



Pediatric Endocrine System Hastalıklarında Konvansiyonel Nükleer Tıp Uygulamaları

Conventional Nuclear Medicine Applications in Pediatric Endocrine System Diseases

© Nedim C. M. Gülaldı

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Ankara Bilkent Şehir Hastanesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

Öz

Konvansiyonel Nükleer Tıp tetkikleri pediatrik endokrin sistem hastalıklarında günümüzde halen değerini koruyan ve klinik değerlendirmeye katkı sağlayan yöntemlerdendir. Bu derlemede çocukluk yaş grubunda sıklıkla görülen ve endokrin sistemi tutan hastalıklardan aktif olarak Nükleer Tıp tetkiklerinin kullanıldığı tiroid ve paratiroid hastalıkları ve adrenal gland görüntülemesi hakkında bilgi verilecektir. İlgili organların doğumsal anomalileri ve sendromlar ile ilişkisinin araştırılması yanında malign süreçleri de konvansiyonel Nükleer Tıp yöntemleri ile değerlendirilmekte ve teranöstik uygulamalara öncülük ederek malign süreçlerin tedavisinde de etkin rolü devam etmektedir. Hipofiz glandı, hipotalamus ve pankreas hastalıklarının görüntülemesinde bilgisayarlı tomografi ve manyetik rezonans görüntüleme daha ön planda olduğundan bu derlemede yer almamıştır.

Anahtar Kelimeler: Pediatrik, endokrin hastalıklar, sintigrafi, tiroid, paratiroid, adrenal bez, PET/BT

Abstract

Conventional Nuclear Medicine examinations are still valuable in pediatric endocrine system diseases and contribute to clinical evaluation. In this review, information will be given about thyroid and parathyroid diseases and adrenal gland imaging, which are frequently seen in the pediatric age group, and in which Nuclear Medicine examinations are actively used in diseases involving the endocrine system. In addition to the clinical investigation of the congenital anomalies of the related organs and their relationship with syndromes, malignant processes are also evaluated with conventional Nuclear Medicine methods, and their effective role in the treatment of malignant processes continues by pioneering theranostic applications. Since computed tomography and magnetic resonance imaging are more prominent in the imaging of pituitary gland, hypothalamus, and pancreas diseases, they are not included in this review.

Keywords: Pediatric, endocrine diseases, scintigraphy, thyroid, parathyroid, adrenal gland, PET/CT

Giriş

Konvansiyonel Nükleer Tıp tetkikleri günümüzde, pozitron emisyon tomografisi/bilgisayarlı tomografi (PET/BT) ve PET/manyetik rezonans (MR) görüntüleme sistemlerinin yaygınlaşması sonrası önemini eskisi kadar koruyamasa da pediatrik endokrin hastalıklarının

görüntülenmesinde halen yaygın kullanıldığı birçok alan bulunmaktadır. Özellikle tiroid bezine ait fonksiyonel bilginin elde edilme ihtiyacı ve konjenital anomalilerin doku düzeyinde çocukların sonraki yaşamına ve tedavisine yön verecek şekilde belirlenmesi sintigrafik tetkiklerin uygulanmasını rasyonel kılmaktadır. Sintigrafik

Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Prof. Dr. Nedim C. M. Gülaldı, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Ankara Bilkent Şehir Hastanesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: nedim.gulaldi@sbu.edu.tr **ORCID ID:** orcid.org/0000-0003-1478-5294

Geliş Tarihi/Received: 23.06.2025 **Kabul Tarihi/Accepted:** 23.07.2025 **Yayınlanma Tarihi/Publication Date:** 29.07.2025

Cite this article as/Atıf: Gülaldı NCM. Conventional nuclear medicine applications in pediatric endocrine system diseases. Nucl Med Semin. 2025;11:81-91



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 lisanslanmış, 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.

tetkiklerde düşük doz radyasyonun kullanılması ve tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi (SPECT)/BT gibi hibrit görüntülemelerde BT komponentinde azaltılan doz miktarları sayesinde sintigrafik tetkiklerin güvenli bir şekilde kullanılması mümkün olmaktadır.

Çocuklarda endokrin sistem hastalıklarının tanı ve tedavisinde Nükleer Tıp yöntemleri, organ fonksiyonlarını ve moleküler süreçleri değerlendirme kapasitesiyle önemli bir rol oynar. Çocuklarda büyüme ve gelişim süreçlerinin dinamik yapısı, erken ve doğru tanıyı zorunlu kılar. Bu derlemede, tiroidin benign ve malign hastalıkları, paratiroid bezi hiperfonksiyonu ve adrenal glandı tutan feokromositoma ve nöroblastoma özelinde pediatrik sempatik sinir sistemi tümörlerine ait konvansiyonel Nükleer Tıp yöntemleri anlatılacaktır.

Pediatrik Tiroid Hastalıklarının Nükleer Tıp Tetkikleri ile Görüntülenmesi

Araştırmalar, bu yöntemlerin tanı ve tedavi süreçlerinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Tiroid sintigrafisi ve radyoaktif iyot (RAİ) taramaları, doğumsal hipotiroidi, hipertiroidizm ve tiroid kanseri gibi durumların değerlendirilmesinde sıkça kullanılır. Radyasyon dozu, pediatrik hastalarda dikkatle yönetilmelidir; bu nedenle düşük dozda kullanılan radyofarmasötikler tercih edilir. Pediatrik tiroid hastalıkları, çocukluk çağında endokrin sistem hastalıklarının önemli bir bölümünü temsil eder. Konjenital hipotiroidizm (KH), hipertiroidizm, nodüler guatr ve tiroid kanseri gibi hastalıkların çocukluk çağına özgü tanı ve tedavi algoritmalarında özellikle tiroid bezinin fonksiyonel ve yapısal özelliklerini belirleyen tiroid sintigrafisi, RAİ taramaları ve PET gibi yöntemler çoğu zaman kalıcı tedavileri belirlemede son noktayı koymaktadır.

1. Konjenital Hipotiroidizm

KH, her 3000-4000 doğumda bir görülen ve entelektüel gerilik gibi ciddi sonuçlara yol açabilen bir hastalıktır. KH'nin en yaygın nedeni tiroid disgenezisidir (tiroid bezinin gelişimindeki anomaliler), bunu dishormonogenezis (tiroid hormonu sentezindeki bozukluklar) izler. Tiroid disgenezisi; agenezi, ektopik tiroid veya hipoplazi şeklinde olabilir ve dishormonogenezis, tiroid hormonu sentezindeki enzimatik bozukluklarla ilişkilidir.

Erken tanı ve tedavi, nörolojik gelişimi korumak için kritik öneme sahiptir. Yenidoğan tarama programları, KH'nin erken tanısını mümkün kılmış ve ciddi

nörogelişimsel komplikasyonları önlemiştir. Ancak, etiolojinin belirlenmesi için en yaygın olarak kullanılan radyofarmasötikler teknesyum-99m perteknetat ($Tc-99m O_4$) ve İyot-123'tür (I-123). Tiroid sintigrafisi, tiroid disgenezisi (agenezi, ektopi veya hipoplazi) ile dishormonogenez arasında ayırım yapmayı sağlar. I-123, özellikle ektopik tiroid olgularında (tiroid bezinin normal yerinden farklı bir yerde bulunması durumunda) daha yüksek tanısal doğruluğa sahip olduğu için tercih edilir. $Tc-99m$ perteknetat, maliyet etkinliği nedeniyle hala yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak tükürük bezleri tarafından tutulabilir, bu da yanlış pozitif sonuçlara yol açabilir. Ektopik tiroid bezi, genellikle dil kökünde yer alır ve KH'nin yaygın bir nedenidir. Bu durum, sintigrafide fokal bir tutulum alanı olarak kolayca tespit edilir (Şekil 1).

