

GAMMAGRAFÍA ÓSEA Y LESIÓN DEPORTIVA (I)

BONE SCINTIGRAPHY AND ATHLETIC INJURIES (I)

INTRODUCCIÓN

La gammagrafía ósea (GO) es la exploración de Medicina Nuclear utilizada para la obtención de imágenes del sistema musculoesquelético y para la valoración de su patología. Inicialmente demostró su utilidad clínica para la detección y seguimiento de la enfermedad ósea metastásica, pero posteriormente ha demostrado un papel bien establecido en el diagnóstico precoz y en la valoración de la patología ósea de naturaleza benigna, lo que la conforma en una útil herramienta diagnóstica, gracias a su elevada sensibilidad y rendimiento diagnóstico, naturaleza no invasiva y alta disponibilidad con estudios fácilmente realizables y de costo económico relativamente bajo¹.

La necesidad de establecer un diagnóstico exacto de las lesiones producidas por la práctica deportiva así como de iniciar rápidamente la terapéutica adecuada, obliga a disponer de técnicas de imagen que permitan un diagnóstico precoz y una correcta valoración de la lesión. Esto es fundamental, especialmente, en los atletas de alta competición, que precisan reanudar su actividad en condiciones físicas que garanticen un máximo rendimiento y evitar la progresión de la lesión y la posible aparición de complicaciones secundarias a una reincorporación inadecuada a la actividad deportiva^{2,3}.

La radiografía (RX) simple y la tomografía convencional han sido durante muchos años las únicas técnicas de imagen utilizadas para la valoración de este tipo de lesiones óseas. La aparición en la década de los 70 de la Tomografía Computarizada (TC) y la Gammagrafía ósea (GO) con ^{99m}Tc-difosfonatos, seguidas una década más tarde de la Resonancia Magnética (RM), ha constituido un gran avance en la

valoración y diagnóstico de las lesiones originadas por la práctica deportiva, si bien es imprescindible conocer las aplicaciones óptimas así como las limitaciones de cada una de estas técnicas para obtener un buen rendimiento diagnóstico de las mismas. La valoración clínica y la radiología convencional continúan siendo los métodos diagnósticos iniciales de la mayoría de estas lesiones, sin embargo la RX simple puede ser negativa o dudosa durante un periodo de tiempo desde el inicio de la clínica, mientras que la GO puede detectar estas lesiones precoz y fácilmente, lo que permite iniciar con mayor rapidez la terapéutica adecuada. La GO proporciona información con mayor precocidad que la RX convencional sobre cualquier alteración ósea (metabólica, traumática, infecciosa ó tumoral), siendo expresión de los cambios metabólicos óseos y describiendo las alteraciones dinámicas del hueso y de tejidos blandos, por lo que constituye una *imagen de orientación funcional*. Por su elevada sensibilidad para detectar los cambios en el metabolismo esquelético permitirá por una parte obtener un diagnóstico precoz de las lesiones óseas, antes de la aparición de los cambios óseos estructurales y por otra parte, complementar a las técnicas de imagen anatómica (tales como la RX convencional, la TC o la RM), proporcionando una *información fisiológica* de las alteraciones morfológicas o estructurales óseas y de los detalles anatómicos detectados por éstas. Asimismo, el hecho de poder visualizar todo el esqueleto, permitirá determinar la causa de un dolor referido por la detección de focos más distantes de captación anormal del trazador que pueden representar el origen de este dolor³.

La GO en el campo de la medicina deportiva ha establecido su eficacia diagnóstica, siendo conside-

**Montse
Minoves
Font**

CETIR, Grup
Mèdic.
BARCELONA.

CORRESPONDENCIA:

Montse Minoves Font. CETIR. Centre Mèdic. Londres, 6. 08029 **Barcelona**. Tel.: 93 5035200 / 93 4443600.
Fax: 93 4443505. e-mail: mminoves@cetir.es

Aceptado:
28.12.01

rada en la actualidad una exploración de rutina en la práctica clínica, cuya utilidad no solo se basa en lo anteriormente expuesto, sino que incluso en los casos en que no puede darse un diagnóstico específico de la lesión, el hecho de conocer la localización anatómica del lugar de aumento del recambio óseo y el grado de actividad metabólica, así como de la vascularización de la lesión, proporciona al clínico información útil tanto para el diagnóstico como para la instauración del tratamiento.

