



# Pediyatrik Sarkomlarda Nükleer Tıp Uygulamaları

## Nuclear Medicine Applications in Pediatric Sarcomas

  Bur ın Kara ah Erkek<sup>1</sup>,   Zehra  zcan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ağrı Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Nükleer Tıp Kliniği, Ağrı, Türkiye

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

###  z

Pediyatrik sarkomlar, çocukluk çağında görülen, tanı, evreleme ve tedavi yanıtının değerlendirilmesinde ileri görüntüleme yöntemlerinden yararlanılan agresif seyirli tümörlerdir. Her alt tipinin farklı klinik-histopatolojik özellikleri, metastaz potansiyelleri kendine özgü zorluklar sunar. Nükleer Tıp uygulamaları, tüm vücudu tarayarak evrelemede, yeniden evrelemede, canlı tümör oda ını göstermede, gereğinde biyopsiye rehberlik etme ve terapötik yanıtı değerlendirmede morfolojinin yanı sıra metabolik bilgi sunar. Bu  zellikleriyle Nükleer Tıp görüntülemeleri, diğer görüntüleme yöntemlerine tamamlayıcı bir rol üstlenmektedir. Bu derlemede en sık görülen pediyatrik sarkomlardan, kullanılan Nükleer Tıp yöntemlerinden ve yeni hedefler/gelecek perspektifinden bahsedilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Pediyatrik sarkom, 99mTc-MDP kemik sintigrafisi, PET/BT

### Abstract

Pediatric sarcomas are aggressive tumors seen in childhood that utilize advanced imaging methods for diagnosis, staging, and assessment of treatment response. Each subtype's distinct clinical-histopathological features and metastatic potential present unique challenges. Nuclear medicine applications provide morphological and metabolic information for whole-body staging, restaging, visualization of viable tumor foci, guidance for biopsy when necessary, and assessment of therapeutic response. With these features, nuclear medicine imaging plays a complementary role to other imaging modalities. This review discusses the most common pediatric sarcomas, the nuclear medicine methods used, and new targets/future perspectives.

**Keywords:** Pediatric sarcoma, Tc-99m MDP bone scintigraphy, PET/CT

### Giriş

Sarkomlar, vücuttaki ba  ve destek dokulardan (mezenşimal hücrelerden) kaynaklanan malign tümörlerdir. Sarkomlar, köken aldıkları dokuya göre kemik sarkomları ve yumuşak doku sarkomları olarak iki ana gruba ayrılırlar. Genel olarak tüm malignitelerin yalnızca yaklaşık %1'ini oluşturmalarına rağmen, çocukluk çağında nispeten sık g r l rlar ve çocukluk  a ı solid tümörlerinin %15'ini oluştururlar (1). Bu nedenle hastalıkların  ocuk onkolojisi alanında özel bir uzmanlık ve yaklaşım gerektirdiğini göstermektedir. Bu tümörlerin

büyük çoğunluğu agresif bir biyolojik davranış sergiler ve sıklıkla erken aşamada metastaz yapma eğilimindedir, bu da tedavi süreçlerini karmaşık ve zorlu hale getirmektedir. Çocuklarda en yüksek insidans oranları osteosarkom (OS), Ewing sarkomu (ES) ve rabdomiyosarkom (RMS) arasında bildirilmiştir (2). Pediyatrik sarkomlar, türlerine göre farklı ya  ve cinsiyet dağılımları sergiler. RMS'nin görülme sıklığı, 2-6 ya  ve 15-19 ya  olmak üzere iki ayrı pik yapar, bu da bimodal bir ya  dağılımını gösterir. ES ise, tipik olarak 10 ila 20 ya  arasındaki gençleri ve ergenleri etkiler, ortalama tanı ya ı 13 civarındadır. OS de

### Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Prof. Dr. Zehra  zcan, Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

E-posta: zehra.ozcan@yahoo.com ORCID ID: orcid.org/0000-0002-6942-4704

Geliş Tarihi/Received: 17.09.2025 Kabul Tarihi/Accepted: 13.11.2025 Yayınlanma Tarihi/Publication Date: 19.11.2025

Cite this article as/Atıf: Kara ah Erkek B,  zcan Z. Nuclear medicine applications in pediatric sarcomas. Nucl Med Semin. 2025;11:183-190



Copyright  2025 Yazar. Türkiye Nükleer Tıp Derneği adına Galenos Yayınevi tarafından yayımlanmıştır. Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası (CC BY-NC 4.0) Uluslararası Lisansı ile lisanslanmı , açık erişimli bir makaledir.

Copyright  2025 The Author. Published by Galenos Publishing House on behalf of Turkish Nuclear Medicine Society. This is an open access article under the Creative Commons AttributionNonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

en sık ergenlik döneminde ve genç yetişkinlikte görülür. Cinsiyet açısından bakıldığında hem RMS'de hem de ES'de erkek çocuklarda kızlara oranla daha sık rastlandığı görülmektedir, bu tümörler için cinsiyet oranı yaklaşık 1,3:1'dir.

Klinikte gözlenen en sık başvuru şekilleri ağrı, şişlik, hareket kısıtlılığı, patolojik kırık, kas atrofisi ve deformitedir (3,4). Genellikle kemik lezyonlarında başvuru şekli ağrı iken, genellikle yumuşak doku lezyonlarında başvuru şekli palpe edilen kitle olmaktadır. Bunların dışında, başka nedenle yapılan tetkiklerde tesadüfen saptanan lezyon ile başvurulabilir.

