

APLICACIONES CLÍNICAS DE LAS SECUENCIAS CT-LIKE EN RESONANCIA MAGNÉTICA MUSCULOESQUELÉTICA

Marina Rozas Quesada, Esteban Mayayo Sinués, María Riera Marti, Andrea Senovilla Ardid, Sofia Thais Escobar Narro, Daniel Alejandro Cadavid Cadavid, Natalia Lourdes Tobajas Ramos, María Leyva López.

Hospital Universitario Miguel Servet, Zaragoza.

Justificación y objetivo

La tomografía computarizada (TC) es la técnica de referencia para la evaluación de las estructuras óseas y las calcificaciones, debido a su alta resolución espacial, rapidez de adquisición y amplia disponibilidad.

Sin embargo, la resonancia magnética (RM) presenta limitaciones en la valoración del hueso cortical, debido a la baja densidad de protones y al tiempo de relajación T2 extremadamente corto de estos tejidos.

En los últimos años, se han desarrollado técnicas de RM capaces de generar imágenes con contraste tipo TC (CT-like), como las secuencias ZTE y UTE, así como alternativas basadas en secuencias eco de gradiente con inversión de escala de grises.

Justificación y objetivo

El objetivo de este trabajo es:

1. Describir los fundamentos técnicos de las secuencias CT-like en RM musculoesquelética
 2. Mostrar sus principales aplicaciones clínicas
 3. Analizar sus ventajas y limitaciones en comparación con la TC
-

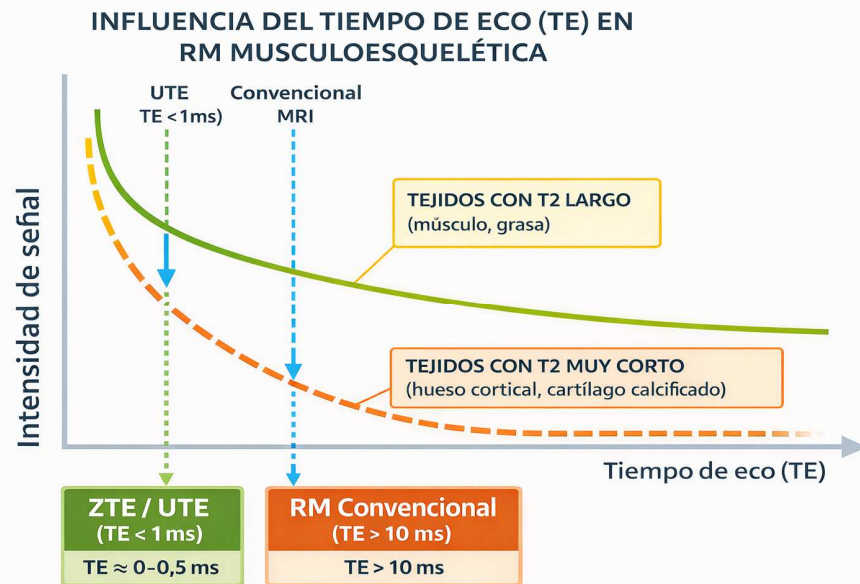
Fundamento técnico UTE/ZTE

El Tiempo de Eco (TE) se define como el intervalo entre la aplicación del pulso de radiofrecuencia (RF) y la adquisición de la señal.

En secuencias convencionales (T1, T2), existe un retardo inevitable (TE), durante el cual la señal de tejidos con T2 muy corto se desvanece antes de poder ser detectada.

Las secuencias avanzadas **UTE (Ultra Short Echo Time, $TE < 1 \text{ ms}$)** y **ZTE (Zero Echo Time, $TE \approx 0 \text{ ms}$)** permiten iniciar la adquisición de la señal de forma prácticamente simultánea a la excitación, captando así señal de estructuras tradicionalmente invisibles en la RM convencional, como el hueso cortical, las calcificaciones, el fibrocartílago, los tendones y los ligamentos.

Esto permite generar imágenes con contraste tipo “TC-like”, útiles para evaluación ósea sin radiación ionizante.



La gráfica muestra la variación de la intensidad de señal en función del tiempo de eco (TE) en tejidos con distinto T2.

Los tejidos con T2 largo (músculo, grasa) mantienen la señal durante más tiempo, mientras que en los tejidos con T2 muy corto (hueso cortical, ligamentos, cartílago calcificado) la señal se pierde rápidamente.

Las secuencias con TE ultracorto o nulo (UTE/ZTE) permiten captar esta señal precoz, haciendo posible la visualización de estructuras tradicionalmente no valorables en RM convencional.

