numerosos estudios han relacionado la presencia y los tipos de anomalías en la RM a los resultados clínicos. En una cohorte de 764 pacientes sometidos a resonancia magnética en el momento o poco después de una primera crisis, el 23% tenía una lesión potencialmente epileptogénica, que incluía infarto cerebral, trauma, una malformación del desarrollo o un tumor.²⁶ Otro mostró que los pacientes con epilepsia focal y la resonancia magnética sin anomalías tiene una probabilidad del 42% de controlar sus crisis con medicamentos antiepilépticos. Mientras que esto es cierto en el 54% de los casos con epilepsia posterior a un evento cerebrovascular; por el contrario, el control de las crisis con medicación se logró en <10% de los pacientes con esclerosis del hipocampo en la resonancia magnética.²⁷

2.1.1 Primera crisis

Los datos de la Organización Mundial de la Salud muestran que la tomografía axial computarizada (TAC) está ampliamente disponible en los hospitales de todo el mundo.²⁸ Las pautas basadas en la evidencia del subcomité de evaluación terapéutica y tecnológica de la Academia Estadounidense de Neurología²⁹ recomiendan la TAC inmediata sin contraste en pacientes de emergencia que se presentan con una primera crisis para guiar el manejo agudo apropiado, especialmente en aquellos con examen neurológico anormal, antecedentes predisponentes (Factores de riesgo) o inicio focal de la crisis. En estas situaciones, existe un gran potencial que la patología aguda que se encuentre pueda requerir un tratamiento inmediato, como una hemorragia o una lesión estructural extensa. En particular, la TAC sin contraste puede detectar algunos tumores, malformaciones arteriovenosas grandes, sangrados cerebrales y lesiones calcificadas. La TAC con contraste está indicada en casos con sospecha de infección o pequeñas neoplasias (incluyendo metástasis),³⁰ si la RM no está disponible.

De acuerdo con una publicación reciente de la ILAE,³¹ el Grupo de trabajo de neuroimagen informa que el protocolo HARNES-MRI debe realizarse poco después de la primera crisis, si los recursos lo permiten; esto ayudará a establecer una definición sindrómica y un manejo orientador. La resonancia magnética tiene una alta sensibilidad y especificidad²³ para las malformaciones corticales del desarrollo, incluida la displasia cortical focal (DCF) y la esclerosis mesiotemporal, un grupo de lesiones estructurales prevalentes asociadas con un mayor riesgo de resistencia a los medicamentos.³²⁻³⁴ Notablemente, una resonancia magnética temprana es particularmente importante en niños pequeños, ya que la mielinización continua puede enmascarar la aparición de DCF en exploraciones posteriores; en estos casos, las conclusiones pueden ser engañosas con respecto al diagnóstico y la idoneidad del tratamiento quirúrgico.³⁵

2.1.2 Epilepsia recién diagnosticada

La identificación de una lesión estructural en la epilepsia de inicio reciente es un fuerte indicador de resistencia a los medicamentos y debe ser un incentivo para adherirse estrictamente a los criterios ILAE para la epilepsia refractaria.⁸ En otras palabras, una vez que se descubre una lesión en la resonancia magnética, el paciente debe ser derivado a un centro especializado en cirugía de epilepsia para evaluar la posibilidad quirúrgica.³⁶ Mientras que, una lesión cerebral no progresiva puede estar asociada a respuesta a los fármacos antiepilépticos, un estudio reciente

prospectivo de cohorte longitudinal mostró que los pacientes con epilepsia leve del lóbulo temporal mesial (ELT) y esclerosis del hipocampo observada en una RM temprana en el curso de la enfermedad tienen una probabilidad tres veces mayor de volverse refractarios que aquellos sin dicha lesión.³⁷ Un meta-análisis mostró que las probabilidades de libertad de crisis después de la cirugía fue 2.5 veces más altas en pacientes con lesiones definidas por RM.³⁸ Además, más del 60% de los pacientes con epilepsia del lóbulo frontal resistente a fármacos logra la libertad de crisis posquirúrgicas si se opera dentro de los 5 años posteriores al inicio de la enfermedad, en comparación con solo el 30% cuando la cirugía se retrasa.³⁹ Esta evidencia debe convertirse en conocimiento para cada neurólogo, porque la cirugía de epilepsia sigue siendo en gran medida subutilizada, con solo una fracción de los pacientes evaluados en centros terciarios especializados.^{9,11,40,41} Además, la epilepsia refractaria está asociada con un mayor riesgo de lesiones y mortalidad, trastornos afectivos y el deterioro cognitivo.⁴² La postergación de la cirugía puede, por lo tanto, costarle al paciente la posibilidad de libertad de crisis, beneficios cognitivos y años de esperanza de vida.