Çoğu tümörün belirli yaş aralığında ve kendilerine özgü lokalizasyonlarda görülme eğilimi nedeniyle yaş ve radyografi tanı koyma açısından önemli bilgiler sağlar. Şüpheli bir kemik veya yumuşak doku kitlesinin ilk değerlendirmesi radyografik değerlendirme ile başlar (5,6,7,8,9,10). Bu değerlendirmede lezyonun kemikteki lokalizasyonu, medüller veya kortikal yerleşimli oluşu, metafiz, diyafiz ve epifiz yerleşimi, periostun etkilenip etkilenmemesi gibi özellikler mutlaka dikkate alınır. Bu nedenle güncel kılavuzlarda direkt grafi ile lezyonun kontur yapısı, internal özellikleri, periost reaksiyonu ve komşu yumuşak doku ilişkisi veya agresivitesinin büyük ölçüde gösterildiği ve sonraki basamaklara rehberlik ettiği vurgulanmaktadır (11). Klinik veya radyografik bulguların şüpheli veya yetersiz bulunması halinde bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans (MR) görüntüleme ve Nükleer Tıp gibi ileri görüntüleme modaliteleri tamamlayıcı rol oynar. Nükleer Tıp tetkikleri; tüm vücudu tarayarak evrelemede, yeniden evrelemede, canlı tümör odağını göstermede, gerektiğinde biyopsiye rehberlik etme ve terapötik yanıtı değerlendirmede morfoloji yanı sıra metabolik bilgi sunarak diğer görüntülemelere göre üstün olarak kullanılabilir. Çocukluk çağında en sık görülen sarkomlar olan OS, ES ve RMS'den aşağıda detaylı olarak bahsedilmiştir.

### Osteosarkom

OS en sık görülen primer malign kemik tümörlerinden olup tümöral immatür kemik ve malign osteoid doku yapımı ile karakterizedir (12). Sıklıkla adolesan erkeklerde görülür (13). Hızlı kemik büyüme dönemleri, OS'nin en sık ergenlikte ve genç erişkinlikte görülmesini açıklayabilir. Hastalık Paget hastalığı, radyoterapi öyküsü veya genetik sendromlar gibi bazı risk faktörleri ile ilişkilendirilmiştir (14). Uzun kemiklerin metafizlerinde

yerleşim gösterir ve en sık distal femur, proksimal tibia ve proksimal humerusta görülür. Klinik, radyolojik ve histopatolojik özellikler göz önüne alınarak, OS'nin çeşitli alt tipleri tanımlanmıştır. En sık görülen alt tip, ağırlıklı olarak çocuklar ve adolesanda görülen konvansiyonel OS'dir. Ayrıca kemikteki yerleşimine göre intramedüller (konvansiyonel, telenjektatik gibi) ve yüzeysel (parosteal, periostal, intrakortikal) OS gibi sınıflandırılır. OS'lerin büyük çoğunluğunun yüksek gradeli olduğu kabul edilmektedir (12).

OS tanısından sonra evrelemede; Ulusal Kapsamlı Kanseri Ağ - (*National Comprehensive Cancer Network* NCCN) kılavuzuna göre Teknesyum-99m (Tc-99m) metilen difosfonat (MDP) kemik sintigrafisi, göğüs radyografisi, kontrastsız akciğer BT ve lokal MR önerilir (15). Primer tümörün görüntülenmesi direkt grafi, BT ve MR ile yapılır. Direkt grafi bulguları ile lezyonun tuttuğu kemik, yerleşimi, morfolojik özellikleri tanımlanır. Örneğin radyografi ve BT'de soğan zarı görünümü veya geniş bir geçiş bölgesi ile agresif periosteal reaksiyonun görüldüğü Codman üçgeni gibi patognomik bulgular izlenebilir. Ayrıca BT ve/veya MR ile maligniteye işaret edebilecek yeni kemik oluşumu, kortikal destrüksiyon ya da yumuşak doku bileşeni ortaya çıkarılır. MR görüntülemesinde temel amaç tanı değil tümörün intra-osseöz ve ekstra-osseöz uzanımını, komşu eklemlerle ve nörovasküler yapılarla ilişkisini ortaya koymaktır. Bu nedenle MR görüntüleme cerrahi için kritik öneme sahiptir. Akciğerlerde metastatik tutulum için kontrastsız toraks BT en sık kullanılan yöntemdir. Özellikle küçük lezyonların gözden kaçmaması için ince kesit BT elde edilmelidir. OS'de, metastatik odaklarda da ossifikasyon görülebileceğinden, kemik sintigrafisinde akciğer veya diğer yumuşak dokularda ossifiye metastaz odakları difosfonat tutulumu gösterebilir. Pozitron emisyon tomografisi (PET/BT) tetkikinin BT komponentinde de bu lezyonlar ossifiye görüntüleri ile kolayca tanımlanabilir.

OS tedavisinde indüksiyon ve adjuvan kemoterapi protokollerinin gelişmesi, cerrahi teknikler ve radyolojik evreleme çalışmalarındaki ilerlemelerle günümüzde olguların %90-95'i artık ekstremitte koruyucu rezeksiyon ve rekonstrüksiyon ile tedavi görmektedir. Bu durum hastaların uzun dönem yaşama şansını ve kür oranını lokalize hastalıklarda %60-80'e yükseltmiştir (16). Bununla birlikte ekstremitte koruyucu cerrahi sonrası lokal nüks riski nedeniyle hastalığın erken ve doğru tespiti, tedavi planlaması ve prognozda çok önemlidir.

