



# Pediatric Cardiac and Pulmonary Nuclear Medicine Applications: Current Diagnostic and Clinical Approaches

## Pediatric Cardiac and Pulmonary Nuclear Medicine Applications: Current Diagnostic and Clinical Approaches

© Mehmet Bozkurt

Arel Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

### Öz

Nükleer Tıp, çocuk hastalarda kardiyak ve pulmoner sistemlerin fonksiyonel değerlendirilmesini mümkün kılar. Konjenital kalp hastalıkları, Kawasaki hastalığı, kalp nakli, kardiyomiyopatiler ve pulmoner vasküler anomaliler gibi çeşitli klinik senaryolarda kullanılan miyokard perfüzyon sintigrafisi [tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi (SPECT) ve pozitron emisyon tomografi (PET)], florodeoksiglukoz (FDG)-PET, radyoşayetli lökosit sintigrafisi, somatostatin reseptör görüntüleme ve metaiyodobenzilguanidin görüntüleme yöntemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. SPECT ve PET ile yapılan miyokard perfüzyon görüntüleme, koroner arter anomalileri ve kalp cerrahisi sonrası izlemde vazgeçilmezdir. FDG-PET; enfeksiyon, enflamasyon ve miyokardiyal canlılık değerlendirmesinde değerli bilgiler sağlar. F-18 FDG PET/bilgisayarlı tomografi, ventriküler destek cihazı enfeksiyonlarının tanısında ve konjenital kalp hastalıklarında kullanılan protez materyallerin değerlendirilmesinde duyarlılığı yüksek bir yöntemidir. Pulmoner perfüzyon sintigrafisi, pulmoner arter darlığı, venöz obstrüksiyon ve emboli gibi durumlarda güvenilir sonuçlar verir. Mukosiliyer klirens ölçümleri, kistik fibrozis gibi hastalıklarda fizyopatolojinin anlaşılmasına ve tedavi takibine katkı sağlar. Yeni radyofarmasötikler ve ileri görüntüleme sistemleri sayesinde tanısal doğruluk artmakta ve düşük radyasyon dozları ile çocuk sağlığı korunmaktadır. Bu sayede, Nükleer Tıp pediatrik kardiyoloji ve pulmonolojide tamamlayıcı değil, temel bir tanı yöntemi haline gelmektedir. Bu derleme, pediatrik hastalarda kardiyak ve pulmoner

### Abstract

Nuclear Medicine enables functional assessment of the pediatric cardiovascular and respiratory systems. Various nuclear imaging modalities, including myocardial perfusion scintigraphy [single photon emission computerized tomography (SPECT) and positron emission tomography (PET)], fluorodeoxyglucose (FDG)-PET, radiolabeled leukocyte scintigraphy, somatostatin receptor imaging, and methaiodobenzylguanidine scintigraphy, are analyzed in the context of congenital heart disease, Kawasaki disease, heart transplantation, cardiomyopathies, and pulmonary vascular anomalies. Myocardial perfusion imaging using SPECT and PET is essential for evaluating coronary anomalies and post-surgical follow-up. FDG-PET is a valuable tool for assessing infection, inflammation, and myocardial viability. F-18 FDG PET/computed tomography demonstrates high sensitivity in diagnosing infections related to ventricular assist devices and prosthetic materials in congenital heart repair. Pulmonary perfusion scintigraphy is a reliable method for detecting pulmonary artery stenosis, venous obstruction, and embolism. Additionally, mucociliary clearance imaging contributes to understanding and monitoring diseases such as cystic fibrosis. With the advancement of new radiopharmaceuticals and high-resolution imaging systems, diagnostic accuracy increases while minimizing radiation exposure. Consequently, nuclear imaging is becoming not merely complementary but a core diagnostic tool in pediatric cardiology and pulmonology. This review aims to present the indications, radiopharmaceuticals, imaging techniques, and clinical relevance of Nuclear

### Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Bozkurt, Arel Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

E-posta: mehmetbozkurt@hotmail.com ORCID ID: orcid.org/0000-0002-8325-5249

Geliş Tarihi/Received: 19.05.2025 Kabul Tarihi/Accepted: 22.07.2025 Yayınlanma Tarihi/Publication Date: 29.07.2025

Cite this article as/Atıf: Bozkurt M. Pediatric cardiac and pulmonary nuclear medicine applications: current diagnostic and clinical approaches. Nucl Med Semin. 2025;11:92-106



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 makedir.

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.