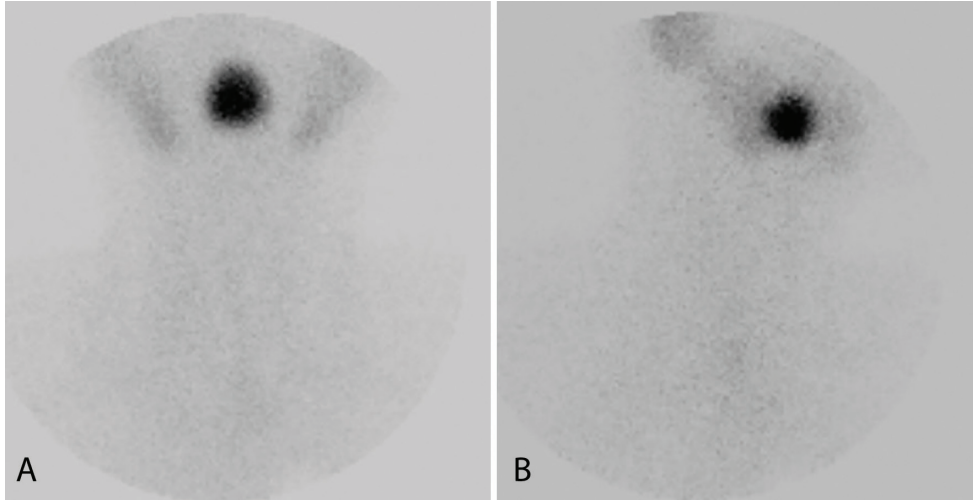
$Tc-99m$ perteknetat sintigrafisinin KH'li bebeklerde ektopik tiroid dokusunu tespit etmede %92 duyarlılığa sahip olduğu bilinmektedir (1,2). İşlem, genellikle 20-30 dakika sürer ve düşük radyasyon maruziyeti sebebiyle güvenle kullanılır (etkin doz ~0,5-1 mSv). Bununla birlikte, dishormonogenez şüphesi olan olgularda I-123 sintigrafisi tercih edilir, çünkü bu yöntem iyot uptake ve organifikasyonunu değerlendirme kapasitesine sahiptir. Böylece $Tc-99m$ -perteknetat tutan ancak I-123 ile görüntülenemeyen tiroid dokusunda dishormonogenez yönünde araştırma yapılmasını mümkün kılar.

Bunun yanında $Tc-99m$ perteknetat, ekstratiroidal dokularda daha düşük radyasyon dozu sağlar, bu da onu pediatrik kullanım için daha uygun kılar. I-123 için efektif doz 0,22 mSv/MBq, tiroid dozu 0,6 mGy/MBq iken $Tc-99m$ -perteknetatın efektif dozu 0,013 mSv/MBq, tiroid dozu ise organifikasyona girmediği için ihmal edilebilir düzeydedir.

Hipertiroidizm (Graves Hastalığı)

Çocuklarda hipertiroidizm, yetişkinlere kıyasla daha nadirdir ve erişkinde olduğu gibi genellikle Graves hastalığı veya toksik nodüler guatr ile ilişkilidir. Etiyoloji belirlemek için yapılan tiroid sintigrafisi ile eğer Graves hastalığı varsa diffüz ve homojen bir tutulum görülürken, toksik nodüllerde fokal tutulum ve çevresindeki tiroid dokusunun supresyonu gözlenir. Retrospektif bir analizde, sintigrafinin pediatrik Graves hastalığını %85 doğrulukla tanımladığı bildirilmiştir (3). Bu bilgi, antitiroid ilaçlar veya RAİ tedavisi gibi tedavi kararlarını yönlendirmede kritik öneme sahiptir.

SPECT ile BT'nin kombinasyonu, nodüler hastalıklarda anatomik korelasyon sağlayarak tanısal doğruluğu artırır.



Şekil 1. Orta hatta sublingual alanda fokal Tc-99m-perteknetat tutulumu görülmektedir. Tiroid bezine ait görünüm izlenmemiş olup, bez agenettir. A. Anterior, B. Sağ anterior oblik

Ancak, SPECT/BT'nin radyasyon dozu BT varlığından dolayı daha yüksek olup, çocuk hastalara özgü protokoller oluşturularak 2-5 mSv aralığında gerçekleşen doz maruziyeti daha düşük seviyelere çekilebilir. Çocuklarda SPECT/BT kullanımının risk-fayda dengesi dikkatle değerlendirilmelidir. Bunun yanında hipertiroidizme yol açabilen malign struma ovarii gibi durumlarda flor-18 florodeoksiglukoz (F-18 FDG) ve/veya I-124 sodyum iyodür (NaI) PET/BT ile tarama yapılabilir. Ayrıca diğer pediatrik malignitelerin evreleme ve nüks saptanması için yapılan PET/BT taramalarında rastlantısal olarak saptanan tiroid bezinin enflematuvar patolojileri, hastalardaki mevcut klinik ve subklinik hipertiroidiyi açıklayabilir.

Graves hastalığı, pediatrik popülasyonda hipertiroidizmin en sık görülen nedenidir ve otoimmün bir süreçle karakterizedir. Semptomları arasında kilo kaybı, taşikardi, tremor ve oküler bulgular vardır. Tedavi seçenekleri arasında antitiroid ilaçlar, RAI ablasyonu ve tiroid bezinin cerrahi olarak çıkarılması yer alır. Pediatrik hastalarda RAI ablasyonu, yetişkinlere kıyasla daha dikkatli kullanılır, ancak etkili bir tedavi seçeneğidir.

I-131 tedavisi ile hiperaktif tiroid bezi ablate edilerek hipotiroidi indüklenir. Tipik doz, tiroid bezinin gramı başına >150 µCi olup, %95 oranında hipotiroidi sağlar (Tablo 1). Bazı merkezlerde sabit doz olarak hastalığın şiddeti ve doku büyüklüğüne göre 10-15 mCi I-131 ampirik olarak uygulanır. Ancak ALARA prensibinin çocuklarda daha önem kazandığı göz önünde bulundurulursa dozimetrik yaklaşım ile bireyselleştirilmiş I-131 dozlarını belirlemek

gerekmektedir. RAI tedavisi öncesinde hastaların tiroid hormonları ve antitiroid ilaçları kesilmelidir. Şiddetli olgularda tiroid fırtınası riski vardır. RAI tedavisinin uzun vadeli takibinde artmış kanser insidansı kanıta dayalı olarak bildirilmemiştir.