### Osteosarkomda Nükleer Tıp Uygulamaları

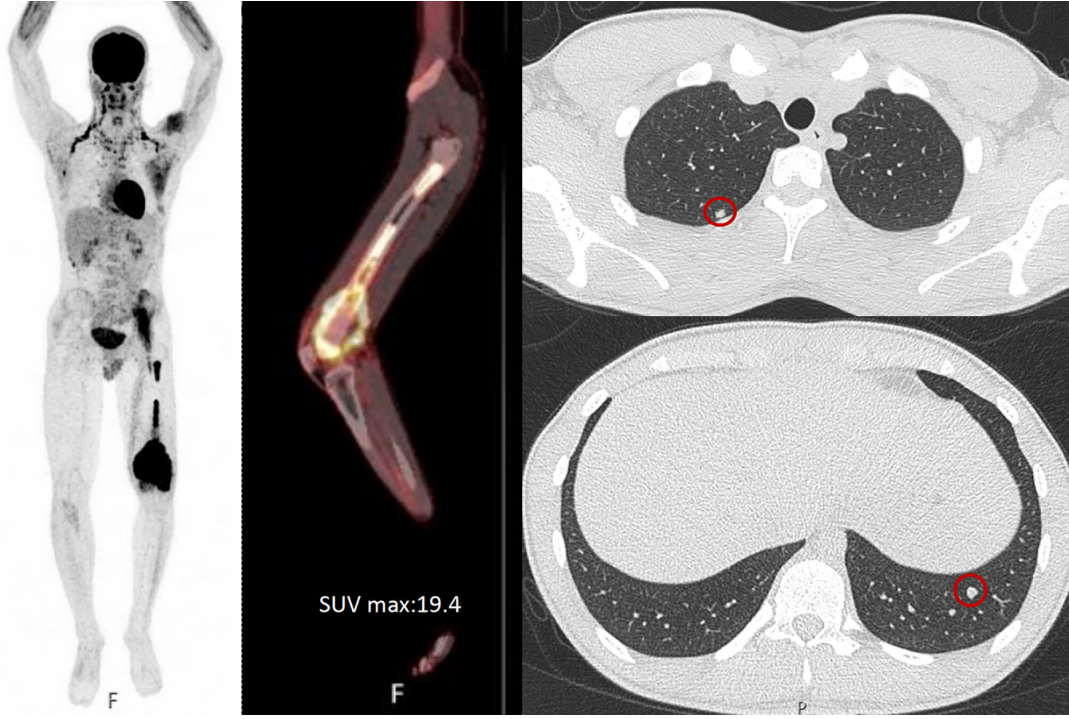
Kemik sintigrafisi erişilebilirliği kolay olması, tüm vücudu tarayabilme avantajı ve düşük maliyet nedeniyle OS'de metastazları taramak için uzun yıllardır kullanılmaktadır. Radyofarmasötik olarak Tc-99m MDP ve Tc-99m hidroksi MDP en sık kullanılır. Bu radyofarmasötikler kemik dokusunun hidroksiapatit bileşenine bağlanır. Kemik sintigrafisi tüm iskelet sistemini gösterdiği için kemik ve yumuşak doku sarkomlarında radyografiye veya MR'a göre avantajlı olabilir. Tek ya da çok fazlı olarak çekim gerçekleştirilebilir. Üç fazlı kemik sintigrafisinde ilk aşama (first pass) ilgili bölgeye kan akışının derecesini, ikinci aşama (blood pool) yumuşak doku ve komşu kemikteki hiperemi derecesini gösterir. Geç faz (kemik fazı), meydana gelen kemik oluşumu hakkında bilgi verir. Üç fazlı kemik sintigrafisinde kanlanma artışı ve geç fazda osteoblastik aktivite artışı gösteren, nekroza bağlı hipoaktif alanlar da içeren yamalı paternde, sınırları düzensiz tümöral lezyon olarak izlenirler. Tanı anında multifokal kemik tutulumu olguların %10-20'sinde görülür. Kemik sintigrafisi ve PET/BT gibi tüm vücut taramalarında multifokal hastalığın yanı sıra, tümörün proksimalinde medülla içinde skip metastaz odakları da saptanabilir. Skip metastazlar %25 olguda gözlenir ve cerrahi yaklaşımı etkileyen kötü prognostik faktörler arasında tanımlanır (17).

Kemik sintigrafisi; lezyonun gerçek boyutunu belirlemede yetersiz kalması, düşük çözünürlüğü ve büyüme plaklarındaki yoğun tutulumun komşu metastazları maskeleyesi gibi nedenlerle sınırlı duyarlılığa sahiptir. FDG PET/BT ile metabolik görüntüleme evrelemede olduğu kadar tedavi yanıtının değerlendirilmesi ve prognostik açıdan da önemli kabul edilmektedir (Şekiller 1, 2) (18). 2025 Güncel NCCN kılavuzu FDG-PET/BT'nin tanı, evreleme ve yeniden evreleme aşamalarında önemli bir rol oynadığını belirtmektedir (15). OS'ler düşük dereceli olanlar hariç yoğun FDG tutulumu göstermektedir. Liu ve ark.'nın (19) 798 hastalık 26 çalışmayı dahil ederek yaptıkları derlemede; FDG PET'in primer tümör odağı göstermede sensitivitesi %100 olarak bulunmuştur. Lokal rekürens için FDG PET ve FDG PET/BT görüntüleri ile değerlendirmede sensitivite %91, spesifite %93, akciğer metastazı için de sırasıyla %81 ve %94, kemik metastazlarını saptamada %93, %97; uzak metastazları göstermede %90 ve %96 olarak bildirilmiştir. Ayrıca maksimum standart tutulum değeri ( $SUV_{maks}$ ),  $SUV_{pik}$  metabolik tümör volümü (MTV) ve total lezyon

glikolizi (TLG) gibi metabolik parametrelerin tanı anında, interim veya tedavi sonu değerlendirmede sağkalımla ilişkili olduğu gösterilmiştir (20). Neoadjuvan kemoterapi yanıtını değerlendirmede FDG PET bulgularını derleyen bir meta-analizde; KT sonrası  $SUV_{maks}$  değerinin  $\leq 2,5$  veya önceki değere göre yarısının altına düşmesinin tedaviye histolojik olarak iyi yanıt işareti olarak tanımlanabileceğini göstermektedir (21). Böylece FDG PET/BT, tedavi yanıtını diğer görüntüleme yöntemlerinden daha önce belirleyerek inefektif tedavilerin sonlandırılmasını ve tedavi protokolünün değiştirilmesini sağlamaktadır. Tedavi sonrası FDG PET/BT; radyoterapiye bağlı değişiklikleri ayırt etmede, metal protez takılan olgularda artefakta bağlı MR'ın yetersiz kalabileceği durumlarda öne çıkmaktadır. Bununla birlikte kemoradyasyon sonrasında PET/BT görüntülemesinde tedavinin neden olduğu enflamasyon, ödem, hiperemi, fibrozise sekonder artmış FDG tutulumu izlenerek yanlış pozitifliklere neden olabileceği de dikkate alınmalıdır.