Actualmente no hay pruebas suficientes para recomendar el uso sistemático de la RM en pacientes con síndromes genéticos generalizados, como la epilepsia mioclónica juvenil, y síndromes autolimitados que responden a fármacos, como la epilepsia infantil con puntas centrotemporales. Aunque los estudios de neuroimagen demuestran anomalías estructurales y funcionales en este tipo de epilepsias,^{5,43} aún no se ha determinado su valor pronóstico. En particular, la epilepsia focal puede simular síndromes generalizados; en estos casos, se recomienda el protocolo HARNES-MRI en presencia de características atípicas como desarrollo neurológico anormal, deterioro cognitivo, crisis difíciles de tratar o actividad interictal focal.³¹

El Grupo de trabajo de neuroimagen reconoce que en áreas con recursos limitados la RM puede no ser fácilmente obtenible;²⁸ en este escenario, una tomografía computarizada sería el examen de elección en espera de futuras disponibilidades.

2.1.3 La importancia de repetir la resonancia cerebral

La resonancia magnética debe repetirse utilizando el protocolo HARNES-MRI si las imágenes anteriores no están disponibles o el tipo y la calidad de las adquisiciones anteriores son subóptimas. Confiar en un informe radiológico escrito puede ser insuficiente, ya que las anomalías pueden haberse pasado por alto debido a la mala calidad de imagen o la falta de experiencia del lector en la neuroimagen de epilepsia.²⁴ Es importante destacar que las imágenes deben evaluarse a la luz de la presentación electroclínica del paciente, particularmente un aumento inexplicable en la frecuencia de las crisis (es decir, no relacionado con factores tóxicos metabólicos, adherencia al medicamento, etc), deterioro cognitivo rápido o aparición / empeoramiento de síntomas neuropsiquiátricos. Dada la evidencia de atrofia cerebral progresiva que se desarrolla a lo largo de 1 a 3 años tanto en pacientes con epilepsia refractaria como en pacientes con crisis bien controlados,^{37,44-46} repetir la resonancia magnética puede tener un valor pronóstico. En epilepsia del lóbulo temporal resistente a medicamentos, la atrofia progresiva de las estructuras del neocórtex y estructuras mesiales del lóbulo temporal se asocia con un mal resultado después de la cirugía.⁴⁴⁻⁴⁷ Finalmente, el rendimiento diagnóstico depende en gran

medida de la logística, incluida la resolución de la imagen, la intensidad del campo magnético, el número de bobinas de cabeza de matriz en fase y experiencia del lector.¹² Por lo tanto, es muy importante repetir el examen con un protocolo optimizado,⁴⁸ particularmente en pacientes con epilepsia fármaco-resistente con previa resonancia cerebral reportada "normal", ya que esto puede revelar una lesión en 30% -65% de los casos.⁴⁹⁻⁵¹ Cuando la resonancia magnética se combina con el post procesamiento de la imagen, la sensibilidad puede ser tan alta como 70%,⁵² mejorando significativamente la toma de decisiones clínicas. En particular, la obtención de imágenes en el primer año de vida puede ser útil para identificar displasias corticales focales asociado con cambios de señal muy sutiles en imágenes posteriores del cerebro postmielinizado y maduro y debe conservarse para comparar.³⁵

2.2 ¿Cuales son los requerimientos mínimos para un protocolo de epilepsia?

Este es el consenso del Grupo de Trabajo de Neuroimagen para los pacientes con epilepsia que incluye la descripción del numero mínimo de secuencias básicas de resonancia magnética que están disponibles en la mayoría de los tipos de maquinas de resonancia magnética y, por lo tanto, generalizables, independientemente del entorno clínico y el país. Más allá del Grupo de Trabajo de Neuroimagen, la opinión de expertos independientes anteriores ha señalado la importancia de una alta resolución espacial y contraste de imágenes con una cobertura cerebral completa para evaluar de manera óptima la anatomía del cerebro, la interfaz entre la sustancia gris y la sustancia blanca y las anomalías de señal. En particular, las secuencias tridimensionales (3D) con vóxeles isotrópicos (es decir, vóxeles en forma de cubo de idéntica longitud en cada lado o plano de la imagen) de 1 mm o menos reducen drásticamente los efectos de volumen parcial, un fenómeno resultante de la presencia de múltiples tejidos. En particular, el volumen parcial es perjudicial cuando se busca una displasia cortical sutil, ya que imita el borramiento del tejido, una característica fundamental de estas lesiones.

2.2.1 Protocolos de resonancia magnética previos: Resumen y limitaciones:

Las pautas originales establecidas hace dos décadas por la ILAE proponían una resonancia magnética ponderada en T1 y T2 con el mínimo grosor de corte posible, adquirida en dos planos ortogonales (axial y coronal), y una adquisición volumétrica ponderada en T1 en 3D. Para obtener imágenes 2D con cobertura de todo el cerebro en un tiempo clínicamente aceptable, fue necesario aplicar espacios entre cortes de 3 a 5mm. Además, los protocolos de epilepsia se dividieron según los síndromes clínicos en temporales y extratemporales con una serie de cortes coronales, axiales y, en ocasiones, sagitales, una estrategia todavía en práctica en muchas instituciones. Las secuencias 3D volumétricas iniciales, obtenidas con escáneres de 1,5 T, solo fueron posibles para secuencias ponderadas en T1, con un grosor de corte que variaba entre 1 y 3 mm, rara vez adquiridas con vóxeles isotrópicos, debido a limitaciones de tiempo o de hardware. En particular, mientras que en las adquisiciones 3D con vóxeles isotrópicos, el grosor y la resolución son cantidades intercambiables, para las imágenes 2D, la dimensión del vóxel en el plano (no el grosor del corte) define la resolución de la imagen. Para lograr resoluciones más finas en el plano (≤ 1 mm), era necesario reducir el tamaño del campo de visión o introducir

espacios entre cortes, sacrificando así la cobertura de todo el cerebro, con el riesgo de perder lesiones.

