

Evaluación del cartílago articular de la rodilla utilizando la secuencia de mapeo en T2 por resonancia magnética

Evaluation of articular cartilage of the knee using T2 mapping sequence in magnetic resonance

Héctor M. Bazaldua-Cheda*, Javier J. Onofre-Castillo y Enrique Torres-Gómez

Departamento de Imagenología, Hospital Christus Muguerza Alta Especialidad, Monterrey, Nuevo León, México

RESUMEN

Introducción: La principal función del cartílago articular es la absorción y redistribución de las fuerzas biomecánicas aplicadas con las actividades diarias a la articulación. Utilizando secuencias como el mapeo en T2 es posible detectar cambios en las propiedades del cartílago que ocurren cuando recibe fuerza de compresión, lo cual influye en el tiempo de relajación medido en dicha secuencia. **Objetivo:** Evaluar la capacidad de detección de lesiones cartilaginosas artroscópicamente definidas en la región patelar con la secuencia de mapeo en T2. **Método:** Es un estudio de prueba diagnóstica, observacional, transversal y retrospectivo. **Resultados:** La sensibilidad y especificidad calculada para la secuencia de mapeo en T2 fue del 92.6 y 93.3%, respectivamente, lo cual fue superior al compararse con la calculada del protocolo convencional, donde se obtuvo una sensibilidad del 87.4% y una especificidad del 91.3%. El valor predictivo positivo y el valor predictivo negativo de la secuencia en estudio fue de 92.6% y 93.2%, respectivamente. **Conclusión:** El mapeo en T2 es una secuencia que aporta información valiosa al protocolo convencional de rodilla. Tiene la capacidad de detectar lesiones que pueden no ser vistas en secuencias morfológicas convencionales.

Palabras clave: Cartílago articular. Mapeo en T2. Resonancia magnética.

Correspondencia:

*Héctor M. Bazaldua-Cheda

E-mail: hector_bazal@hotmail.com

Recibido: 15-03-2019

Aceptado: 03-06-2019

DOI: 10.24875/ARM.19000116

1665-2118/©2019 Sociedad Mexicana de Radiología e Imagen, AC. Publicado por Permalyer México SA de CV. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

ABSTRACT

Introduction: The main function of articular cartilage is the absorption and redistribution of biomechanical forces applied with daily activities to the joint. Using sequences such as T2 mapping, it is possible to detect changes in the cartilage properties that occur when receiving compression force, which influences the relaxation time measured in this sequence. **Objective:** To evaluate the ability to detect arthroscopically defined cartilage lesions in the retropatellar region with the T2 mapping sequence. **Method:** Diagnostic study, observational, transversal and retrospective test. **Results:** The sensitivity and specificity calculated for the sequence of T2 mapping was of 92.6% and 93.3%, respectively, which was higher when compared with the calculated one of the conventional protocol, where a sensitivity of 87.4% and a specificity of 91.3% was obtained. The positive predictive value and negative predictive value of the study sequence was 92.6% and 93.3%, respectively. **Conclusion:** T2 mapping is a sequence that provides valuable information to the conventional knee protocol. It has the ability to detect lesions that may not be seen in conventional morphological sequences.

Key words: Articular cartilage. T2 Mapping. Magnetic resonance.

INTRODUCCIÓN

La principal función del cartílago articular es la absorción y redistribución de las fuerzas biomecánicas aplicadas con las actividades diarias a la articulación. También disminuye la fricción entre cóndilos femorales, favorece la adecuada distribución de líquido sinovial y contribuye a mantener la amplitud articular¹.

El daño al cartílago articular puede ser de forma aguda, como resultado de algún traumatismo, o de forma crónica, como manifestación de artropatías, incluyendo la osteoartrosis (OA), que es una enfermedad crónica degenerativa del aparato locomotor caracterizada por la degeneración y pérdida del cartílago articular, con un componente inflamatorio, junto a la proliferación osteocartilaginoso subcondral y de los márgenes articulares². El dolor localizado en la región patelofemoral se describe como una de las

afecciones de rodilla más comunes, que no solo ocurre en individuos físicamente activos, sino que también se observa en toda la población general³.