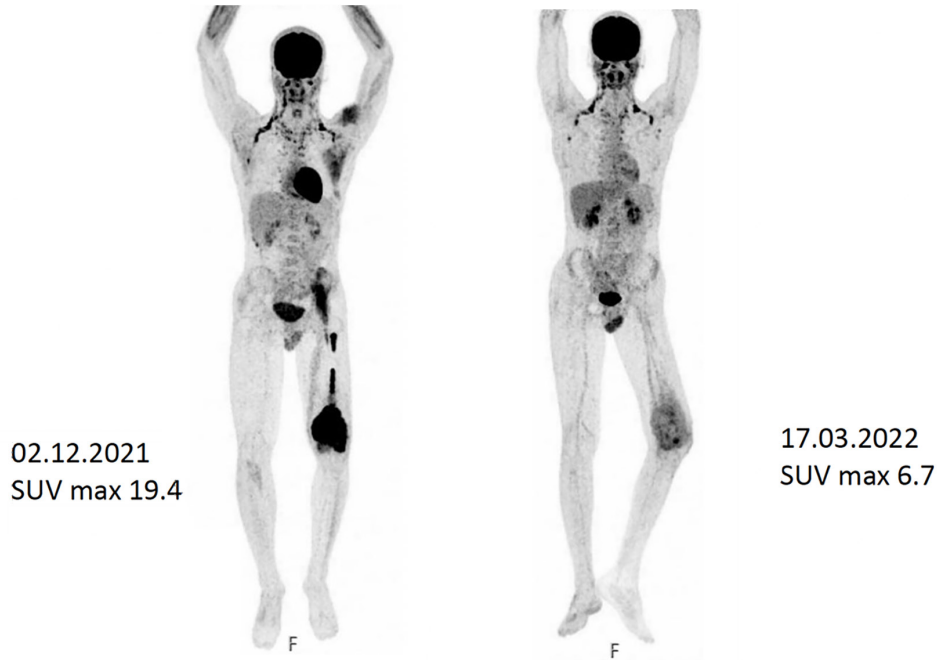
F-18 NaF PET/BT (sodyum florür PET/BT), hidroksiapatit kristallerindeki hidroksil gruplarının yerini alarak kemik matriksine bağlanır. Bu nedenle osteoblastik aktiviteyi ve kemik kan akımını gösterir. OS, yüksek kemik yapım aktivitesine sahip olduğundan NaF PET/BT ile güçlü sinyal verir. Kemik metastazlarını yüksek duyarlılıkla ortaya çıkarır. Çalışmalarda NaF PET/BT'nin Tc-99m MDP sintigrafisine göre daha duyarlı olduğu gösterilmiştir (22). "NAFCIST" (NaF PET response criteria in solid tumors) kriterleri geliştirilmiş olup OS'de NaF PET ile tedavi yanıtını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Ancak erişilebilirliğinde kısıtlılıklar, çocuklarda standardize protokolünün bulunmaması, kemik sintigrafisine göre pahalı bir tetkik olması nedenleriyle rutin kullanımı sınırlı kalmaktadır.

PET/MR özellikle pediatrik olgularda radyasyon dozunu %70-80 oranında azaltmasıyla öne çıkmaktadır. Bir diğer avantajı çevresindeki kas ve yumuşak dokulara yayılım gösterebilen agresif tümör tipi olan OS'de gösterdiği üstün yumuşak doku rezolüsyonudur. Bu cerrahi planlama için de önem arz etmektedir. Primer tümörünün lokal yayılımı ile birlikte vücuttaki metastazlarını tek bir seansta değerlendirmeyi mümkün kılması nedeniyle çocukların birden fazla görüntüleme testine girmesine gerek kalmaz ve bu da sedasyon veya anestezi gereksinimini azaltır. Ancak günümüzde diğer modalitelere göre daha yüksek maliyet ve daha kısıtlı erişilebilirliği nedeniyle rutine girememiştir.



**Şekil 1.** On altı yaşında, osteosarkom tanısı alan olgunun tanı anındaki F-18 FDG PET/BT görüntülemesi. Primer tümör, skip metastazlar ve akciğer metastazları görüntülenmektedir

FDG: Florodeoksiglukoz, PET/BT: Pozitron emisyon tomografisi/bilgisayarlı tomografi



**Şekil 2.** Şekil 1'deki aynı hastanın tedavi öncesi ve tedavi sonrası F-18 FDG PET/BT görüntülemelerinde primer tümörün SUV<sub>max</sub> değerinin değişimi gösterilmiştir

FDG: Florodeoksiglukoz, PET/BT: Pozitron emisyon tomografisi/bilgisayarlı tomografi, SUV: Standart tutulum değeri

