



Kronik Bel Ağrısında ve Travmatik/ Sportif Yaralanmalarda Hibrit Radyonüklid Görüntüleme

Hybrid Radionuclide Imaging in Chronic Low Back Pain and Traumatic/Sports Injury

✉ M. Sait Sağer¹, ✉ Elife Akgün²

¹İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

²Kırıkkale Yüksek İhtisas Hastanesi, Nükleer Tıp Kliniği, Kırıkkale, Türkiye

Öz

Tıbbi görüntüleme, kronik bel ağrısı ve travmatik/sportif yaralanmaların değerlendirilmesinde önemli rol oynar. Uygun yöntemin seçimi; hastanın durumu, klinik koşullar, testin ulaşılabilirliği, maliyeti ve kontrendikasyonların varlığı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır.

Konservatif tedaviye rağmen 12 haftadan uzun süre devam eden bel ağrısı kronik olarak tanımlanır. Konservatif tedaviler ile düzelmeyen bel ağrısında yeni tedavi planlamadan önce ağrının nedeni tespit edilmelidir. Kronik bel ağrısında bilgisayarlı tomografi (BT) ve manyetik rezonans (MR) görüntüleme ile tespit edilen anormal morfoloji altta yatan patolojiyi tam olarak yansıtmayabilir.

Travmatik/sportif yaralanmaların erken evresinde anatomik görüntüleme ile tanı koymak klinisyenler için zor olabilir. Kemik izleyicili nükleer tıp teknikleri, kas-iskelet yaralanmalarının erken evrelerinde fizyolojik ve metabolik bilgi verirler. Bu, yaralanmanın aktivitesinin ve evresinin değerlendirilmesi ile birlikte erken teşhisi mümkün kılar.

Kemik sintigrafisi moleküler görüntülemenin temellerindedir. İzotop görüntüleme, metabolik olarak aktif olan (kanser, aktif enflamasyon, iyileşen kırıklar, ameliyat sonrası gibi) ve BT, MR gibi yaygın görüntüleme yöntemleriyle tespiti zor olan birçok lezyonun saptanmasına yardımcı olur. Bu bağlamda, tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi/BT (SPECT/BT) görüntüleme gibi hibrit fonksiyonel görüntüleme teknikleri daha değerli olabilir. Yüksek çözünürlüklü SPECT/BT görüntüleme, spinal görüntüleme yöntemi olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. Diğer görüntüleme çalışmalarının sonuçları tartışmalı olduğunda SPECT, spinal patolojiyi ve travmatik/

Abstract

Medical imaging plays an important role in the evaluation of chronic low back pain and traumatic/sports injuries. Selection of the appropriate method depends on several factors; such as the patient's condition, clinical conditions, availability and cost of the test, and the presence of contraindications. Low back pain that persists for more than 12 weeks despite conservative treatment is defined as chronic. Before planning a new treatment for low back pain that does not improve with conservative treatments, the cause of the pain should be determined. Abnormal morphology detected by computed tomography (CT) and magnetic resonance (MR) imaging in chronic low back pain may not fully reflect the underlying pathology.

Diagnosis with anatomical imaging in the early stage of traumatic/sports injuries can be difficult for clinicians. Bone tracer nuclear medicine techniques provide physiological and metabolic information in the early stages of musculoskeletal injuries, enabling early diagnosis with assessment of the activity and stage of the injury.

Bone scintigraphy is one of the basics of molecular imaging. Isotope imaging helps to detect many lesions that are metabolically active (such as cancer, active inflammation, healing fractures, after surgery) and difficult to detect with common imaging methods such as CT and MRI. In this context, hybrid functional imaging techniques such as single photon emission computed tomography/CT (SPECT/CT) imaging may be more valuable. High-resolution SPECT/CT imaging is increasingly used as a spinal imaging modality. When the results of other imaging studies are controversial,

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Doç. Dr. M. Sait Sağer, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Tel.: +90 533 447 73 82 E-posta: saitsager@yahoo.com ORCID ID: orcid.org/0000-0003-2013-5845

©Telif Hakkı 2022 Türkiye Nükleer Tıp Derneği / Nükleer Tıp Seminerleri, Galenos Yayınevi tarafından yayınlanmıştır.

sportif yaralanmaları tespit etmek için kullanılabilir. Ayrıca SPECT görüntüleme, tedavi planlamasına rehberlik etmede faydalı olabilir ve tedavi takibinde önemli klinik yarar sağlar. Bu makalede, kronik bel ağrısı ve travmatik/sportif yaralanmaların tanısında, hibrit görüntüleme yöntemlerinin önemli katkısının yanı sıra kemik sintigrafisi odaklı olarak nükleer tıp uygulamaları anlatılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kronik bel ağrısı, faset eklem, hibrit görüntüleme, kemik sintigrafisi, SPECT/BT

SPECT can be used to detect spinal pathology and traumatic/sports injuries. In addition, SPECT imaging can be useful in guiding treatment planning and provides significant clinical benefit in treatment follow-up. This article will describe the important contribution of hybrid imaging methods in the diagnosis of chronic low back pain and traumatic/sports injuries, as well as nuclear medicine applications with a focus on bone scintigraphy.

Keywords: Chronic low back pain, facet joint, hybrid imaging, bone scintigraphy, SPECT/CT

Giriş

İskelet sistemi lezyonları tanısında klinisyenin önünde pek çok görüntüleme yöntemi seçeneği vardır. Kemik sintigrafisi en sık talep edilenlerinden birisidir. Kemik sintigrafisinde Teknesyum-99m (Tc-99m) ile işaretli difosfonatlar (metilen difosfonat, hidroksi metilen difosfonat) kullanılır. Radyofarmasötik intravenöz yolla enjekte edildikten sonra tüm vücuda dağılır. Pasif difüzyon ile ekstrasvasküler, ekstraselüler alana geçer ve kemik yüzeyindeki hidroksiapatit kristallerinde konsantre olur. Radyofarmasötüğün kemikte tutulumu kan akımına ve osteoblastik aktiviteye bağlıdır. Kemik sintigrafisi, kan akımı (flood), kan havuzu (blood-pool), metabolizması ve turnoverı gibi önemli fizyolojik bilgiler verip ek radyasyon dozu olmadan tüm iskelet sisteminin görüntülenmesini mümkün kılar.

Metabolik olarak aktif kemik hastalığının doğru lokalizasyonu 2D görüntülemelerle genellikle zordur. Planar imajlarda horizontal planda lamina vertebra korpusuyla, faset eklemler ise disk ile aynı seviyededir. Tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi (SPECT) ile yapılan 3D görüntülemeler lezyonların doğru teşhis ve anatomik lokalizasyonunu mümkün kılmış; kemik sintigrafisinin duyarlılık ve özgüllüğü artırmıştır (1,2). Özellikle sagittal kesitlerle, planar imajlarda raporlamada sıkıntı yaratan vertebra posterior elemanlardaki superpozisyonlardan hekimi kurtarmıştır.

3D görüntülerde anatomik korelasyon için bilgisayarlı tomografinin (BT) kullanımı planar/SPECT görüntülemenin tanısal doğruluğunu ve özgüllüğünü artırmıştır (3,4). Ayrıca tutulum olmayan bölgelerdeki anatomik yapılar hakkında bilgi sağlamıştır.

Radyolojik görüntülemelerle etiyolojisi aydınlatılamayan kemik ağrıları, travmatik/sportif iskelet lezyonların tanısı ve bunların komplikasyonlarının

değerlendirilmesi, iyileşmelerinin takibi konumuzla ilgili en sık kemik sintigrafisi endikasyonları arasındadır.

A. Kronik Bel Ağrısı

Bel ağrısı siyatik ağrının eşlik edip etmemesine bakılmaksızın, alt gluteal çizgi superioru ile kostal marjin inferioru arasında hissedilen ağrı olarak tanımlanmaktadır (5). Sanayileşmiş toplumlarda hastaneye başvuruya neden olan en sık şikayetlerden birisidir (6). Sıklığı yaşla artıp yıllık prevalansı %15-45, hayat boyu prevalansı %84 olarak bildirilmiştir (7,8).