Nükleer Tıp uygulamalarının endikasyonlarını, kullanılan radyofarmasötikleri, görüntüleme tekniklerini ve klinik değerlerini güncel literatür ışığında sunmayı amaçlamaktadır. **Anahtar Kelimeler:** Pediatrik nükleer tıp, miyokard perfüzyonu, PET/BT, pulmoner sintigrafi, çocuk kardiyolojisi

Medicine applications in pediatric cardiac and pulmonary conditions based on current scientific evidence.

**Keywords:** Pediatric nuclear medicine, myocardial perfusion, PET/CT, pulmonary scintigraphy, pediatric cardiology

## Giriş

Nükleer Tıp, günümüzde pediatrik hastalıkların tanı ve tedavisinde önemli bir yer edinmiştir. Özellikle minimal invaziv yöntemlerle organ fonksiyonlarının detaylı bir şekilde görüntülenmesi ve değerlendirilmesi, çocuk hastalarda doğru ve hızlı tanı koymayı mümkün kılar. Gelişmekte olan dokuların hassasiyetini göz önünde bulunduran düşük doz radyasyon protokolleri sayesinde, çocuk sağlığı korunarak güvenli uygulamalar yapılabilmektedir.

Konjenital ve kazanılmış kardiyolojik hastalıkları olan pediatrik hastaların klinik ve cerrahi yönetimindeki önemli ilerlemeler, sağkalım oranlarında belirgin artışa yol açmıştır. Bu değişen klinik tabloda, ileri düzey non-invaziv kardiyak görüntüleme yöntemleri, artan sayıda hayatta kalan hastanın preoperatif planlamasında ve yaşam boyu izleminde hayati bir rol oynamaktadır.

Moleküler görüntüleme, akciğer hastalıklarında önemli bir rol oynamaktadır ve genellikle klinik değerlendirme ve testlere tamamlayıcıdır. Geleneksel radyografi veya bilgisayarlı tomografi (BT) gibi, zaman içinde tek bir anda statik bir görüntü sağlarken, Nükleer Tıp dinamik süreçleri zaman içinde görselleştirme yeteneğine sahiptir ve sadece morfolojik değil, aynı zamanda patofizyolojik bilgiler de sağlar.

Bu yazının amacı, pediatrik hastalarda kardiyak ve pulmoner Nükleer Tıp yöntemlerinin endikasyonlarını, avantaj ve sınırlılıklarını güncel bilimsel gelişmeler ışığında derlemektir.

## Pediatrik Kardiyak Nükleer Tıp

Çocuklarda nükleer kardiyolojinin başlıca kullanım alanları, genellikle konjenital veya edinilmiş koroner arter anomalileri bulunan hastalarda koroner dolaşımın değerlendirilmesi amacıyla yapılan miyokard perfüzyon görüntülemesi (MPG) ve miyokard canlılığının belirlenmesidir. Bunlara ek olarak; endokardit, miyokard ve perikard enflamasyonlarının görüntülenmesi, somatostatin reseptör sintigrafisi ve kardiyak sempatik inervasyonun değerlendirilmesi de önemli uygulama alanları arasında yer almaktadır.

## Klinik Endikasyonlar

### Kawasaki Hastalığı

Kawasaki hastalığı (KH), nedeni bilinmeyen akut sistemik bir vaskülitir. Başta koroner arterler olmak üzere, küçük ve orta çaplı arterleri etkiler.

Kuzey Amerika ve Japonya'dan en güncel KH kılavuzları, uzun dönem takipte MPG kullanımını tartışmaktadır. Buna göre: Koroner anevrizması olan veya daha önce olmuş tüm hastalarda (küçük ve/veya gerilemiş anevrizmalar dahil) veya semptomu olan ya da ventrikül disfonksiyonu bulunan hastalarda her 1-5 yılda bir stres testi ile indüklenabilir miyokard iskemisinin değerlendirilmesi önerilmektedir (sınıf IIa; kanıt düzeyi B) (1,2). Kawasaki öyküsü olan çocuklarda yapılan teknesyum-99m (Tc-99m)-tetrafosmin- tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi (SPECT), koroner darlığa bağlı stres kaynaklı iskemiye tespit etmede %90 duyarlılığa, %85-100 arasında değişen özgüllüğe sahiptir (3). Ayrıca, anjiyografik darlıkların zaman içindeki kötüleşmesini ya da düzelmesini takip etme olanağı sunar.

Anevrizma öyküsü olsun ya da olmasın, takipte Kawasaki'li çocukların %12-19'unda sabit ve/veya stres kaynaklı perfüzyon defektleri gösteren anormal MPG paternleri tespit edilmiştir (4).