Adicionalmente, hay inflamación de la membrana sinovial, así como daño en los meniscos, tendones, músculos y nervios asociados con la articulación afectada. La OA de rodilla es la más significativa clínicamente y se incrementa con la edad, ya que el 33 y el 53% de los hombres y de las mujeres, respectivamente, de más de 80 años de edad tienen evidencia radiológica de OA, sin embargo, las manifestaciones clínicas solo se reportan en el 16 y el 5% de las mujeres y hombres, respectivamente⁴.

El cartílago articular es responsable de la resistencia hacia fuerzas compresivas, de la distribución de la carga y, junto con el tejido sinovial, del movimiento de fricción de la

articulación. Aproximadamente el 80% es líquido y el 20%, matriz sólida extracelular. La matriz extracelular se encuentra formada por una red de fibrillas de colágeno y moléculas de proteoglicanos⁵.

Los cambios iniciales histológicos de la degeneración cartilaginosa incluyen la ruptura de dicha red de colágeno y la pérdida del contenido de proteoglicanos, lo que resulta en una aumentada permeabilidad al agua.

Las lesiones condrales están asociadas a eventos traumáticos, inflamatorios y degenerativos. Tienen un impacto importante sobre la calidad del aparato locomotor, tanto de un deportista profesional como de la población en general. Las lesiones degenerativas articulares constituyen una causa importante y frecuente de ausencia laboral.

La evaluación por resonancia magnética (RM) permite una valoración precisa, detallada y no invasiva del estado estructural, muestra la morfología del cartílago, así como la presencia de lesiones internas, defectos, erosiones y fisuras en el estudio convencional. Hay secuencias que valoran el cartílago de manera fisiológica, como el mapeo en T2, el cual detecta alteraciones en la matriz condral, estadios tempranos de condromalacia, que pueden correlacionarse con tiempos de relajación en T2 alargados, reflejando la medición del contenido de agua, de colágeno y la orientación de las fibrillas del colágeno en la matriz extracelular⁶.

Utilizando técnicas como el mapeo en T2 es posible detectar cambios en la RM en cuanto a las propiedades de relajación que ocurren cuando el cartílago recibe fuerza de compresión⁷.

Esta secuencia se obtiene originalmente de una secuencia de T2WI (*weighted image*). Es una de las técnicas fisiológicas utilizadas mundialmente para estudiar el cartílago. Es un mapeo de los valores de parámetros físicos los cuales muestran el tiempo de relajación observado del tejido o estructura estudiada. Se puede lograr la evaluación cuantitativa de la variación de los componentes bioquímicos en las regiones de interés⁸.

La identificación de la degeneración cartilaginosa en estadios tempranos en pacientes sintomáticos que se les realiza RM de rutina de la rodilla es de suma importancia clínica. Un tratamiento efectivo requiere la identificación temprana de cambios degenerativos en el cartílago.

La evaluación del cartílago articular de la rodilla, de forma morfológica, es frecuente y se realiza en los pacientes sintomáticos sometidos a un estudio convencional de RM de rodilla. La mayor limitante de la valoración morfológica del cartílago es la baja sensibilidad que tiene dicho protocolo para detectar cambios tempranos de degeneración cartilaginosa.

Existen técnicas cuantitativas para evaluar el cartílago articular, como lo es la secuencia ya comentada de mapeo en T2, que nos ayuda a detectar cambios en el contenido de agua y colágeno del cartílago, así como a la obtención de imágenes tridimensionales de la estructura cartilaginosa en estudio. Se realiza una medición del tiempo de relajación del cartílago durante esta secuencia, y se detectan zonas con aumento de dicho tiempo, lo cual indica presencia de lesión y/o cartílago anormal con cambios degenerativos.

Basándose en esto, diversos estudios han determinado que el cartílago patelar presenta, en pacientes sanos, tiempos de relajación de 20 a 30 ms en la capa más profunda y de 40 a 50 ms en su capa media y superficial⁹.