Etiyolojiden bağımsız olarak bel ağrısı şöyle sınıflandırılır: <6 hafta akut, 6-12 hafta subakut, >12 hafta kronik (9,10). Akut bel ağrısı %70-90 oranında düzelse de olguların %70'i rekürren atak geçirir; %20'sinin ise 2 yıllık takiplerinde kronik bel ağrısı (KBA) gelişir (11,12). Üç aydan uzun süren ağrı artık bir semptom olarak kabul edilmeyip kendisi bir hastalık olarak kabul edilir; yeni tedavi planlamadan önce ağrı etiyolojisinin tespitini gerektirir.

Non-travmatik bel ağrısının etiyolojisinde spinal, visseral, vasküler birçok patoloji olabilir. Eşlik eden risk faktörleri, ağrı tipi ve klinik muayene bulgularına göre tanı koymak için en uygun görüntüleme yöntemi seçilmelidir. Anamnez, fizik muayene bulguları ve görüntülemelerle KBA'nın en sık birçok nedeni ekarte edilebilse de çoğu olguda bunlar ağrının kesin spinal nedenini bulmada yetersizdir. Nörolojik defisiti veya görüntülerde disk herniasyonu olmayan KBA'nın ancak %15'inde spinal patolojinin tanısı konabilmektedir (13).

Radyografi endikasyonu sistemik hastalık şüphesi veya travma hikayesi olan olgularla sınırlıdır. Manyetik rezonans (MR) görüntüleme özellikle radikülopati ve spinal stenoz şüpheli olgularda anatomiyi net yansıtmaması nedeniyle en sık tercih edilen modalite iken; BT kemik

yapılardaki yüksek rezolüsyonu nedeniyle özellikle travma öyküsü olan olgularda talep edilir. Anatomik görüntülemeler osteofiti, daralmış eklem aralığını, Schmorl nodülünü, spondilolizisi, osteoporotik kırığı gösterebilir ancak tüm bulguların asemptomatik olgularda da tespit edilebilmesi bunlar ile semptomlar arasındaki ilişkinin sorgulanmasına neden olmuştur (14,15,16). Radyolojik incelemeler anatomideki yapısal değişiklikleri gösterirken nükleer tıp yöntemleri lezyonun metabolik aktivitesini gösteren fonksiyonel ve moleküler görüntüleri kapsar. Çoğu etiolojide yapısal görüntülemelerden daha önce kemikteki patolojiyi tespit eder. Diğer görüntülemelerin negatif olduğu veya klinik bulgularla korele olmadığı veya çok sayıda patoloji tespit edilen durumlarda hibrit kemik sintigrafisi KBA etiolojisinin saptanmasında yardımcı olur.

1. Faset Artropatisi

Faset (zigoapofizyal) eklem kapsüllerinin nosiseptif ve otonom sinirlerle olan zengin innervasyonu onu potansiyel bir bel ağrısı kaynağı yapar (17). Ağrı fibröz kapsül, sinovyal membran, hiyalin kıkırdak veya kemik gibi eklem kompleksindeki herhangi bir yapıdan kaynaklanabilir (18). Anterior kolon yetmezliğine sekonder olarak posterior eleman problemi olduğu düşünülse de belirgin disk dejenerasyonu olmayan olgularda da faset ağrısı olabilir (19).

Tipik olarak psödoradiküler ağrı şeklinde olup nörolojik bulgu olmadan uni/bilateral kalçaya, kasiğa, uyluğa uzanabilir; diz superiorunda sonlanır. Egzersiz, vertebral ekstansiyon, rotasyon, ayakta kalma, oturma ağrısı şiddetlendirirken; uzanma ve vertebranın fleksiyonu ağrısı azaltır.

Yaşa bağlı değişmekle birlikte, %15-31'e varan oranlarda KBA'nın nedeni olabilir (20). ABD'de 5 yıldan uzun süren büyük bir çalışma, en sık L4-L5 faset eklemlerinin etkilendiğini, L3-4 ve L5-S1'in bunu takip ettiğini göstermiştir (18).

Tanı genelde ekartasyon tanısıdır. Faset artropatisi ve KBA arasındaki nedensel ilişki, yapısal görüntülemelerle ileri derecede faset eklem dejenerasyonu tespit edilen olguların önemli bir kısmının asemptomatik olması nedeniyle sorgulanmıştır. Anormal morfoloji her zaman altta yatan patolojiyi işaret etmemektedir. Ryan ve ark. (21), radyografi ile tespit edilen artropatilerin sadece %4'ünün şikayet ile ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir. Bu sebeple tek seansta anatomik ve fizyolojik görüntülemeyi mümkün kılan hibrit görüntüleme sık tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir. Faset eklem problemi tanısında SPECT'in duyarlılığı %100, özgüllüğü

ise %71'dir (22). Alternatif patoloji saptanmadığında fokal artmış osteoblastik aktivite alanları mekanik stres ve dejeneratif değişikliklerle ilişkilidir (18). MR/BT ile tanı konulamayan KBA'lı hastalarla yapılan yakın tarihli bir retrospektif çalışma, SPECT/BT kemik taramasının bu hastaların %65'inde semptomatik faset eklem hedeflerini pozitif ve kesin olarak lokalize edebildiğini göstermiştir (23).

KBA'lı 150 hastada BT'deki dejenerasyonu derecesi ile SPECT/BT'deki sintigrafik paternleri karşılaştıran çalışma aktif faset eklem dejenerasyonunun %71,4'ünü L4-5/L5-S1 seviyelerinde saptamış; artropatilerin %40'undan fazlasının sintigrafik paternleri ile dejenerasyon derecelerinin korele olmadığını tespit etmiştir (24).

Metilprednizolon ve lidokain enjeksiyonu planlanan faset artropatili 54 olguluk çalışmada; SPECT'de tutulum olan fasetlere enjeksiyon yapılan grupta %95 oranında tedaviye yanıt alınmış. Bu grupta sintigrafide tutulum olmayıp hassasiyet olan seviyeye enjeksiyon yapılan grupta karşılaştırıldığında; ilk 1 ve 3 aylık değerlendirmede ağrıda anlamlı olarak daha belirgin azalma saptanmış ancak bu farkın 6. ay kontrolünde kaybolduğu tespit edilmiş (25).

SPECT/BT aktif faset artropati tanısını doğru bir şekilde koyup lezyonu doğru lokalize edebilmesi ve birçok spinal patolojinin ayırıcı tanısını yapabilmesi nedeniyle ideal bir görüntüleme yöntemidir.

2. Disk Hastalığı (Spondilozis Deformans)

KBA'lı olguların %39-43'ünde intervertebral disk problemleri ağrı kaynağının bir parçasıdır (20). Genelde dejenerasyon nedenlidir. Bel ortasında, derindeki künt ağrı uzanma ve ayakta durma ile azalırken; oturma, lomber fleksiyon ve rotasyon ile artar.

Eklem dejenerasyonunu değerlendirirken eklemdeki yapısal değişiklikleri yorumlamak subjektif olabilir ve zayıf tanı güvenilirliği ile sonuçlanabilir (18). Bu radyolojik görüntülemenin önemli bir sınırlaması olup kemik sintigrafisi, dejenerasyonunun patofizyolojik sürecini görüntülediğinden avantajlıdır (23). Sintigrafide disk aralığı merkezinden bazen endplate doğru uzanan artmış aktivite tutulumu olur.

3. Spondilodiskit

Diskitte ilişkili paravertebral abseyi de tespit edebilen MR tanıda ana görüntüleme yöntemidir. Nükleer tıp tanıda tamamlayıcı rol oynar.