BASES Y FUNDAMENTOS DE LA GO. ASPECTOS TÉCNICOS

La GO es un técnica diagnóstica de carácter funcional representativa de los cambios relacionados con el metabolismo óseo fosfocálcico. Las imágenes de la GO son consecuencia de la fijación de un radiofármaco en el hueso que conserva o tiene aumentada su capacidad osteoblástica. La exploración se realiza mediante la administración por vía endovenosa de un compuesto fosfonado marcado con ^{99m}Tc en forma de pertecnato, que llega al hueso a través de su perfusión sanguínea, cuya conservación es fundamental para que se produzca la fijación del radiofármaco. Los radiofármacos habitualmente usados para la realización de la GO son los compuestos fosfonados, marcados con ^{99m}Tc -pertecnato, en especial los *difosfonatos*. Estos trazadores tienen unas características fisicoquímicas idóneas gracias a su alto nivel de incorporación al hueso, su adecuada eliminación urinaria y aclaramiento plasmático y a las características energéticas del ^{99m}Tc como emisor de radiación gamma con un periodo de semidesintegración corto (6.02 horas). De todos ellos, el más ampliamente utilizado es el metilen-difosfonato (MDP) que fue introducido por Subramanian en 1975. La captación ósea de estos trazadores corresponde al 50%-60% de la dosis inyectada entre las 2 y las 3 horas de su administración, eliminándose el resto por vía urinaria. El mecanismo conocido de captación del ^{99m}Tc -difosfonato al hueso es el de adsorción en la superficie de la capa de iones hidratados del cristal de hidroxiapatita, con particular afinidad por los sitios de formación de hueso nuevo. Existe también fijación en la matriz orgánica del hueso, aunque menor y en el hueso inmaduro y cartílagos de crecimiento que es mayor a la del cristal de hidroxiapatita.

El aumento de la vascularización conlleva un aumento de la captación ósea del trazador, aunque la actividad osteoblástica sea el factor dominante que determine el grado de fijación del radiofármaco. La permeabilidad capilar, las características bioquímicas del medio y el grado de mineralización del hueso pueden también influir en la fijación ósea del trazador⁴⁻⁷.

Un aumento anormal de la concentración del trazador visible en la GO como imagen activa, indica un proceso patológico que refleja un incremento del flujo sanguíneo y de la actividad metabólica ósea presente en un área anatómica dada. Mientras que la radiografía proporciona un dibujo estático y anatómico y muestra cambios estructurales óseos patológicos de gran magnitud, la GO permite la evaluación del hueso, articulaciones y tejidos blandos, no solo desde el punto de vista anatómico sino especialmente fisiológico. La elevada sensibilidad y precocidad diagnóstica de esta exploración recae en su habilidad para detectar los cambios funcionales óseos mas que los estructurales, que son mas tardíos y facilmente detectables en la RX convencional, aunque no en un estadio precoz, y permite la detección de los cambios óseos a menudo días, semanas o incluso meses antes de que sean visibles radiológicamente o incluso que se manifiesten clínicamente¹.

Aspectos técnicos:

Las imágenes óseas de alta calidad sólo pueden obtenerse prestando cuidadosa atención a importantes factores técnicos. Los avances tecnológicos en los equipos de Medicina Nuclear y la incorporación de mejoras técnicas en la adquisición de las imágenes y en su procesado, proporcionan una mejor resolución de las imágenes gammagraficas con la consiguiente mejora en la sensibilidad y especificidad diagnóstica de los estudios gammagráficos óseos, obteniéndose imágenes que permiten una localización más exacta y una mejor caracterización fisiológica de las lesiones. Actualmente se dispone de gammacameras de uno y dos cabezales detectores capaces de adquirir estudios gammagráficos planares y estudios tomograficos.

En los estudios planares, la obtención de las imágenes óseas se realiza normalmente entre las 2 y las 4 horas post-inyección, cuando los niveles de trazador

en sangre y tejidos blandos han disminuido suficientemente para conseguir un elevado índice hueso/fondo. Se puede aumentar la sensibilidad y especificidad de la exploración, realizando el llamado estudio en tres fases («*gammagrafía ósea en tres fases*») que corresponde a la obtención de imágenes de la incorporación del trazador en tres momentos distintos en el tiempo después de la inyección del mismo, a fin de separar la fase de flujo sanguíneo o 1ª fase (inmediatamente tras la inyección del trazador), la fase precoz o de pool sanguíneo o 2ª fase (dentro de los 5 minutos post-inyección) y la fase tardía u ósea o 3ª fase (2-4 horas post-inyección).