Alternativas “CT-Like” en RM convencional

Las **secuencias** denominadas “**Black Bone**”, basadas en técnicas de eco de gradiente (GRE) con bajo TE y ángulo de flip reducido, permiten obtener imágenes con bajo contraste de partes blandas y mejor delineación de las estructuras óseas.

Mediante la inversión de la escala de grises, estas imágenes pueden adquirir una apariencia similar a la TC, facilitando la evaluación del hueso cortical.

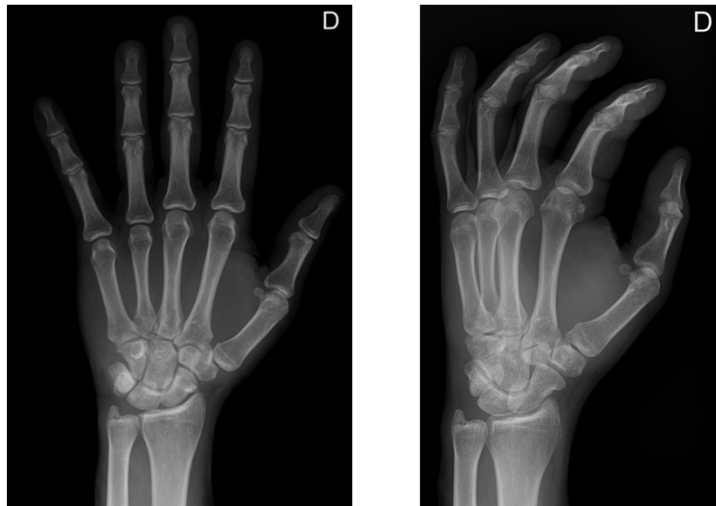
Las **secuencias 3D GRE** (eco de gradiente tridimensional), disponibles en la mayoría de los equipos, permiten una adquisición isotrópica, reconstrucciones multiplanares y evaluación anatómica detallada.

La inversión de la escala de grises permite resaltar el hueso cortical, simulando una ventana ósea tipo TC.

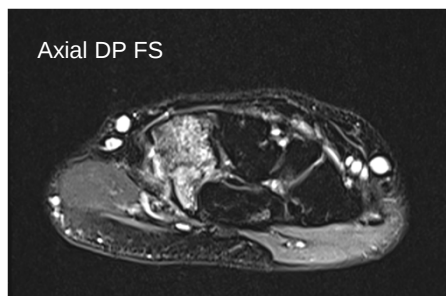
A diferencia de ZTE/UTE, las secuencias tipo black bone y 3D GRE no eliminan completamente el TE, presentando menor sensibilidad para tejidos con T2 muy corto y mayor dependencia del postprocesado, aunque son una alternativa accesible y reproducible en centros sin disponibilidad de secuencias avanzadas.

Fractura oculta del hueso ganchoso

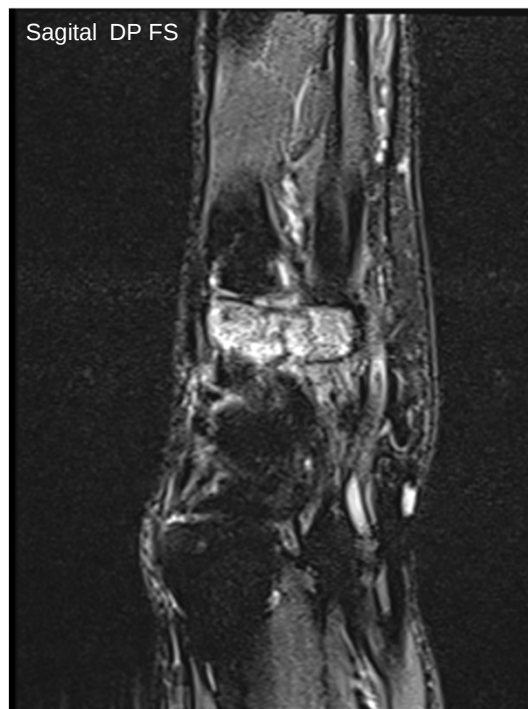
Hombre de 35 años que consulta por dolor en la zona cubital de la muñeca tras traumatismo hace 3 semanas.



Radiografías simples de la muñeca derecha. No se identifican signos claros de fractura, con aparente integridad del hueso ganchoso.



Edema óseo en el hueso ganchoso.