Kemik sintigrafisi duyarlı olmasına rağmen özgüllüğü düşük olduğundan tarama amaçlı kullanılabilir. Özellikle yaşlılarda olmak üzere yanlış negatif olabilir. Kemik

sintigrafisinin tüm fazlarında artmış aktivite tutulumu mevcut olup bu tutulum disk aralığı merkezinde, bitişik vertebra korpuslarında, vertikal oryantasyonludur.

Enfeksiyon tanısında Galyum-67 (Ga-67) sintigrafisi, Indium-111 veya Tc-99m hexametil propilen amin oxime (HMPAO) işaretli lökosit sintigrafileri kullanılabilir. Ancak işaretli lökosit sintigrafileri spondilodiskit tanısında sensitif ve spesifik değildir. Normal, artmış veya azalmış tutulum görülebilir.

Ga-67 sintigrafisi kemik sintigrafisi ile kombine edildiğinde diskit tanısında duyarlılığı %88, özgüllüğü %100'dür (26). Ga-67'de kemik sintigrafisine kıyasla daha yoğun seviyede aktivite tutulumu olması enfeksiyon ile uyumludur. SPECT/BT görüntüleme ile Ga-67 sintigrafisinin duyarlılığının %94, özgüllüğünün %100'e ulaşması (27) özellikle MR yapılamayan veya MR şüpheli olan olgularda tercih edilecek görüntüleme yöntemi haline gelmesine neden olmuştur (28).

4. Metastatik Hastalık

Günümüzde kemik sintigrafisinin en sık endikasyonunu oluşturmaktadır. Özellikle osteoblastik kemik metastazı yapan kanserlerde metastaz paterni gibi multifokal patolojilerin saptanmasına ve bu sayede malign-benign süreçlerin ayırıcı tanısına olanak tanımaktadır.

Vertebra korpusundan pediküle uzanan artmış aktivite tutulumu metastaz için şüphe uyandırmalıdır. Delpassand ve ark. (29), korpusta sınırlı lezyonların sadece %26'sının malign olduğunu tespit etmişlerdir.

5. Vertebra Korpus Fraktürleri

Yaşlı olgularda osteoporozun en sık komplikasyonu kompresyon kırıklarıdır. Genç olgularda ise akut travma ile ilişkilidir. Sintigrafide vertebra korpus merkezinde horizontal lineer artmış aktivite tutulumu olarak tespit edilir. İyileşme fazında, 6-9 ayda aktivite tutulumu giderek azalır (30). Fraktürler metastaza sekonder olarak da gelişebilir. Bu olgularda pedikül tutulum durumunu belirlemek ayırıcı tanıda yardımcıdır.

6. Pedikül Lezyonları

Metastatik hastalıkta pedikül tutulumu sık görülür. Genç olgularda sadece pedikülü tutan lezyonlar fraktür, osteoid osteoma, osteoblastomadır. Osteoid osteomada kemik sintigrafisinin üç fazında da artmış aktivite tutulumu olup, BT'de santral nidus periferinde skleroz tipik görünümüdür.

7. Transvers Proses Kırıkları

Transvers proseslerde sintigrafide artmış tutulumun en sık nedeni fraktürdür. Şiddetli lateral fleksiyon-

ekstansiyon kuvvetlerinden (futbolda olduğu gibi) kaynaklanabilir (31). L5 transvers proses kırıkları sakral kırık şüphesini artırır.

8. Sakroiliak Eklem Patolojileri

Klinik-radyolojik değerlendirmede dikkat sadece ağrının hissedildiği alana odaklandığında, görüntülenen alan sınırlanır, ağrının kaynağını temsil eden noktalar gözden kaçabilir. Kemik sintigrafisinde ek radyasyon maruziyeti olmadan tüm vücut görüntülendiğinden böyle bir durum söz konusu değildir.

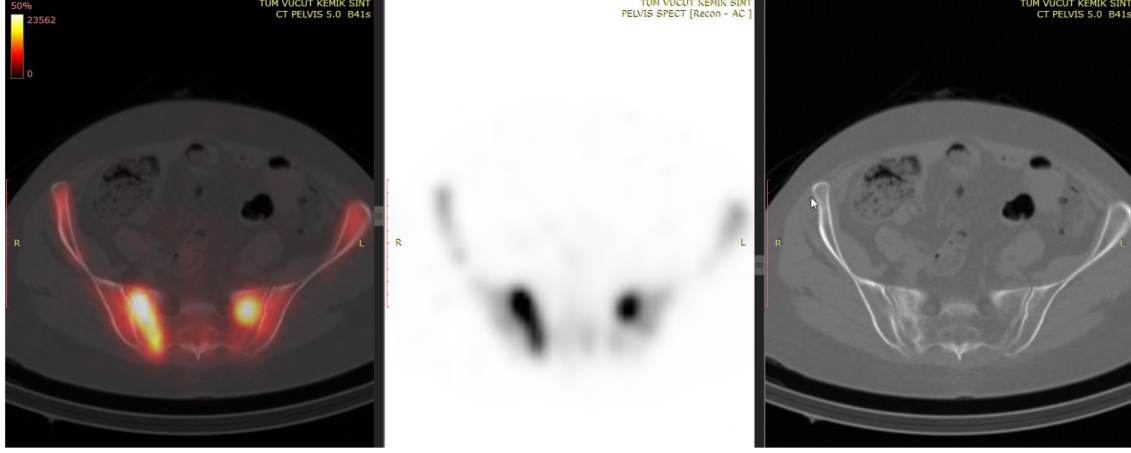
Alt lomber bölgede sakroiliak eklem ve kalçadan kaynaklanan yansıyan ağrı, kalça/sakroiliak eklemlerle intervertebral disklerin sakral ve alt lomber sinirler tarafından ortak innervasyonu ile açıklanabilir (32). Sembrano ve Polly (33) tarafından yayınlanan bir çalışmada; bacak ağrısı +/- bel ağrısı olan olguların %65'inde ana ağrı kaynağının vertebra, %5'inde sakroiliak eklem, %2,5'inde ise kalça olduğu belirtilmiştir.

Sakroileitte özellikle erken evrelerde sakroiliak eklem lokalizasyonunda kemik sintigrafisinde aktivite tutulumu artmıştır. Fakat bu tutulum geç evrelerde azalabilmektedir. Bilateral sakroiliak eklem tutulumunun olması veya adölesanlarda bu alandaki fizyolojik tutulum, bazı olguların atlanmasına neden olabilmektedir. Avrupa Nükleer Tıp Derneği kılavuzlarında, spondiloartropatiler ve ankirozant spondilit gibi ilgili bozuklukları teşhis etmek için kemik sintigrafisinin kullanılmasını onaylanmıştır (34). Şekil 1'de bilateral sakroileit tanısı olan 59 yaşında kadın hastanın kemik sintigrafisi SPECT/BT görüntüleri izlenmektedir.

B. Travmatik/Sportif Yaralanmalar

Kemik sintigrafisi minör metabolizma ve kan akımı değişikliklerini dahi tespit edebildiğinden kas/iskelet lezyon tanısında duyarlı olup tarama için uygun bir yöntemdir. Ancak özgüllüğü nükleer tıp hekiminin ayırıcı tanı yapma becerisi ile ilişkilidir.

Akut travmaların hızla değerlendirilmesi için kemik sintigrafisi optimal olmayıp ilk istenmesi gereken tetkik radyografidir. Ancak direkt grafi diagnostik değilse veya dejeneratif hastalık, geçirilmiş travmaya ait çok sayıda patoloji tespit edilmişse sintigrafi ile ağrının gerçek sebebi araştırılabilir. Sintigrafi multipl travmalı olgularda tüm vücut tarama imkanı tanıdığından değerlidir. Yansıyan ağrılı olguların, kompleks anatomili bölge travmalarının değerlendirilmesinde yardımcıdır. Travmanın ilk birkaç saatinde özellikle yaşlı, osteoporotik olgularda yalnızca negatif olabilir ancak 72. saatte duyarlılığı %100'e yakındır (35).