2.2.2 Neuroimagen armonizada de las secuencias estructurales en epilepsia

El advenimiento de los imanes de alto campo a 3T, combinado con el uso de múltiples arreglos de fase en lugar de bobinas de cuadratura convencionales, ha dado como resultado una adquisición de imágenes acelerada, una mejor relación señal-ruido y un mayor contraste de imagen. Es importante destacar que las imágenes de RM en 3D con resolución de vóxel isotrópica y sin espacio entre cortes eliminan la necesidad de protocolos para síndromes específicos, ya que las imágenes se pueden reformatear e inspeccionar en cualquier plano con la misma resolución. Las consideraciones adicionales para obtener imágenes óptimas incluyen un acolchado cómodo para la cabeza con almohadillas de espuma para minimizar los artefactos de movimiento y centrar la cabeza en la bobina antes de comenzar la adquisición. La posición de la cabeza se puede verificar en la imagen del localizador realizada al comienzo de la sesión. Cualquier inclinación o rotación debe corregirse para la planificación de las secuencias subsiguientes y el posterior análisis lado a lado de las estructuras cerebrales; esto es particularmente importante al adquirir imágenes coronales 2D ponderadas en T2, como se especifica a continuación. Las recomendaciones relacionadas con la sedación se han analizado en un informe especial publicado por el subcomité de neuroimagen pediátrica de la ILAE en 2009. El Grupo de Trabajo de Neuroimagen propone el protocolo HARNESS-RM, un protocolo de RM que comprende tres adquisiciones. El protocolo HARNESS-RM es aplicable tanto a adultos como a niños. Es eficaz en el tiempo, ya que cada secuencia dura de 7 a 10 minutos, por un tiempo total que no excede los 30 minutos cuando se utilizan múltiples bobinas de arreglo de fase (8, 12 o 32 canales) con imágenes paralelas aceleradas (p. Ej., GRAPPA, ASSET, SENTIDO). La Tabla 1 presenta los puntos clave con respecto al protocolo. El protocolo HARNESS-RM está optimizado para escáneres 3T, si está disponible. En particular, aunque es posible obtener este protocolo en las nuevas generaciones de sistemas 1.5T, la calidad de imagen general puede ser inferior.

Los parámetros de adquisición sugeridos para el protocolo HARNESS- MRI en un escáner 3T se muestran en Material S2.

El Grupo de Trabajo de Neuroimagen recomienda que todos los pacientes en los que las investigaciones anteriores fueron normales se sometan a una nueva resonancia cerebral con el protocolo HARNESS-RM. Incluso en pacientes en los que las crisis están asociadas con otras afecciones, como traumatismo craneoencefálico, trastornos neurodegenerativos, esclerosis múltiple o alcoholismo, se puede utilizar el protocolo HARNESS-RM, ya que contiene secuencias básicas que están disponibles en la mayoría de los equipos de resonancia magnética.

Resonancia magnética ponderada en T1 3D de alta resolución

La secuencia de eco de gradiente rápido (MP- RAGE) preparada para magnetización (Figura 1), así como los protocolos equivalentes de la secuencia eco de gradiente 3D y eco de campo turbo 3D con resolución de vóxel milimétrica isotrópica (es decir, $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$, sin espacios entre cada

corte) son las secuencias de eco de gradiente 3D ponderadas en T1 más populares. Permiten una evaluación óptima de la anatomía y morfología del cerebro.

Recuperación de inversión atenuada de fluido en 3D de alta resolución

Esta secuencia 3D de recuperación de inversión atenuada de líquido (FLAIR) (denominada CUBE, VISTA o SPACE, según el proveedor de RM) es la más adecuada para evaluar anomalías en la señal, en particular hiperintensidades relacionadas con gliosis y el aumento del espacio extracelular (Figura 1). En comparación con los contrastes ponderados en T2 convencionales, la anulación de la señal del líquido cefalorraquídeo (LCR) mejora la visibilidad de las lesiones corticales hiperintensas. Esta adquisición también debe adquirirse con resolución de vóxel milimétrica isotrópica (es decir, $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$) y sin espacio entre cortes. Dado que las estructuras límbicas son inherentemente hiperintensas,⁵³ la secuencia FLAIR puede no ser sensible para detectar una esclerosis hipocampal muy sutil. Además, las imágenes FLAIR no son sensibles a la patología asociada a la epilepsia en recién nacidos y lactantes antes de los 24 meses, ya que la mielinización aún no está completa.

