

TEMAS DE ACTUALIZACIÓN

LAS MODERNAS TÉCNICAS DE IMAGEN EN LA PATOLOGÍA DEL PIE

SERVICIO DE RADIODIAGNÓSTICO.
HOSPITAL MIGUEL SERVET. ZARAGOZA

V. M. VILLACAMPA CLAVER
A. MAESTRO PERDICES
L. H. ROS MENDOZA

RESUMEN

Como ocurre en el sistema músculoesquelético en general, para el correcto diagnóstico y valoración de las diversas afecciones del pie, el estudio radiológico convencional requiere, en ciertas ocasiones, ser complementado con otras técnicas de formación de imagen de aparición relativamente reciente, como la tomografía computerizada (TC), o la resonancia magnética (RM).

A continuación se describen de modo conciso, y referidos a la patología del pie, los fundamentos, metódica de estudio y semiología radiológica de cada una de estas modalidades de diagnóstico por imagen, con el objeto de hacer más fácil su interpretación en la práctica diaria. Así mismo se valoran sus ventajas e inconvenientes y se proponen una serie de indicaciones básicas que ayuden a decidir cual de estas pruebas puede resultar más adecuada en relación con el tipo de lesión a estudiar.

PALABRAS CLAVE

Radiology, Foot, TC, MRI.

SUMMARY

Sometimes in the foot, as in other areas of the musculoskeletal system, it is necessary to complement the conventional radiological study with other imaging techniques, such as magnetic resonance (MR) or computed tomography (CT).

The technical characteristics and the radiological semiology, applied to the foot, of these two imaging modalities are mentioned in this article. The advantages and disadvantages, as well as, their basic indications are discussed.

KEYWORDS

Radiology, Foot, CT, MRI.

TOMOGRAFÍA COMPUTERIZADA

Fundamentos técnicos

El aparato de TC consiste en un tubo de rayos X (Rx), que gira dentro de una carcasa, y una fila de sensores, que giran igualmente opuestos al tubo de Rx, y que reciben la radiación una vez que ésta ha atravesado la parte del organismo que se pretende estudiar. La información recogida por los sensores pasa a un ordenador, que la traduce en imágenes topográficas.

El haz de Rx está muy colimado, siendo éste del grosor que se desee, y la mesa sobre la que descansa el paciente se desplaza una distancia igualmente programada, lo que se corresponde con la obtención de cortes de un determinado grosor separados por una determinada distancia. En los modernos escáner helicoidales la radiación se emite mientras la mesa se desplaza, pudiendo informáticamente reconstruir los cortes del grosor que se desee.

Si bien la carcasa puede inclinarse cierto número de grados, la obtención de planos diferentes al axial está condicionada a la capacidad de movimiento de las extremidades. Hoy en día existe la posibilidad de obtener reconstrucciones multiplanares mediante un programa informático a partir de los cortes axiales una vez realizado el estudio, aunque la calidad de la imagen es menor, salvo que se realicen cortes muy finos. También pueden obtenerse reconstrucciones tridimensionales, si bien son por el momento de menor valor diagnóstico.

En la pantalla se visualiza el corte realizado en

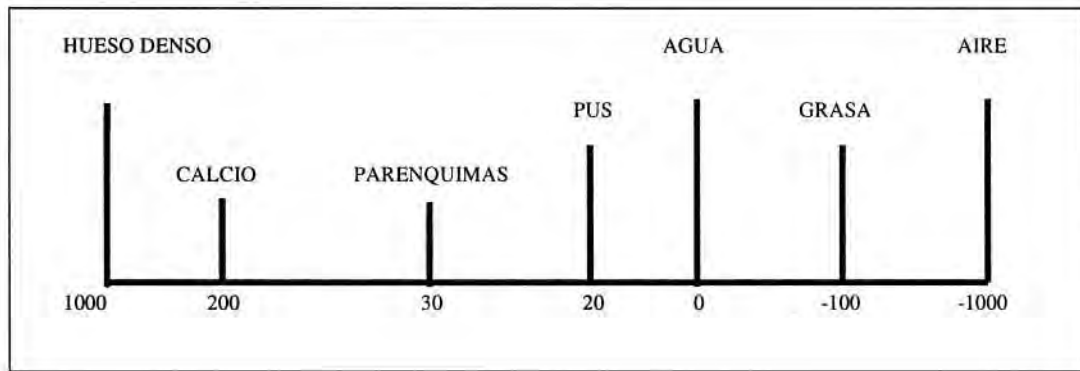


Tabla 1. «Escala de densidades en unidades Hounsfield». Tomado de OLIVA, L.; PISTOLESI, G. F.; SOLSONA, M.; ARDUÁN, F.; MIDÓN, J. R. (1981). *Manual de tomodensitometría. Editorial científica-médica, paginas 29-36.*

diversas tonalidades de gris, según la densidad de las distintas estructuras. La unidad de densidad relativa es la «unidad Hounsfield» (UH). En la tabla 1 aparece representada la relación entre el tipo de tejido y la densidad en UH que le corresponde (11).

Dado que no podemos distinguir 2000 tonalidades de grises, se hace preciso agruparlas en lo que se llama «ventana». Así, un mismo corte puede ser visto con una «ventana de partes blandas» o con una «ventana de hueso». La ventana de hueso es de 200 a 300 UH de nivel y de 1500 a 2000 UH de amplitud. La ventana de partes blandas, de 0 a 50 UH de nivel y de 300 a 400 UH de amplitud (15). Resulta de gran interés la posibilidad de medir densidades en cada estructura. También es posible medir distancias.

Metódica de estudio y anatomía tomodensitométrica

Una de las ventajas de esta técnica es la de poder observar los dos pies al mismo tiempo. La «regla del dos» (10), considera como técnica estándar el estudio de los dos pies, en dos planos diferentes, con espesor de corte de 2 mm. y presentación de las imágenes con dos ventanas, de hueso y de partes blandas. Los modernos TC permiten cortes más finos con una buena resolución, si bien es necesaria una adecuada orientación de la zona a estudiar. El uso de dos planos de corte puede ser obviado realizando posteriormente una reconstrucción multiplanar.

El paciente se coloca en decúbito supino con los dos pies juntos. En el *estudio coronal*, en el que las plantas de los pies están apoyadas en la mesa de forma que el plano de corte es perpendicular a la planta del pie, veremos planos frontales del tobillo, identificando la cúpula astragalina (esenciales para el diagnóstico de osteocondritis), el calcáneo y la articulación subastragalina, y posteriormente cortes transversales del mediopié, metatarsianos y dedos.

En el *estudio axial*, las piernas están estiradas y los pies en ángulo recto. Obtendremos imágenes transversales del tobillo, veremos la articulación medio-tarsiana e imágenes longitudinales del mediopié y antepié, así como del calcáneo (Fig. 1). Esta es una buena proyección para el estudio tomodensitométrico de los tendones del tobillo, ligamentos de la articulación tibioperoneo-astragalina y de Chopart (10).

Otro procedimiento que utiliza cortes TC es el artroscáner, usado en la articulación tibiotarsiana, en el que se inyecta previamente un contraste yodado, y a veces aire, dentro de la articulación. Los cortes mostrarán imágenes muy significativas del cartílago y la cápsula articulares. De mayor dificultad técnica es la artrografía de la articulación de Chopart.

Una técnica muy reciente es la «angio-TC», normalmente con escáner helicoidal, en la que tras la inyección de contraste intravenoso, se obtienen imágenes tridimensionales del árbol vascular.

Indicaciones de la TC

La relativa sencillez técnica y el aceptable coste de esta prueba, hacen que hoy en día se considere una exploración básica e imprescindible en el estudio de diversas afecciones del pie y tobillo, especialmente en la evaluación de patología ósea.

1. Patología Traumática

1.1. Fracturas

El estudio TC es el examen de elección en las fracturas y microfrazas del pie y tobillo tras la realización de radiografía simple (10, 15). En general se indicará cuando no se visualice la extensión completa de la fractura en la radiografía simple, en fracturas muy pequeñas o en fracturas complejas con posible afectación articular o arrancamiento de



Fig. 1. Anatomía tomodensitométrica. a: Plano coronal, ventana de estructuras óseas, en el que se aprecia con nitidez la interlínea articular tibioperoneoastragalina, la cúpula del astrágalo y también la interlínea articular astragalocalcánea. b: Plano axial transversal en el que se define con nitidez el espacio articular calcáneoastragalino. En la parte más anterior se insinúa la articulación astrágaloescafoidea.