Şekil 1. Bilateral sakroileit tanısı olan 59 yaşında bayan hastanın SPECT/BT görüntülerinde sağda daha belirgin olmak üzere her iki sakroiliak eklemlere uyumlu artmış aktivite tutulumları izlenmektedir

SPECT: Tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi, BT: Bilgisayarlı tomografi

Günümüzde spora olan artan ilgi nedeniyle sportif yaralanmalar normal popülasyonda da giderek daha sık görülen bir problem haline gelmiştir. Amatör/profesyonel sporcularda kas-iskelet sistemi yaralanmalarının tespitinin hızlı bir şekilde yapılarak erken tedaviye başlanması sporcunun kariyeri açısından oldukça önemlidir. Nükleer tıp görüntülemeleri özellikle radyografi ile ayırımı yapılamayan bazı patolojilerin ayırımında, travma yaygınlığının belirlenmesinde, lezyon alanındaki vaskülaritenin değerlendirilmesinde, iyileşmenin takibinde, kemik greft viabilitesinin saptanmasında oldukça değerlidir.

1. Fraktür

Fraktürün 3-4 haftalık akut evresinde kemik sintigrafisi 3 fazında da fraktür çevresinde artmış aktivite tutulumu olur. 8-12 haftalık subakut dönemde ilk iki fazdaki tutulum daha lokalize bir görünüm alıp geç imajda iyi sınırlandırılabilen, yoğun artmış aktivite tutulumu saptanır. İyileşme/geç dönem süresi değişkenlik gösterip bu dönemde her 3 fazdaki aktivite tutulumu giderek azalır.

Belirgin radyografik bulgusu olmayan, travmaya sekonder ya da travmasız meydana gelen, ağrı ile karakterize olan fraktürlere okült fraktür denir. Kemik sintigrafisinin en faydalı olduğu endikasyonlardan olup tanıdaki duyarlılığı yaklaşık %98'dir (36).

Pediyatrik travmalarda büyüme plağı fraktürü büyüme duraklamasına, ekstremitte anomalilerine neden olabilir. Morfolojik görüntülemeler tanı koymada yeterli olmayabilir; fizyolojii gösteren sintigrafi ile

desteklenmelidir. Büyüme plaklarında fizyolojik olarak artmış aktivite tutulumu görülen kemik sintigrafisinde patolojinin tespiti için en önemli husus iki ekstremitenin simetrik pozisyonlama ile aynı büyük görüntüleme alanında çekiminin yapılmasıdır. Fraktürde özellikle blood-pool imajlarında asimetrik yoğunluk ve konfigürasyonda aktivite tutulumu olur.

2. Stres ya da Yetmezlik Fraktürleri, Shin Splint

Elastik direnci yetersiz olan anormal kemikte normal stres yetmezlik fraktürüne, normal kemikte şiddeti akut fraktür için yetersiz olan tekrarlayan stresler ise stres fraktürüne neden olabilir. Yetmezlik fraktürünün en sık sebebi osteoporozdur.

Stres fraktürü eskiden düşünüldüğü gibi tekrarlayan travmatik mikrofraktürler nedeni olmayıp; tekrarlayan stres nedeni kemik turnoverının arttığı fokal alanlardır. Proses rezorptif kavite ile başlayıp osteoblastik cevap ile devam eder. Travma devam ettiği sürece periost reaksiyonundan fraktüre kadar ilerleme potansiyeline sahiptir (37). Spor yaralanmalarının %0,7-20'sinden sorumludur. Uzun mesafe koşucusunda tibia ve fibula, dansçılarda metatars, askerlerde kalkaneus ve metatars stres fraktürü sık görülür. Kemik sintigrafisi akut fraktürün aksine tanısında majör bir role sahiptir. İlk 4 haftalık akut evrede her üç fazda aktivite tutulumunda artışı olup geç evrede sadece geç imajlarda aktivite tutulumu görülür. Geç imajlardaki tutulum tipik olarak kemiğin 1/5'inden azı ile sınırlıdır.

Kadın uzun mesafe koşucularındaki "Kadın atlet triadı" (azalmış kemik dansitesi, amenore, yetersiz

beslenme) radiküler bel ağrısını veya kalça ağrısı olarak prezente olabilen sakral stres kırıkları için predispozan bir faktördür (38). Sintigrafide "H" veya kelebek paterninde aktivite tutulumu olur.

Shin splint kas/kas grubunun aşırı gerilmesiyle (en sık soleus kası) meydana gelen periostittir. Subperiostal kemik formasyonu olur. En sık tibiada geliştiğinden "tibial stres sendromu" olarak da adlandırılır. Stres fraktürü erken döneminden farklı olarak sintigrafinin ilk iki fazında aktivite tutulumu normal olup geç imajlarda diafiz mid-inferior 1/3'ü boyunca posteromedial/anterolateral konumda devam eden, stres reaksiyonuna göre daha lineer formda ve daha düşük yoğunlukta artmış aktivite tutulumu görülür. Farklı tedavileri nedeniyle stres fraktürlerinden ayırıcı tanısı oldukça önemlidir.

3. Geç Kaynama, Non-union, Mal-union

Geç kaynama ve non-union fraktürlerin geç komplikasyonlarından; olgularının %5-10'unda en sık tibia, fibula ve skafoid kemikte görülür (39). Geç kaynama, fraktürün oluşumu ve iyileşme arasındaki sürenin uzadığı bir durumdur fakat iyileşme sonuçta gerçekleşir. Non-union ise, kaynamanın 4-6 hafta içinde başlamaması olup; iyileşme sürecinin kalıcı bozukluğudur. Mal-union ise anatomiye uygun olmayan kaynamadır. Bu komplikasyonların olası bir sakatlığı önlemek için önemli olan ayırıcı tanıları klinik olarak oldukça zordur.

Geç kaynamada kemik sintigrafisi ilk fazındaki artmış tutulumu 3-4 haftada, ikinci fazdaki ise 8-12 haftada normalize olmalıdır. Geç faz ise ortalama 2 yılda normalize olur.

Non-union radyolojik olarak hipervasküler (hipertrofik), avasküler (atrofik) olarak ikiye ayrılır. Her ikisinde de fibröz doku, hiyalin kartilaj, fibrokartilaj mevcut iken kemik doku oluşum miktarları farklıdır. Enkondral ve intramembranöz ossifikasyon görülen hipertrofik non-union uygun tedavi ile düzelebilirken sadece enkondral ossifikasyon görülen atrofik non-unionların düzelmeyeceği kabul edilir. Radyografide kallus formasyonunun görülmemesi her zaman biyolojik aktivitenin olmadığı anlamına gelmez sintigrafik değerlendirme gerektirir (40). Non-unionda kemik sintigrafisinde değişik paternlerde tutulum olabilir: belirgin artmış tutulum, tutulum bölgesinde bazen yarık şeklinde olabilen fotopenik alan ya da sadece fotopenik görünüm gibi. Aktif osteogenez iyi prognoz göstergesidir.

Enfeksiyon, non-union ve geç kaynama sebepleri arasında olduğundan komplike olgularda ayırıcı tanı zor olabilmektedir. Geç fraktür komplikasyonlarındaki enfeksiyon durumu işaretli lökosit (akut enfeksiyon) veya

Ga-67 sintigrafilerindeki (kronik enfeksiyon) tutulumlar ile kemik sintigrafisi bulguları kombine edilerek saptanabilir.

4. Entesopati

Tendon, ligamentlerin kemiğe yapışma yerinde meydana gelir. Enflamatuvar, dejeneratif, metabolik, travmatik nedenlerle gelişebilir. En sık trokanter femur, pelvis, patella, kalkaneus, tuberositas humeri ve tibiada görülür. Ekleme yakın lokalize ağrı ile prezente olur. Özellikle ileri evrede radyografide erozyon, hiperosteozeis, fragmantasyon olarak tespit edilir. Sintigrafide artmış aktivite tutulumu görülür.