Resonancia magnética ponderada en T2 coronal 2D de alta resolución en plano

Esta secuencia de turbo espín-eco es el examen de elección para evaluar la estructura interna del hipocampo, dado que las imágenes se adquieren perpendiculares al eje horizontal del hipocampo utilizando una resolución de vóxel submilimétrica (p. Ej., $0,4 \times 0,4 \times 2 \text{ mm}$, sin espacio entre cortes; Figura 2). En particular, la capa molecular densamente mielinizada que aparece como una cinta oscura dentro del hipocampo permite discriminar los subcampos del cuerno de Amón (CA) de la circunvolución dentada.

Cuando se sospecha un tumor, una malformación vascular o un proceso infeccioso, el protocolo HARNESS-MRI debe complementarse con T1 con gadolinio para buscar realce de contraste e imágenes ponderadas por susceptibilidad y contrastes T2* sensibles a sangre venosa, hemorragia, depósitos de hierro y calcificaciones.

2.3 ¿Cómo se deben evaluar las imágenes de RM?

Para adoptar las facetas multidisciplinarias del diagnóstico de enfermedades, los epileptólogos deben tener la oportunidad de capacitarse y recibir educación médica continua en neuroimagen.⁵⁴ Incluso con un protocolo de resonancia magnética apropiado, la interpretación depende en gran medida de la experiencia del lector en imágenes de epilepsia.²⁴ En particular, la inspección en profundidad, cuando se trata de pequeñas displasias corticales o esclerosis hipocampal sutil, requiere una inversión de tiempo significativa. Es importante destacar que la sensibilidad óptima para la detección de lesiones se logra cuando el lector tiene acceso a una descripción detallada de los hallazgos electroclínicos, incluido el hemisferio y el lóbulo sospechoso, información que a menudo falta en la solicitud de radiología.²⁴ Sin embargo, en algunos casos, particularmente al inicio de la enfermedad, puede resultar difícil establecer la clasificación sindromática exacta. A la luz de nuevos datos electroclínicos o información derivada

de cualquier otra prueba, el epileptólogo puede estar en la mejor posición para evaluar exploraciones previas o decidir repetir las, si es necesario.

Debido a la gran cantidad de cortes de resonancia magnética, en lugar de inspeccionar el formato original de alta resolución, algunos radiólogos pueden decidir inspeccionar imágenes que se han reconstruido en cortes más gruesos. Por ejemplo, T1 o FLAIR con resolución isotrópica de 1 mm pueden reformatearse con un espesor de 3 mm, a veces con espacios entre cortes que reducen aún más el número de cortes a inspeccionar, de aproximadamente 170 a menos de 50. Este proceso es perjudicial y contrarresta el propósito de la RM 3D, ya que genera imágenes de menor resolución y acentúa los efectos de volumen parcial, enmascarando potencialmente lesiones sutiles (Figura 3). Las técnicas de visualización, como los sistemas de comunicación y archivo de imágenes clínicas (PACS) ampliamente utilizados, así como varias plataformas de imágenes disponibles gratuitamente, han facilitado enormemente la inspección de la resonancia magnética 3D al permitir una inspección simultánea y eficaz en el tiempo de las imágenes en los tres planos ortogonales (corona, axial y sagital). Estas plataformas también permiten ver diferentes contrastes de resonancia magnética uno al lado del otro y evaluar tanto la morfología como la señal, ya que las anomalías concurrentes aumentan la confianza del diagnóstico.

Los siguientes párrafos ofrecen una breve descripción de los principales criterios para la inspección visual de las lesiones epileptogénicas prevalentes asociadas con la epilepsia refractaria.

2.3.1 Análisis visual de resonancia magnética en la epilepsia del lóbulo temporal

En la epilepsia del lóbulo temporal (ELT), el hallazgo histopatológico más frecuente es la esclerosis temporal mesial (ETM) caracterizada por la pérdida de células y gliosis astrocítica.⁵⁵ Estas características no se limitan al hipocampo y a menudo se encuentran en la amígdala, corteza entorrinal, corteza temporopolar y el lóbulo temporal.⁵⁶ En la resonancia magnética, la ETM típica se caracteriza por anomalías que se aprecian más fácilmente en el hipocampo propiamente dicho, como atrofia, pérdida de estructura interna, hipointensidad en T1 y aumento de la intensidad de la señal de T2. Las características adicionales pueden incluir atrofia del fornix ipsilateral, cuerpo mamilar y lóbulo temporal, particularmente el polo. La inspección de las secciones coronales permite la comparación lado a lado de la asimetría en volumen, forma y señal, mientras que las imágenes sagitales proporcionan una vista anteroposterior completa, lo que facilita la evaluación de los patrones de distribución de señales dentro del hipocampo y parahipocampo.