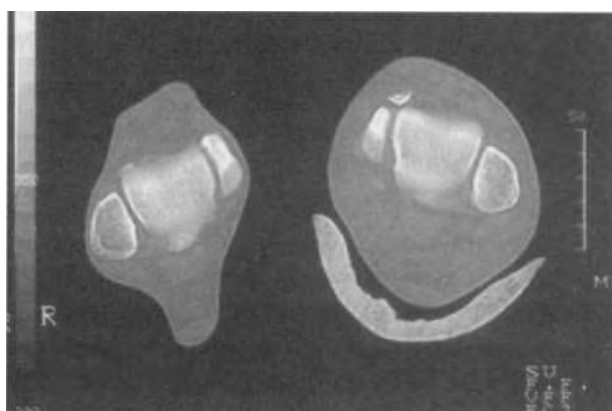


Fig. 2. Fragmento intraarticular. Estudio tomodensitométrico, proyección axial transversal, a nivel de la articulación tibioperoneoastragalina, en un paciente con antecedente traumático, apreciándose en la imagen del lado derecho un pequeño fragmento óseo adyacente al maléolo interno. Cabe destacar también la tumefacción de partes blandas, comparativamente con respecto a las del lado opuesto, en relación con el edema pos traumático.

tendones. Se considera necesario realizar un TC ante una fractura susceptible de tratamiento quirúrgico en el pie o ante la sospecha de cuerpos libres intraarticulares (10) (Fig. 2).

1.1.1. Fracturas de los huesos del tarso

Uno de los huesos más complejos en su evolución postraumática es el *astrágalo*, por su grave riesgo de necrosis. La incongruencia articular por desplazamiento de fragmentos afectaría tanto a la articulación tibiotalariana como a la subastragalina y los procesos artrósicos derivados provocan gran dolor e incapacidad funcional. La TC ayuda en la obtención de un diagnóstico exacto y en la planificación de tratamiento quirúrgico con el objetivo de minimizar el riesgo de necrosis y restablecer en la medida de lo posible la congruencia de las carillas articulares (Fig. 3).

De difícil diagnóstico es la fractura de la apófisis externa del astrágalo, que puede ser confundida con

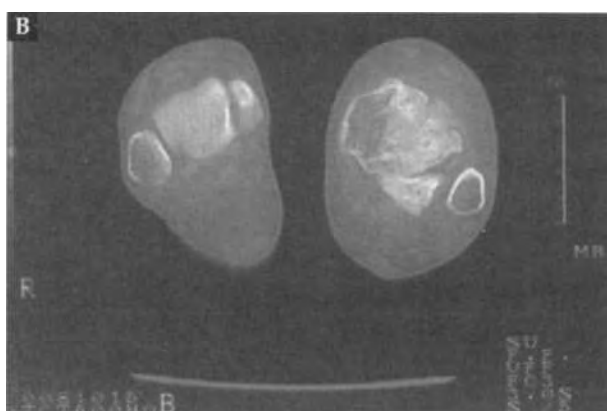


Fig. 3. Fractura compleja de astrágalo y porción distal de tibia y peroné. a: Estudio tomodensitométrico, plano coronal. Se objetiva una llamativa distorsión morfológica de la porción distal de la tibia y de la cúpula astragalina en la imagen del lado derecho, evaluando disrupción de la interlínea articular y afectación también del espacio articular subastragalino. b: Proyección axial transversal. Se identifica con nitidez la llamativa alteración morfológica de la cúpula del astrágalo comparativamente con respecto al lado opuesto. Las imágenes corresponden a la evolución de una fractura compleja de la zona y muestran con nitidez el compromiso de las estructuras óseas y de las interlíneas articulares.

esguinces externos de tobillo, arrancamientos del maléolo externo e incluso con tendinitis o luxaciones de los tendones peroneos. Los cortes coronales de TC diferencian claramente estas entidades y permiten así mismo visualizar posibles cuerpos intraarticulares.

Las fracturas del *calcáneo* son graves dado que en la mayoría de los casos son articulares y porque el desplazamiento de los fragmentos provoca el hundimiento de los arcos plantares longitudinales. Mediante la TC evaluaremos el grado de congruencia articular, el posible hundimiento de la articulación subastragalina y la presencia de cuerpos libres intraarticulares. También tiene indicación el estudio tomodensitométrico en la evaluación postquirúrgica, pese al artefacto que puede provocar el material de osteosíntesis.

En las fracturas por estrés de la apófisis posterior del calcáneo, en estadios precoces aparecen lesiones osteoclásticas, sin claras líneas fracturarias, para cuya visualización puede ser necesario realizar cortes muy finos, incluso de 1 mm de espesor. En esta entidad también resulta útil el estudio isotópico.

En el *escafoides tarsiano* las fracturas por sobrecarga suelen pasar desapercibidas, por ser paralelas a las líneas de fuerza y porque el deportista puede comenzar la actividad física después de unos días de producirse la lesión sin excesiva dificultad. Ante la sospecha clínica la TC permite visualizar la posible fractura, con o sin desplazamiento, orientando el tratamiento ortopédico o quirúrgico.

También difícil de visualizar en radiografía simple es la fractura del *tubérculo interno* por arrancamiento del tendón del tibial posterior, a distinguir de un escafoides supernumerario doloroso tras contusión o una pseudartrosis tras arrancamientos antiguos.

1.1.2. Fracturas de la articulación de Lisfranc

La TC cobra especial importancia en las pequeñas fracturas por avulsión en la cara plantar de la base de los metatarsianos, que pasan a menudo inadvertidas. Se debe de sospechar una lesión de Lisfranc cuando se aprecia en la radiología simple un aumento del espacio entre el primer y el segundo metatarsiano o cuando hay fracturas por avulsión en la cara lateral del cuboide (7, 5). También se ha descrito el uso de la TC para valorar la reducción quirúrgica.

1.1.3. Fracturas de los metatarsianos o de los dedos

Se indica TC cuando existe sospecha clínica y radiografía simple negativa. Especial importancia tienen las «fracturas de la marcha», en que la línea

de fisura es difícilmente visible mediante radiología convencional en fase precoz.

1.2. Patología articular traumática cápsuloligamentosa

En este grupo puede estar indicada la realización de artroscáner o RM.

1.2.1. Articulación tibiotarsiana

Sólo en casos de cuadro clínico atípico está indicado realizar una TC. Fuera de la fase aguda podremos ver un fascículo grueso, de bordes mal definidos o la avulsión de la inserción de un tendón o ligamento. Sin embargo, salvo cuando se visualiza la avulsión, estas imágenes no reflejan el grado de ruptura de un ligamento. Un artroscáner en fase precoz puede ayudar al diagnóstico de rotura cápsuloligamentosa, aunque a este respecto la RM puede ser la exploración idónea.

1.2.2. Articulación subastragalina

Con técnica de artroscáner, el ligamento astragalocalcáneo interóseo puede aparecer engrosado en relación con el contralateral, con una solución de continuidad central y retracción de los extremos, o bien no visualizarse, lo cual no asegura su ruptura pero sí aumenta la probabilidad de lesión grave del mismo. A veces puede verse una calcificación en el extremo retraído, correspondiente a una avulsión. En las fracturas de astrágalo que afectan al seno del tarso puede ser imposible ver el ligamento interóseo por el hematoma.

1.2.3. Articulación de Chopart

En el estudio con TC se describen 5 signos orientadores de esguince mediotarsiano (15):

- Derrame.
- Aumento de volumen del ligamento astragaloescafoideo dorsal.
- Arrancamiento de las inserciones proximal y/o distal de estos ligamentos.
- Aumento de los fascículos escafoideo y cuboideo del ligamento en Y.
- Fractura de la apófisis mayor del calcáneo, donde asienta el ligamento en Y.