## Ewing Sarkomu

ES, çocukluk çağında OS'den sonra en sık görülen primer kemik tümörüdür ve en sık 10-20 yaş arasında ortaya çıkar (23,24). En sık pelvis, femur ve aksiyel iskelette diafizde gözlenmekle birlikte hemen hemen her türlü kemik ve yumuşak dokuda karşımıza çıkabilir. 2020 yılındaki Dünya Sağlık Örgütü sınıflamasına göre EWS-R1-ETS gen translokasyonları ile karakterize "Farklılaşmamış küçük yuvarlak hücreli kemik ve yumuşak doku sarkomları" olarak yeniden sınıflandırılmıştır. Tutulum bölgesinde ağrı, şişlik pek çok hastada primer bulgu olarak karşımıza çıkar. Ayrıca açıklanamayan ateş, kilo kaybı, iştahsızlık ve halsizlik gibi sistemik semptomlar da görülebilir. Ateş yüksekliği, lökositoz, sedimentasyon ve laktat dehidrogenaz gibi belirteçlerin yüksekliği kötü prognozu işaret eder. Ayrıca bu laboratuvar bulguları ile ortaya çıkan klinik tablo ve MR görüntüleme bulguları hastalığın osteomiyelit ile karışmasına neden olabilir. Bu nedenle doğru tanıya ulaşmak için kapsamlı değerlendirme elzemdir. İlk tanıda radyografide, periosteal reaksiyonun "soğan kabuğu" görünümü ile yıkıcı birleşik "güve yeniği" lezyonlar, yükselmiş periostta "Codman üçgeni" gibi bulgular yer alır (25). Tümörün lokal yayılımı, medüller tutulum ve cerrahi planlama için MR görüntüleme altın standarttır. Akciğer metastazları için de yüksek çözünürlüklü BT zorunludur.

Lokalize hastalıkta 5 yıllık sağkalım oranları genellikle %70-80 civarındayken, metastatik başlangıçlı olgularda çok daha düşüktür (yaklaşık %30-50) (26). ES, hematojen yolla akciğere, daha sonra iskelet sistemine yayılım göstermektedir. Kemik iliği tutulumu OS'ye göre daha sık görülür.

## Ewing Sarkomda Nükleer Tıp Uygulamaları

ES'de üç fazlı kemik sintigrafisinde artmış vaskülarite ve geç fazda belirgin artmış osteoblastik tutulum gözlenir. Aktivite tutulum paterni OS'den farklı olarak sıklıkla homojen artmıştır. Bazı agresif lezyonlarda ise düşük tutulum veya fotopenik alan da gözlenebilir. Geleneksel olarak kullanılan Tc-99m MDP sintigrafisi, özellikle osteoblastik remodeling'e bağlı görüntüleme yaptığından, osteolitik karakterdeki ES metastazlarında duyarlılığı düşüktür. Kemik metastazlarının erken ve küçük odaklarının tespitinde Tc-99m MDP sintigrafisine göre daha duyarlı olan yöntem F-18 NaF PET görüntülemesidir. Ancak akciğer metastazlarını göstermez; bu nedenle hastalarda ek toraks BT'ye gerek duyulur.

Primer tümör, kemik iliği, yumuşak doku ve kemik metastazlarını saptamada F-18 FDG PET/BT yüksek duyarlılığa sahiptir. Güncel NCCN kılavuzuna göre ES'nin evreleme ve yeniden evrelemesinde %96 hassasiyet ve %92 özgüllük ile değerli bir araçtır (15). ES evrelemesinde FDG PET/BT'nin kemik ve yumuşak doku lezyonları saptamada sensitivitesinin yüksek olduğu belirtilmiştir (27,28,29,30). Ancak pulmoner metastazları saptamada toraks BT'den geride kalmaktadır. Albano ve ark.'nın (31) 17 hastanın, 27 FDG PET/BT görüntülemesi ile yaptığı çalışmada FDG PET/BT'nin yeniden evrelemede; sensitivite, spesifite, pozitif prediktif değer, negatif prediktif değer ve doğruluğu sırasıyla; %73, %83, %89, %62,5 ve %76 olarak bulunmuştur. Prognoz ve tedavi yanıtı açısından da FDG PET/BT sonuçları gözden geçirildiğinde ES ve OS tanı anındaki SUV değerinin >6 bulunması kötü prognostik bir gösterge olabileceği ve bu hastaların neoadjuvan kemoterapi yanıtının yüksek oranda kötü olduğu sonucuna varılmıştır (32). Ayrıca indüksiyon kemoterapisi sonrası SUV<sub>maks</sub> düşüşü, MTV ve TLG değerlerindeki değişim histolojik nekroz derecesiyle korele olabilir ancak metabolik parametrelerle prognoz arasındaki ilişki henüz OS'de olduğu kadar güçlü destek bulmamış, çelişkili sonuçlara da ulaşılmıştır (33). Kemik kökenli ES'li olgularda rekürren hastalığı göstermede PET/BT duyarlılığı %95, özgüllüğü %97, doğruluğu %91,5 olarak bulunmuştur (34). Buna göre tedavi tamamlandıktan sonra klinik izlemde PET/BT'nin güvenilir bir yöntem olarak kullanılabileceği vurgulanmaktadır. PET/MR, radyasyon maruziyetini azaltması sayesinde pediatrik hastalar için çok önemlidir. Bunun yanı sıra, yüksek yumuşak doku çözünürlüğü gibi bir başka avantaja da sahiptir; bu özellik, ES gibi yumuşak doku tutulumu gösteren tümörlerde büyük fayda sağlar. ES, agresif bir kemik tümörüdür ve erken dönemde kemik ve kemik iliği metastazları yapma eğilimindedir. MR, kemik iliğindeki tümör hücrelerini tespit etmede oldukça etkilidir. ES tedavisinin ilk basamağında genellikle neoadjuvan (ameliyat öncesi) kemoterapi uygulanır. PET/MR, kemoterapinin tümör üzerindeki etkinliğini hem yapısal hem de metabolik olarak değerlendirmek için ideal bir yöntemdir.