Las intensidades de campo a 3T (y superiores) permiten la evaluación visual de la arquitectura interna del hipocampo⁵⁷ y, por tanto, una mejor apreciación de la pérdida de volumen sutil dentro de los subcampos individuales, en particular CA1 y CA4-circunvolución dentada. Además, la capa molecular, una banda de sustancia blanca que atraviesa las regiones del CA y la circunvolución dentada, puede volverse delgada y borrosa, una característica que se observa en las imágenes ponderadas en T2 (Figura 4A). Además de la atrofia y los cambios de señal, alrededor del 40% de los pacientes con ELT presentan una malrotación caracterizada por un

hipocampo anormalmente redondo y orientado verticalmente, y un surco colateral profundo.⁵⁸ Esta variante de forma del neurodesarrollo ocurre con más frecuencia en el hemisferio izquierdo y puede ser mal interpretada como atrofia del hipocampo. Aunque es más prevalente en pacientes con epilepsia que en controles sanos, su relación con la epileptogenicidad sigue sin estar clara.⁵⁹

Los encefalocelos del polo temporal⁶⁰⁻⁶² y la displasia parahippocampal⁶³ pueden ser causas infradiagnosticadas y tratables de ELT refractaria. Los encefalocelos se presentan como una hernia de tejido cerebral a través de un defecto en la base del cráneo, a menudo el ala mayor del hueso esfenoides. Su detección se facilita por secuencias 3D de alta resolución e hiperintensidad de señal en T2 y FLAIR; y la TAC de alta resolución confirma los defectos óseos en la tabla interna del cráneo. La displasia parahippocampal se caracteriza por anomalías predominantes en la señal de la sustancia blanca, sin aumento aparente del grosor cortical. Debido a la presencia de vasos sanguíneos cercanos, esta lesión puede etiquetarse erróneamente como artefactos de flujo o volumen parcial, si los cortes de la resonancia magnética son gruesos. Una inspección en profundidad del lóbulo temporal también debe incluir la zona periventricular, en busca de heterotopía nodular, una malformación cortical que a menudo se asocia con ELT resistente a fármacos.⁶⁴

2.3.2 Análisis visual de resonancia magnética de la displasia cortical focal

La displasia cortical focal (DCF) es una causa prevalente de epilepsia refractaria y es uno de los hallazgos histológicos más frecuentes en pacientes sometidos a cirugía de epilepsia.³⁴ Las últimas décadas han sido testigos de numerosos intentos de proporcionar un sistema de clasificación histológica. Actualmente, los DCF se clasifican en tres tipos (I-III) y varios subtipos (p. Ej., Tipos IIA y IIB) en función de una combinación de alteraciones arquitectónicas de las capas corticales, ya sea solas (tipo I, tipo III) o junto con un aumento del tamaño celular y aberraciones morfológicas, incluidas neuronas dismórficas gigantes (tipo IIA) y células en balón (tipo IIB).⁶⁵

También se observan gliosis y desmielinización en la lesión y la sustancia blanca subyacente. Los hallazgos de resonancia magnética del DCF tipo I sigue sin estar clara. Por el contrario, la DCF tipo II se caracteriza principalmente por un aumento del grosor cortical y pérdida de la interfaz de la sustancia gris-blanca en la RM ponderada en T1 en el 50% -90% de los casos. El análisis de la resonancia magnética ponderada en T2, en particular FLAIR, revela hiperintensidad de la sustancia gris en hasta el 100% de los pacientes. Sin embargo, en muchos pacientes, las características de la DCF tipo II pueden ser muy sutiles y, en consecuencia, la resonancia magnética puede informarse como normal (Figura 4B).¹² En estos casos, la inspección de los cortes axiales permite realizar comparaciones lado a lado en busca de asimetrías en los patrones de giración. Esto es particularmente importante, ya que las lesiones pequeñas de la DCF pueden ubicarse preferentemente en la parte inferior de los surcos profundos.⁶⁶ El signo de transmanto, una señal en forma de embudo que se extiende desde la pared ventricular hasta la neocorteza que alberga la lesión, puede ser la primera característica para atraer la atención del observador hacia una pequeña lesión de DCF, señalando la importancia de la inspección sistemática de la sustancia blanca.

2.4 ¿Cómo optimizar la detección de lesiones con el post-procesamiento de RM?

A pesar de los avances tecnológicos, la inspección visual de la resonancia magnética no permite un diagnóstico con un grado de confianza suficiente en el 30% -50% de los casos, o simplemente no es destacable, a pesar de que se encuentra una lesión en la histología.¹³ Este enigma clínico, que es actualmente una de las principales barreras para obtener resultados exitosos después de cirugía, ha motivado el desarrollo de métodos asistidos por computadora destinados a analizar cuantitativamente la morfología y la señal de las imágenes de RM 3D.^{12,67-69} Sin embargo, hay una serie de pasos básicos en la preparación de datos, es decir, corrección por falta de uniformidad en la intensidad de la imagen, registro y segmentación de tejido, que el usuario debe evaluar cuidadosamente, ya que su calidad influye en gran medida en los resultados finales. Por ejemplo, el movimiento del sujeto impacta negativamente en la segmentación del tejido y conduce a artefactos que imitan lesiones, incluida la atrofia. Otro punto importante es la evaluación del desempeño. Idealmente, las métricas derivadas del post-procesamiento de la resonancia magnética deberían ser sensibles y específicas (es decir, identificar correctamente a los sujetos afectados y no afectados, respectivamente) y reproducibles (es decir, coherentes entre las medidas repetidas). Estos estándares rigurosos son esenciales para garantizar la validez clínica de estas técnicas avanzadas de análisis de imágenes.^{52,70}