1.2.4. Articulación de Lisfranc

A menudo se asocian fracturas de las bases de los metatarsianos o las cuñas, difíciles de visualizar con radiografía simple.

1.3. Alteraciones traumáticas de tendones, fascias y músculos

En general se ha de considerar la realización de estudio RM cuando existen dudas diagnósticas y se sospecha afectación de partes blandas.

1.3.1. Tendones

La TC permite visualizar y diagnosticar estas lesiones, pero no es capaz de distinguir el edema, el derrame o los tejidos tendinosos patológicos, ya que tienen densidad semejante, por lo que no es posible asegurar la integridad de un tendón. En las *tendinitis*, *tenosinovitis* y las *entesopatías* se puede ver un aumento de volumen del tendón, o la distensión de la vaina por el derrame.

1.3.2. Fascias

En las lesiones traumáticas de la fascia plantar puede verse discontinuidad en las roturas o bien engrosamiento, hiperdenso y mal definido, e incluso infiltración de la grasa plantar en el caso de fascitis plantar postraumática.

1.3.3. Músculos

Los músculos intrínsecos pueden ser estudiados con TC para visualizar roturas musculares o desgarrados, en que la masa muscular aparece aumentada de tamaño y con bordes irregulares, y en fases tardías con degeneración grasa (15).

2. Lesiones isquémicas

En general la RM se muestra como una técnica más sensible y precoz que la TC en la detección de las lesiones isquémicas.

2.1. Osteocondritis aséptica del astrágalo

Podemos encontrar desde una simple depresión a un fragmento único o múltiple, que puede llegar a estar desprendido e incluso desplazado. En el primer caso se puede ver la superficie articular del astrágalo irregular, con esclerosis subyacente y geodas. La presencia de fragmentos disecados forma la imagen típica de «huevos en el nido». En casos muy avanzados puede verse importante deformidad, con grandes geodas e incluso gas intraóseo (Fig. 4).

2.2. Necrosis isquémica pos traumática del escafoides tarsiano

El hueso aparece desestructurado, con zonas de esclerosis y geodas, pudiéndose asociar incon-

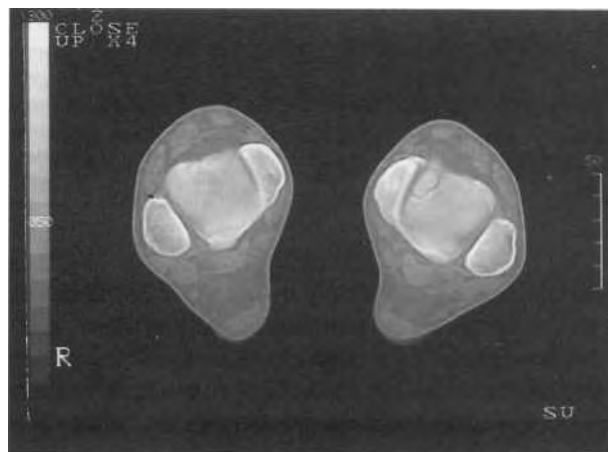


Fig. 4. Osteocondritis disecante del astrágalo. Proyección axial transversa que muestra a nivel de la porción medial o interna de la cúpula del astrágalo del lado derecho una imagen de ruptura de la superficie articular, en torno a 1 cm. de diámetro, bien delimitada del tejido óseo circundante por un halo de menor densidad radiológica que la rodea.

gruencia articular, que en fracturas importantes conlleva la artrosis de las articulaciones astragalocuneanas o astragaloescafoidea.

2.3. Escafoiditis tarsiana del niño o enfermedad de Köehler I

La radiografía lateral es suficiente para el diagnóstico y seguimiento. El hueso aparece heterogéneo, con áreas irregulares de condensación ósea y aplanamiento típico en forma de lente bicóncava (2).

2.4. Escafoiditis tarsiana del adulto

El hueso aparece desestructurado, con zonas densas irregulares y con un gran componente artrósico tanto en la articulación con el astrágalo como con las cuñas.

2.5. Epifisitis de las cabezas metatarsales, enfermedad de Köehler II o de Freiberg

Normalmente se afecta la cabeza del segundo metatarsiano. Los signos radiológicos son normalmente tardíos, con aplanamiento e irregularidad de la cabeza metatarsal, aumento de la densidad ósea y lesiones articulares por incongruencia de las carillas. La base de la falange también se ve afectada por procesos artrósicos.

3. Infecciones

La TC se usa para valorar el posible compromiso de la fisis, que en caso de afectación se muestra

irregular y ensanchada, o para localizar secuestros, lo que confirma el diagnóstico la mayoría de ocasiones, ya que sólo tres procesos cursan con secuestros: La osteomielitis, el granuloma eosinófilo y el fibrosarcoma. El diagnóstico diferencial entre estas tres entidades puede apoyarse en la gammagrafía ósea (Fig. 5).

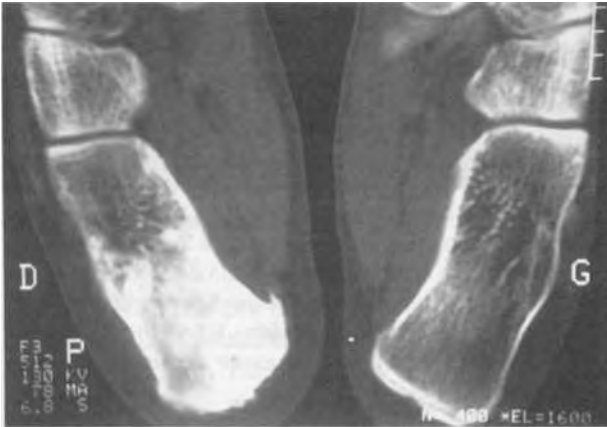


Fig. 5. Osteomielitis de calcáneo. Estudio tomodensitométrico, proyección axial con ventana de estructuras óseas, en donde se aprecia un llamativo aumento de la densidad radiológica de la mitad posterior del calcáneo del lado izquierdo, sin llamativa alteración morfológica ni de las partes blandas adyacentes. La imagen bilateral permite establecer comparación con el lado opuesto.

4.- Tumores

4.1. Tumores óseos

4.1.1. Tumores óseos benignos

El *osteoma osteoide*, si bien raro en el pie, suele aparecer en el astrágalo. También se han descrito en el cuboides o en los metatarsianos (15). En el pie,

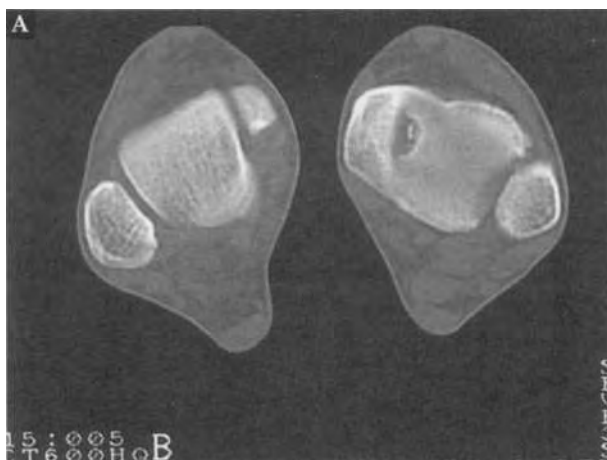


Fig 6. Osteoma osteoide. a: Estudio tomodensitométrico, proyección axial transversa, ventana de estructuras óseas. Se evidencia a nivel de la porción medial de la cúpula astragalina del lado izquierdo, en una zona adyacente al maléolo interno, un área redondeada de menor densidad con una pequeña imagen de densidad calcio en su porción central. b: Plano coronal en donde se define con nitidez la alteración morfológica de la vertiente interna de la cúpula astragalina del lado afecto y la pequeña imagen cálcica en su porción central.

por tratarse de hueso eminentemente esponjoso se produce poca o nula reacción perilesional (3). El uso del escáner en este tipo de lesiones permite confirmar el diagnóstico, precisar la localización del nidus y favorecer su cirugía. En ciertas localizaciones se está utilizando el escáner para la extirpación del osteoma, sirviendo como guía en el abordaje y como control tras la eliminación del nidus. En la imagen tomodensitométrica se puede ver la clásica imagen "en diana", con una zona radiolúcida, calcificada o no, y una esclerosis circundante (Fig. 6).