Infant döneminde KH geçirmiş adolesanlarda, N-13-amonyum (N-13-NH<sub>3</sub>)- pozitron emisyon tomografisi (PET) ile yapılan perfüzyon değerlendirmesi, adenosin ile vazodilatasyon sonrası koroner akım rezervinde azalma göstermiştir. Bu da, uzun vadeli endotel disfonksiyonu varlığına işaret eder (5).

Miyokard canlılığını değerlendirmek için F-18 florodeoksiglukoz (FDG)-PET kullanılabilir (6).

### Koroner Arterlerin Konjenital Anomalileri

Pulmoner arterden köken alan sol koroner arter (ALCAPA), genellikle izole bir lezyon olarak görülen, nispeten yaygın bir konjenital anomalidir ve yaklaşık %0,25-0,5 sıklıkta rastlanır (7). ALCAPA olgularında, ameliyat sonrası izleminde iskemik miyokard alanını değerlendirmek

amacıyla SPECT sık kullanılır. Aynı zamanda ameliyat öncesi miyokard canlılığı değerlendirmesi için de faydalıdır; sol ventrikülde radyofarmasötik tutulumu %50 veya üzerinde olan hastalar revaskülarizasyon girişimlerinden fayda görebilir. Ayrıca ALCAPA'da, hiberne miyokardın tanımlanması, cerrahi onarım sonrası iyileşme olasılığını öngörmek açısından değerlidir (8).

### Büyük Damarların Transpozisyonu

Büyük damarların transpozisyonu (BDT) durumunda, aort ve pulmoner arter konjenital olarak yanlış ventriküllere bağlanır. Bu durum genellikle izole bir anomalidir ve doğumdan kısa süre sonra derin siyanoza yol açar. Cerrahi yapılmadığı takdirde bir yıllık yaşam beklentisi %20'nin altındadır. Günümüzde primer arteriyel "switch" operasyonu (ASO) tercih edilen tedavi şeklidir.

BDT için yapılan ASO sonrası erken ve geç mortalite, çoğunlukla koroner arter komplikasyonlarıyla ilişkilidir (9). Birçok çalışmada, SPECT veya PET ile yapılan MPG'nin bu hastalarda oldukça faydalı olduğu gösterilmiştir (10). MPG ile tespit edilen perfüzyon defektleri, takip sırasında hastaların %5 ila %24'ünde görülmekte ve bu defektler, operasyondan 10 yıl sonra bile devam edebilmektedir (11). Sugiyama ve ark. (12), ASO geçirmiş 110 çocukta anjiyografi ve MPG sonuçlarını karşılaştırmış ve SPECT'in, kendiliğinden düzelebilen lezyonlar ile ilerleyen darlıkları ayırt etmede güvenilir olduğunu göstermiştir. Bengel ve ark. (13), ASO geçirmiş 22 asemptomatik çocuk hastada, N-13-NH<sub>3</sub>-PET ile yapılan miyokardiyal kan akımı kantitatif analizinde, sağlıklı yetişkinlerden oluşan kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde koroner rezerv azalması tespit etmiştir.

### Kardiyomiyopatiler

Pediatrik hastalarda kardiyomiyopatilerin değerlendirilmesinde, miyokard perfüzyon SPECT, kardiyak pompa fonksiyonu ve miyokard fonksiyonu hakkında önemli bilgiler sunar (6). Hipertrofik kardiyomiyopatide miyokard iskemisinin hastalığın patofizyolojisine katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Bu durum, genellikle hipertrofik segmentlerde subendokardiyal perfüzyonun azalması, intramural küçük damarların basıya uğraması ve miyokardiyal köprüleşme ile ilişkilidir. Mikrovasküler iskemi, sol ventriküler "remodeling", diyastolik ve sistolik disfonksiyon gelişiminde rol oynayabilir; bu da hem çocuklarda hem erişkinlerde klinik sonuçları etkiler (14). MPG, miyokard iskemisinin non-invaziv

olarak saptanmasında güvenilir bir yöntem olarak, risk sınıflamasına ve tedavi kararlarına katkı sağlar (15).

Dilate kardiyomiyopatilerde, iskemik nedenler çocuklarda nadir görülse de, MPG bazen bu olasılığı dışlamak için kullanılabilir. Örneğin; orak hücreli anemi gibi koroner mikrovasküler perfüzyonu etkileyen hastalıklarda, MPG, sol ventrikül hasarının altta yatan mekanizmasını ayırt etmede yardımcı olabilir (16). Bu hastalarda, normal anjiyografiye rağmen MPG ile saptanan mikrosirkülasyon bozuklukları, nadiren atriyoventriküler (AV) blok gibi iletim sorunlarının nedeni olabilir (17).