El estándar de oro (*gold standard*) para la evaluación del cartílago articular es la artroscopia, la cual permite la visualización directa de la superficie cartilaginosa, sin embargo, es un estudio invasivo y costoso. En contraste, la utilización del mapeo en T2 por RM permite una evaluación cuali-cuantitativa, no invasiva y rápida de la matriz condral, y es capaz de demostrar zonas con cambios tempranos de degeneración condral¹⁰.

La evaluación del cartílago articular necesita de un desarrollo y mejora por parte de las técnicas de imagen que lo estudian, para así obtener estudios con mayor sensibilidad y especificidad de detección de lesiones en este nivel. La presencia de alteraciones a nivel cartilaginoso de forma temprana ayuda a que se realice un tratamiento temprano y, así, mejorar la calidad de vida del paciente que las padece. Sobre la base de esto se desea estudiar la utilidad de la secuencia de mapeo en T2 del cartílago articular para valorar la detección de lesiones tempranas no visibles en secuencias convencionales.

El objetivo general del estudio es evaluar la capacidad de detección de lesiones cartilaginosas en la región patelar con la secuencia de mapeo en T2, comparado con la secuencia morfológica estándar utilizada en RM en lesiones confirmadas por artroscopia.

MATERIAL Y MÉTODOS

Es un estudio de prueba diagnóstica, observacional, transversal y retrospectivo. Se

incluyeron todos los pacientes que cumplieron con los criterios de inclusión que fueron ingresados en el Servicio de Imagenología del Grupo Christus Muguerza (Christus Muguerza Alta Especialidad y Christus Muguerza Sur) y que se les realizó una RM de rodilla con secuencias convencionales y mapeo en T2 y, posteriormente, se les efectuó artroscopia, en el periodo establecido de mayo de 2016 a septiembre de 2018. Se revisaron los protocolos de RM convencional y mapeo en T2 realizados en ambos centros, los cuales cuentan con el mismo resonador de 1.5 T (Signa, GE Healthcare), equipado con antena de rodilla In vivo Quad Extremity Coil T/R. El protocolo convencional de rodilla practicado incluyó secuencias de sagital T1 FSE (*fast spin echo*), sagital T2 FS (*fat suppression*), sagital T2 MERGE (*multiple echo recombined gradient echo*), sagital DP (*proton density*) FSE, coronal T2 FS FSE, axial T2 FS FSE y axial T2 DP FS. El total de la población presentaba dolor en la rodilla como motivo de consulta e indicación del estudio, por lo que se dirigió el estudio a la región retropatelar para evaluación del cartílago a este nivel.

Se realizó un registro de los expedientes electrónicos (PACS) de los pacientes ingresados, se obtuvo el informe radiológico, las imágenes y el procesamiento del mapeo en T2 a color, el cual fue valorado por radiólogos certificados que identificaron la presencia o ausencia de lesión cartilaginosa patelar.

Se realizó una división en cuadrantes del cartílago patelar para mejor la caracterización y ubicación de las lesiones encontradas (Fig. 1). Posteriormente se evaluó por radiólogos certificados, con aleatorización de los casos y sin información clínica adicional, para reportar y

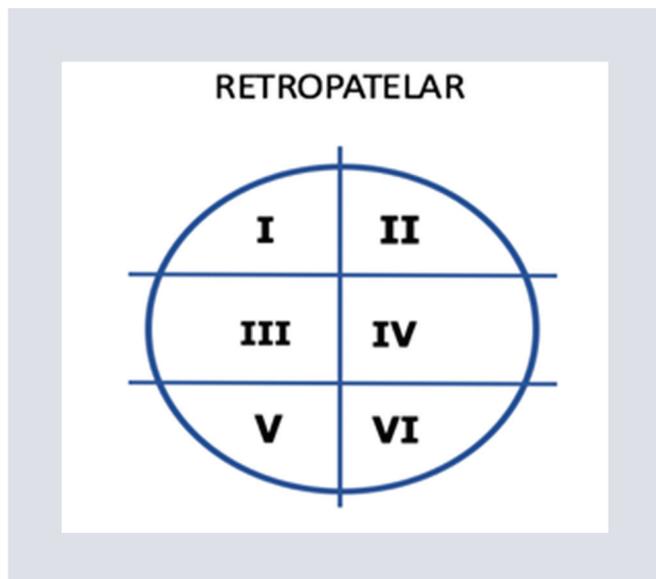


FIGURA 1. División en cuadrantes del cartílago patelar para valoración en mapeo en T2.

clasificar los hallazgos visualizados de acuerdo a la clasificación modificada de Noyes-Outerbridge (Tabla 1).