Los siguientes párrafos ofrecen una breve descripción de los métodos de análisis de imágenes para la detección de ETM y DCF. Se recomienda el uso de estos algoritmos, ya que existe una creciente evidencia de su capacidad para revelar lesiones sutiles que anteriormente eludían la inspección visual, particularmente cuando se aplican a imágenes multicontraste isotrópicas milimétricas o submilimétricas 3D.^{52,71-74}

2.4.1 Modelado volumétrico y de la forma de las estructuras mesiales del lóbulo temporal

La volumetría manual realizada en la resonancia magnética anatómica ponderada en T1 ha mostrado una mayor sensibilidad para detectar la atrofia del hipocampo en comparación con la inspección visual de la resonancia magnética, particularmente cuando los valores se corrigen para el tamaño de la cabeza y se normalizan con respecto a la distribución en controles sanos. La volumetría de la corteza entorrinal, la amígdala y la región temporopolar, así como el tálamo, puede lateralizar el foco epileptogénico, sobre todo en pacientes con volumen hipocampal normal.⁶⁹ Es importante destacar que se ha demostrado que el grado de pérdida de volumen de la resonancia magnética se correlaciona con el grado de pérdida de células en las muestras quirúrgicas.⁷⁵

Así, la volumetría hipocampal es parte del requerimiento mínimo al considerar la cirugía de epilepsia para lateralizar el foco y establecer si las estructuras contralaterales son normales. La atrofia bilateral del lóbulo temporal mesial plantea preocupaciones sobre una marcada reducción de la posibilidad de libertad de crisis después de la cirugía⁷⁶ y un mayor riesgo de deterioro de la memoria.¹⁴ A lo largo de los años, los avances tecnológicos constantes han impulsado el diseño

de algoritmos automatizados que producen la segmentación de todo el hipocampo (por ejemplo, Sone et al,⁷⁷ Hosseini et al,⁷⁸ Kim et al⁷⁹), y más recientemente los subcampos del hipocampo,⁸⁰ creando así una base sólida para la traducción amplia (Figura 5). Varios paquetes de software comercial aprobados por la Administración de Drogas y Alimentos de los EE. UU. (FDA) están actualmente disponibles para uso rutinario en la práctica clínica y proporcionan un informe automatizado que detalla el volumen y percentil de cada región cortical parcelada en comparación con una base de datos normativa. Se han utilizado para lateralizar la atrofia del hipocampo en pacientes con ELT con tasas de precisión que superan la inspección visual.⁸¹ En particular, las etiquetas del hipocampo pueden usarse para examinar alteraciones estructurales a través del modelado paramétrico estadístico de la forma de la superficie,^{82,83} aumentando aún más la sensibilidad.

2.4.2 Relaxometría hipocámpal en T2

En comparación con el análisis visual de la resonancia magnética ponderada en T2, la relaxometría en T2,^{84,85} una secuencia que proporciona estimaciones cuantitativas de la señal ponderada en T2, produce una mayor sensibilidad para detectar la gliosis mesiotemporal.⁸⁶ Es importante destacar que lateraliza correctamente el foco en hasta el 80% de los pacientes con volumen hipocámpal normal.⁸⁷ La medición de los tiempos de relajación T2 se puede realizar colocando una región de interés generada manual o automáticamente dentro del hipocampo,⁸⁸ evitando cuidadosamente el LCR adyacente.

2.4.3 Análisis de Textura

El modelado basado en vóxeles de la alteración en la diferenciación cortico-subcortical y la intensidad de la sustancia gris, derivado de la RM 3D T1, ayuda a la inspección visual y aumenta la sensibilidad para la detección de DCF tipo II hasta en un 40% en relación con la RM convencional (Figura 6).⁷¹ El análisis de estos mapas se puede realizar normalizando (puntuación z) los datos dentro del mismo cerebro⁷¹ o comparando características con un grupo de controles sanos.⁷³ Los métodos basados en la superficie mejoran la correspondencia anatómica entre sujetos y permiten para el análisis multivariado de los contrastes y características de la resonancia magnética para revelar las propiedades del tejido latente que no se identifican fácilmente en una sola modalidad.⁸⁹

2.4.4 Técnicas de detección de lesiones totalmente automatizadas

Durante los últimos 15 años, se han desarrollado varios algoritmos para la detección automática de DCF. Estos métodos se basaron inicialmente en la morfología y la señal derivada de la resonancia magnética ponderada en T1 3D. Herramientas más recientes han incorporado FLAIR 3D.^{90,91} Una publicación reciente mostró evidencia de clase II de que el aprendizaje automático de los patrones de resonancia magnética identifica con precisión la DCF tipo II en > 70% de los pacientes en los que la lesión había sido pasada por alto por la inspección visual de rutina.⁵²

Conclusión

La resonancia magnética proporciona una herramienta única, versátil y no invasiva para la evaluación de todo el cerebro de pacientes con epilepsia. A pesar del incesante progreso en hardware y técnicas de adquisición, así como en los métodos de análisis computacional, cualquier directriz es difícil de implementar cuando los recursos son escasos y donde la infraestructura técnica y la capacitación especializada pueden no estar disponibles. El Grupo de Trabajo de Neuroimagen cree, sin embargo, que las recomendaciones propuestas establecen una base tangible para un uso consistente de la resonancia magnética estructural en la epilepsia. Al revelar lesiones no vistas por la neurorradiología convencional, el protocolo HARNES - MRI combinado con el post-procesamiento tiene el potencial de transformar RM negativo en RM positivo, ofreciendo así los beneficios que cambian la vida de mas pacientes con la cirugía de epilepsia.