## Rabdomyosarkom

Rabdomyosarkom (RMS), primitif mezenkimal hücrelerden gelişen, çocuklarda ve adolesanlarda en sık izlenen yumuşak doku sarkomudur. Embriyonel, alveolar, pleomorfik, epitelooid ve iğsi hücreli olmak üzere alt

tipleri bulunmaktadır. Tüm çocukluk malignitelerinin %3-5'ini oluşturmaktadır. En sık yerleşim yeri baş-boyun, genitoüriner sistem ve ekstremitelerdir. Diğer sarkomlarda olduğu gibi görüntüleme düz radyografi ile başlar, BT ve MR görüntüleme de önemli rol oynar. Literatürdeki pek çok çalışma pediatrik RMS evreleme ve yeniden evrelemesinde, bölgesel ve uzak metastazları göstermede, prognostik öngörü sağlamada FDG PET/BT'nin faydalı olduğunu belirtmektedir (35,36). Lokal RMS tanılı olgularda 5 yıllık sağkalım %75 iken metastatik olgularda bu oran %30'dur.

### Rabdomyosarkomda Nükleer Tıp Uygulamaları

Kemik sintigrafisi; RMS'de hastalığın kemiğe yayılması durumunda yardımcı olabilir. Bununla birlikte yumuşak doku kökenli olduğundan F-18 NaF PET rutinde temel inceleme değildir; yalnızca kemikte primer/sekonder lezyon takibinde veya kuşkulu olgularda yardımcı olabilir. RMS'in bazı alt tipleri ve yerleşimleri (paratestiküler, vulvar/vajinal, ekstremiteler) lenfatik yayılma riski taşır. Lenfosintigrafi ve sentinel lenf nodu biyopsisi çocuklarda uygulanabilir; pozitif SNL tedavi planını (lenf nodu alanı radyoterapi veya nodal disseksiyon) değiştirebilir. PET/BT, makroskopik nodal hastalığı gösterirken, sentinel prosedürü mikroskobik tutulum saptamada daha hassastır.

FDG PET/BT, Federico ve ark.'nın (37) çalışmasında gösterildiği gibi tanı anında lenf nodu, kemik ve kemik iliği tutulumu gibi hastalık yayılımını saptamada konvansiyonel yöntemlere göre daha üstündür. Ayrıca kemik ve kemik iliğini değerlendirmede kemik sintigrafisinden daha etkin olduğu gösterilerek, FDG PET/BT kemik ve kemik iliği tutulumu bulgusu izlenmeyen olgularda evrelemede sintigrafi ve kemik iliği biyopsisine gerek duyulmayabileceği sonucuna varılmıştır. Metabolik parametrelerin prognostik önemini araştıran Baum ve ark.'nın (38) çalışması primer tümörün metabolik aktivitesi ile nodal ve uzak metastatik tutulum arasında ilişkiyi göstermiş ve prognostik önemine dikkat çekmiştir. Böylece hastalık riskinin belirlenmesi ile riske göre adaptif tedavi seçeneklerinin planlanabileceği sonucuna varılmıştır. Casey ve ark.'nın (39) 107 olguluk serisinde tanı anındaki SUV1 değeri <9,5 olan olgularda 3 yıllık progresyonsuz sağkalım diğerlerine göre anlamlı uzun bulunmuştur (%72 vs. %44,  $p<0,01$ ). Ancak bu sonuçları desteklemeyen yayınlar da mevcut olup Harrison ve ark. (40) orta ve yüksek riskli RMS'lerde FDG değişkenlerinin

hastalısız sağ kalımı belirlemediğini gözlemlemişlerdir. Pediatrik ve adolesan RMS'ler için 2021'de yayınlanan Avrupa kılavuzu nodal ve metastatik tutulum için FDG PET/BT veya PET/MR'yi, tedavi yanıtını değerlendirmek için MR'yi, pulmoner tutulum için toraks BT'yi önermektedir (41). Tedavi yanıtını değerlendirmede PERCIST kriterlerine göre FDG PET değerlendirme klinik kullanımda giderek yaygınlaşmaktadır.

### Diğer Nadir Yumuşak Doku Sarkomları

RMS dışındaki pediatrik yumuşak doku sarkomları arasında sinoviyal sarkom, infantil fibrosarkom, alveoler soft part sarkom, malign periferik sinir kılıfı tümörü, desmoplastik küçük yuvarlak hücreli tümör yer alır. Sinoviyal sarkom, çocuk ve ergenlerde RMS ve ES'den sonra üçüncü en sık görülen türdür. Infantil fibrosarkom ise genellikle yaşamın ilk dört yılında görülür ve bu yaş grubundaki tüm yumuşak doku tümörlerinin yüzde 25-30'unu oluşturur. Bu tümörlerin her birinin kendine özgü klinik, morfolojik ve moleküler özellikleri bulunmaktadır.

### Yeni ve Deneysel PET Ajanları

Ga-68 fibroblast aktivasyon protein inhibitör (FAPI PET): Fibroblast aktivasyon proteinini hedefleyerek tümör stromasını işaretler; bazı çalışmalar yumuşak doku sarkomlarında yüksek tutulum gösterdiğini bildirmiştir (42). FAPI-PET, FDG'ye alternatif veya tamamlayıcı olarak özellikle düşük FDG tutulumu gösteren olgularda ilgi çekicidir. Ancak pediatrik veriler henüz sınırlıdır ve diagnostik/teranostik kullanımı araştırma aşamasındadır. Ayrıca Ac-225 FAPI-46 preklinik çalışma olarak (43), FLT PET (44), F-MISO PET (45) yumuşak doku sarkomlarında klinik araştırmalarda yer almıştır.

### Radyonüklid Tedaviler (Deneysel/Palyatif)

**Kemik ağrısında palyatif tedavi:** Yetişkinlerde kullanılan Sr-89 ve Sm-153 EDTMP ajanları pediatrik OS'de sınırlı olarak denenmiştir; seçilmiş olgularda kemik ağrısını hafifletebilir ancak hematolojik toksisite riski vardır (46).