En cuanto a la valoración de la secuencia de mapeo en T2 (fisiológica y cuantitativa), se obtuvieron los tiempos de relajación en milisegundos, tomando como corte la medida establecida en la literatura de 50 ms, siendo inferior a esta en el cartílago sano.

El tiempo de relajación se midió obteniendo una secuencia multicorte con tiempo de repetición de 1,500 ms, tiempo de eco de 36 ms, ángulo de 90 grados, tamaño de matriz de 320 x 192, *field of view* de 16 cm, con un grosor de 3 mm, banda ancha (kHz) de 31.3 con un tiempo de adquisición de 5 minutos (Tabla 2).

Se realizó un posprocesamiento de la adquisición de mapeo con la aplicación de *software* Functool en la estación de trabajo para determinar el promedio del tiempo de relajación utilizando una región de interés dirigida hacia cada cuadrante en estudio del cartílago

TABLA 1. Clasificación modificada de Noyes-Outerbridge

Grado	Descripción
0	Cartílago normal
I	Intensidad no homogénea en T2
II	Defecto/lesión < 50% del espesor del cartílago
III	Defecto/lesión > 50% del espesor del cartílago
IV	Lesión osteocondral total

patelar. Se utiliza escala de color con valores de 20 ms a 80 ms, con intervalos de 2 ms para evaluar el cartílago patelar (Fig 2).

Se define una lesión cartilaginosa como un cambio focal en la intensidad de señal y/o aumento en el tiempo de relajación en las secuencias de axial T2 FSE y mapeo en T2, respectivamente. La presencia de un tiempo promedio de relajación mayor a 50 ms se definió como cartílago anormal.

Posteriormente se revisaron los reportes de las artroscopias en busca de hallazgos de lesión específicamente en esta región y se realizó una tabla de contingencia de datos 2 x 2 para procesamiento estadístico. El muestreo es no probabilístico, por conveniencia.

Con garantía de respeto, anonimidad y sin conflicto ético, se interpretaron los hallazgos radiológicos en pacientes que se les indicó RM de rodilla. Se utilizó una técnica observacional de imágenes del sistema PACS, así como el *software* Functool para realizar reformateo de imágenes.

RESULTADOS

Se realizó una hoja de trabajo en donde se integraron los datos de los 199 pacientes

TABLA 2. Parámetros de resonancia magnética

	TR	TE	Ángulo	Tamaño matriz	FOV	Grosor	Banda ancha	TA
Mapeo T2	1,500 ms	36 ms	90 grados	320 x 192	16 cm	3 mm	31.3 kHz	5 min
Axial T2 (protocolo convencional)	4,300 ms	77 ms	90 grados	448 x 224	18 cm	3 mm	41.7 kHz	3 min 30 s

FOV: field of view; TA: tiempo de adquisición; TE: tiempo de eco; TR: tiempo de repetición.