Abdominal, grasilis kaslarının fazla kullanan atletlerde, futbolcularda bir entesopati olan osteitis pubise (pubic symphysis) sık rastlanır. Plantar fasiite de entesopati olarak kabul edilebilir. Kalkaneus medial tuberositasında artmış aktivite tutulumu olur.

5. Yumuşak Doku Travmaları, Kompartman Sendromu

Tendon yırtıkları sprain, ligament yırtıkları strain olarak isimlendirilir. Bunların tamamen kopması kemik-kartilaj doku eşlik edip etmemesine bakılmaksızın avülsiyon olarak adlandırılır. Kemik sintigrafisinde anormal tutulumu neden olur.

Kompartman sendromunda sintigrafide basıncın arttığı alanlarda hipoaktif görünüm olup bunların superior ve inferior komşuluğunda yumuşak dokuda artmış aktivite tutulumu saptanır.

6. Eklem Yaralanmaları

En sık görülen spor yaralanmalarındandır. Dislokasyon gibi çoğu majör yaralanmanın tanısı klinik olarak kolayca yapılırken nükleer tıp özellikle kronik (dejenerasyon, osteoartrit gibi) eklem hasarını tespit etmede faydalıdır. Artritte bilateral eklemden kısmen artmış aktivite tutulumu görülür. Sinovya patolojilerinde bu alandaki epifizyal kapillerle anastomoz yapan yüksek vaskülerite nedeniyle sintigrafi erken faz imajlarında periartiküler artmış aktivite tutulumu olabilir.

7. Yumuşak Doku Kalsifikasyon Matürasyonunun Araştırılması

Myositis ossifikans radyografide kalsifikasyon görünümü ortaya çıkmadan önce sintigrafide kan akımı ve osteoblastik aktivite artışı ile karakterize olmaktadır. Matüre olmadan eksizye edildiğinde rekürrens riski oldukça yüksek bir patoloji olup matürasyonu üç fazlı kemik sintigrafisi ile değerlendirilebilir. Kemik sintigrafisinde, komşu kemik yapılar ile aynı seviyede

aktivite tutulumu matürasyonu gösterir. Alternatif olarak kemik iliği sintigrafisi ile lezyonda kemik iliğinin görüntülenmesi matürasyonu temsil eder.

8. Avasküler Nekroz

Femur başı avasküler nekrozu (AVN) değerlendirilmesinde MR ve/veya kemik sintigrafisi kullanılmaktadır. Sintigrafinin duyarlılığı yüksek fakat özgüllüğü düşüktür (41). MR yapılamadığında kemik sintigrafisinin normal olması hastalığı ekarte ettirebilir. Kemik iliği sintigrafisi de tanıda yardımcı olabilese de erişkinlerde bu alanda koloidal ajanların tutulabilmesini sağlayacak kadar aktif kemik iliği olmadığı için çok tercih edilmez.

Özellikle kalça bölgesindeki nekrotik alanı doğru bir şekilde saptayabilmek için sintigrafik imajların yüksek kalitede olması gerekmektedir. Bu nedenle etkilenmiş ve kontralateral kalçadan SPECT görüntüleri alınmalıdır (42). Erken dönem AVN geç imajlarda hipoaktif alan tarzında ortaya çıkar. Reperatif fazda ise periferden santrale doğru giderek artan aktivite artışı gözlenir. Erişkin olgular erken dönemde genellikle asemptomatik olup, reperatif fazda semptomatik hale gelmektedir. Bu nedenle hasta genellikle erken evrede başvurulamakta ve sintigrafik görünüm etkilenen alanda aktivite artışı şeklinde olmaktadır.

Çocuklarda AVN'den çoğunlukla Legg-Calve Perthes Hastalığı sorumludur. Semptomlar hastalığın erken döneminde ortaya çıkmaktadır. Klasik sintigrafik görünüm femur başı anterolateralinde perfüzyon defektidir.

9. Kompleks Bölgesel Ağrı Sendromu

Bazı olgularda bu hastalık sürecinde distrofi, sempatik değişiklik eşlik etmediğinden refleks sempatik distrofi (RSD) yerine kompleks bölgesel ağrı sendromu (KBAS) isimlendirmesi kullanılmaktadır. KBAS Tip I (eski RSD) belirgin majör sinir hasarı yapmayan travmadan sonra gelişir. Tek periferik sinir ile sınırlı değildir. Hissedilen ağrı travma şiddeti, iyileşme süreciyle orantısızdır. Tip II'de ise tanımlanabilir periferik sinir hasarına sekonder ekstremitelerde yanma tarzı ağrı olur.

Kemik sintigrafisi tanı koymaya yardımcı olup hastalığın evrelemesi, takibi, tedavi yanıtının ve prognozun öngörülmesinde faydalıdır (43,44). Erken KBAS Tip I tanısında sintigrafinin duyarlılığı %73-96, özgüllüğü %86-100'dür (45). Sintigrafik bulgular hastalığın evresi, hastanın yaşı, predispozan yaralanma türü, lokalizasyonuna göre farklılık gösterir.

Sıfır-6 ay arasında kemik sintigrafisinin 3 fazında da artmış aktivite tutulumu görülür. Etkilenen el/

ayakta difüz hiperemi; etkilenen bölgede veya tüm ekstremitelerde geç imajlarda periartiküler artmış aktivite tutulumu karakteristiktir. Bu klasik patern KBAS Tip I'in inaktivite atrofisinden ayırımını sağlar. Altı ay-1 yıl arasındaki distrofik fazda ilk iki fazdaki bulgular normale döner ancak geç imajlardaki periartiküler tutulum devam eder. Bir yıldan sonra atrofik fazda ise flow ve blood-pool imajlarında perfüzyon azalır, geç fazdaki bulgular ise normale döner. Özellikle üst ekstremiteler için tanımlanan bu tipik sintigrafik patern ayak ve dizde yaralanmalarında, çocuk/adölesanda, paralitlik olgularda, ağırlı ekstremitenin persistan kullanıldığı durumlarda, KBAS Tip I geç fazında izlenmeyebilir.

10. Spondilolizis

Pars interartiküleristeki lezyonların spektrumu şöyledir: Spondilolizis olmadan stres reaksiyonu (eşlik eden anormalite, skleroz, fraktür hattı olmadan planar/SPECT imajlarda artmış tutulum), spondilolizis (SPECT'de tutulum artışı, BT'de kırık çizgisi) ve eski iyileşmiş kaynamama (radyofarmasötik tutulumu yok, BT'de sklerotik sınırlı kırık hattı).

Genç sporcularda bel ağrısının en sık nedeni istmik spondilolizisdir. İstmik spondiloliz, genellikle tekrarlayan zorlu hiperekstansiyon ve rotasyonla ilişkili pars interartiküleris kırığını temsil eder. Nöral arkin eksik kemik olgunlaşması ve tekrarlayan stres yaralanması nedeniyle adölesan büyüme atağı sırasında daha yüksek bir insidansa sahiptir (46,47) ancak kalıtım da rol oynar (48). Haltercilerde %36 oranında rapor edilmiştir (49).

Bilateral spondilolizis yaygındır, olguların büyük çoğunluğu L5'te ardından L4'tedir (50). Bilateral pars interartiküleris defektlerine spondilolizis eşlik edebilir. Spondilolizis en sık L5 vertebraının sakrum üzerinden anteriora dislokasyonu şeklindedir.