Debido al papel transformador de la resonancia magnética en la epileptología moderna, el próximo plan de estudios educativo de la ILAE basado en competencias requiere que los neurólogos y epileptólogos se capaciten en neuroimagen.⁹² Con el objetivo de satisfacer de manera óptima las necesidades de las personas con epilepsia, los objetivos de aprendizaje incluirán la adquisición de una variedad de habilidades, desde la evaluación visual básica de resonancia magnética hasta la capacitación avanzada en post-procesamiento de imágenes. En particular, este entrenamiento también puede brindar una oportunidad única para optimizar las habilidades en neuroimagen de epilepsia para los neuroradiólogos. Lograr este objetivo requerirá un esfuerzo combinado de la ILAE y sus capítulos regionales, sociedades médicas y academias, universidades y centros que ofrecen becas de capacitación en epilepsia. Los pasos concretos hacia este objetivo son los cursos respaldados por la ILAE sobre neuroimagen de epilepsia que se ofrecen actualmente en todo el mundo y las plataformas educativas en línea.

Declaración

Ninguno de los autores tiene ningún conflicto de intereses que revelar. Confirmamos que hemos leído la posición de la Revista sobre temas relacionados con la publicación ética y afirmamos que este informe es consistente con esas pautas.

Referencias

Información de soporte

Puede encontrar información de respaldo adicional en línea en la sección Información de respaldo al final del artículo.

TABLAS Y DESCRIPCION DE IMÁGENES

Puntos claves

- Las prácticas para el uso de la resonancia magnética estructural varían en todo el mundo y es posible que no se este aprovechando todo el potencial de los avances tecnológicos en beneficio de las personas con epilepsia.
- El Grupo de trabajo de neuroimagen recomienda el uso del protocolo Harmonized Neuroimaging of Epilepsy Structural Sequences (HARNESS-MRI) con imágenes isotrópicas, milimétricas 3D T1 y FLAIR, e imágenes 2D submilimétricas T2 de alta resolución.
- El uso del protocolo HARNESS-MRI estandariza las mejores prácticas de neuroimagen de la epilepsia en clínicas ambulatorias y centros de cirugía especializada.

Tabla 1: Puntos clave que resumen las principales ventajas del protocolo HARNESS - MRI

- Secuencias 3D de alto contraste con vóxeles isotrópicos (es decir, dimensiones idénticas en los planos)
- Puede obtenerse en equipos de 1.5T y 3T
- Aplica para niños y adultos
- Proporciona una cobertura cerebral completa
- No es necesario realizar angulaciones de corte dependientes del operador
- Las imágenes se pueden reformatear en cualquier plano sin pérdida de resolución
- Reducir en gran medida el efecto de volumen parcial (es decir, múltiples tipos de tejido presentes dentro de un vóxel determinado)
- Proporciona una mejor relación señal-ruido y contraste de tejidos
- Permitir la adquisición acelerada de imágenes (GRAPPA, ASSET, SENSE) cuando se utilizan múltiples bobinas de cabezal de arreglos de fase.

Abreviaturas: 3D, tridimensional; HARNESS-MRI, neuroimagen armonizada de las secuencias estructurales de epilepsia; GRAPPA, adquisición paralela parcial autocalibrante generalizada; ASSET, codificación de sensibilidad espacial de bobina de matriz; SENSE, codificación de sensibilidad.

Figura 1:

Protocolo de epilepsia – Resonancia magnética 3D

Ponderada en T1

Tipo de secuencia: eco gradiente

Tamaño del voxel (mm): 1X1X1

La mejor para evaluar: Anatomía y morfología (Volumen, grosor, forma surco-giro, integridad de la diferenciación sustancia gris-blanca)

FLAIR

Tipo de secuencia: Eco turbo spin

Tamaño del voxel (mm): 1X1X1

La mejor para evaluar: Intensidad de señal

Advertencia: No es sensible en neonatos y niños <24 meses de edad debido a mielinización incompleta.

Protocolo tridimensional (3D) de HARNESS - MRI (Harmonized Neuroimaging of Epilepsy Structural Sequences) en 3T. Se muestran imágenes de recuperación de inversión atenuada de fluido (FLAIR) y ponderada en T1, con cortes axiales, coronales y sagitales representativos con resolución milimétrica.

Figura 2:

Protocolo de epilepsia – RM 2D

Coronal ponderado en T2

Adquirido perpendicular al eje largo del hipocampo

Tipo de secuencia: eco turbo-spin

Tamaño del voxel (mm): 0.4x0.4x2; sin espacio entre los cortes

Mejor para evaluar: estructura interna del hipocampo (distinción de las subdivisiones del CA, giro dentado), amígdala y corteza para hipocampal.