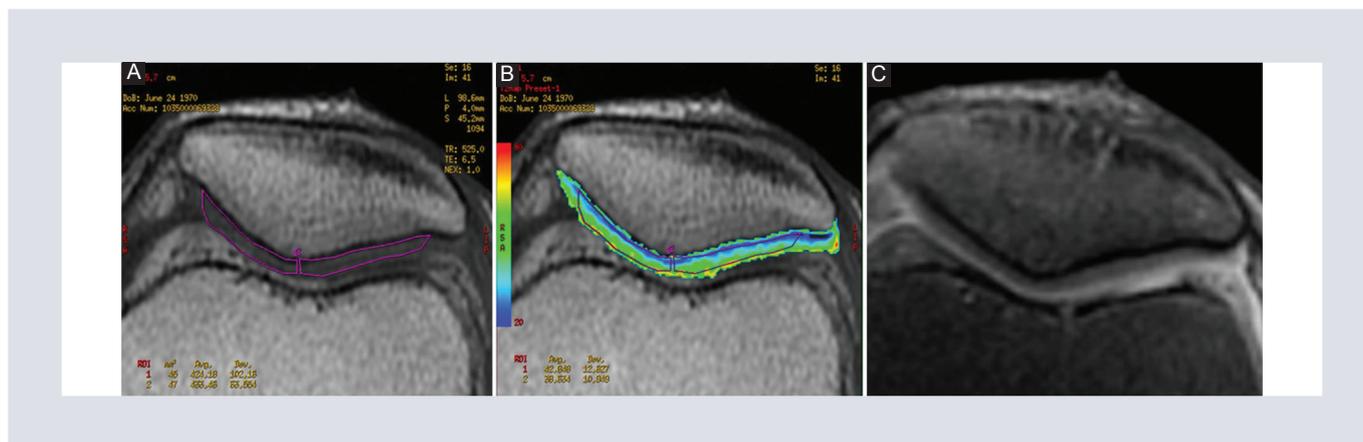


FIGURA 2. Cuantificación del tiempo de relajación en un paciente con cartílago retropatelar sano. Evaluación del cartílago retropatelar sano. **A:** Secuencia de planeación en estación de trabajo a través de *software* Functool en donde se localiza la región de interés (ROI). Se colocan dos ROI hacia la división segmentaria, localizándolas hacia los cuadrantes superiores retropatelares. **B:** Medición y aplicación de escala color (20 a 80 ms), que demuestra valores promedio de 42 y 38 ms hacia ambos cuadrantes. **C:** Secuencia convencional axial T2 (*proton density*) FS (*fat suppression*), la cual muestra un cartílago articular retropatelar homogéneo, sin evidencia de lesión.

estudiados (Tabla 3). Se presenta a continuación los datos demográficos:

- El grupo de edad con mayor frecuencia fue de el de 31 a 40 años, con 44 pacientes (22.1%); en segundo lugar, el de 21 a 30 años, con 43 pacientes (21.7%), y en tercer lugar, el de 41 a 50 años, con 39 pacientes (19.6%).

En conjunto se detectaron 95 lesiones cartilaginosas a nivel patelar por medio de artroscopia en los 199 pacientes estudiados. De estas lesiones, 69 (83%) fueron detectadas por ambos métodos de imagen (secuencia axial T2 protocolo convencional y secuencia de mapeo en T2), mientras que el mapeo en T2 reveló 9 lesiones, artroscópicamente definidas, que no fueron identificadas por el

protocolo convencional de resonancia (Figs. 3 y 4). De estas 9 lesiones, el 66.7% (6) fueron lesiones de grado I descritas en artroscopia, el 22.2% (2), de grado II y el 11% (1), de grado III.

La secuencia de mapeo en T2 fue capaz de detectar 88 (92.6 %) del total de las lesiones definidas por la artroscopia, mientras que la secuencia del protocolo convencional (axial T2 convencional), evaluada por radiólogos certificados, logró detectar 83 lesiones (87.3%).

La sensibilidad y especificidad calculada para la secuencia de mapeo en T2 fue del 92.6% y 93.3%, respectivamente, que fue superior al compararse con la calculada de la secuencia del protocolo convencional, donde se obtuvo una