Otros tumores que podemos encontrar son los islotes condensantes de calcáneo, los condroblastomas, encondromas, y osteocondromas, el quiste simple, el quiste aneurismático y los tumores glómicos de las falanges.

4.1.2. Tumores óseos malignos

Son raros en el pie (6), tanto los tumores primitivos como las metástasis, las cuales suelen afectar a los huesos del tarso y en menor medida a las falanges (1). Los tumores malignos que podemos encontrar son osteosarcoma y sarcoma de Ewing (que normalmente se localizan en el extremo inferior de la tibia o en el tarso), condrosarcoma o linfoma. Las metástasis suelen tener origen pulmonar y uterino y por lo general tienen aspecto lítico (15). La mayor parte se visualizan con nitidez en el estudio radiológico convencional.

4.2. Tumores de partes blandas

En general los tumores de partes blandas son susceptibles de estudio RM, bien como primera elección o complementando al estudio TC.

Para el estudio de los *neuromas* se indica la realización de RM. En TC estos tumores aparecen como masas redondeadas en el recorrido de un nervio. Tienen una densidad de unas 40 UH y captan el contraste endovenoso. Los neurinomas del nervio tibial posterior son fácilmente visibles, por su tamaño, pero otros más pequeños como el de Morton son de más difícil visualización.

Los *angiomas* aparecen como una masa mal delimitada de densidad similar al músculo. La arteriografía confirma el diagnóstico y la TC sirve para el control postembolización.

Los *fibromas* captan intensamente contraste, lo que supone gran vascularización, adquiriendo una tonalidad similar a la de la aponeurosis. El uso del escáner en este tipo de lesión se limita a la diferenciación de un fibrosarcoma.

Otros tumores del pie menos frecuentes son el quiste sinovial, en el dorso del pie normalmente, el neurofibroma, el lipoma intraóseo, que suele afectar al calcáneo (8) pudiendo ocasionar grave deformidad del pie, el tumor de células gigantes, el fibrosarcoma, sinoviosarcoma, leiomioma y leiomiomasarcoma.

5. Patología articular

Artritis. Los signos obtenidos con escáner son análogos a los obtenidos con radiología convencional.

Artrosis. Generalmente el escáner no suele aportar nuevos datos a la radiografía convencional y tiene como principal indicación la evaluación previa a cirugía (Fig. 7).



Sinostosis o barra tarsal. El escáner es la prueba de elección en la sinostosis astragalocalcánea. Si se trata de una sinostosis completa veremos continuidad de la cortical y esponjosa. En las sinostosis fibrosas o incompletas aparece una banda radiolúcida irregular, de bordes esclerosos similar a la de las pseudartrosis. Es importante valorar el tipo de sinostosis porque de ello depende la elección del tratamiento quirúrgico. En los niños, algunos autores prefieren la RM, ya que los huesos cartilaginosos se visualizan con más facilidad (10).

6. Miscelánea

Bursitis. En la TC sólo se aprecia cuando la bursa está distendida, y aparece como una formación redondeada, delimitada por grasa y con contenido líquido en su interior. Cuando son antiguas, pueden tener calcificaciones en su interior.

Calcificaciones. Espolones y exóstosis son bien diagnosticados con radiología convencional. Únicamente en localizaciones difíciles se recurre a la TC.

Algodistrofia. Aparece una disminución de la trama ósea, con corticales finas aunque conservadas y edema de partes blandas.

7. Mediciones

Está indicado el escáner para medir distancias y ángulos de extremidades inferiores (un topograma supone una radiación entre 50 y 100 veces menor que una Rx convencional y su coste es inferior) (Fig. 8).

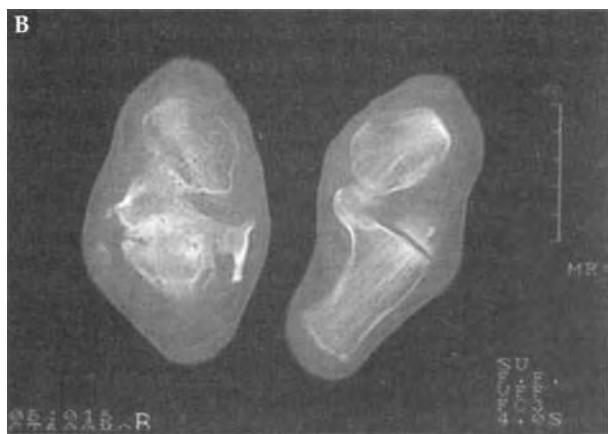


Fig. 7. Artrosis de la articulación subastragalina. a: Proyección coronal en donde se evidencia una llamativa irregularidad de la interlínea articular con cierto grado de esclerosis subcondral, objetivando una llamativa imagen de osteofitosis en la vertiente interna de la cara inferior del astrágalo en el lado izquierdo. b: Proyección axial transversa en donde se confirma la interrupción de la interlínea articular y los llamativos cambios de las estructuras óseas con esclerosis y geodas subcondrales. Se identifica también con nitidez la imagen de osteofitosis del astrágalo. En el lado opuesto la estructura ósea está bien conservada y la interlínea articular se define con nitidez, sin irregularidades manifiestas.



Fig. 8. *Mediciones mediante TC. Medida del ángulo de torsión de la pierna mediante superposición de planos obtenidos a nivel de la articulación tibioperoneoastragalina, en la zona de la cúpula del astragalo, y planos obtenidos a nivel de la meseta tibial. La tomodensitometría resulta una técnica idónea para realizar este tipo de mediciones con una irradiación mínima del paciente y una gran exactitud desde el punto de vista diagnóstico.*

RESONANCIA MAGNETICA

La aplicación de la Resonancia Magnética (RM) al sistema músculo esquelético, y al pie en particular, permite una excelente visualización de los distintos tejidos, fundamentalmente en lo que se refiere a partes blandas, que delimita con excelente resolución espacial.

Fundamentos técnicos

Para realizar esta técnica, se introduce la zona a estudiar en el interior de un potente campo magnético. Los protones del núcleo de los átomos de hidrógeno, que pueden ser considerados pequeños campos magnéticos y realizan un movimiento de forma cónica, similar al de una peonza, denominado «precesión», quedan orientados según este campo magnético. En estas condiciones, se emite desde una antena o «bobina», una radiofrecuencia (RF) de baja energía, que perturba el estado de equilibrio de los protones, de tal forma que éstos pasan a girar en otro plano. Cuando la RF cesa, los protones vuelven a su posición inicial, apareciendo momentos magnéticos en un plano paralelo al campo externo y modificándose los momentos transversales al mismo, en lo que se denomina «relajación longitudinal» o T1, y «relajación transversal» o T2, emitiendo otras ondas que son recogidas por la antena y codificadas en forma de señal, que posteriormente se transforma en imagen.

Los distintos tejidos tienen tiempos de relajación T1 y T2 variables. Las ondas de RF se emiten en forma de «pulsos», que se repiten con una determinada frecuencia o «tiempo de repetición» (TR). Tras

un pulso de RF se espera un tiempo para la aparición de la señal o «eco», que se conoce como «tiempo de eco» (TE). La combinación de secuencias con TR y TE distintos, hará que se manifiesten más claramente las diferencias de T1 o de T2 entre los tejidos. Así, hablamos de secuencias «ponderadas» en T1 o en T2, respectivamente. La combinación de distintos pulsos de RF, permitirá que obtengamos secuencias distintas, como por ejemplo la densidad protónica. En general, las secuencias ponderadas en T1 dan información morfológica, contrastando los distintos tejidos, mientras que las secuencias ponderadas en T2 realzan las señales patológicas.

Otros factores que contribuyen a la formación de la imagen de RM son:

- La concentración protónica. Así la cortical ósea, sin apenas átomos de hidrógeno, aparece como imagen negra, de baja o nula intensidad, mientras que la grasa, dado su alto contenido en átomos de hidrógeno, da señal intensa en todas las secuencias.
- La presencia de metales. Algunos provocan artefactos y otros dan un vacío de señal.
- El movimiento. Muy importante, ya que un pequeño movimiento involuntario puede provocar artefacto en todos los cortes de una secuencia y no sólo en uno, como ocurre en TC.
- Contrastes específicos para RM. Se utilizan sustancias paramagnéticas, como el Gadolinio-DTPA, vía intravenosa (IV). Puede ser usado en pacientes alérgicos a los contrastes yodados o con insuficiencia renal grave (12).