İyi Diferansiye Tiroid Kanseri

Tiroid Nodülleri ve Kanseri

Çocuklarda tiroid nodülleri yetişkinlere göre daha az yaygındır, ancak malignite riski daha yüksektir (%20-25'e karşı %5-10). Nükleer Tıp görüntüleme, nodüllerin karakterizasyonunda ve tedavi planlamasında önemli bir rol oynar. I-123 veya Tc-99m-perteknetat sintigrafisi ile nodüllerin hiperaktif veya hipoaktif olduklarının belirlenmeleri önemlidir. İyot alım durumuna göre değişmekle birlikte 1 cm üzerinde tiroid nodülü olan çocuklarda hipoaktif nodüllerde %20-25 (erişkinde %5-10), hiperaktif nodüllerde ise %15-30'a varan (erişkinde %1'in altında) malignite saptanma potansiyeli olduğundan özellikle otonom hiperfonksiyon kazanmış tiroid nodülleri de ileri değerlendirme ve çoğu zaman ameliyat gerektirir (4,5,6,7). Tiroidektomi sonrası rezidüel hastalık veya nüks değerlendirmesi için I-131 tüm vücut taramaları da kullanılır. Ancak, I-131'nin tanısal amaçlı kullanımı, radyasyon maruziyeti endişeleri sebebiyle artık tanısal amaçlı Nükleer Tıp yöntemleri olarak yerini I-123 tüm vücut tarama ve bölgesel SPECT/BT görüntülemesine ve özellikle radyoiod negatif ancak tiroglobulin yüksekliği gösteren hastalarda da F-18 FDG PET/BT kullanımına bırakmıştır.

Tablo 1. Doğumsal hipotiroidide ve hipertiroidizmde kullanılan radyofarmasötikler ve endikasyonları

Hastalık	Nükleer Tıp rolü	Radyofarmasötikler	Detaylar
Doğumsal hipotiroidi	Tiroid disgenezisi ve dishormonogenezis tanısı	Tc-99m perteknetat, I-123	I-123, ektopik tiroid için daha yüksek doğruluk; Tc-99m, tükrük bezlerinde yanlış pozitif; düşük radyasyon yükü
Hipertiroidizm	Graves ve toksik nodüler guatr tanısı	Tc-99m perteknetat ve I-123; tanısal I-131; tedavi	I-131 ile tedavi seçeneği: 150 µCi/gr, 10-15 mCi amprik doz veya dozimetri

İyi diferansiye tiroid kanseri (DTK), pediatrik popülasyonda nadir görülse de, Nükleer Tıp, evreleme, rezidüel doku değerlendirmesi, metastaz tespiti ve ablasyon tedavisi gibi birçok yönden kritik bir rol oynar. Kullanılan radyofarmasötikler arasında Tc-99m O₄, I-123, I-131, I-124, SPECT/BT ve FDG-PET yer alır. Tanı ve evreleme için tiroid kanseri şüphesi olan pediatrik hastalarda, tiroid sintigrafisi ve RAI taramaları tiroid bezinin fonksiyonel durumunu ve metastaz varlığını değerlendirmek için kullanılır. I-123 ve I-131, tüm vücut görüntülemesi için standart yöntemlerdir. I-124, daha yüksek çözünürlüklü PET görüntülemesi sağlar ve %32 hasta grubunda %50 daha fazla lezyon tespit edebilir (8,9). RAI ablasyon tedavisi, cerrahi sonrası rezidüel tiroid dokusunu ve metastatik lezyonları ortadan kaldırmayı hedeflemek için kullanılır. Pediatrik hastalarda doz ayarlaması önemlidir ve genellikle yetişkinlerden daha düşük dozlar tercih edilir. Takip ve metastaz tespiti için SPECT/BT, görüntüleme duyarlılığını %50 ve özgüllüğünü %100 artırarak kritik bir rol oynar. F-18 FDG-PET, RAI negatif fakat tiroglobulin seviyesi yüksek olan diferansiye olgularda kullanılır. Pediatrik DTK'de lenf nodu metastazı %79, uzak metastaz ise %15 oranında görülür. Erişkin hastalardan farklı olarak akciğer metastazı ve yaygın hastalık daha sıklıkla görülmesine rağmen tedaviye cevap ve sağkalım süreleri genellikle daha iyidir (10,11,12,13). Nükleer Tıp tetkikleri, hastalığın yönetiminde erken tanı ve etkili tedavi için vazgeçilmezdir.

Medüller Tiroid Kanseri

Medüller tiroid kanseri (MTK), pediatrik popülasyonda nadir görülen fakat agresif bir tümördür. Nükleer Tıp, MTK'de lokal ve uzak metastatik hastalığın tespiti ve tedavi seçeneklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Kullanılan görüntüleme teknikleri ve radyofarmasötikler şunlardır: Tc-99m (V) DMSA (duyarlılığı %50-90), I-123/I-131 metaiodobenzilguanidin (MIBG) (duyarlılığı %25-30, palyatif tedavi için kullanılır), F-18 FDG PET/CT (özellikle

kalsitonin seviyesi yüksek olan olgularda duyarlılığı %47-79), F-18 DOPA (FDG'ye göre daha yüksek duyarlılığa sahiptir) ve Ga-68 DOTATOC (duyarlılığı %72, somatostatin reseptör hedefli tedavi için kullanılabilir) (14,15,16). MTK'de lenf nodu metastazı %63, uzak metastaz ise %15 oranında görülür. Nükleer Tıp tetkikleri, hastalığın yaygınlığını ve tedavi stratejilerini belirlemek için esastır.

Pediatrik Paratiroid Bezi Hastalıklarının Nükleer Tıp Tetkikleri ile Görüntülenmesi

Paratiroid bezleri, boynun ön kısmında, tiroid bezinin arka yüzeyine yakın veya gömülü olarak bulunan dört küçük endokrin organdır. Bu bezler, paratiroid hormonu (PTH) salgılayarak kan kalsiyum ve fosfat düzeylerini dengeler. Pediatrik yaş grubunda paratiroid bez hastalıkları nadir görülse de primer hiperparatiroidizm, sekonder hiperparatiroidizm ve multipl endokrin neoplazi (MEN) sendromları gibi durumlar ile birlikte olabilir ve ciddi komplikasyonlara yol açabilir. Çocuklarda paratiroid bezleri daha küçük olabilir veya atipik konumlarda bulunabilir, bu da görüntülerin yorumlanmasını zorlaştırır. Bu hastalıkların tanısında, laboratuvar testleri ve görüntüleme yöntemleri birlikte kullanılır. Paratiroid hiperplazisi/adenomu düşünülen pediatrik hastalarda erişkinde olduğu gibi öncelikle Tc-99m-sestamibi SPECT/BT görüntüleme ve mümkünse F18-florokolin PET/BT; hiperfonksiyonel paratiroid dokusunun lokalizasyonunda sıklıkla tercih edilir.

Pediatrik Paratiroid Bezi Hastalıkları

- Primer Hiperparatiroidizm: En sık nedeni tek bir paratiroid adenomudur ve çocuklarda nadirdir. Semptomlar arasında yorgunluk, kemik ağrısı, nefrolitiazis ve hiperkalsemi yer alır. Tanı, yüksek serum kalsiyum ve PTH düzeyleriyle konur. Genellikle minimal invaziv paratiroidektomi ile tedavi edilir.
- Sekonder Hiperparatiroidizm: Kronik böbrek hastalığı gibi hipokalsemiye neden olan

durumlarda ortaya çıkar. Paratiroid bezlerinde hiperplazi gelişir ve cerrahi nadiren gereklidir.