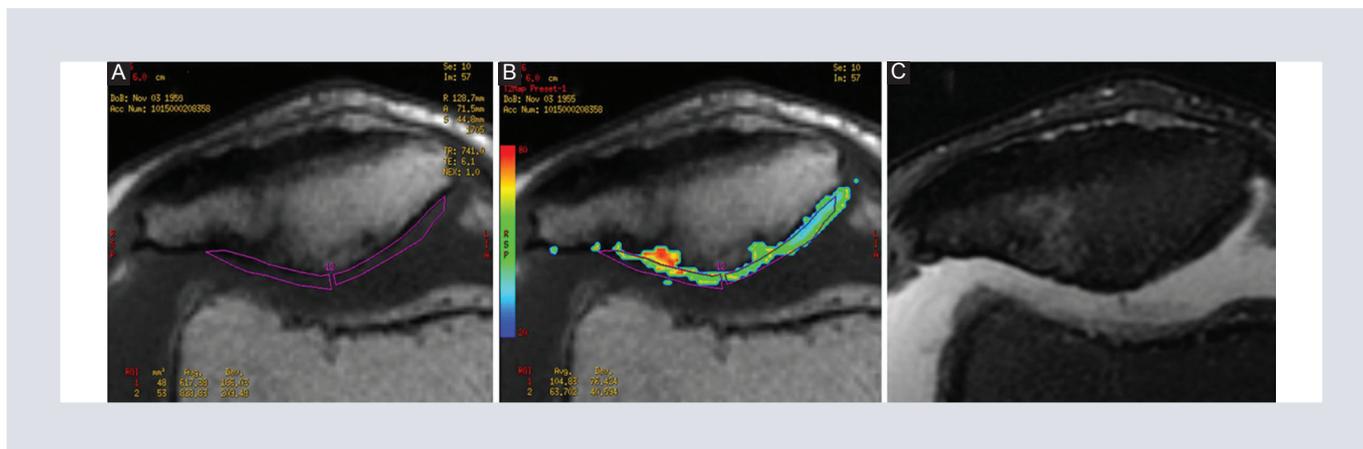


FIGURA 3. Lesión osteocondral grado IV. **A:** Planeación y localización de la región de interés para segmentación patelar establecida. **B:** Valoración del tiempo de relajación del cartílago mediante escala de color, obteniendo mediciones promedio de 104 ms hacia el cuadrante 1, y de 63 ms en el cuadrante 2, demostrando la presencia de alteración en la composición normal del cartílago en este nivel. **C:** Secuencia convencional en Axial T2 DP (*proton density*) FS (*fat suppression*), la cual muestra una lesión osteocondral grado IV a nivel de la carilla articular lateral.