Metódica de estudio y semiología radiológica en RM

Se suele utilizar la antena que rutinariamente se usa en los estudios de cráneo. En estudios de pequeñas articulaciones del pie podemos usar bobinas de superficie más pequeñas, con las que se obtienen imágenes de mayor definición. El paciente se coloca normalmente en decúbito supino con los pies dentro de la bobina en flexión plantar, ya que en posición fisiológica no suelen caber dentro de la bobina.

Se suele hacer una secuencia rápida ponderada en T1, coronal, lo que corresponde al plano transversal del pie, con la que se localiza la estructura que interesa, programando así los cortes y las distintas secuencias según el criterio del radiólogo que dirige la exploración. En general se usan al menos dos planos del espacio y secuencias ponderadas en T1 o T2 (Fig. 9). Para la realización de los distintos planos de corte no es necesario mover al paciente. El plano sagital es usado para estudiar los tendones (peroneo, extensor,



Fig. 9. Resonancia magnética (RM). Anatomía radiológica. a: Proyección sagital ponderada en T1 que muestra con nitidez la interlínea articular del tobillo, la articulación subastragalina y las estructuras óseas del antepié. La resolución de contraste de la técnica permite visualizar con nitidez la musculatura de la porción distal de la pierna, definiéndose también la almohadilla grasa plantar. El tendón de Aquiles puede identificarse como estructura individualizada, con baja intensidad de señal a nivel de la parte posterior de la imagen, desde su inserción en el calcáneo, situándose por detrás de la musculatura de la pierna. b: Proyección axial transversa, que muestra el calcáneo, y las estructuras del antepié, definiendo con nitidez las interlíneas articulares. Se identifican también, con intensidad de señal algo más baja, las estructuras musculares, la grasa de la almohadilla plantar, hiperintensa, y las estructuras vasculares, con vacío de señal, apareciendo por lo tanto oscuras. c: Plano coronal a nivel de la articulación astrágalo calcánea que define con nitidez la cúpula de ambos astrágalos y la interlínea articular. Las estructuras tendinosas y vasculares aparecen en negro, por su baja intensidad de señal.

Aquiles...) (Fig. 10) y el seno del tarso. Los ligamentos del tobillo se visualizan mejor en secciones coronales y oblicuas. El uso de contraste IV tiene como indicación casi exclusiva la evaluación de lesiones tumorales.

Para comprender el criterio radiológico y la orientación diagnóstica resulta interesante conocer qué imágenes proporcionan los distintos tejidos (Tabla 2).

	T1	T2
Grasa	+++	++
Músculo	+	+
Cortical ósea Tendones, Ligamentos, Cápsulas, Fibrocartílago	0	0
Cartílago hialino	++	+
Fluidos (derrame, quistes...)	+	+++

Tabla 2.. Intensidad de señal de los diferentes tejidos según la secuencia usada. Alta intensidad de señal (blanco) = +++; Intensidad intermedia (distintos tonos de gris) = ++; Baja intensidad de señal (gris oscuro) = +; Señal muy baja o nula intensidad = 0.

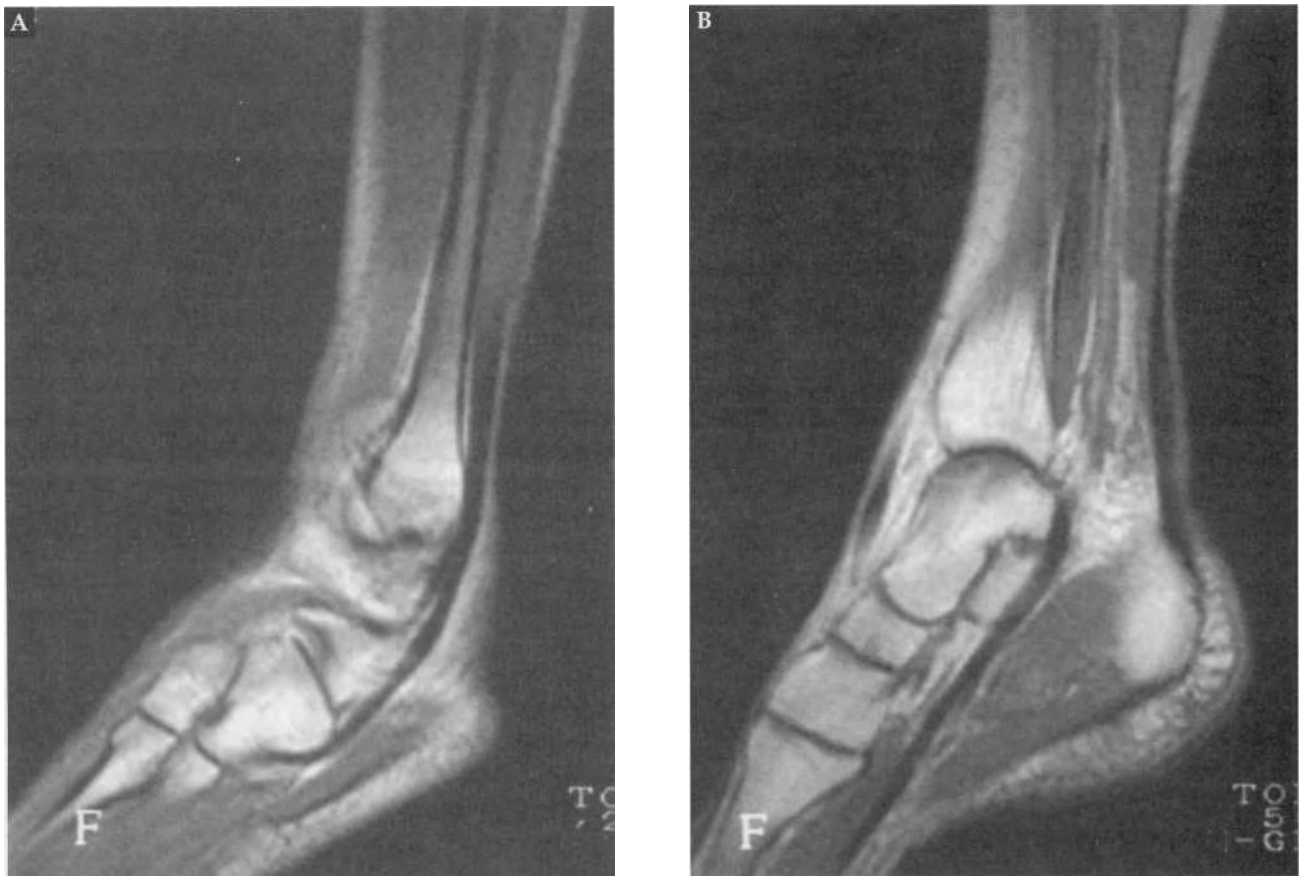


Fig. 10. Estructuras tendinosas valoradas mediante RM a: Plano sagital que muestra con nitidez los tendones peroneos, en una situación adyacente a la porción distal del peroné y a la porción externa del 5º metatarsiano. Las estructuras tendinosas se presentan con una baja intensidad de señal en relación con su composición predominante por tejido fibroso. b: Proyección sagital de la vertiente interna del pie, que muestra con nitidez los tendones tibiales, también definidos con una baja intensidad de señal. Se identifica en la porción posterior del calcáneo la inserción del tendón de Aquiles. Las proyecciones sagitales de RM resultan idóneas para la valoración de las estructuras tendinosas al mostrarlas según su trayecto anatómico.

A continuación se describe la semiología que adoptan distintos hallazgos patológicos en RM:

Colecciones líquidas. Hipointensidad en T1 e hiperintensidad en T2, por su alto contenido en agua y por tanto en protones. El contenido de fibrina o de sangre en estos líquidos disminuirá la señal.

Calcificaciones. Vacío de señal (no son bien diferenciables mediante esta técnica).