En la primera fase se obtienen imágenes dinámicas inmediatamente tras la inyección endovenosa del radiofármaco en las que puede observarse la llegada del trazador y la perfusión sanguínea de la zona explorada tanto en el hueso como en los tejidos blandos que lo rodean, es la fase de flujo sanguíneo o fase angiogramagráfica. En la segunda fase, el radiofármaco se encuentra predominantemente en el espacio vascular pero ya empieza a salir de él, distribuyéndose por el espacio extravascular para incorporarse al hueso. Se denomina fase precoz o de pool sanguíneo. La tercera fase es la fase propiamente ósea de la captación del trazador.⁷

Las imágenes obtenidas en las dos primeras fases mejoran la especificidad diagnóstica y proporcionan información sobre el flujo sanguíneo y el mayor o menor grado de vascularización de la zona estudiada. Además indican la posible participación de los tejidos blandos adyacentes y serán útiles para el diagnóstico diferencial de las lesiones que puedan verse en la fase ósea, especialmente en el caso de inflamaciones, infecciones, distrofia simpático refleja y tumores malignos y benignos.

Para el estudio de estructuras óseas pequeñas, tales como los huesos de la mano y del pie y en niños, es de gran utilidad recurrir a ampliaciones de la imagen mediante la utilización del colimador tipo *pinhole*, con lo que se consigue aumentar la resolución de las imágenes.

Los estudios tomogramagráficos (SPECT - *Single Photon Emission Computed Tomography* - Tomografía computarizada por emisión de fotón único) aumentan significativamente la ya de por sí

alta sensibilidad de la GO en determinadas estructuras osteoarticulares. La técnica de SPECT permite obtener cortes de la estructura ósea estudiada, paralelos a los tres planos del espacio (coronales, sagitales y axiales), con lo que se evita la superposición de estructuras, problema inherente a los estudios planares. Esto da lugar a un aumento de la sensibilidad para la detección de pequeñas lesiones que pueden quedar enmascaradas en la imagen planar y conlleva una mejoría en la precisión de la localización anatómica de la lesión, permitiendo valorar su extensión y localización espacial.

La principal aplicación clínica del SPECT óseo es en la patología de columna vertebral, puesto que permite localizar la lesión dentro de la vértebra, diferenciando si afecta al cuerpo vertebral o al arco posterior, lo que ayuda a establecer el diagnóstico diferencial de la lesión⁸.

BASES FISIOPATOLÓGICAS Y CONSIDERACIONES BIOMECÁNICAS

El tejido óseo es una variedad de tejido conectivo dinámico que requiere un estrés para su desarrollo normal cambiando sus propias características biomecánicas mediante un proceso de remodelación. Este proceso, que es continuo a lo largo de la vida, tiene un efecto beneficioso a largo plazo, ya que conduce a la formación de una estructura ósea que puede oponerse óptimamente al estrés aplicado. En respuesta al estrés el hueso cambiará de forma, siendo capaz de realizar una deformación elástica o plástica. Cuando el nivel de estrés es bajo, se deforma elásticamente volviendo a su forma original al cesar el estrés, y sin producirse daño permanente. Cuando se alcanza un cierto nivel crítico de estrés el hueso se deforma plásticamente y aunque desaparezca el estrés, el hueso mantiene algunos cambios en su forma debido a que su microestructura se ha dañado. Cada aplicación de estrés por encima del nivel crítico crea un aumento del daño que se manifiesta por microfracturas en el hueso. El microdaño óseo, que en principio es fisiológico, se convierte en patológico cuando existe un desequilibrio y su producción excede de forma importante a la reparación. Las fracturas son pues el resultado de la aplicación de fuerzas que exceden la capacidad del hueso para deformarse sin

disrupción de la matriz mineral. Si la actividad desencadenante disminuye, el daño producido puede curar antes que se desarrolle una verdadera fractura, como ocurre cuando los atletas ajustan automáticamente su estilo de carrera en respuesta al dolor, previniendo lesiones producidas en periodos de entrenamiento y que pueden progresar a fractura de estrés^{3,9,10,11}. En la imagen gammagráfica de las lesiones óseas, la acumulación del trazador óseo, que depende fundamentalmente de la actividad osteogénica y en menor grado del flujo sanguíneo local, traduce la fisiología de la reparación ósea normal durante el proceso de curación y en otras ocasiones, las posibles secuelas postraumáticas.