**FAPI temelli theranostikler:** Ga-68 FAPI PET OS metastazlarını gösterebilmekte; Lu-177 FAPI gibi tedavi edici ajanlar ise deneysel aşamada ve çocuklarda kullanım henüz klinik pratiğe girmemiştir.

**PRRT (somatostatin reseptör hedefli):** Nadir olarak reseptör pozitifliği gösteren bazı yumuşak doku

tümörlerinde olgu raporları vardır ancak rutin uygulama değildir (47).

### Dipnotlar

**Çıkar Çatışması:** Yazarlar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.

### Kaynaklar

1. Miller KD, Fidler-Benaoudia M, Keegan TH, Hipp HS, Jemal A, Siegel RL. Cancer statistics for adolescents and young adults, 2020. *CA Cancer J Clin.* 2020;70:443-459.
2. Cao J, An Q, Wang L. Pediatric sarcomas. *Oncol Lett.* 2018;15:1397-1402. Retraction in: *Oncol Lett.* 2018;15:5391.
3. Yıldız Y, Sağlık Y. Kemik ve yumuşak doku tümörlerinde biopsi. *TOTBİD Dergisi.* 2003;2:37-43.
4. Robert K, Heck Jr. Tümörlerin genel özellikleri. In: Canale ST, Beaty JH, editors. *Campbell's operative orthopaedics.* Vol 1. 11th ed. Philadelphia: Mosby; 2011. p. 775-854.
5. Bestic JM, Wessell DE, Beaman FD, et al. Expert panel on musculoskeletal imaging. ACR appropriateness criteria® primary bone tumors. *J Am Coll Radiol.* 2020;17:S226-S238.
6. Kaya H, Daştan AE. Ortopedist gözüyle nükleer tıptan beklentiler. *Nucl Med Semin.* 2022;8:8-14.
7. Tamsel İ. Primer ve metastatik iskelet lezyonlarının değerlendirilmesinde radyolojik yaklaşım. *Nucl Med Semin.* 2022;8:15-24.
8. Akbulut A. Primer kemik ve yumuşak doku tümörlerinde moleküler görüntüleme. Korkmaz M, editör. *Kas iskelet sistemi hastalıklarında moleküler görüntüleme.* 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2023. p.15-22.
9. Yanarates A, Ömür Ö. Primer kemik ve yumuşak doku tümörleri: güncel algoritmalarda nükleer tıp. *Nucl Med Semin.* 2022;8:82-91.
10. Expert Panel on Musculoskeletal Imaging; Ahlawat S, Lenchik L, Baker JC, et al. ACR appropriateness criteria® suspected primary bone tumors: 2024 update. *J Am Coll Radiol.* 2025;22:S440-S454.
11. Costelloe CM, Madewell JE. Radiography in the initial diagnosis of primary bone tumors. *AJR Am J Roentgenol.* 2013;200:3-7.
12. Kindblom LG. Bone tumors: epidemiology, classification, pathology. In: Davies AM, Sundaram M, James SL editors. *Imaging of bone tumors and tumor like lesions.* Berlin: Springer-Verlag; 2009. p.1-15. 24.
13. Kaya H, Sabah D, Keçeci B ve ark. Kemik ve yumuşak doku sarkomları epidemiyolojisi ve genel sağ kalım özellikleri. *Ege Tıp Dergisi / Ege Journal of Medicine.* 2019;58: Ek Sayı Supplement 88-104.
14. Martin JW, Squire JA, Zielenska M. The genetics of osteosarcoma. *Sarcoma.* 2012;2012:627254.
15. Biermann JS, Hirbe A, Ahlawat S, et al. Bone Cancer, Version 2.2025, NCCN Clinical Practice Guidelines In Oncology. *J Natl Compr Canc Netw.* 2025;23:e250017.
16. Wittig JC, Bickels J, Priebe D, et al. Osteosarcoma: a multidisciplinary approach to diagnosis and treatment. *Am Fam Physician.* 2002;65:1123-32.
17. Leavey, Patrick J. MD; Day, Michael D. MD; Booth, Timothy MD; Maale, Gerhard MD. Skip Metastasis in Osteosarcoma. *Journal of Pediatric Hematology/Oncology* 25:806-808, October 2003.
18. Oh C, Bishop MW, Cho SY, et al. 18F-FDG PET/CT in the management of osteosarcoma. *J Nucl Med.* 2023;64:842-851.
19. Liu F, Zhang Q, Zhou D, Dong J. Effectiveness of 18F-FDG PET/CT in the diagnosis and staging of osteosarcoma: a meta-analysis of 26 studies. *BMC Cancer.* 2019;19:323.
20. Im HJ, Zhang Y, Wu H, et al. Prognostic value of metabolic and volumetric parameters of FDG PET in pediatric osteosarcoma: a hypothesis-generating study. *Radiology.* 2018;287:303-312.
21. Hongtao L, Hui Z, Bingshun W, et al. 18F-FDG positron emission tomography for the assessment of histological response to neoadjuvant chemotherapy in osteosarcomas: a meta-analysis. *Surg Oncol.* 2012;21:e165-e170.
22. Fan Z, Wang T, Zou L, Liu D. Comparison of the diagnostic value of 18F-NaF PET/CT and 99mTc-MDP SPECT for bone metastases: a systematic review and meta-analysis. *Transl Cancer Res.* 2023;12:3166-3178.
23. Sabah D. Ewing Sarkomu. *TOTBİD Dergisi.* 2014;13:247-251.
24. Wlasak R, Sim FH. Ewing's sarcoma. *Orthop Clin North Am.* 1996;27:591-603.
25. Widhe B, Widhe T. Osteosarkom ve Ewing sarkomunda ilk semptomlar ve klinik özellikler. *J Bone Joint Surg Am.* 2000;82:667-674.
26. Wells, Matthew E. DO; Eckhoff, Michael D. MD; Davis, William Pharm D; Singh, Vishwajeet PhD; Rajani, Rajiv MD; Polfer, Elizabeth M. MD. Ewing Sarcoma in the Pediatric Population: Predictors of Survival Within the United States. *JAAOS: Global Research and Reviews* 8:e24.00281, October 2024.
27. Guimarães JB, Rigo L, Lewin F, Emerick A. The importance of PET/CT in the evaluation of patients with Ewing tumors. *Radiol Bras.* 2015;48:175-180.
28. Quartuccio N, Fox J, Kuk D, Wexler LH, Baldari S, Cistaro A, Schöder H. Pediatric bone sarcoma: diagnostic performance of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT versus conventional imaging for initial staging and follow-up. *AJR Am J Roentgenol.* 2015;204:153-160.
29. Bailly C, Leforestier R, Campion L, et al. Prognostic value of FDG-PET indices for the assessment of histological response to neoadjuvant chemotherapy and outcome in pediatric patients with Ewing sarcoma and osteosarcoma. *Plos One.* 2017;12:e0183841.
30. Seth N, Seth I, Bulloch G, et al. 18F-FDG PET and PET/CT as a diagnostic method for Ewing sarcoma: a systematic review and meta-analysis. *Pediatr Blood Cancer.* 2022;69:e29415.
31. Albano D, Dondi F, Schumacher RF, D'Ippolito C, Porta F, Giubbini R, Bertagna F. Clinical and prognostic role of 18F-FDG PET/CT in pediatric Ewing sarcoma. *J Pediatr Hematol Oncol.* 2020;42:e79-e86.