Edema. Alta señal en T2 al aumentar el contenido hídrico.

Hematomas. Si son recientes aparecen como una colección líquida indiferenciada. En los hematomas subagudos, la aparición de metahemoglobina, de alto poder paramagnético, provoca hiperseñal en todas las secuencias. La formación de fibrosis, de calcificaciones en la periferia o el depósito de hemosiderina hace que aparezcan halos periféricos de intensidad disminuida. La desnaturalización de la hemosiderina hace que los hematomas antiguos presenten señales menos intensas.

Fibrosis. Baja señal en T1 siempre. Señal en T2 según el grado de edema.

Necrosis. Hiposeñal en T1. Señal aumentada en T2 según el grado de edema sobreañadido.

Indicaciones de la RM

En el sistema musculoesquelético en general, la RM aporta datos muy valiosos en el diagnóstico y control de su patología, especialmente en lo que se refiere a las alteraciones de partes blandas. El estudio preciso de todas las estructuras del pie es posible dado el excelente contraste de la grasa, hiperintensa, con las estructuras tendinosas, ligamentos y aponeurosis, hipointensos.

1. Traumatismos

1.1. Traumatismos óseos

En la visualización de fracturas la RM no es la técnica de elección, pero sí es interesante en la



Fig. 11. Edema postraumático de médula ósea a nivel del calcáneo. Imágenes ponderadas en T1. a: Proyección axial transversa de RM en la que a nivel del calcáneo del lado izquierdo se identifica una amplia zona de menor intensidad de señal, comparativamente con respecto al calcáneo opuesto. Esa zona corresponde a una contusión de médula ósea que no tiene traducción en las imágenes de radiología convencional o de tomografía computarizada. b: Proyección sagital en la que se identifica a nivel de la parte posterosuperior del calcáneo una amplia zona de disminución de la intensidad de señal que contrasta con la del resto de estructuras óseas de la zona. La RM resulta muy útil para identificar este tipo de patología, que puede explicar las manifestaciones clínicas de un paciente tras un traumatismo con radiología convencional normal.



detección de lesiones asociadas en los músculos, tendones, ligamentos o cartílagos o de signos muy sutiles, no visibles en la radiografía simple, como en el caso de:

Edema de médula ósea postraumático. Antes de la aparición de la RM no era posible obtener imágenes de esta lesión. Se traduce por un área hipointensa en las imágenes ponderadas en T1, e hiperintensa en las secuencias ponderadas en T2, por el edema acompañante. Puede encontrarse en traumatismos de calcáneo, escafoides e incluso metatarsianos (Fig. 11).

Fracturas de estrés. Como las que afectan a los metatarsianos centrales. Aparecen como pequeñas áreas hiperintensas en el hueso cortical, normalmente negro. Se asocian con cambios en la intensidad de señal de la médula ósea, que pueden ser más o menos acusados indicando edema o hemorragia. En este caso, aparece una disminución de señal en T1 y un aumento de la misma en T2. La cortical aparece engrosada. A veces, se puede ver la línea fracturaria.

Algodistrofia postraumática. Aparece una hipervascularización como respuesta anómala del sistema simpático tras un traumatismo, lo que se traduce en una señal baja en T1 e intensa en T2. El uso de contraste provoca intensificación de la señal en la zona, debido al aumento de la vascularización a ese nivel.

1.2. Lesiones tendinosas y ligamentosas

Con RM es fácil distinguir el tendón patológico del normal y diferenciar las alteraciones de las partes blandas adyacentes.

Roturas tendinosas. La rotura de tendones en el pie suele ocurrir en sobreesfuerzos deportivos o en tendones previamente patológicos como en el caso de la artritis reumatoide. Suelen verse afectados los del tibial anterior y posterior y el tendón de Aquiles. Los hallazgos comprenden desde una solución de continuidad en un punto del trayecto, desapareciendo así el cordón de hiposeñal típica, o bien un desflecamiento de las fibras en el caso de roturas parciales. Se puede observar aumento de la señal en T2 en la zona de la lesión, indicando el edema o hemorragia asociados. El estudio mediante RM es importante por cuanto la TC no puede asegurar la ruptura ni el grado de la misma aun con signos radiológicos típicos (Figs. 12, 13).

En las *tenosinovitis*, frecuentes tanto en los tendones tibiales como en los peroneos, puede observarse aumento de grosor, aspecto fusiforme, y señal aumentada en T2 si hay edema perilesional. A veces se puede observar este aspecto brillante en la inserción tendinosa como signo de entesopatía. Se pueden observar nódulos menos intensos en el recorri-



Fig. 12. Rotura completa del tendón de Aquiles. Proyección sagital ponderada en T2, en donde se muestra una llamativa solución de continuidad en la estructura del tendón de Aquiles, con retracción de sus extremos y una elevada intensidad de señal. La semiología descrita, retracción de extremos tendinosos e intensidad de señal elevada es característica de las roturas tendinosas completas.



do, como secuela de tenosinovitis de repetición. Engrosamientos sin cambios en la intensidad de señal se observan en tendinitis crónicas y cicatrices quirúrgicas.

Se suelen encontrar *bursitis* en las regiones posterior del calcáneo, plantar y, en el dorso del pie, subcapitometatarsianas y paramaleolares. La membrana sinovial, que no es fácilmente visible mediante RM cuando es normal, se mostrará tumefacta, con alta intensidad de señal en las imágenes potenciadas en T2.

1.3. Lesiones musculares

En el músculo el traumatismo provoca edema y hematoma o equimosis, que podremos evidenciar como señales hiperintensas en T2. Con esta técnica puede observarse la interrupción de las fibras en un fondo de hiperseñal edematoso. La fibrosis posterior a un desgarramiento muscular también es apreciable como un área hipointensa en todas las secuencias (13).

2. Lesiones isquémicas

Osteonecrosis postraumática. Es un caso típico en que la RM proporciona semiología orientadora mucho antes de que lo hagan otras técnicas. En general aparece una zona de hiposeñal en todas las secuencias. En dependencia del edema sobreañadido, aparecerá hiperseñal en T2. Se pueden distinguir el tejido normal del necrótico y las zonas de revascularización y reparación. La RM es la técnica de elección para el estudio de la viabilidad de los fragmentos óseos en casos de osteonecrosis aséptica postraumática como la del escafoides tarsiano o del astrágalo. También lo es en la necrosis ósea por

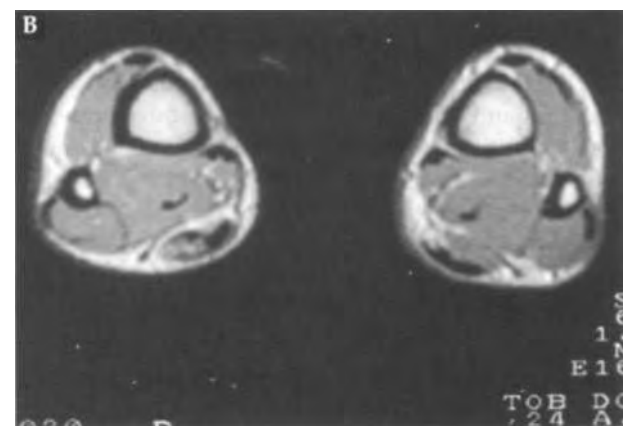


Fig. 13. Rotura parcial del tendón de Aquiles. a: Proyección sagital ponderada en T1, que muestra una zona de discreta disrupción morfológica a nivel del tendón de Aquiles, por encima de su inserción en el calcáneo, sin retracción completa de extremos tendinosos pero sí con adelgazamiento manifiesto de la estructura del tendón. b: Proyección axial transversa ponderada en T1 en donde se aprecia una llamativa alteración en la intensidad de señal del tendón del lado izquierdo, que aparece discretamente tumefacto y empastado, comparativamente con el del lado opuesto, habiendo perdido su homogeneidad de señal.