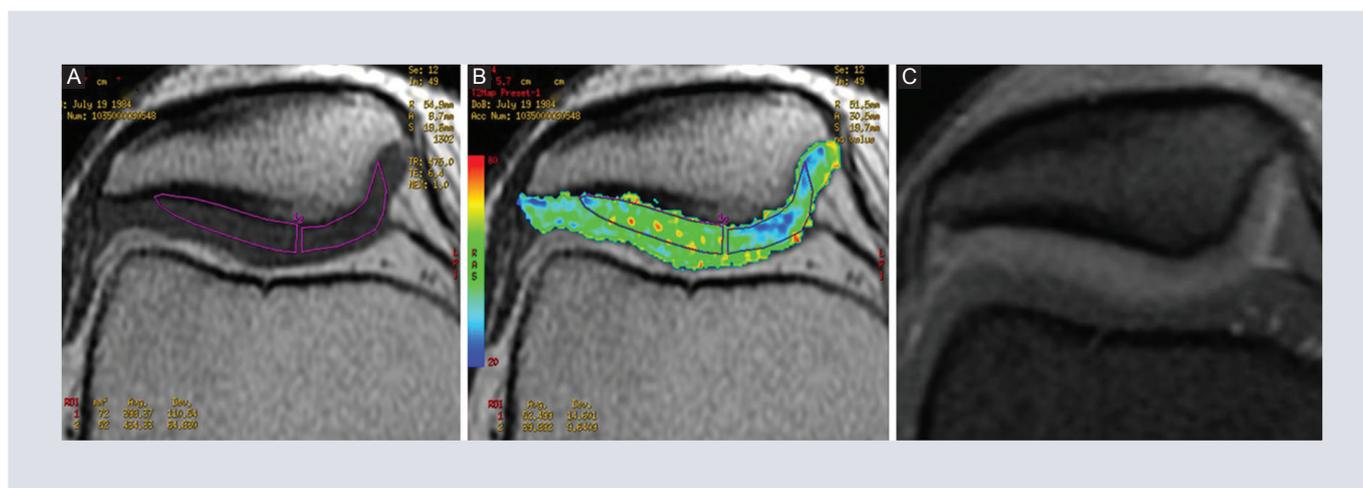


FIGURA 4. Lesión demostrada en secuencia de mapeo en T2, sin lograr definir cambios significativos en la secuencia convencional axial T2 DP FS. **A:** Planeación y localización de la región de interés para segmentación patelar establecida. **B:** Valoración del tiempo de relajación del cartílago mediante escala de color, obteniendo mediciones promedio de 52 ms hacia el cuadrante 1, lo cual supera el límite de normalidad, demostrando la presencia de alteración en la composición normal del cartílago en este nivel. De manera comparativa, el cuadrante 2 muestra tiempo de relajación normales con promedio de 39 ms. **C:** Secuencia convencional en axial T2 DP FS, la cual muestra un cartílago patelar homogéneo sin evidente lesión.

TABLA 3. Población

Número de pacientes	Género	Rango de edad	Método
n = 199 pacientes (95 con lesión confirmada)	Masculino 112 (56.3%) Femenino 87 (43.7%)	12-75 años (media 38.4)	Mapeo y protocolo convencional

sensibilidad del 87.4% y una especificidad del 91.3%. El valor predictivo positivo (VPP) y el

valor predictivo negativo (VPN) de la secuencia en estudio fueron del 92.6 y 93.2 %, respectivamente, lo cual fue superior al compararse con el protocolo convencional, que muestra un VPP del 90.2 % y VPN del 88.7 % (Tabla 4).

Se realizó una correlación entre el grado de lesión en el protocolo convencional y el tiempo de relajación obtenido en el mapeo en T2,

TABLA 4. Tasas de evaluación de la secuencia de mapeo en T2 y la secuencia axial T2 convencional para la detección de lesiones cartilaginosas patelares confirmadas por artroscopia

	Mapeo en T2	Axial T2
Sensibilidad	92.6%	87.4%
Especificidad	93.2%	91.3%
VPP	92.6%	90.2%
VPN	93.2%	88.7%

VPN: valor predictivo negativo; VPP: valor predictivo positivo.

que demostró una correlación baja ($r = 0.37$) entre las dos variables cuantitativas continuas.

Se realizó una curva ROC (*receiver operating characteristic*) para determinar la exactitud diagnóstica y evaluar la capacidad discriminativa del mapeo en T2. Se determinó una exactitud diagnóstica valorando el área bajo curva, la cual muestra un valor de 0.942, lo que muestra una alta capacidad discriminativa.

Finalmente, la reproducibilidad y la repetibilidad de la medición del tiempo de relajación del cartílago articular patelar no fue evaluada como objetivo de este estudio, sin embargo, es necesario conocer dichas características, por lo que podría ser motivo de otro trabajo de investigación. La literatura estudiada demuestra una buena repetibilidad siempre y cuando se cuente con un adecuado posicionamiento del paciente, incluso en la medición del tiempo de relajación en todos los compartimentos de la rodilla, no solo en la región patelar, tomando en cuenta que existen variaciones dependiendo de la localización topográfica en cuanto a los valores normales del tiempo de relajación.

DISCUSIÓN

El propósito del estudio fue evaluar la capacidad de detección de lesiones cartilaginosas

de la secuencia en mapeo en T2 con reformateo en escala de color y medición del tiempo de relajación del cartílago patelar. La secuencia en estudio mostró más lesiones confirmadas por artroscopia en comparación con las secuencias convencionales, lo que en el contexto clínico puede ser de relevancia al revelar lesiones cartilaginosas no detectadas en el protocolo estándar de estudio en la RM de rodilla. La extensión de las lesiones cartilaginosas detectadas en el mapeo en T2 aparentan ser más profundas al compararse con el protocolo convencional.