MPG'nin kullanımının, bazı nadir konjenital koroner hastalıklarda da olumlu sonuçları rapor edilmiştir:

- Koroner tutulumu olan Williams sendromu (18),
- Kompleks konjenital kalp hastalıkları (örneğin; sağ ventrikül koroner sinüzoidleriyle birlikte seyreden pulmoner atrezi - intakt ventriküler septum) (19).

### Kalp Nakli

Kalp nakli sonrası uzun dönem komplikasyonlardan biri, kardiyak allograft vaskülopatisi (KAV) gelişimidir. Çocuklarda bu komplikasyon, ölüm ve yeniden nakil gereksiniminin önde gelen nedenlerinden biridir. Hastalık, hem distal hem de proksimal koroner arterleri tutar ve sistolik disfonksiyon, artmış dolum basıncı gibi fonksiyonel bozukluklarla ilişkilidir. Koroner anjiyografi, hem erişkin hem de pediatrik kalp nakli alıcılarında önerilen takip yöntemi olsa da, distal damar yapılarının ve mikrovasküler değişikliklerin de etkili olması nedeniyle tanı anjiyografiyle dahi zordur. Nükleer görüntüleme takipte tamamlayıcı olarak kullanılabilir (8). Maiers ve Hurwitz (20), KAV tanısında en doğru yaklaşımın, ekokardiyografi, stres SPECT ile miyokard perfüzyon değerlendirmesi ve koroner anjiyografinin bir arada kullanıldığı multimodaliter bir strateji olduğunu göstermiştir.

### Kullanılan Radyofarmasötikler

#### SPECT Radyofarmasötikleri

SPECT ile yapılan MPG'de en sık kullanılan radyofarmasötikler, Tc-99m ile işaretli bileşiklerdir (Sestamibi ve Tetrofosmin). Talyum-201 klorür günümüzde pek tercih edilmemektedir.

- Tc-99m-Sestamibi (2-metoksiizobütilizonitril) ve
- Tc-99m-Tetrofosmin [(1,2-bis[bis(2-etoksietil)fosfino]etan)]

## PET Radyofarmasötikleri

### N-13-NH<sub>3</sub>

PET ile yapılan MPG, erişkinlerde yüksek uzaysal çözünürlük ve miyokard kan akımı ölçümüne olanak tanıyan kantitatif analiz yetenekleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (21). Ancak, pediatrik hastalar için PET ile yapılan MPG üzerine sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların çoğu, özellikle koroner anomalilerin değerlendirilmesinde ve BDT sonrası ASO geçiren hastalarda, N-13-NH<sub>3</sub> kullanımına odaklanmıştır (22).

### 82Rubidyum (Rb-82)

Rb-82 PET'in çocuklarda uygulanmasına ilişkin olarak yalnızca bir çalışma yapılmıştır (23). Bu çalışmada koroner arter hastalığının tespitine yönelik umut verici sonuçlar elde edilmiş ve Rb-82 PET'in pediatrik hastalarda uygulanabilirliği gösterilmiştir.

### Perfüzyon PET için Yeni Geliştirilen F-18 ile İşaretli Radyofarmasötikler

Tanısal doğruluğun artırılmasına katkı sağlayacaktır. Çünkü F-18, N-13 ve Rb-82'ye kıyasla dokularda daha kısa pozitron menziline sahiptir ve bu da daha yüksek uzaysal çözünürlük ile görüntüleme olanağı sağlar (24).

Bu bağlamda:

- F-18-Flurpiridaz ve
- F-18-Fluorobenziltrifenil-fosfonyum (F-18-FBnTP)

Miyokard perfüzyon PET için gelecek vadede ajanlar olarak öne çıkmaktadır.

### Stres Testi ve Hasta Hazırlığı

Eğer stres testi planlanıyorsa ve sedasyon uygulanacaksa, anesteziyoloji yönergelerine göre genellikle açlık gereklidir. Bu bağlamda, pediatrik nükleer kardiyolojide hareketsiz görüntüleme elde etmek en önemli sorunlardan biridir. Sedasyon, özellikle 5-6 yaşına kadar olan küçük çocuklarda oldukça faydalıdır. Yenidoğanlarda veya süt çocuklarında ise, beslenme sonrası uyku süreci, görüntüleme için avantajlı bir zaman dilimi sunabilir.

Ayrıca, beta blokerler ve kalp hızını etkileyebilecek diğer ilaçların, mümkünse görüntüleme öncesinde kesilmesi önerilir.