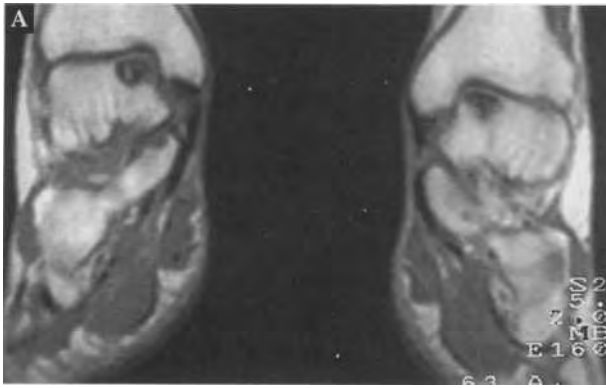


Fig. 14. *Osteocondritis disecante del astrágalo. a: Proyección coronal ponderada en T1 que muestra a nivel de las vertientes internas de ambos astrágalos, sendas zonas de alteración de la intensidad de señal, limitadas por un halo hipointenso, correspondientes a zonas de osteocondritis disecante. b: Proyección sagital, técnica específica para valorar superficies articulares, de gradiente de eco, que muestra la imagen de osteocondritis disecante del lado derecho a nivel de la cúpula del astrágalo, definiendo con nitidez la disrupción de la superficie articular de la misma, que presenta un aspecto geódico.*

tratamiento corticoideo o en sospecha de necrosis subcondral (5).

Osteocondritis disecante del astrágalo. Existe un antecedente traumático al que se asocia un compromiso vascular, particularmente en las lesiones que afectan al borde interno de la tróclea. La RM muestra signos mucho más precozmente que otras técnicas radiológicas, pudiendo detectar las lesiones óseas subcondrales, en forma de focos de baja intensidad de señal, y el edema óseo postraumático. Es posible visualizar el estado del cartílago y por lo tanto evaluar la funcionalidad de la articulación tibioastragalina, lo que permite una precoz orientación pronóstica y terapéutica (Fig. 14).

3. Infecciones

En el hueso, las zonas de baja señal o de señal normal, contrastan con la señal intensa de la médula ósea, con gran contenido lipídico. La aparición de zonas localizadas de intensidad intermedia podría corresponderse a la existencia de un absceso, que normalmente se localiza en la planta del pie y se distribuye entre los músculos y fascias.

En las partes blandas, aún es más llamativo el contraste en T2 y podremos ver colecciones líquidas de aspecto brillante en T2 en relación con abscesos, que se distribuyen entre los planos musculares y aponeuróticos.

En el pie diabético es importante averiguar el grado de necrosis ósea propia de la neuropatía y

angiopatía diabéticas y el grado de infección. La celulitis que aparece en estos pies es muy llamativa y pueden encontrarse colecciones líquidas correspondientes a abscesos.

Puede ser aconsejable hacer una serie con contraste endovenoso para valorar la vascularización y la existencia de secuestros.

4. Tumores

Con RM se consigue una mejor distinción entre los tejidos normales y patológicos, que en general, tienen señales más intensas en T2 (13). La afectación de partes blandas y de la médula ósea se aprecia con mayor nitidez con RM, mientras que se valoran deficientemente la cortical ósea o las calcificaciones intra y peritumorales (14). Tras administración de Gadolinio IV el tejido tumoral, por estar vascularizado, aumenta su señal (Fig. 15).

Los distintos criterios de caracterización tisular hacen posible sospechar la naturaleza histológica del tumor. Por contra, con la RM no es posible distinguir entre malignidad y benignidad, ya que si bien lesiones homogéneas con reborde hipointenso sugieren benignidad, existen muchas excepciones.

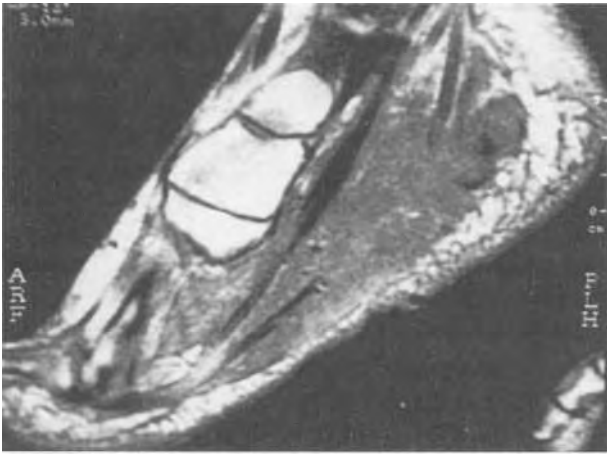


Fig. 15. *Sarcoma sinovial de la planta del pie. Proyección sagital ponderada en T1 que muestra la existencia de una lesión ocupante de espacio a nivel de la planta del pie con carácter infiltrante, que provoca distorsión morfológica de las masas musculares normales y que esta infiltrando las estructuras tendinosas de la zona y la almohadilla grasa de la planta del pie. La RM resulta muy útil para la valoración de la patología neoplásica, en un intento de evaluar infiltración de estructuras circundantes, tendinosas o vasculares, que pudieran impedir una exéresis radical del tumor.*

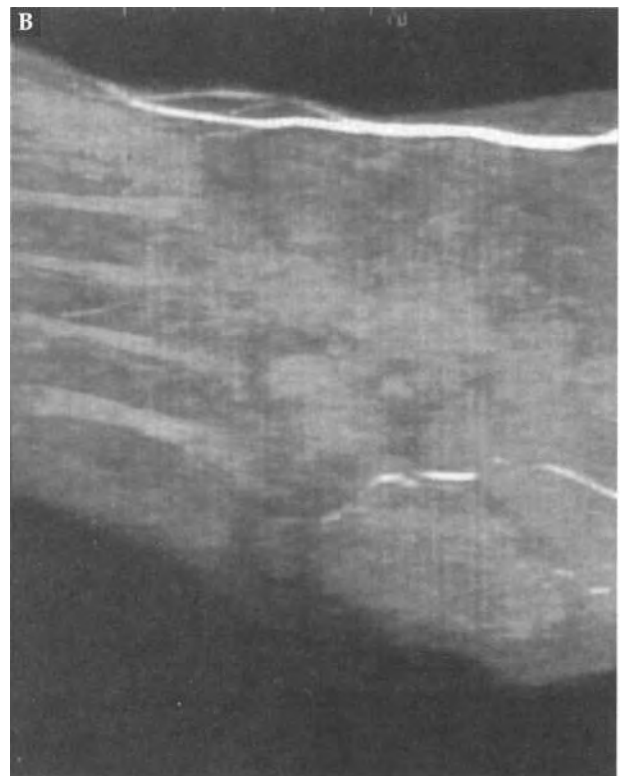


Fig. 16. *Hemangioma de las partes blandas del talón. a: La proyección sagital ponderada en T1 de la vertiente externa del pie muestra la existencia de una masa de contornos mal definidos y elevada intensidad de de señal, que distorsiona las estructuras musculares de la zona y el tejido celular subcutáneo. b: Imagen de angio-resonancia que muestra con nitidez, con una intensidad de señal elevada, las estructuras vasculares del antepié, la arteria pedia, y en la parte posterior, en la zona correspondiente a la tumora-ción definida en la imagen previa, identifica el aporte vascular de la lesión a expensas de varias estructuras vasculares bien definidas, con intensidad de señal elevada. El estudio histopatológico demostró que se trataba de un hemangioma. Otra de las opciones de la RM mediante técnicas específicas es la de evaluar las estructuras vasculares sin necesidad de recurrir a la administración de ningún medio de contraste endovenoso, substrayendo la imagen de las partes blandas y de las estructuras óseas adyacentes.*

El papel de la RM en el diagnóstico de tumores es especialmente importante en la valoración de la extensión tumoral, así como en la visualización de metástasis muy pequeñas. Es necesario hacer una secuencia con Gadolinio IV para distinguir el tumor del edema circundante y del tejido sano (Fig. 16).

Un tipo de tumor que se busca con frecuencia en RM es el neuroma de Morton. Suele aparecer como una formación de baja intensidad en el tercer espacio intermetatarsal. Es importante buscar otros neuromas en otros espacios, lo que ocurre con relativa frecuencia. Al tratarse de un tumor muy pequeño, es preciso obtener cortes finos y con buena resolución de imagen, para lo cual se precisan aparatos potentes, por encima de 0,5 Teslas. Otros neuromas, como los del nervio tibial posterior o los del nervio plantar aparecen isointensos en T1 e hiperintensos en T2, brillando entre las masas musculares y la grasa adyacente (4, 9).