HARNESS - MRI (Harmonized Neuroimaging of Epilepsy Structural Sequences) protocolo bidimensional (2D) 3T. Las imágenes coronales ponderadas en T2 con una resolución submilimétrica en el plano cubren toda la extensión de los lóbulos temporales y el hipocampo. Se muestran cortes representativos a nivel de la cabeza del hipocampo (anterior), cuerpo (medio) y cola (posterior). Los cortes se adquieren perpendicularmente al eje longitudinal del hipocampo, como se muestra en la vista sagital, para optimizar la evaluación de la estructura interna del hipocampo. En el panel ampliado, se puede apreciar la capa molecular densamente mielinizada del cuerno de Amon y la circunvolución dentada fusionada a través del surco del hipocampo que aparece como una cinta oscura, lo que permite discriminar estos compartimentos.

Figura 3:

FLAIR 3D reformateado a 3 mm

Resolución original FLAIR 3D a 1 mm isotrópico

Remuestreo de imágenes versus resolución original. Imágenes tridimensionales (3D) axiales de recuperación de inversión atenuada de fluido (FLAIR) de un paciente con displasia cortical focal tipo II histológicamente probada. Paneles superiores: La evaluación radiológica se realizó inicialmente en imágenes reconstruidas a partir de la adquisición original 3D de alta resolución de 1 mm en bloques de 3 mm de espesor. Este examen se reportó normal. Paneles inferiores: la inspección repetida de las imágenes isotrópicas de 1 mm de alta resolución 3D originales reveló la displasia sutil inicialmente pasada por alto, caracterizada por la opacidad de los límites de la lesión (visto en todos los cortes, como lo indican las flechas) y el signo del transmanto (puntas de flecha).

Figura 4:

- A. Esclerosis hipocampal: RM positiva y RM negativa
- B. Displasia cortical focal: RM positiva y RM negativa

Espectro de imágenes por resonancia magnética (RM) de las lesiones epileptogénicas. A, RM 3T coronal T1 y ponderada en T2 en dos casos con epilepsia refractaria del lóbulo temporal y esclerosis hipocampal confirmada histológicamente. En el caso de la resonancia magnética positiva, el hipocampo derecho está claramente atrófico y muestra hipointensidad en T1 e hiperintensidad en T2 (flechas). En el caso inicialmente reportado como “RM negativo”, un examen cuidadoso de la RM ponderada en T2 muestra una hiperintensidad sutil de la señal T2 en las regiones 1 y 3 del CA izquierdas. Además, en comparación con el lado contralateral, la cinta oscura que representa la capa molecular está borrosa, lo que dificulta la distinción entre los subcampos del CA y la circunvolución dentada (ver panel ampliado). B, RM 3T axial ponderada en T1 y T2 en dos casos de epilepsia refractaria del lóbulo frontal izquierdo y displasia cortical focal tipo II confirmada histológicamente. En el caso de la resonancia magnética positiva, hay engrosamiento cortical y opacidad de la transición de la sustancia gris-blanca en la circunvolución frontal superior izquierda (flechas). En el caso reportado inicialmente como “RM negativo”, la nueva adquisición de las imágenes FLAIR muestra una sutil opacidad en la parte inferior del surco (punta de flecha), que es difícil de discernir en imágenes ponderadas en T1.

Figura 5: Volumetría del subcampo hipocampal en epilepsia del lóbulo temporal. Resonancia magnética coronal ponderada en T1 y T2 a nivel del cuerpo del hipocampo y secciones de histología incluidas en parafina de 4 μ m de espesor con inmunohistoquímica de NeuN a un nivel comparable en dos pacientes con un foco temporal derecho. A, Los volúmenes de subículo (Sub; verde), CA 1-3 (rojo) y CA4-giro dentado (DG; azul) son > 3 desviaciones estándar (DE) por debajo de la media de los controles sanos, y la patología muestra pérdida neuronal panhipocampal. B, La volumetría detectó una atrofia sutil de CA1-3 (-2,2 DE) y la histología muestra una pérdida neuronal mínima de CA1. En este paciente con “resonancia magnética negativa”, la volumetría convencional de todo el hipocampo no fue notable, lo que resaltó el valor de la volumetría de subcampo. Barras de escala = 2 mm.

Figura 6: Análisis de textura de displasia cortical focal “RM negativa”. Se muestran cortes axiales, sagitales y coronales tridimensionales (3D) de T1 y FLAIR en un paciente con epilepsia

del lóbulo frontal derecho inicialmente con "RM negativa". La última columna muestra cortes del mapa de gradiente 3D obtenido de la resonancia magnética ponderada en T1, que calcula la tasa de cambio de intensidades, modelando así la alteración de la diferenciación entre la sustancia gris y blanca. En las regiones de transición normal, se espera que el gradiente sea pronunciado y, por lo tanto, parezca hiperintenso. En zonas de borramiento, se espera que el gradiente sea menos pronunciado, por lo que parece hipointenso. En este caso, hay una clara ruptura en el gradiente, con una región hipointensa dentro de la región orbitofrontal derecha (delimitada por los rectángulos discontinuos). La reinspección de las imágenes ponderadas en T1 y T2, informadas por el mapa de textura, revela una gran opacidad en la misma área inicialmente pasada por alto por el examen radiológico convencional.