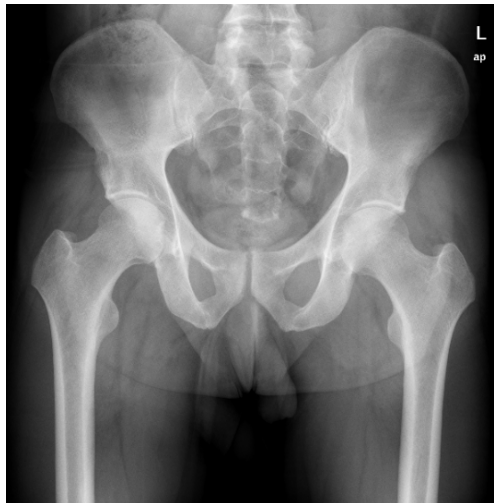


Línea hipointensa de fractura completa de la base de la apófisis ganchosa del hueso ganchoso.

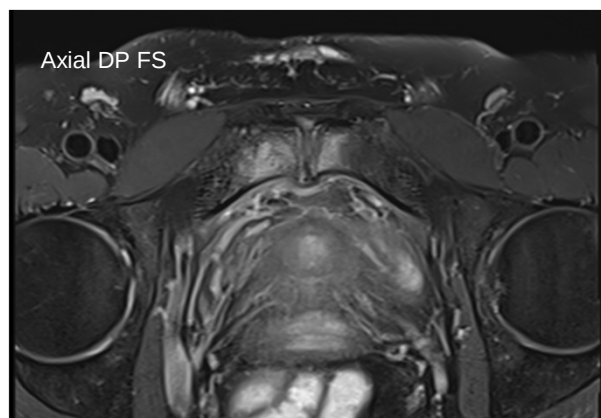
Mejora la detección de fracturas ocultas

Erosiones corticales en la sínfisis del pubis

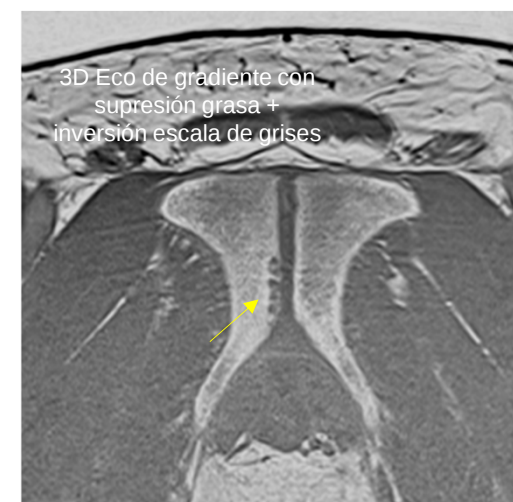
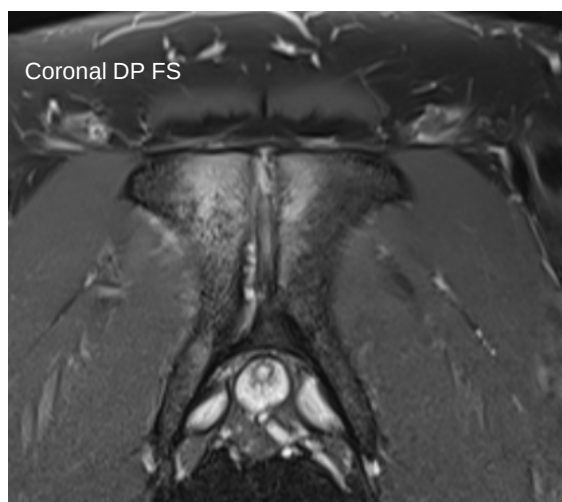
Mujer de 44 años que consulta por dolor suprapúbico con irradiación a cara interna de ambos muslos y no cede con AINES.



Radiografía simple de pelvis: sin alteraciones óseas evidentes.



Edema óseo en la sínfisis pubiana bilateral, más extenso en el lado derecho.



Erosiones corticales en la superficie pubiana parasinfisaria derecha.

Utilidad en artritis

Tendinopatía cálcica

Mujer de 46 años que consulta por dolor en trocánter izquierdo e ingle desde hace 2 semanas tras ir en bicicleta y escasa mejoría con AINES.



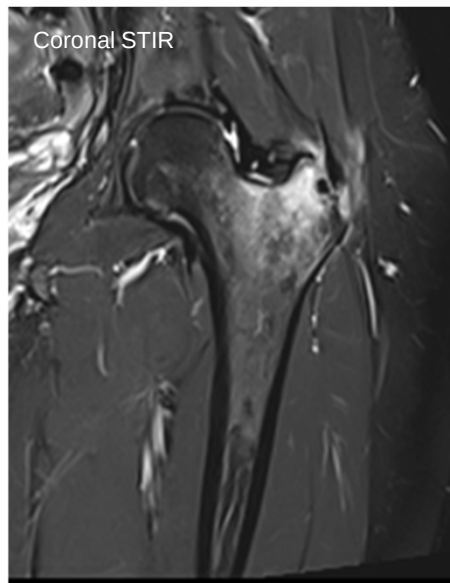
Radiografía simple de pelvis: calcificación adyacente al trocánter mayor del fémur izquierdo, en la región de la inserción lateral del glúteo medio.