32. Palmerini E, Colangeli M, Nanni C, et al. The role of FDG PET/CT in patients treated with neoadjuvant chemotherapy for localized bone sarcomas. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2017;44:215-223.
33. Denecke T, Hundsdoerfer P, Misch D, et al. Assessment of histological response of paediatric bone sarcomas using FDG PET in comparison to morphological volume measurement and standardized MRI parameters. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010;37:1842-1853.
34. Sharma P, Khangembam BC, Suman KCS, et al. Diagnostic accuracy of 18F-FDG PET/CT for detecting recurrence in patients with primary skeletal Ewing sarcoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2013;40:1036-1043.
35. Gabriel M, Rubello D. 18F-FDG PET-CT in soft tissue sarcomas: staging, restaging, and prognostic value? *Nucl Med Commun*. 2016;37:3-8.
36. Mercolini F, Zucchetto P, Jehanno N, et al. Role of 18F-FDG-PET/CT in the staging of metastatic rhabdomyosarcoma: a report from the European paediatric Soft tissue sarcoma Study Group. *Eur J Cancer*. 2021;155:155-162.
37. Federico SM, Spunt SL, Krasin MJ, et al. Comparison of PET-CT and conventional imaging in staging pediatric rhabdomyosarcoma. *Pediatric Blood Cancer*. 2012;60:1128-1134.
38. Baum SH, Frühwald M, Rahbar K, Wessling J, Schober O, Weckesser M. Contribution of PET/CT to prediction of outcome in children and young adults with rhabdomyosarcoma. *J Nucl Med*. 2011 Oct;52(10):1535-1540.
39. Casey DL, Wexler LH, Fox JJ, et al. Predicting outcome in patients with rhabdomyosarcoma: role of [(18)f]fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2014 Dec 1;90:1136-1142.
40. Harrison DJ, Chi YY, Tian J, et al. Metabolic response as assessed by 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography-computed tomography does not predict outcome in patients with intermediate- or high-risk rhabdomyosarcoma: a report from the Children's Oncology Group Soft Tissue Sarcoma Committee. *Cancer Med*. 2021;10:857-866.
41. van Ewijk R, Schoot RA, Sparber-Sauer M, et al. Cooperative Weichteilsarkom Studiengruppe Imaging Group, the European Society of Paediatric Radiology Oncology Task Force and the European Paediatric Soft Tissue Sarcoma Study Group Imaging Committee. European guideline for imaging in paediatric and adolescent rhabdomyosarcoma - joint statement by the European Paediatric Soft Tissue Sarcoma Study Group, the Cooperative Weichteilsarkom Studiengruppe and the Oncology Task Force of the European Society of Paediatric Radiology. *Pediatr Radiol*. 2021;51:1940-1951.
42. Kessler L, Ferdinandus J, Hirmas N, et al. 68Ga-FAPI as a diagnostic tool in sarcoma: data from the 68Ga-FAPI PET prospective observational trial. *J Nucl Med*. 2022;63:89-95.
43. Taddio MF, Doshi S, Masri M, et al. Evaluating [225Ac]Ac-FAPI-46 for the treatment of soft-tissue sarcoma in mice. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2024;51:4026-4037.
44. Crompton JG, Armstrong WR, Eckardt MA, et al. 18F-FLT PET/CT as a Prognostic imaging biomarker of disease-specific survival in patients with primary soft-tissue sarcoma. *J Nucl Med*. 2022;63:708-712.
45. Rajendran JG, Wilson DC, Conrad EU, et al. [(18)F]FMISO and [(18)F]FDG PET imaging in soft tissue sarcomas: correlation of hypoxia, metabolism and VEGF expression. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2003;30:695-704.
46. Gilheeny SW, Lyden DC, Sgouros S, et al. A phase II trial of thalidomide and cyclophosphamide in patients with recurrent or refractory pediatric malignancies. *Pediatr Blood Cancer*. 2007;49:261-265.
47. Haider M, Das S, Al-Toubah T, Pelle E, El-Haddad G, Strosberg J. Somatostatin receptor radionuclide therapy in neuroendocrine tumors. *Endocr Relat Cancer*. 2021;28:R81-R93.