- c. Paratiroid Karsinomu: Çocuklarda son derece nadirdir ve agresif bir tümördür. Genellikle yüksek PTH ve kalsiyum düzeyleriyle kendini gösterir. F-18 FDG PET/BT ile görüntüleme histopatolojik olarak yüksek mitotik indeks gösteren olgularda metastaz ve nüksleri saptamada kullanılır.
- d. MEN Sendromları: MEN1 ve MEN2A gibi genetik sendromlar, paratiroid hiperplazisi veya adenomlarıyla ilişkilidir ve pediatrik yaş grubunda görülebilir. MEN tip 1 sendromu paratiroid bezleri, pankreası ve adrenal glandları içeren tümörler ile birlikte seyredebilirken, MEN tip 2B sendromu MTK ve feokromositoma ile birlikte görülebilmektedir. Böylece hastada tümör birliktelikleri ve sendrom tanısında sintigrafik değerlendirme sıklıkla kliniği desteklemek için kullanılmaktadır.

Paratiroid adenomu/hiperplazisi için kullanılan Nükleer Tıp teknikleri aşağıdaki başlıklarda belirtilmiştir.

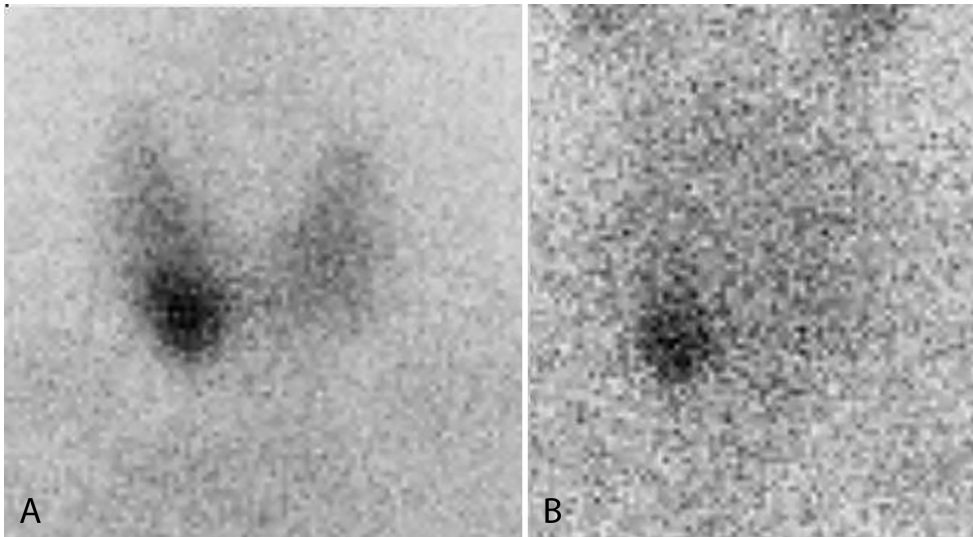
1. Tc-99m-sestamibi Sintigrafisi

Tc-99m-sestamibi sintigrafisi, paratiroid görüntülemeye en yaygın kullanılan yöntem olup, kısa yarı ömrü nedeniyle Tc-99m-sestamibi, pediatrik hastalarda tercih edilir. Sestamibi, hem tiroid hem de paratiroid dokusu tarafından alınır, ancak paratiroid dokusundan atılımı (wash-out'u)

daha yavaş olduğundan erken (15-30 dakika) ve geç (2-3 saat) sintigrafik görüntülerin karşılaştırılması hiperfonksiyonel paratiroid bezlerinin tespitini sağlar (Şekil 2). Tek adenomlarda duyarlılığı yaklaşık %88'dir, ancak çoklu bez hastalığında duyarlılık düşer (17,18,19).

2. Tc-99m-difosfonat Bileşikleriyle Tüm Vücut Kemik Sintigrafisi

Kronik böbrek yetmezliğine bağlı gelişen sekonder hiperparatiroidizmde, kan parathormon düzeylerindeki yükselmeye eşlik eden osteoklast aktivitesinin artması ile kemiklerde "brown" tümör olarak adlandırılan benign osteolitik lezyonlar gelişebilir. Bu lezyonlar Tc99m-difosfonat bileşikleriyle yapılan kemik sintigrafisinde artmış kemik yıkım-yapım alanlarına bağlı olarak, kimi zaman kemik metastazları ile karışabilecek şekilde fokal artmış aktivite tutulum alanları olarak görülebilir. Yine hiperparatiroidizmde ileri döneminde "superscan" diye tanımlanan ve renal osteodistrofi/osteomalazi gibi diğer metabolik kemik hastalıklarında da görülebilen diffüz artmış kemik tutulumu, azalmış yumuşak doku tutulumu ve azalmış renal radyoaktif madde ekskresyonuna bağlı olarak kontrastı oldukça yüksek homojen bir kemik sintigrafisi görüntüsü alınabilir. (19,20,21).



Şekil 2. Tc-99m-sestamibi sintigrafisinde sağ tiroid lobu alt polde geç görüntülemeye tiroid bezi aktivitesinin temizlenmesi "wash-out'u" sonrası sebat eden ve paratiroid adenomu ile uyumlu fokal aktivite tutulumu. A. Erken 20. dk, B. 2. saat görüntüsü

3. Dual İzotop Substraksiyon (Çıkarma) Sintigrafisi

Bu yöntemde, Tc-99m-perteknetat, tiroid dokusunu görüntülemek için, Tc-99m-sestamibi ise paratiroid dokusunu görüntülemek için kullanılır. Tiroid görüntüsü, paratiroid görüntüsünden çıkarılarak sadece paratiroid aktivitesi izole edilir. Bu yöntem, tiroid nodülleri olan hastalarda özgüllüğü artırabilir.

4. F-18 Florokolin PET/BT

F-18-florokolin PET/BT, paratiroid adenomlarının tespitinde yüksek duyarlılık (%95) ve özgüllük (%97) sunar. Özellikle Tc-99m-sestamibi sintigrafisinin negatif veya belirsiz olduğu durumlarda tercih edilir (22,23). Ancak, pediatrik kullanımda sınırlı veri vardır ve yüksek maliyet nedeniyle erişimi kısıtlıdır.

5. Diğer Radyofarmasötikler

Tc-99m-tetrofosmin, C-11-kolin ve F-18 FDG gibi radyofarmasötikler de kullanılabilir, ancak daha az yaygındır. Tc-99m-tetrofosmin, sestamibi'ye benzer şekilde çalışır, ancak atılım "wash-out" hızı farklıdır.

Pediatrik paratiroid bezi hastalıklarının tanısında ve yönetiminde Nükleer Tıp tetkikleri, hiperfonksiyonel paratiroid dokusunun lokalizasyonunda vazgeçilmez bir rol oynar. Ancak, pediatrik popülasyonda radyasyon güvenliği ve yöntemin uygunluğu dikkatle değerlendirilmelidir. Güncel rehberler ve teknolojik gelişmeler, bu yöntemlerin etkinliğini ve güvenliğini artırmaya devam etmektedir.

Pediatrik Adrenal Gland Hastalıklarının Nükleer Tıp Tetkikleri ile Görüntülenmesi

Pediatrik adrenal gland hastalıkları; konjenital adrenal hiperplazi, nöroblastom, Addison hastalığı, feokromositoma ve adrenal kitleler gibi çeşitli durumları kapsayan nadir ancak ciddi endokrin bozukluklardır. Bu hastalıkların tanısında ve yönetiminde Nükleer Tıp tetkikleri, özellikle MIBG sintigrafisi, PET/BT ve SPECT/BT gibi yöntemler önemli bir rol oynar.