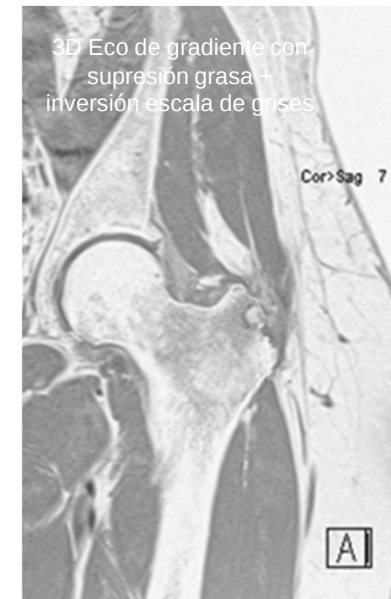
Ecografía partes blandas: calcificación mal definida y fragmentada en la inserción lateral del glúteo medio, con una erosión en la cara lateral del trocánter mayor que sugiere componente de loculación intraósea.



TC corte coronal: calcificación en la inserción lateral del glúteo medio y erosión en la cara lateral del trocánter mayor.



Edema óseo en el trocánter mayor



Calcificación en la porción lateral del tendón del glúteo medio, erosión lateral del trocánter mayor y loculación intraósea cálcica.

Caracterización precisa de las calcificaciones

Otras aplicaciones

Las secuencias CT-like tienen múltiples aplicaciones emergentes:

- **Evaluación morfométrica:** medición del ángulo alfa en la deformidad tipo CAM, valoración de morfología ósea sin necesidad de TC.
 - **Artritis inflamatorias:** detección precoz de erosiones óseas, evaluación estructural sin radiación.
 - **Calcificaciones y osificaciones:** tendinopatías cálcicas, miositis osificante, calcificaciones periarticulares.
 - **Tumores óseos:** evaluación de matriz mineralizada, complemento a RM convencional.
 - **Traumatología:** fracturas ocultas, lesiones corticales sutiles.
-

Ventajas y Limitaciones de la secuencia CT-Like en RM

Las secuencias CT-like aportan valor clínico, aunque con limitaciones actuales que condicionan su uso. Su principal valor radica en reducir la necesidad de TC en casos seleccionados

Ventajas	Limitaciones
Sin radiación ionizante	Disponibilidad limitada
Evaluación simultánea de partes blandas y hueso	Mayor tiempo de postprocesado
Potencial sustituto parcial de la TC	Artefactos (ruido, susceptibilidad)
Útil en pacientes jóvenes o seguimiento	Menor resolución espacial que TC

Conclusiones

Las secuencias CT-Like representan un avance significativo en RM musculoesquelética, permitiendo la visualización de estructuras óseas y calcificaciones con un contraste similar al de la TC. Su integración en la práctica clínica amplía las capacidades diagnósticas de la RM, especialmente en casos donde se busca evitar radiación ionizante.

Bibliografía

- Aydingöz Ü, Yıldız AE, Ergen FB. Zero echo time musculoskeletal MRI: Technique, optimization, applications, and pitfalls. Radiographics [Internet]. 2022;42(5):1398–414. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1148/rg.220029>
 - Fujisaki A, Tsukamoto J, Narimatsu H, Hayashida Y, Todoroki Y, Hirano N, et al. Zero echo time magnetic resonance imaging; Techniques and clinical utility in musculoskeletal system. J Magn Reson Imaging [Internet]. 2024;59(1):32–42. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/jmri.28843>
 - Xu J, Hu Y, Zhou R, Sun S, Chen H. Zero echo time vs. T1-weighted MRI for assessment of cortical and medullary bone morphology abnormalities using CT as the reference standard. J Magn Reson Imaging [Internet]. 2023;58(3):752–60. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/jmri.28583>
 - Wolharn L, Guggenberger R, Higashigaito K, Sartoretti T, Winklhofer S, Chung CB, et al. Detailed bone assessment of the sacroiliac joint in a prospective imaging study: comparison between computed tomography, zero echo time, and black bone magnetic resonance imaging. Skeletal Radiol [Internet]. 2022;51(12):2307–15. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00256-022-04097-3>
 - Tsuchiya K, Gomyo M, Katase S, Hiraoka S, Tateishi H. Magnetic resonance bone imaging: applications to vertebral lesions. Jpn J Radiol [Internet]. 2023;41(11):1173–85. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11604-023-01449-4>
-