UTILIDAD CLÍNICA

La capacidad de la GO para detectar con elevada sensibilidad y precocidad diagnóstica los cambios en el metabolismo y en la vascularización del hueso es la base de su utilidad clínica, ya que identifica las zonas de alteración del metabolismo óseo así como los depósitos anómalos de fosfato cálcico, como las osificaciones heterotópicas y calcificaciones de tejidos blandos, mostrando la respuesta dinámica del hueso frente a cualquier insulto traumático.

Desde el punto de vista práctico, la GO es útil para la diagnóstico precoz de las fracturas ocultas postraumáticas, para la valoración de las posibles complicaciones en la curación de las fracturas y para la detección de lesiones óseas múltiples o no sospechadas. Por otra parte tiene un papel esencial en el diagnóstico de las lesiones óseas por estrés o sobrecarga, en la evaluación de las lesiones entesopáticas y en la determinación de la actividad metabólica (lesión aguda vs crónica) en las lesiones óseas por avulsión o arrancamiento. También es útil en otras lesiones relacionadas con traumatismos deportivos entre ellas las lesiones articulares, los síndromes de pellizcamiento articular y finalmente para valorar las lesiones condrales y osteocondrales y en algunas patologías de partes blandas.

Fracturas postraumáticas. Patología de la consolidación de las fracturas y otras complicaciones postfractura.

La secuencia de procesos fisiopatológicos inducidos por una fractura y asociados a su curación da lugar a un aumento de la captación de los trazadores óseos que puede ser visualizada precozmente después del traumatismo, reflejando los cambios fisiopatológicos que se producen durante el proceso de reparación ósea que se inicia dentro de las 24 horas post-traumatismo. La acumulación preferencial del trazador en el foco de fractura persistirá mientras dure el proceso remodelador óseo. En un estudio realizado por Marin¹² se demuestra que el 95% de las fracturas se detectan gammagraficamente en las 24 horas siguientes al traumatismo en pacientes menores de 65 años y en pacientes mayores el diagnóstico puede retrasarse a las 48-72 horas. Casi el 100% de las fracturas presentan una GO patológica dentro de las primeras 72 horas después de la agresión ósea, por lo que una GO normal a las 72 horas del traumatismo excluye, en principio, lesión ósea valorable³.

La apariencia gammagráfica de las fracturas está directamente relacionada con el estadio de curación y se modifica según el tamaño de la fractura y el hueso afecto. La GO muestra imágenes patológicas pocas horas después del traumatismo. En las fracturas no complicadas y que presentan una evolución normal, las alteraciones gammagráficas que se inician a las pocas de la fractura como un aumento de actividad difuso en el foco fracturario, muestran la máxima captación del trazador entre la 8 y la 12 semana, representándose como una línea activa, bien definida y que se corresponde con la localización anatómica de la fractura. Entre los siguientes 4 y 24 meses, existe una disminución gradual de la actividad en el foco de fractura hasta alcanzar la normalidad¹⁰. El tiempo de normalización gammagráfica es superior al de la curación clínica y radiológica y aunque varía considerablemente, en general se acepta que el 90% de las fracturas no complicadas muestran evidencia de curación al año y que a los 2 años casi todas las fracturas normalmente curadas presentarán una GO normal^{9,13}.

En algunos casos, las radiografías iniciales de una fractura sospechada clínicamente, no muestran hallazgos concluyentes que sólo podrán observarse en estudios radiológicos más tardíos. La GO ha adquirido un papel fundamental en el diagnóstico de estas fracturas de difícil visualización radiológica o incluso imposibles de detectar radiológicamente, ya sea

debido a su tamaño o a su localización en estructuras óseas de compleja anatomía o con baja densidad ósea, y que son conocidas como *fracturas cubiertas u ocultas*. La habilidad de la GO para identificar precozmente la lesión sospechada, así como otras lesiones no sospechadas aportará información suplementaria en pacientes politraumatizados.

Por estos motivos, la GO debe realizarse cuando exista alta sospecha clínica a pesar de que la RX simple sea negativa^{2,3,10,14} puesto que la reincorporación a la actividad física de un atleta con una fractura oculta tiene riesgo de ulterior lesión y permanente inutilidad.