Pediatrik Adrenal Gland Hastalıkları

- Konjenital Adrenal Hiperplazi:** En sık görülen formu 21-hidroksilaz eksikliğidir ve kortizol ile aldosteron üretiminde bozulmaya yol açar. Erken tanı, ciddi elektrolit dengesizliklerini önlemek için önemlidir. Tanıda Nükleer Tıp yöntemleri sınırlı bir rol oynar. Ancak, adrenal hiperplazi ile ilişkili kitlelerin (örneğin; adrenal adenom) değerlendirilmesinde

PET/BT ve/veya MIBG sintigrafisi kullanılabilir. Fonksiyonel adenomların varlığı, hormon üretimini değerlendirmek amacıyla sintigrafi ile desteklenebilir.

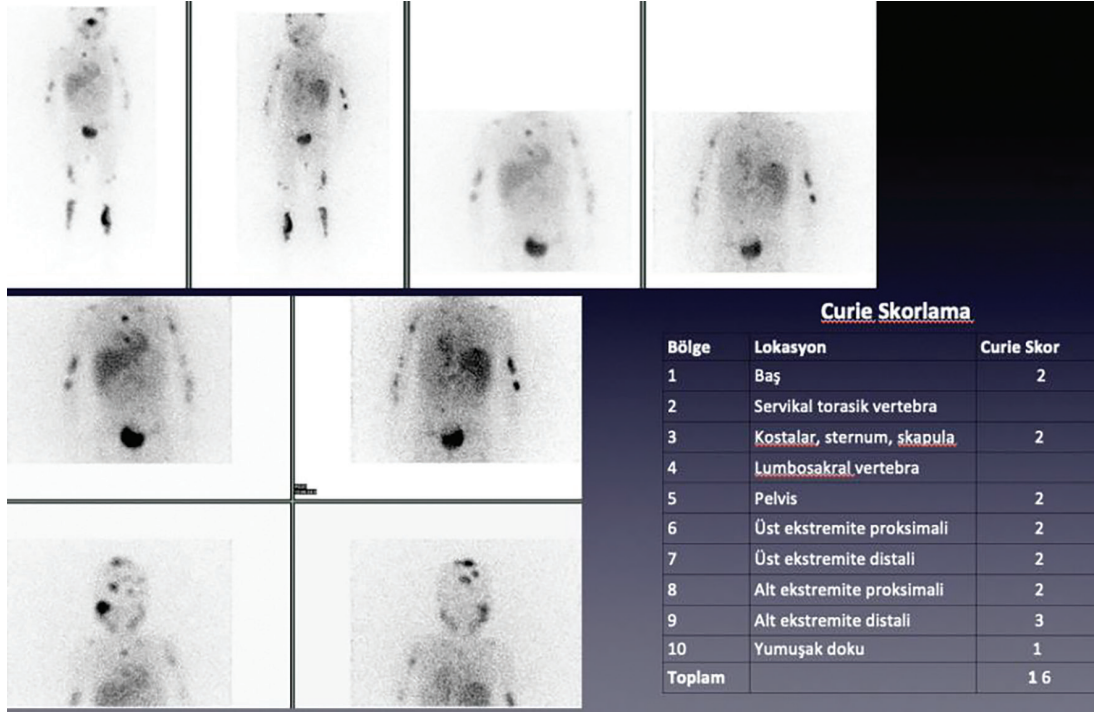
Bununla birlikte, adrenal sintigrafisi pediatrikte nadiren kullanılır, çünkü yüksek radyasyon dozu (5-10 mSv) içerir ve MR gibi non-invaziv alternatifler mevcuttur. Nadir durumlarda, benign adrenal hiperplazi ile malign adrenal tümörler (örneğin; adrenokortikal karsinom) arasında ayırım yapmak için F-18 FDG PET/BT kullanılabilir.

- Addison Hastalığı:** Primer adrenal yetmezlik olarak da bilinir ve kortizol ile aldosteron üretiminin yetersizliği ile karakterizedir. Otoimmün nedenler, enfeksiyonlar veya genetik faktörler etiolojide rol oynar. Addison hastalığında Nükleer Tıp yöntemleri genellikle primer tanısal araç değildir. Ancak, altta yatan nedenin (örneğin; adrenal kitle veya enfeksiyon) araştırılmasında F-18 PET/BT kullanılabilir.
- Feokromositoma ve Paraganglioma (F-PGL):** Katekolamin üreten nöroendokrin tümörlerdir ve hipertansiyon, taşikardi gibi semptomlara neden olur. Pediatrik popülasyonda nadirdir ancak genetik sendromlarla (örneğin; MEN2B) ilişkili olup, birliktelik gösterebilir. Adrenal medulla veya ekstra-adrenal kromafin dokudan kaynaklanan katekolamin salgılayan tümörlerdir. Çocuklarda bu tümörler genellikle von Hippel-Lindau veya çoklu endokrin neoplazi tip 2 gibi genetik sendromlarla ilişkilidir. Nükleer Tıp görüntüleme, bu tümörlerin tanısı ve lokalizasyonunda vazgeçilmezdir. I-123 MIBG veya I-131 MIBG kullanılarak yapılan MIBG sintigrafisi, F-PGL'lerin tespitinde altın standarttır ve pediatrik popülasyonda %90-95 duyarlılık ve %98 özgüllük sunar. MIBG sintigrafisi, özellikle metastatik hastalığın belirlenmesinde değerlidir; pediatrik PGL'lerin %10-20'sinde metastaz görülür. İşlem, radyofarmasötiğin intravenöz uygulanmasını ve 24-48 saat sonra görüntülemeyi içerir. SPECT/BT, anatomik detay sağlayarak yanlış pozitif sonuçları azaltır. MIBG sintigrafisinin negatif olduğu durumlarda, F-18-FDOPA (fluorodopa) PET/BT veya Ga-68-DOTATATE PET/BT özellikle paragangliomalar için daha yüksek duyarlılık sunar (24,25,26,27).