Spondilolizis uni/bilateral, aktivite ile artan, non-radiküler, fokal KBA ile prezente olur. Lomber radyografisi ile saptanan defekt alanındaki aktif remodellingi doğrulamak için SPECT/BT veya MR ile daha fazla değerlendirme gerekir (sırasıyla artan aktivite tutulumu veya kemik iliği ödemi). Unilateral spondilolizise ileri dönemde stabil olmayan bir nöral arka kompensatuar fizyolojik yanıtı bağı olarak kontralateral pars interartiküleriste BT'de skleroz olarak tespit edilen kontralateral stres ve pedikül, lamina hipertrofisi eşlik edebilir (51,52). Kemik sintigrafisi akut spondilolizis ile kronik non-union fraktür ayırıcın tanısını yapabilir.

Spondilolizis tanısında SPECT ve MR ile karşılaştıran bir çalışmada, SPECT'de tespit edilen 50 lezyondan sadece 40'ının MR ile tespit edilebildiğini; SPECT negatif

MR pozitif olgu tespit edilmediği yayınlanmıştır (53). SPECT kemik sintigrafisi spondilolistezisi saptamada MR ve BT'ye üstündür (47).

11. Pedikül Stres Reaksiyonu/Kırıkları

Pedikül, nöral arktaki en zayıf ikinci noktadır. Pedikül yaralanmaları genellikle kontralateral spondilolizis ile birlikte görülmekle birlikte izole yaralanmalar da bildirilmiştir (54). Kemik sintigrafisindeki artmış aktivite tutulumu bu bölgedeki stres kırığı ile pediküler kleft gibi gelişimsel bir nedenden kaynaklanan defektin ayırımına yardımcı olur (55).

12. Vertebra Apofiz Kırıkları

Kemik sintigrafisinde farklı yaş gruplarındaki fizyolojik tutulumları patolojik olanlardan ayırt etmek için iskelet sistemi gelişimini bilmek önemlidir. Vertebralarda 3, sakrumda 21 primer ossifikasyon merkezi olup bunlar genelde puberteden önce kapanıp adölesan yaş grubunda görülmez. Adölesan çağda görülmeye başlanan sekonder ossifikasyon merkezleri (apofiz) geç adölesan, erken erişkinlik döneminde kapanır. Her lomber vertebra için 7, torasik vertebra için 5 ve sakrum için değişken sayıda apofiz vardır. Bu alanlarda fizyolojik olarak hafif düzeyde, simetrik aktivite tutulumu görülür. Apofiz kapanması asimetrik olursa tek taraflı tutulum fraktür ile karıştırılabilir (56). Diğer ossifikasyon merkezlerinden yüksek olmayan minimal tutulum, BT'de düzgün yuvarlak, iyi sınırlı kortike marj ve belirli lokalizasyon apofizlerin küçük fraktürlerden ayırımını sağlar (57). Adölesan yaş aralığında, çoğu henüz füzyone olmadığından, vertebra apofizlerinde kırıklar meydana gelebilir. Sintigrafide apofizdeki yoğun artmış aktivite tutulumu akut avulsiyon kırığını temsil edebilir.

C. Diğer Hibrit Görüntüleme Yöntemleri

Kas-iskelet sistemi patolojilerinde klinik uygulamada etkinliği kanıtlanmış olan diğer nükleer tıp görüntülemeleri flor-18 florodeoksiglukoz (F-18 FDG) veya F-18 sodyum florür (NaF) ile yapılan pozitron emisyon tomografisidir (PET).

1. F-18 NaF PET/BT

F-18 NaF, kemik sintigrafisinde kullanılan Tc-99m işaretli fosfonatlar gibi kemik metabolizmasının gösteren bir ajandır. F-18 NaF PET'in kemik sintigrafisine göre avantajları:

- Çözünürlüğünün daha yüksek olması ve bu nedenle çapı 5 mm olan lezyonları bile saptayabilmesi (SPECT'de yaklaşık 1 cm).

- Kemik metabolizmasının arttığı patolojik odaklarda F-18 NaF tutulumunun, Tc-99m işaretli fosfonatlardan en az 2 kat yüksek olması (yüksek kontrast).
- F-18 NaF'nin vasküler yataktan wash-outunun çok daha hızlı ve buna paralel olarak enjeksiyon ile görüntüleme arasındaki sürenin kemik sintigrafisine göre çok daha kısa olması.
- Osteolitik metastazlar ile aksiyel iskeleti tutan metastatik lezyonlarda daha duyarlı olması (58).

2. F-18 FDG PET/BT

F-18 FDG PET en sık kullanılan PET ajanıdır. Malign-benign yumuşak doku/kemik lezyonları ile iskelet sistemi hastalıklarının görüntülenmesinde oldukça etkindir. Enflamasyonu tespit etmede çeşitli patolojilerde kullanılmakta olup faset artropatisi tanısında da ümit vermektedir (59).

Spondilodiskit tanısında kontrastlı MR'ın duyarlılığı %96, özgüllüğü %94 olup (60), ana görüntüleme yöntemidir ancak metalik implantlar, postoperatif değişiklikler tanı koymada probleme neden olur. Spondilodiskit şüphesi olan olgularda MR'da okuyucular arasındaki uyumun düşük olması ve vertebranın kronik enflamasyonunda bazen yetersiz olması nedeniyle FDG PET tercih edilebilir. Uzayan bel ağrısı olan özellikle kronik hastalık, immünoşüpresif ilaç kullanımı, iv bağımlılık, spinal operasyon gibi risk faktörü olan olgularda ilk iki haftada MR negatif olabildiğinden FDG PET spondilodiskit tanısı koymada yararlı bir görüntüleme yöntemidir (61).

On iki çalışmayı içeren bir meta-analizde FDG PET'in spondilodiskit tanısında duyarlılığı %97, özgüllüğü %88 olarak tespit edilmiştir (62). Kemik, Ga-67, anti-granülosit antikör sintigrafilerinden daha doğru tanı koyup; tanı ve takipte MR kadar doğru sonuçlar verir (63,64). MR şüpheli olgularda bile enfeksiyonu dejeneratif değişikliklerden ayırabilen oldukça duyarlı bir görüntüleme yöntemidir (65,66).

3. PET/MR

PET/MR simültane çekim sayesinde temporal dalgalanma kaynaklı anatomik kaymaları en aza indirmiştir. Bu da ağrı kaynağının lokalizasyonunu doğru tespit etmede bir avantajdır.

Solid tümörü olan 67 olguluk çalışmada kemik metastazlarının tespitinde FDG PET/MR duyarlılığını %100 FDG PET/BT'ninkini ise %94 tespit edilmiştir (67). Ancak aynı çalışma PET/BT'nin hipersklerotik, benign kemik lezyonların tanısında daha kıymetli olduğunu savunmaktadır.

Kemik lezyonların tanımlanmasında duyarlı olan NaF PET ile spesifik olan difüzyon ağırlıklı imajların kombinasyonu en doğru seçim olabilir (68). PET/MR sayesinde bu iki çekim tek seansta yapılabilir.

Kronik siyatiji olan 9 olgu ile yapılan F-18 FDG PET/MR çalışmasında; 5 olguda disk herniasyonuna sekonder spinal sinirde artmış tutulum saptanırken 4 olguda MR'da anomalite hafifken veya yokken FDG tutulumu gösteren bacak kası, periferik sinir, faset eklem lezyonu tespit edilmiştir. Yazarlar aktivite tutulum olan alanlardaki lezyonun tanımlanması için MR'ın gerekli olduğunu savunmuşlardır (69).