Las fracturas ocultas o cubiertas más frecuentes son las del cuello femoral e intertrocanteraeas enclavadas o engranadas, especialmente en pacientes de edad avanzada que practican deporte y en osteoporóticos, y las del escafoides carpiano. Holder¹⁵ describe una sensibilidad y especificidad de la gammagrafía ósea para la detección de fracturas de cuello femoral del 93% y 95% respectivamente y un valor predictivo negativo del 96%, aunque las fracturas en esta localización pueden dar imágenes diagnósticas más tardíamente que en otras localizaciones. Tienen una apariencia gammagráfica característica con hipercaptación lineal del trazador en el cuello femoral, que permite excluir otras lesiones óseas. La fractura del hueso escafoides es una de las más comunes del carpo, y corresponde del 70 al 80% de todas las fracturas carpianas en los deportistas. Puede ser diagnosticada con fiabilidad dentro de las 72 horas del traumatismo y en más del 95% de casos dentro de las 24 horas, siendo muy importante su detección precoz por la tendencia a la no unión o pseudartrosis si no se inmoviliza adecuadamente^{1,16} (Fig. 1).

Otras fracturas a incluir dentro de este grupo son las de los otros huesos carpianos (Fig. 2), las de radio distal, las fracturas costales, esternales y de omóplato, las fracturas de los elementos posteriores de la vértebra y las fracturas de los huesos tarsianos entre las que destacamos las del calcáneo, escafoides tarsiano y la fractura-luxación tarso-metatarsiana o de Lisfranc^{1,3}.

Otro caso de fractura oculta es la llamada contusión ósea ("*bone bruise*") o fractura oculta intraósea. Este término define a aquellas fracturas ocultas produci-

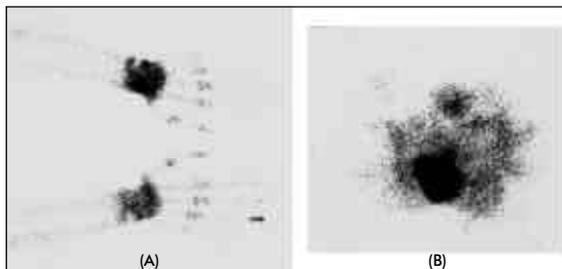


FIGURA 1.- El estudio gammagráfico óseo de ambas manos -imagen ósea tardía en proyección dorsal (A)- demuestra la existencia de una fractura de escafoides carpiano izquierdo en un futbolista de 23 años con antecedente de traumatismo sobre la muñeca 12 días antes, que presentaba persistencia de dolor en la zona de la tabaquera anatómica y estudio radiológico negativo. Se observa una hipercaptación difusa del trazador en el hueso escafoides izquierdo, que se delimita más claramente en la imagen selectiva magnificada con colimador pinhole (B) y que es atribuible a la fractura reciente con actividad osteogénica reparadora.

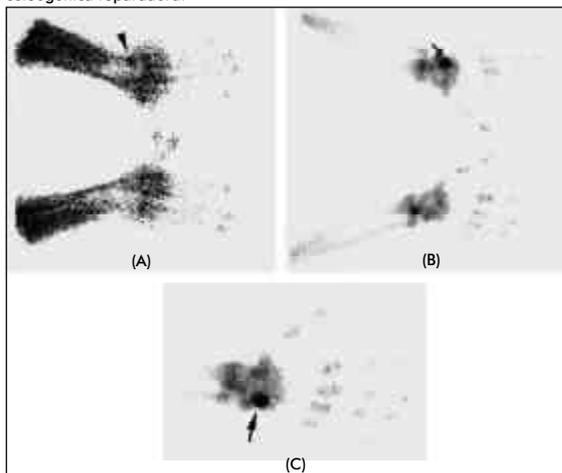


FIGURA 2.- Fractura de la apófisis unciforme del hueso ganchoso izquierdo en un jugador de golf de 33 años, postraumatismo 10 días antes y con estudio radiológico normal. La gammagrafía ósea de ambas manos -imagen precoz (A), imagen ósea tardía (B) en proyección dorsal e imagen selectiva de la mano izquierda en proyección palmar (C)-, muestra una intensa hipercaptación focal del trazador en el hueso ganchoso izquierdo con signos de hiperemia (punta de flecha) en la imagen precoz y que se delimita muy claramente, con aspecto redondeado, en la imagen en proyección palmar (C), que representa los cambios osteogénicos reparadores en la fractura oculta reciente del hueso ganchoso.

das por un traumatismo directo sobre el hueso, en las que el estudio radiológico no llega a ser nunca anormal y la GO es claramente patológica. Se cree que la patología subyacente es la lesión ósea trabecular, que puede asociarse a edema y hemorragia, que se extienden al espacio medular óseo con muy pequeñas disrupciones corticales^{2,11}.