- d. Adrenal insidentaloma: Görüntüleme sırasında tesadüfen saptanan adrenal kitlelerdir. Çoğu benign olsa da, fonksiyonel adenomlar veya malign lezyonlar (adrenokortikal karsinom) ayırıcı tanıda değerlendirilir. Adrenal insidentalomalarda, fonksiyonel kitlelerin örneğin; katekolamin veya kortizol salgılayan adenomların değerlendirilmesinde MIBG sintigrafisi ve/veya PET/BT kullanılır. Fonksiyonel olmayan kitlelerde malignite riski, FDG PET/BT ile araştırılır.
- e. Adrenokortikal Karsinom: Pediatrik popülasyonda son derece nadirdir. Ancak agresif bir seyir göstererek yüksek mortalite ile ilişkilidir. Bu hastalıkların tanısında Nükleer Tıp yöntemlerinde özellikle F-18-PET/BT adrenal bezlerin fonksiyonel durumunu değerlendirmek ve malignite riskini belirlemek için kritik bir rol oynar. F-18-FDG PET/BT, metastatik hastalığın saptanmasında ve tedavi yanıtının değerlendirilmesinde kullanılır. Ancak, özgüllüğü sınırlıdır ve biyopsi ile desteklenmelidir.
- f. Nöroblastoma: Çocukluk çağıının en sık görülen ekstrakraniyal solid tümörlerinden biridir ve sempatik sinir sisteminden köken alır. Özellikle 5 yaş altı çocuklarda görülen bu malignite, heterojen bir klinik seyir gösterir. Pediatrik nöroblastom yönetiminde Nükleer Tıp tetkikleri, tanıdan tedaviye kadar multidisipliner yaklaşımın kritik bir parçasıdır. Radyasyon güvenliği ve çocuk dostu protokollerin geliştirilmesi, bu yöntemlerin pediatrik popülasyonda daha etkin kullanımını sağlamıştır.
1. MIBG Sintigrafisi: MIBG, nöroblastomda en sık kullanılan Nükleer Tıp görüntüleme yöntemidir. Noradrenalin transport sistemini hedef alan bu radyofarmasötik, tümör hücrelerinde yoğun bir şekilde tutulur. I-123 MIBG sintigrafisi tanısal amaçlı tümör lokalizasyonu ve metastatik yayılım değerlendirilmesinde altın standarttır. Kemik, kemik iliği, lenf nodu ve yumuşak doku metastazlarını yüksek duyarlılıkla gösterir (Şekil 3) (28,29,30,31,32). Ultrasonografi, BT ve MR'a ek olarak fonksiyonel bilgi sağlar. I-131 MIBG'nin yüksek doz i.v. uygulanması ile tedavi amaçlı kullanılır. Yüksek riskli ve refrakter nöroblastom olgularında hedefe yönelik tedavi seçeneğidir. Tümör hücrelerinde selektif radyasyon etkisi yaparak progresyonu yavaşlatabilir (29,33,34).
2. PET/BT Görüntüleme: I-123 MIBG görüntülemesine alternatif oluşturan ve son yıllarda yaygınlaşma sinyalleri veren F-18 meta-florobenilguanidin (mFBG) PET/BT tetkiki ile, görüntüleme tekniğinden gelen yüksek çözünürlük ve yüksek enerji deteksiyonu sayesinde daha fazla sayıda lezyonun tespit edilmesi mümkün olmaktadır (35,36,37). MIBG sintigrafisine alternatif olarak, F-18-FDG PET/BT görüntüleme özellikle MIBG-negatif tümörlerde ve undiferansiye patolojiye sahip çocuk hastalarda tercih edilmektedir. Zira bu grupta mitotik indeksin yüksek olması ve tümör agresifliği FDG tutulum olasılığını artırmaktadır. Bunun yanında düşük dereceli nöroblastomlarda FDG tutulumu düşük olabilir. Ga-68-DOTATATE PET/BT görüntüleme, somatostatin reseptör ekspresyonu gösteren nöroblastomlarda kullanılır. MIBG negatif hastalarda bazen de MIBG pozitif olan hastalarda dahi özellikle kemik iliği metastazlarının yaygınlığını belirlemede bazı hastalarda ek bilgi sağlamaktadır (Şekil 4) (38,39,40,41,42).
3. Tc-99m-MDP Tüm Vücut Kemik Sintigrafisi: Kemik metastazlarının değerlendirilmesinde MIBG ile birlikte alternatif görüntüleme olarak kullanılabilir. Özellikle osteoblastik lezyonların tespitinde etkilidir, ancak MIBG kadar spesifik değildir.
- g. Nöroendokrin Tümörler: Çocuklarda nöroendokrin tümörler (NET) nadirdir ve karsinoid tümörler, pankreatik NET'ler ve MTK gibi durumları içerir. Nükleer Tıp görüntüleme, bu tümörlerin tanısı, evrelemesi ve tedavi planlamasında kritik bir rol oynar. Somatostatin reseptörlerine bağlanan Ga-68-DOTATATE ile yapılan PET/BT, NET'lerin metastaz ve nükslerinin tespitinde %95 duyarlılık ve %90 özgüllük sunar. Bu yöntem, küçük lezyonların ve metastazların tespitinde geleneksel görüntülemeden üstündür. Ga-68 bağlı DOTA-peptid bileşikler, NET'lerin yönetiminde peptid reseptör radyonüklid tedavisi gibi teranostik yaklaşımları da destekler. Örneğin; Lu-177 DOTATATE, adolesanlarda ileri NET'lerin yönetiminde umut vericidir, ancak küçük çocuklarda uygulamalarına ait veri sınırlıdır (43,44,45,46).

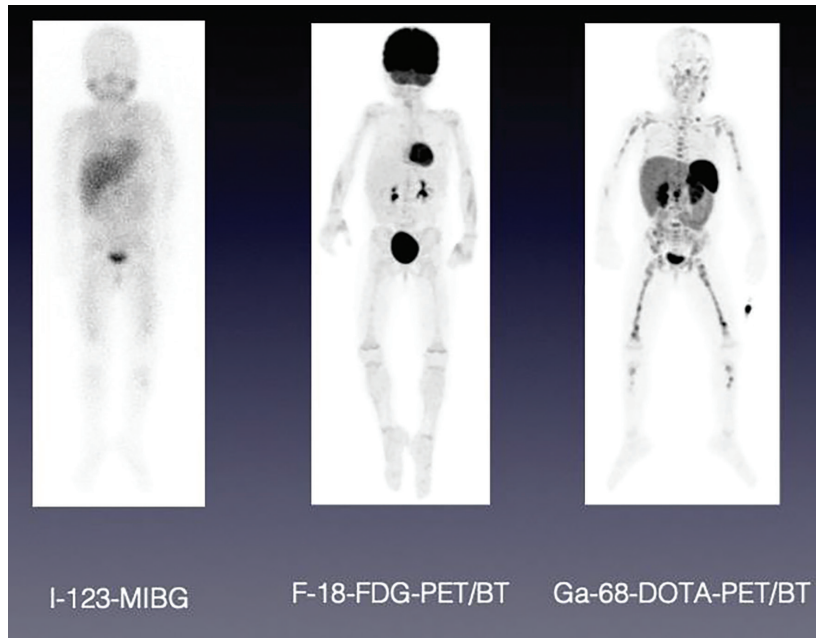
Sonuç

Nükleer Tıp görüntülemedeki son ilerlemeler, pediatrik endokrinolojide tanısal doğruluğu ve güvenilirliği artırma potansiyeline sahiptir. F-18 FDOPA ve Ga-68



Şekil 3. Nöroblastomlu 3 yaşında erkek çocukta I-123 MIBG sintigrafisi ile multipl kemik iliği metastazı

MIBG: Metaiyodobenzilguanidin



Şekil 4. Nöroblastomda 5 yaşında bir erkek çocukta I-123 MIBG, F-18 FDG PET/BT ve Ga-68 DOTATATE PET/BT görüntülemesi. Bu hastada somatostatin görüntüleme (DOTA peptid) daha fazla sayıda lezyon göstermiştir

PET: Pozitron emisyon tomografi, BT: Bilgisayarlı tomografi, MIBG: Metaiyodobenzilguanidin, FDG: Florodeoksiglukoz

DOTATATE gibi yeni radyofarmasötikler, nöroendokrin ve adrenal tümörlerin tespitini iyileştirmiştir. Hedefe yönelik alfa tedavisi, örneğin; Ac-225-DOTATATE, ileri NET'lerin tedavisinde araştırılmaktadır ve tümör hücrelerine yüksek enerjili fotonların ulaştırılmasını mümkün kılarken, tümör yakın dokuya çevresel hasarı azaltmaktadır.