Los tumores de tejido graso que podemos encontrar en la planta del pie son visibles en secuencias ponderadas en T1, mientras que son menos patentes en secuencias ponderadas en T2 (17).

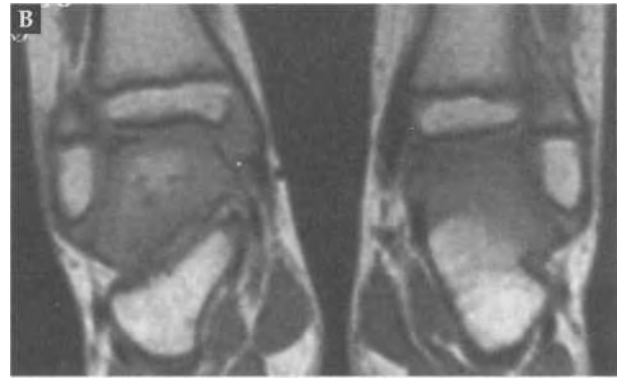


Fig. 17. Valoración del esqueleto cartilaginoso mediante RM. a: Proyección sagital correspondiente a un paciente pedidrico, imagen ponderada en T1. Se definen con nitidez las distintas estructuras, tanto óseas como cartilaginosas, que conforman el tobillo y el pie, identificando la zona correspondiente al cartílago de conjunción de la porción distal de la tibia y las diferentes zonas de intensidad de señal de la médula ósea en relación con su contenido en médula ósea roja o amarilla. b: Proyección coronal en donde se definen también con nitidez los hallazgos descritos en la imagen precedente, evaluando las interlineas correspondientes a los cartílagos de crecimiento de tibia y peroné y también las diferentes características de intensidad de señal de las distintas estructuras óseas en relación con su contenido de médula ósea roja o amarilla.

Los tumores de predominio óseo que afectan a la cortical como el osteoma osteoide, se visualizan mejor en TC, pero en los que se afecta la médula la RM puede ser la técnica de elección.

5. Procesos articulares

El uso de la RM en estos casos queda limitado a la visualización del cartílago articular, ya que la esclerosis subcondral y los osteofitos marginales aparecen con muy baja señal y no aportan más datos que la radiografía simple. Para la visualización del cartílago, se usan secuencias de eco de gradiente, pudiendo distinguir erosiones, soluciones de continuidad o estados precoces de degeneración condral, con edema, que aparecerá brillante en T2.

6. Otras indicaciones

Una indicación de la RM es la valoración del esqueleto cartilaginoso, no formado, como en el caso de malformaciones congénitas del pie o en la luxación congénita de cadera en el recién nacido (Fig. 17).

Algunos autores indican el uso de la RM en caso en que exista material de osteosíntesis que provoque gran artefacto en TC. Sin embargo, hay que

recordar que algunos metales dan gran deformidad en la imagen de RM y que algunos de ellos contraindican la realización de esta prueba.

CONCLUSIONES

Tanto el TC como la RM son técnicas sofisticadas a las que se debe recurrir cuando la radiología convencional no aporte todos los datos necesarios para una correcta valoración. La generalización de uso del TC, unida a una disminución relativa de su coste y a las constantes mejoras técnicas tanto a nivel de aparataje como de soporte informático, hacen que hoy en día el TC se considere una prueba básica e imprescindible en el estudio del pie y tobillo, especialmente en lo que se refiere a patología ósea.

Mientras que las alteraciones óseas se visualizan mejor en TC, las afecciones de partes blandas se valoran con mayor exactitud mediante RM. Así mismo la RM se proyecta como técnica de primera elección en el diagnóstico precoz de patología isquémica y procesos traumáticos que siendo difícilmente visualizables mediante TC, provoquen alteración de la médula ósea.

Entre las **ventajas** de la RM cabe destacar:

- Posibilidad de obtener planos múltiples sin necesidad de mover al paciente.

- Ausencia de radiación ionizante, carácter no invasivo.
- Elevada sensibilidad, que permite la detección precoz de ciertos procesos, que con otras técnicas de imagen serían diagnosticados más tardíamente.
- Mayor resolución de contraste que permite visualizar de modo individualizado las diferentes estructuras (hueso, partes blandas, tendones, vasos...), sin recurrir a la manipulación de la imagen, contrariamente a lo que ocurre con el TC (5, 3).

Sin embargo, no está exenta de **limitaciones**, como la deficiente visualización del hueso denso y de las calcificaciones o la duración del estudio, mayor que en el caso de la TC, que unidas a su escasa disponibilidad y elevado costo, hacen de la RM una prueba que suele figurar como último eslabón en el protocolo de diagnóstico por imagen.

Es necesario reseñar que ni la TC ni la RM pueden ser sustitutas de la evaluación clínica completa, siendo muy importante el señalar todos los datos clínicos de interés que puedan ayudar al radiólogo a planificar la técnica adecuada. La rentabilidad diagnóstica de estas exploraciones dependerá significativamente de las referencias clínicas aportadas.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) BARAN, R.: (1994) Metastatic carcinoma to the terminal phalanx of the big toe. Report of two cases and review of the literature. *J. Am Acad. Dermatol.* 259-263.
- (2) BLOEM, J. L.; SARTORIS, D. J.: (1994) Atlas de anatomía por TC y RM. Editorial Marban, Madrid, páginas 204-229.
- (3) CARPINTERO, P.; ROMÁN, M.; GASCÓN, E.: (1997) Tumores del calcáneo. *Revista de medicina y cirugía del pie.* Página 16.
- (4) EDELMAN, R.; HESSELINK, J. R.: (1990) Clinical magnetic resonance imaging. Editorial W.B. Saunders Company, Philadelphia, páginas 1077-1096.
- (5) EGUND, N.; JONSSON, K.; PETTERSON, H.; RESNICK, D.: (1995) Compendio general de radiología. Páginas 371-385.
- (6) FERRÁNDEZ PORTAL, L.; RAMOS PASCUAL, L.: (1992) Tumores óseos benignos y lesiones pseudotumorales del pie. *Revista de Medicina y Cirugía del Pie.* Páginas 65-70.
- (7) LELIÈVRE, J.; LELIÈVRE J. F.: Patología del pie. Editorial Masson, Madrid, páginas 454-459.
- (8) MILGRAM, J. M.: (1988) Intraosseus lipomas. Radiologic and patologic manifestations. *Radiology* 167: 155-160.
- (9) MINK, J. H; DEUTSCH, A.: (1989) MRI of the musculoskeletal system. Editorial Raven Press., Nueva York, páginas 389-409.
- (10) MORVAN, G.; BUSSON J.; WYBIER, J. M.: (1993) Escáner del pie y del tobillo. Editorial Masson, Madrid.
- (11) OLIVA, L.; PISTOLESI, G. F.; SOLSONA, M.; ARDUÁN, F.; MIDÓN, J. R.: (1981) Manual de tomografía. Editorial Cientificomédica. Páginas 29-36.
- (12) PRINCE, M. R.; GRIST, T. M.; DEBATIN, J. F.: (1997) Angiografía por RM 3D con contraste. Editorial «Grupo Aula Médica». Página 19.
- (13) ROCA ESPIAU, M.: (1992) Resonancia magnética del sistema musculoesquelético. Ediciones Doyma, Barcelona. Páginas 1-23, 286-324.
- (14) VANEL, D.; McNAMARA, M. T.: (1989) MRI of the body. Editorial Springer, páginas 315-333.
- (15) WEBB, W. R.; BRANT, W. E.; HELMS, C. A.: (1993) Fundamentos de TAC Body. Editorial Marban, Madrid. Páginas 237-262.
- (16) WECHSLER, R. J.; SCHWEITZER, M. E.; DEELY, D. M.; HORN, B. D.; PIZZUTILLO, P. D.: (1994) Tarsal coalition: Depiction and characterization with CT an MR imaging. *Radiology*, 193:447-452.
- (17) WEISSMAN, S. D.: Radiology of the foot. Segunda edición. Editorial Williams & Wilkins, Baltimore. Páginas 406-437.