Las fracturas costales constituyen unas de las más frecuentes fracturas no visibles en la RX simple, incluso cuando se sospechan clínicamente, especialmente las fracturas costales sin desplazamiento y las de localización adyacente a la unión condrocostal (Fig. 3).

Las fracturas de los huesos del carpo presentan una alta incidencia de desarrollar necrosis avascular en



FIGURA 3.-
Estudio gammagráfico óseo que demuestra la existencia de fracturas en arco anterior de cuarta y quinta costillas derechas, con localización adyacente a la unión condrocostal en un futbolista con dolor torácico postraumático y radiografía simple normal.

los dos tercios proximales del escafoides, en la zona proximal del hueso grande y en la base de la apófisis del hueso ganchoso. Por esta razón, ante una radiografía no concluyente, una GO patológica puede alertar para prescribir inmovilización prolongada y reevaluar las lesiones que pueden requerir cirugía ².

La lesión de Lisfranc que puede incluir fractura asociada, pasa con frecuencia desapercibida en la evaluación radiológica inicial después de un traumatismo en el pie, ya que se localiza en una zona de difícil visualización en el estudio radiológico simple. La GO es en este caso de gran valor para su diagnóstico, permitiendo detectar la existencia de posibles fracturas asociadas. El aspecto gammagráfico de esta lesión es característico, con una banda lineal de hipercaptación que se extiende a través de las articulaciones tarso-metatarsianas ¹⁷.

Por otra parte, la visualización de todo el esqueleto mediante la GO permitirá detectar fracturas no sospechadas haciendo una valoración completa de todas las lesiones postraumáticas.

Otra de las aplicaciones de la GO en el campo de la medicina traumática y deportiva se halla en la posi-

bilidad de valorar si la curación de las fracturas progresa normalmente o si se producen complicaciones en la consolidación. El diagnóstico de no unión o pseudartrosis es una situación que puede definirse como el fallo de curación cuando han transcurrido más de 6-8 meses después del traumatismo y ocurre aproximadamente en el 5% de las fracturas ^{3, 16, 18}. Su valoración está generalmente basada en signos y síntomas clínicos junto con los hallazgos radiológicos. Esta evaluación, a menudo imprecisa, no proporciona suficiente información sobre la vascularización local y la capacidad de neoformación ósea, factores que son valorados mediante la GO. Gammagráficamente pueden distinguirse dos tipos de no consolidación o pseudartrosis de acuerdo con la actividad metabólica en el foco de fractura. La *no consolidación reactiva o hipertrófica*, que se representa tanto en la fase precoz como en la tardía como una hipercaptación del trazador difusa y persistente, indicando que los extremos de los fragmentos óseos son hipervasculares e hipertróficos y capaces de reaccionar biológicamente, y la *no consolidación atrófica*, en la que se aprecia una hipocaptación global del trazador en el foco de fractura o bien una banda fría central entre los extremos óseos hipercaptantes, que reflejan la incapacidad de los extremos óseos, avasculares o atróficos, de responder al proceso de curación. Es muy importante la distinción entre ambos tipos ya que tiene utilidad terapéutica. La combinación de la gammagrafía ósea con ^{99m}Tc-difosfonatos y el estudio con citrato de ⁶⁷Ga o la gammagrafía con leucocitos marcados permitirán la valoración de una complicación infecciosa ^{3, 19, 20}.

Por otra parte, la GO puede detectar precozmente la aparición de otras complicaciones postfractura tales como la necrosis avascular, la distrofia simpático refleja y las artropatías postraumáticas. La distrofia simpático refleja o síndrome de dolor regional complejo tipo I como secuela postraumática de la lesión deportiva, ya sea focal o difusa, es un proceso más frecuente que considerado, que se detecta con alta sensibilidad mediante la GO ^{21, 22}.