Yapay zeka (YZ) ve makine öğrenimi algoritmaları, görüntü rekonstrüksiyonunu iyileştirir, gürültüyü azaltır ve hastalık sonuçlarını öngörmek için görüntüleme modellerini kullanır. YZ destekli F-18-FDG PET/BT yorumlamasının pediatrik tiroid kanserinde tanısal doğruluğu %15 artırdığını göstermiştir (47,48).

Teranostik yaklaşımlar, tanı ve tedaviyi birleştiren bir alan olarak hızla gelişmektedir. Örneğin; Ga-68-DOTATATE PET/BT, Lu-177-DOTATATE tedavisini yönlendirebilir ve tümör reseptör ekspresyonuna dayalı kişiselleştirilmiş tedavi sağlar. PET/MR sistemlerinin entegrasyonu, BT yerine MR kullanarak radyasyon maruziyetini azaltma potansiyeli sunar, ancak bu sistemlerin erişilebilirliği sınırlıdır.

Nükleer Tıp görüntülemenin avantajlarına rağmen, pediatrik endokrinolojide bazı zorluklar bulunmaktadır. Küçük çocuklarda sedasyon ihtiyacı, prosedürel karmaşıklığı ve riskleri artırır. Ga-68-DOTATATE, F-18-Kolin gibi göreceli olarak daha az sayıdaki merkezlerde yapılan görüntülemelere ulaşımında zorluk yaşanabilmektedir. Ayrıca, kronik durumlar (örneğin; DTK veya NET'ler) için tekrarlanan görüntüleme gerekliliği, uzun vadeli radyasyon risklerini artırır.

Sonuç olarak, Nükleer Tıp görüntüleme, çocuklarda endokrin sistem hastalıklarının tanı ve yönetiminde vazgeçilmez bir araçtır. Tiroid sintigrafisi, MIBG görüntüleme ve Ga-68-DOTATATE PET/BT gibi yöntemler, KH, feokromositoma ve nöroendokrin tümörler gibi durumlar için yüksek duyarlılık ve özgüllük sunar. Radyasyon maruziyeti bir endişe kaynağı olsa da, Makul Ölçüde Ulaşılabilir En Düşük Düzey (*As Low As Reasonably Achievable*) kuralı ilkelerine bağlılık, düşük doz protokolleri ve YZ ile teranostik yaklaşımlar gibi ilerlemeler radyasyon güvenliğini ve etkinliği artırmaktadır. Yeni radyoizotoplar ve görüntüleme teknolojilerinin gelişmesiyle, Nükleer Tıp, pediatrik endokrin bozukluklarda hasta sonuçlarını iyileştirmede önemli bir rol oynamaya devam edecektir.

Dipnotlar

Çıkar Çatışması: Yazar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar

1. Livett T, LaFranchi S. Imaging in congenital hypothyroidism. *Curr Opin Pediatr*. 2019;31:555-561.
2. Li WI, Chan TK, Ng KK, Kung BT. Predictive value of technetium-99m sodium pertechnetate thyroid scintigraphy in determining the permanence of congenital hypothyroidism. *J Clin Imaging Sci*. 2025;15:3.
3. Léger J, Oliver I, Rodrigue D, Lambert AS, Coutant R. Graves' disease in children. *Ann Endocrinol*. 2018;79:647-655.
4. Francis GL, Waguespack SG, Bauer AJ, et al. Management guidelines for children with thyroid nodules and differentiated thyroid cancer: the American Thyroid Association Guidelines task force on pediatric thyroid cancer. *Thyroid*. 2015;25:716-759.
5. Lebbink CA, Links TP, Czarniecka A, et al. 2022 European Thyroid Association Guidelines for the management of pediatric thyroid nodules and differentiated thyroid carcinoma. *Eur Thyroid J*. 2022;11:e220146.
6. Parisi MT, Eslamy H, Mankoff D. Management of differentiated thyroid cancer in children: focus on the American Thyroid Association Pediatric Guidelines. *Semin Nucl Med*. 2016;46:147-164.
7. Niedziela M, Breborowicz D, Trejster E. Hot nodules in children and adolescents in western Poland from 1996-2000: Clinical analysis of 31 patients. *J Pediatr Endocrinol Metab*. 2002;15:823-830.
8. Freudenberg LS, Jentzen W, Marlowe RJ. 124-iodine positron emission tomography/computed tomography dosimetry in pediatric patients with differentiated thyroid cancer. *Exp Clin Endocrinol Diabetes*. 2007;115:690-693.
9. Eschmann SM, Reischl G, Bilger K. Evaluation of dosimetry of radio-iodine therapy in benign and malignant thyroid disorders by means of iodine-124 and PET. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2002;29:760-767.
10. Bal CS, Garg A, Chopra S. Prognostic factors in pediatric differentiated thyroid cancer patients with pulmonary metastases. *J Pediatr Endocrinol Metab*. 2015;8:745-751.
11. Biko J, Reinert C, Kreissl MC. Favourable course of disease after incomplete remission on I-131 therapy in children with pulmonary metastases of papillary thyroid carcinoma: 10 years follow-up. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2011;38:651-655.
12. Brink JS, Heerden JA, McIver B. Papillary thyroid cancer with pulmonary metastases in children: long-term prognosis. *Surgery*. 2000;128:881-887.
13. Sisson JC, Jamadar DA, Kazerooni EA. Iodine-I31 treatment of micronodular pulmonary metastases from papillary thyroid carcinoma. *Cancer*. 1996;78:2184-2192.
14. Barmpari ME, Savvidis C, Dede AD, et al. Adrenal malignant melanoma masquerading as a pheochromocytoma in a patient with a history of a multifocal papillary and medullary thyroid carcinoma. *Hormones*. 2016;15:283-290.