Lomber faset artropatisi tanıli 10 olguda (sağ-sol 20 lokalizasyon, toplam 100 faset eklem) FDG PET/MR çekimlerini inceleyen pilot çalışmada lokalizasyonların %60'ında PET, MR ve ağrı tarafı uyumlu iken; palpasyonda hassasiyet tespit edilen 14 lokalizasyonun %64'ünde MR veya PET pozitifliği saptanmıştır (70). Hassasiyet olmayan tarafların %50'sinde ise MR ve PET pozitifliği tespit edilmiştir. Çekimden önce terapötik enjeksiyon endikasyonu konan 29/100 eklemine ise sadece 10'unun görüntülerde PET ve/veya MR'da patoloji tespit edilmiştir. Bu 10 olgunun sadece 1'inde patolojik lezyon ile tedavi planlanan alan tamamen uyumlu iken 5'inde kısmen uyumlu 4'ünde tamamen uyumsuzmuş. Bu bulgular görüntülemelerin hasta yönetiminde belirgin değişiklik yapabileceğini gösterebileceği gibi düşük duyarlılık-özellikli de temsil edebilir. Her iki durum için de daha büyük kohortlu çalışmalar gerekmektedir. Ancak olgulardaki PET ve MR'ın yüksek korelasyonu faset artropatisinde PET veya MR'ın ilk değerlendirmede tek başlarına yeterli olabileceğini düşündürmüştür. Tedavi yanıtını değerlendirmedeki değerlerini belirlemek için ise ek çalışmalar gereklidir.

Sonuç

Kronik bel ağrısı toplumlarda en sık tariflenen ağrı çeşididir. Sağlık harcamalarının önemli bir bölümünü oluşturup; sosyal yaşamı, psikolojiyi belirgin olarak etkilemektedir. Bu nedenle doğru tanı sonrası uygun tedavi planı bu olgularda oldukça önemlidir. SPECT/BT özellikle diğer görüntülemelerde birçok lezyon tespit edilen olgularda ağrının kaynağını doğru bir şekilde tespit edip ayırıcı tanı ile spesifik tanıyı mümkün kılar; enjeksiyon gibi hedeflenmiş tedavilere yol gösterici olarak kullanılabilir. Bazı olgularda ise negatif tarama en değerlisidir.

Travmatik/sportif yaralanmalarda erken dönemde anatomik görüntülemeler yalancı negatif olabilir veya

yaygın travmalı olgularda görüntüleme alanına girmeyen bazı lezyonları atlayabilir. SPECT/BT gibi ek radyasyon maruziyeti olmadan aynı seansta yapılan, tüm vücut hibrit görüntülemeler, iskelet lezyonlarının anatomisi ve metabolizması hakkında bilgi verip hem erken tanıyı ve erken dönemde tedaviyi mümkün kılar hem de diğer görüntülemeler ile atlanabilen lezyonları tespit edebilir.

Kaynaklar

1. Kanmaz B, Collier BD, Liu Y, et al. SPET and three-phase planar bone scintigraphy in adult patients with chronic low back pain. *Nucl Med Commun* 1998;19:13-21.
2. Han LJ, Au-Yong TK, Tong WC, et al. Comparison of bone single-photon emission tomography and planar imaging in the detection of vertebral metastases in patients with back pain. *Eur J Nucl Med* 1998;25:635-638.
3. Papathanassiou D, Bruna-Muraille C, Jouannaud C, et al. Single-photon emission computed tomography combined with computed tomography (SPECT/CT) in bone diseases. *Joint Bone Spine* 2009;76:474-480.
4. McDonald M, Cooper R, Wang MY. Use of computed tomography-single-photon emission computed tomography fusion for diagnosing painful facet arthropathy: technical note. *Neurosurg Focus* 2007;22:e2.
5. Van Tulder M, Becker A, Bekkering T, et al. Chapter 3. European guidelines for the management of acute nonspecific low back pain in primary care. *Eur Spine J* 2006;15:169-191.
6. Luo X, Pietrobon R, Sun SX, et al. Estimates and patterns of direct health care expenditures among individuals with back pain in the United States. *Spine* 2004;29:79-86.
7. Andersson GB. Epidemiological features of chronic low-back pain. *Lancet* 1999;5:581-585.
8. Hildebrandt J, Mannion AF, Ursin H, et al. European guidelines for the management of chronic non-specific low back pain. Bergen, Norway, European Commission, Research Directorate-General, Department of Policy, Co-ordination and Strategy, 2004.
9. Atlas SJ, Deyo RA. Evaluating and managing acute low back pain in the primary care setting. *J Gen Intern Med* 2001;16:120-131.
10. Heuch I, Foss IS. Acute low back usually resolves quickly but persistent low back pain often persists. *J Physiother* 2013;59:127.
11. Pengel LH, Herbert RD, Maher CG, et al. Acute low back pain: systematic review of its prognosis. *BMJ* 2003;327:323.
12. Mehling WE, Gopisetty V, Bartmess E, et al. The prognosis of acute low back pain in primary care in the United States: a 2-year prospective cohort study. *Spine* 2012;37:678-684.
13. Frymoyer JW. Back pain and sciatica. *N Engl J Med* 1988;318:291-300.
14. Wiesel SW, Tsourmas N, Feffer HL, et al. A study of computer assisted tomography. I. The incidence of positive CAT scans in an asymptomatic group of patients. *Spine* 1984;9:549-551.