La evaluación realizada con el mapeo en T2 permite detectar cambios tempranos en la composición estructural del cartílago, y se considera el hallazgo más temprano la degeneración de la matriz de colágeno del cartílago, con aumento en el contenido de agua en su interior, lo que aporta información valiosa en la prevención de lesiones posteriores con la realización de un diagnóstico temprano.

Las indicaciones del mapeo en T2 están dirigidas hacia pacientes sintomáticos, para localización y caracterización de lesiones del cartílago articular, sin embargo, aportaría información valiosa en pacientes asintomáticos, especialmente en población con sobrepeso o en atletas en quienes existe una mayor fuerza axial y hacia los diversos compartimentos recubiertos de cartílago articular en la rodilla.

En este tipo de población es en quienes sería más útil esta secuencia, ya que logra detectar cambios tempranos de degeneración y modificación en el contenido de la matriz de colágeno cartilaginosa, lo cual no demuestra las secuencias convencionales de RM.

CONCLUSIÓN

El mapeo en T2 es una secuencia que aporta información valiosa al protocolo convencional de rodilla. Tiene la capacidad de detectar lesiones no vistas en secuencias estándar. En el contexto clínico y terapéutico, puede aportar información adicional para determinar la profundidad y el tamaño más exacto del cartílago anormal o lesionado.

La RM ha demostrado ser el mejor método no invasivo para evaluar el cartílago articular. La adición de la secuencia de mapeo y la medición cuantitativa del tiempo de relajación ayuda a detectar y analizar la matriz cartilaginosa articular en búsqueda de lesiones tempranas que pueden no ser vistas en las secuencias morfológicas convencionales.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses y que no recibieron financiación para este estudio.

RESPONSABILIDADES ÉTICAS

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no

se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cadena-Villela MC, Cosme-Labarthe JE, Ramírez-Carmona CR, Roldán-Valadez E. Utility of the T2 mapping sequence in the early diagnosis of chondromalacia using non-invasive MR cartilage imaging techniques. *Rev Invest Med Sur Mex.* 2011;18(2):67-71.
2. Morgado I, Pérez AC, Moguel M, Pérez-Bustamante FJ, Torres LM. Guía de manejo clínico de la artrosis de cadera y rodilla. *Rev la Soc Esp del Dolor.* 2005;12(5):289-302.
3. Glaviano NR, Kew M, Hart JM, Saliba S. Demographic and Epidemiological Trends in patellofemoral pain. *Int J Sports Phys Ther.* 2015 Jun;10(3):281-90.
4. Altman R, Alarcón G, Appelrouth D, Bloch D, Borenstein D, Brandt K, et al. The American College of Rheumatology criteria for the classification and reporting of osteoarthritis of the hip. *Arthritis Rheumatism.* 1991;34(5):505-14.
5. Welsch GH, Hennig FF, Krinner S, Trattnig S. T2 and T2 * Mapping. *Curr Radiol Report.* 2014;2(60):1-9.
6. Mamisch TC, Trattnig S, Quirbach S, Marlovits S, White LM, Welsch GH. Quantitative T2 mapping of knee cartilage: differentiation of healthy control cartilage and cartilage repair tissue in the knee with unloading-initial results. *Radiology.* 2010;254(3):818-26.
7. Ruiz Santiago F, Pozuelo Calvo R, Almansa Lopez J, Guzman Alvarez L, Castellano Garcia MDM. T2 mapping in patellar chondromalacia. *Eur J Radiol.* 2014;83(6):984-8.
8. Mosher TJ, Liu Y, Torok CM. Functional cartilage MRI T2 mapping: evaluating the effect of age and training on knee cartilage response to running. *Osteoarthritis Cartilage.* 2010;18(3):358-364. doi:10.1016/j.joca.2009.11.011.
9. Kijowski R, Blankenbaker DG, Munoz Del Rio A, Baer GS, Graf BK. Evaluation of the articular cartilage of the knee joint: value of adding a T2 mapping sequence to a routine MR imaging protocol. *Radiology.* 2013;267(2):503-13.
10. Recht MP, Goodwin DW, Winalski CS, White LM. MRI of articular cartilage: Revisiting current status and future directions. *Am J Roentgenol.* 2005;185(4):899-914.