15. Yang JH, Camacho CP, Lindsey SC, et al. The combined use of calcitonin doubling time and 18F-FDG PET/CT improves prognostic values in medullary thyroid carcinoma: the clinical utility of 18F-FDG PET/CT. *Endocr Pract.* 2017;23:942-948.
16. Agrawal A, Rangarajan V, Shah S, Puranik A, Purandare N. MIBG (metaiodobenzylguanidine) theranostics in pediatric and adult malignancies. *Br J Radiol.* 2018;91:20180103.
17. Khalatbari H, Cheeney SHE, Manning SC, Parisi MT. Pediatric hyperparathyroidism: review and imaging update. *Pediatr Radiol.* 2021;51:1106-1120.
18. He Y, Luo Y, Jin S, et al. Can we skip technetium-99 m sestamibi scintigraphy in pediatric primary hyperparathyroidism patients with positive neck ultrasound results? *Pediatr Radiol.* 2023;53:2253-2259.
19. Miyakoshi M, Kamoi K, Takano T, et al. Multiple brown tumors in primary hyperparathyroidism caused by an adenoma mimicking metastatic bone disease with false positive results on computed tomography and Tc-99m sestamibi imaging: MR findings. *Endocr J.* 2007;54:205-210.
20. Gonnelli S, Briot K, Cormier C, Teboul S, Roux C, Koumakis E. Multiple brown tumors: a bone complication due to long-term untreated pseudohypoparathyroidism. *Osteoporos Int.* 2024;35:195-199.
21. Gedik GK, Ata O, Karabagli P, Sari O. Differential diagnosis between secondary and tertiary hyperparathyroidism in a case of a giant-cell and brown tumor containing mass. Findings by (99m)Tc-MDP, (18)F-FDG PET/CT and (99m)Tc-MIBI scans. *Hell J Nucl Med.* 2014;17:214-217.
22. Prabhu M, Kumari G, Damle NA, et al. Assessment of the role of early dynamic PET/CT with 18F-fluorocholine in detection of parathyroid lesions in patients with primary hyperparathyroidism. *Nucl Med Commun.* 2018;39:1190-1196.
23. Martínez Sánchez H, Moreno Macián F, León Cariñena S, de Mingo Alemany C, Blasco González L, Sánchez Vañó R. Use of [18F]fluorocholine PET/CT in the detection of primary hyperparathyroidism in paediatrics: a case report. *J Pediatr Endocrinol Metab.* 2024;37:580-584.
24. Bholah R, Bunchman TE. Review of pediatric pheochromocytoma and paraganglioma. *Front Pediatr.* 2017;5.
25. Han S, Suh CH, Woo S, Kim YJ, Lee JJ. Performance of ⁶⁸ Ga-DOTA-conjugated somatostatin receptor-targeting peptide PET in detection of pheochromocytoma and paraganglioma: a systematic review and metaanalysis. *J Nucl Med.* 2019;60:369-376.
26. Zhang X, Wakabayashi H, Hiromasa T, Kayano D, Kinuya S. Recent advances in radiopharmaceutical theranostics of pheochromocytoma and paraganglioma. *Semin Nucl Med.* 2023;53:503-516.
27. Zi J, Ma C, Xu C, Bai Y. A pediatric malignant paraganglioma and brief review of the literature. *Hell J Nucl Med.* 2016;19:281-284.
28. Theerakulpisut D, Raruenrom Y, Wongsurawat N, Somboonporn C. Value of SPECT/CT in diagnostic I-131 MIBG scintigraphy in patients with neuroblastoma. *Nucl Med Mol Imaging.* 2018;52:350-358.
29. Willegaignon J, Crema KP, Oliveira NC, et al. Pediatric 131I-MIBG therapy for neuroblastoma: whole-body 131I-MIBG clearance, radiation doses to patients, family caregivers, medical staff, and radiation safety measures. *Clin Nucl Med.* 2018;43:572-578.
30. Ladenstein R, Lambert B, Pötschger U, et al. Validation of the mIBG skeletal SIOPEN scoring method in two independent high-risk neuroblastoma populations: the SIOPEN/HR-NBL1 and COG-A3973 trials. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2018;45:292-305.
31. Liu B, Servaes S, Zhuang H. SPECT/CT mibg imaging is crucial in the follow-up of the patients with high-risk neuroblastoma. *Clin Nucl Med.* 2018;43:232-238.
32. Sokol EA, Engelmann R, Kang W, et al. Computer-assisted curie scoring for metaiodobenzylguanidine (MIBG) scans in patients with neuroblastoma. *Pediatr Blood Cancer.* 2018;65:e27417.
33. Genolla J, Rodriguez T, Minguez P, Lopez-Almaraz R, Llorens V, Echebarria A. Dosimetry-based high-activity therapy with 131I-metaiodobenzylguanidine (131I-MIBG) and topotecan for the treatment of high-risk refractory neuroblastoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2019;46:1567-1575.
34. Anongpornjossakul Y, Sriwatcharin W, Thamnirat K, et al. Iodine-131 metaiodobenzylguanidine (131I-MIBG) treatment in relapsed/refractory neuroblastoma: *Nucl Med Commun.* 2020;41:336-343.
35. Pauwels E, Celen S, Vandamme M, et al. Improved resolution and sensitivity of [18F]MFBG PET compared with [123I]MIBG SPECT in a patient with a norepinephrine transporter-expressing tumour. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2021;48:313-315.
36. Borgwardt L, Brok J, Andersen KF, et al. Performing [18F]MFBG long-axial-field-of-view PET/CT without sedation or general anesthesia for imaging of children with neuroblastoma. *J Nucl Med.* 2024;jnumed.123.267256.
37. Samim A, Blom T, Poot AJ, et al. [18F]mFBG PET-CT for detection and localisation of neuroblastoma: a prospective pilot study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2023;50:1146-1157.
38. Maaz AUR, O'Doherty J, Djekidel M. ⁶⁸ Ga-DOTATATE PET/CT for neuroblastoma staging: utility for clinical use. *J Nucl Med Technol.* 2021;49:265-268.
39. Koo SX. Selective use of peptide receptor radionuclide therapy following comparative imaging of Ga-68 DOTATATE PET/CT against I-131 MIBG scintigraphy in a small Asian cohort of Adult Neuroblastoma. *Med J Malaysia.* 2021;76.
40. Telli T, Lay Ergün E, Volkan Salanci B, Özgen Kıratlı P. The complementary role of ⁶⁸Ga-DOTATATE PET/CT in neuroblastoma. *Clin Nucl Med.* 2020;45:326-329.
41. Gains JE, Aldridge MD, Mattoli MV, et al. ⁶⁸Ga-DOTATATE and 123I-mIBG as imaging biomarkers of disease localisation in metastatic neuroblastoma: implications for molecular radiotherapy. *Nucl Med Commun.* 2020;41:1169-1177.

42. Mittal B, Agrawal K, Kumar R, Bhattacharya A, Mittal BR. Ga-68 DOTATATE positron emission tomography/computer tomography in initial staging and therapy response evaluation in a rare case of primary neuroblastoma in neck. *Indian J Nucl Med.* 2014;29:175.
43. Yang J, Kan Y, Ge BH, Yuan L, Li C, Zhao W. Diagnostic role of gallium-68 DOTATOC and gallium-68 DOTATATE PET in patients with neuroendocrine tumors: a meta-analysis. *Acta Radiol.* 2014;55:389-398.
44. Shukla J, Sodhi K, Bansal D, et al. ⁶⁸ Ga-DOTATATE positron emission tomography/computed tomography scan in the detection of bone metastases in pediatric neuroendocrine tumors. *Indian J Nucl Med.* 2014;29:13.
45. Bodei L, Ambrosini V, Herrmann K, Modlin I. Current concepts in ⁶⁸ Ga-DOTATATE imaging of neuroendocrine neoplasms: interpretation, biodistribution, dosimetry, and molecular strategies. *J Nucl Med.* 2017;58:1718-1726.
46. Kendi AT, Halfdanarson TR, Packard A, Dundar A, Subramaniam RM. Therapy with ¹⁷⁷ Lu-DOTATATE: clinical implementation and impact on care of patients with neuroendocrine tumors. *Am J Roentgenol.* 2019;213:309-317.
47. Wagner MW, Bilbily A, Beheshti M, Shammass A, Vali R. Artificial intelligence and radiomics in pediatric molecular imaging. *Methods.* 2021;188:37-43.
48. Hirata K, Manabe O, Magota K, Furuya S, Shiga T, Kudo K. A preliminary study to use SUVmax of FDG PET-CT as an identifier of lesion for artificial intelligence. *Front Med.* 2021;8:647562.