15. Jensen MC, Brant-Zawadzki MN, Obuchowski N, et al. Magnetic resonance imaging of the lumbar spine in people without back pain. *N Engl J Med* 1994;331:69-73.
16. Stadnik TW, Lee RR, Coen HL, et al. Annular tears and disk herniation: prevalence and contrast enhancement on MR images in the absence of low back pain or sciatica. *Radiology* 1998;206:49-55.
17. Willard FH. The lumbosacral connection: The ligamentous structure of the low back and its relationship to back pain. In *The Integrated Function of the Lumbar Spine and Sacroiliac Joint, Proceedings of the Second International Congress on Low Back Pain* Edited by: Vleeming A, Mooney V, Dorman T, Snijders C, 1995.
18. Malham G, Parker R, Ballok Z, et al. Bone scans are reliable for the identification of lumbar disk and facet pathology. *Global Spine J* 2015;5:23-30.
19. Manchikanti L, Boswell MV, Singh V, et al. Prevalence of facet joint pain in chronic spinal pain of cervical, thoracic, and lumbar regions. *BMC Musculoskelet Disord* 2004;5:15.
20. Schwarzer AC, Aprill CN, Derby R, et al. The prevalence and clinical features of internal disc disruption in patients with chronic low back pain. *Spine* 1995;20:1878-1883.
21. Ryan PJ, Evans PA, Gibson T, et al. Chronic low back pain: comparison of bone SPECT with radiography and CT. *Radiology* 1992;182:849-854.
22. Holder LE, Machin JL, Asdourian PL, et al. Planar and high-resolution SPECT bone imaging in the diagnosis of facet syndrome. *J Nucl Med* 1995;36:37-44.
23. Shur, N, Corrigan, A, Agrawal, K, et al. Radiological and Radionuclide Imaging of Degenerative Disease of the Facet Joints. *Indian J Nucl Med* 2015;30:191-198.
24. Maldonado A, Vera U, Carrascoso J, et al. High resolution bone SPECT-CT in the evaluation of chronic low back pain and facet joint arthropathy. Experience in 150 patients. *J Nucl Med* 2019;60:1292.
25. Dolan AL, Ryan PJ, Arden NK, et al. The value of spect scans in identifying back pain likely to benefit from facet joint injection. *Br J Rheumatol* 1996;35:1269-1273.
26. Morrison W, Schweitzer ME, Wapner KL, et al. Osteomyelitis in diabetics: clinical accuracy, surgical utility and cost effectiveness of MR imaging. *Radiology* 1995;196:557-564.
27. Tamm AS, Abele JT. Bone and gallium single photon emission computed tomography is equivalent to magnetic resonance imaging in the diagnosis of infectious spondylodiscitis: A retrospective study. *Can Assoc Radiol J* 2017;68:41-46.
28. Love C, Petel M, Lonner BS, et al. Diagnosing spinal osteomyelitis: a comparison of bone and Ga-67 scintigraphy and magnetic resonance imaging. *Clin Nucl Med* 2000;25:963-977.
29. Delpassand ES, Garcia JR, Bhadkmar V, et al. Value of SPECT imaging of the thoraco-lumbar spine in cancer patients. *Clin Nucl Med* 1995;20:1047-1051.
30. Matin P. Bone scintigraphy in the diagnosis and management of traumatic injury. *Semin Nucl Med* 1983;2:104-121.
31. Brynin R, Gardiner L. Missed lumbar transverse process fractures in a high school football player. *Journal of manipulative and physiological therapeutics. J Manipulative Physiol Ther* 2001;24:123-126.
32. Slipman CW, Jackson HB, Lipetz JS, et al. Sacroiliac joint pain referral zones. *Arch Phys Med Rehabil* 2000;81:334-338.
33. Sembrano JN, Polly Jr DW. How often is low back pain not coming from the back? *Spine* 2009;34:27-32.
34. Bozkurt MF, Ugur O, Ertenli I, et al. Combined use of bone and bone marrow scintigraphies for the diagnosis of active sacroiliitis: a new approach. *Ann Nucl Med* 2001;15:117-121.
35. Scheyerer MJ, Pietsch C, Zimmermann SM, et al. SPECT/CT for imaging of the spine and pelvis in clinical routine: a physician's perspective of the adoption of SPECT/CT in a clinical setting with a focus on trauma surgery. *Eur Journal Nuc Med Mol Imaging* 2014;41(Suppl 1):59-66.
36. Light TR. Musculoskeletal introduction: clinical applications of musculoskeletal nuclear medicine. In: Henkin RE, Boles MA, Wagner RH et al. *Nuclear Medicine. USA, Mosby-Yera Book* 1996;1123-1156.
37. Rupani HD, Holder LE, Espinola DA, et al. Three-phase radionuclide bone imaging in sports medicine. *Radiology* 1985;156:187-196.
38. Fredericson M, Salamanca L, Beaulieu C. Sacral stress fractures: tracking down nonspecific pain in distance runners. *Phys Sportsmed* 2003;31:31-42.
39. Marsh D. Concepts of fracture union, delayed union, and nonunion. *Clin Orthop Relat Res* 1998;(Suppl 355):22-30.
40. Niikura T, Lee SY, Sakai Y, et al. Comparison of radiographic appearance and bone scintigraphy in fracture nonunions. *Orthopedics* 2014;37:44-50.
41. DeSmet AA, Dalinka MK, Alazraki N, et al. Diagnostic imaging of avascular necrosis of the hip. *Radiology* 2000;215:247-254.
42. Savelli G, Maffioli L, Maccauro M, et al. Bone scintigraphy and the added value of SPECT (single photon emission tomography) in detecting skeletal lesions. *Q J Nucl Med* 2001;45:27-37.
43. Thrall JH, Ziessman HA. Skeletal System. In: Ziessman HA, O'Malley JP, Thrall JH. *Nuclear Medicine. The Requisites. 2nd Edition. USA: Mosby; 2001;110-145.*
44. Fournier RS, Holder LE. Reflex sympathetic dystrophy: diagnostic controversies. *Semin Nucl Med* 1998;28:116-123.
45. Zyluk A, Birkenfeld B. Quantitative evaluation of three-phase bone scintigraphy before and after the treatment of post-traumatic reflex sympathetic dystrophy. *Nucl Med Commun* 1999;20:327-333.
46. Micheli LJ, Wood R. Back pain in young athletes. Significant differences from adults in causes and patterns. *Arch Pediatr Adolesc Med* 1995;149:15-18.
47. Standaert CJ. Low back pain in the adolescent athlete. *Phys Med Rehab Clin N Am* 2008;19:287-304.

48. Fredrickson BE, Baker D, McHolick WJ, et al. The natural history of spondylolysis and spondylolisthesis. *J Bone Joint Surg Am* 1984;66:699-707.
49. Trainor TJ, Trainor MA. Etiology of low back pain in athletes. *Curr Sports Med Rep* 2004;3:41-46.
50. Amato M, Totty WG, Gilula LA. Spondylolysis of the lumbar spine: demonstration of defects and laminal fragmentation. *Radiology* 1984;153:627-629.
51. Sherman FC, Wilkinson RH, Hall JE. Reactive sclerosis of a pedicle and spondylolysis in the lumbar spine. *J Bone Joint Surg Am* 1977;59:49-54.
52. Tehranzadeh J, Andrews C, Wong E. Lumbar spine imaging. Normal variants, imaging pitfalls, and artifacts. *Radiol Clin North Am* 2000;38:1207-1253.
53. Masci L, Pike J, Malara F, et al. Use of the one-legged hyperextension test and magnetic resonance imaging in the diagnosis of active spondylolysis. *Br J Sports Med* 2006;40:940-946.
54. Amari R, Sakai T, Katoh S, et al. Fresh stress fractures of lumbar pedicles in an adolescent male ballet dancer: case report and literature review. *Arch Orthop Trauma Surg* 2009;129:397-401.
55. Johansen JG, McCarty DJ, Haughton VM. Retrosomatic clefts: computed tomographic appearance. *Radiology* 1983;148:447-448.
56. Cardoso HF, Pereira V, Rios L. Chronology of fusion of the primary and secondary ossification centers in the human sacrum and age estimation in child and adolescent skeletons. *Am J Phys Anthropol* 2014;153:214-225.
57. Broome DR, Hayman LA, Herrick RC, et al. Postnatal maturation of the sacrum and coccyx: MR imaging, helical CT, and conventional radiography. *AJR Am J Roentgenol* 1998;170:1061-1066.
58. Buck AK, Schirrmeyer H, Reske SN. Musculoskeletal tumors. In: Oehr P, Biersack HJ, Coleman E, editors. *PET and PET CT in oncology*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 2004;275-289.
59. Wu C, Li F, Niu G, et al. PET imaging of inflammation biomarkers. *Theranostics* 2013;3:448-466.
60. Modic M, Feiglin DH, Piraino DW, et al. Vertebral osteomyelitis: assesment using MR. *Radiology* 1985;57:157-166.
61. Haroon A, Zumla A, Bomanji J. Role of fluorine 18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography in focal and generalized infectious and inflammatory disorders. *Clin Infect Dis* 2012;54:1333-1341.
62. Prodromou ML, Ziakas OD, Poulou LS, et al. FDG PET is a robust tool for the diagnosis of spondylodiscitis: a meta-analysis of diagnostic data. *Clin Nucl Med* 2014;39:330-335.
63. Gratz S, Dorner J, Fischer U, et al. F-18-FDG hybrid PET in patients with suspected spondylitis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2002;29:516-524.
64. Palestro CJ. Radionuclide imaging of musculoskeletal infection: a review. *J Nucl Med* 2016;57:1406-1412.
65. Kim S, Lee JS, Suh KT, et al. Differentiation of tuberculous and pyogenic spondylitis using double phase 18F-FDG PET. *The Open Med Imag J* 2008;2:1-6.
66. Lee IS, Lee JS, Kim SJ et al. Fluorine-18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography imaging in pyogenic and tuberculous spondylitis: Preliminary study. *J Comput Assist Tomogr* 2009;33:587-592.
67. Beiderwellen K, Huebner M, Heusch P, et al. Whole body F18 FDG PET/MRI vs. PET/CT in assesment of bone lesions in oncological patients: initial results. *Eur Radiol* 2014;24:2023-2030.
68. Rosenkrantz AB, Freidman K, Chandarana H, et al. Current status of hybrid PET/MRI in oncologic imaging. *AJR Am J Roentgenol* 2016;206:162-172.
69. Cipriano PW, Yoon D, Gandhi H, et al. 18F-FDG PET/MRI in Chronic Sciatica: Early Results Revealing Spinal and Nonspinal Abnormalities. *J Nucl Med* 2018;59:967-972.
70. Lehman VT, Diehn FE, Broski SM, et al. Comparison of [18F] FDG-PET/MRI and clinical findings for assessment of suspected lumbar facet joint pain: A prospective study to characterize candidate nonanatomic imaging biomarkers and potential impact on management. *AJNR Am J Neuroradiol* 2019;40:1779-1785.