### Stres Testi

Nükleer kardiyolojide MPG için stres testi şu yollarla yapılabilir:

- Fiziksel stres etkenleri (tercihen bisiklet ergometresi veya koşu bandı),

- Farmakolojik stres ajanları (genellikle dipiridamol, adenozin veya dobutamin).

### Fiziksel stres testi

Daha fizyolojik bilgi sunar; ancak hastadan yüksek düzeyde uyum gerektirir. Bu bağlamda, pediatrik hastalarda maksimum tahmini kalp hızına ulaşmak, koroner akım rezervindeki anormallikleri açığa çıkarmak açısından oldukça zordur. Bu nedenle, pediatrik MPG'nin, bu alanda deneyimli ve çocuklarla çalışma konusunda yüksek beceriye sahip bir ekip tarafından gerçekleştirilmesi önemlidir.

### Farmakolojik Stres Ajanları

#### Adenozin

Adenozin, pediatrik hastalarda en sık kullanılan farmakolojik stres ajanıdır (25). Klinik uygulamada, adenozinin kan dolaşımında çok kısa bir yarı ömre (10 saniye) sahip olması nedeniyle tercih edilir; bu sayede bronkospazm (A2B ve A3 reseptörlerinin aktivasyonu sonucu), AV blok (A1 reseptörlerinin aktivasyonu sonucu) ve periferik vazodilatasyon (A2B reseptörlerinin aktivasyonu sonucu) gibi yan etkiler hafif düzeyde görülür ve hızla kaybolur.

Adenozinle etkileşen kafein türevlerinden biri olan ksantin (çikolatada bulunur) nedeniyle, bu maddeyi içeren ürünlerin testten en az 12 saat önce tüketilmemesi önerilir.

Dipiridamol, pediatrik nükleer kardiyolojide stres görüntüleme testlerinde kullanılan bir başka farmakolojik stres ajanıdır. Yan etkileri adenozin ile benzerdir ve ksantin içeren ürünlerden test öncesinde kaçınılmalıdır. Ancak adenozine kıyasla daha uzun bir yarı ömre sahiptir (30-45 dakika).

Regadenozon, adenozine kıyasla daha az yan etki profiline sahiptir-özellikle AV blok regadenozonda daha az görülür. Ayrıca, miyokard stres perfüzyon manyetik rezonans (MR) görüntüleme incelemelerinde farmakolojik stres etkeni olarak pediatrik hastalarda kullanımına dair uygunluğunu gösteren çalışmalar da mevcuttur (26). Erişkin hastalarda yaygın olarak kullanılmasına rağmen, mevcut bilgilere göre pediatrik nükleer kardiyolojide MPG'de farmakolojik stres etkeni olarak regadenozon kullanımına dair yayınlanmış bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak, sahip olduğu olumlu özellikler, bu ilacın çocuklarda kullanımını önermemize olanak sağlayabilir.



## Görüntüleme Teknikleri

### SPECT Görüntüleme

Küçük kalplerde tanı doğruluğunu artırmak amacıyla uzaysal çözünürlük artırılabilir ve bu da iteratif algoritmalar kullanılarak görüntü rekonstrüksiyonuyla sağlanabilir. Çocuklarda ek radyasyon maruziyetinden kaçınmak için BT tabanlı düzeltme yöntemlerinden kaçınılması önerilmektedir (Şekil 1).

Kantitatif Gated SPECT ile elde edilen parametreler söz konusu olduğunda, hekimlerin özellikle sol ventrikül ejeksiyon fraksiyonu değerlerinin, küçük kalplerde yazılım tarafından abartılı şekilde yüksek hesaplanabileceğinin farkında olması gerekir.

Ayrıca, kantitatif perfüzyon SPECT analizleri, pediatrik nükleer kardiyolojide referans polar haritaların eksikliği nedeniyle sınırlıdır.

Ayrıca birçok pediatrik hasta, kalbe özel gama kameralardan fayda görebilir. Kullanımı giderek artan bu kameralar;

- Geleneksel kameralara kıyasla daha yüksek uzaysal çözünürlük,
- Artmış miyokard sinyal duyarlılığı sayesinde daha düşük radyofarmasötik dozu ile işlem yapma olanağı sunar ve böylece radyasyon dozunu azaltmaya yardımcı olur.

### PET Görüntüleme

#### Miyokardiyal Canlılık (Viabilite)

Miyokardiyal canlılığın değerlendirilmesi, KH, ALCAPA ve BDT bulunan pediatrik hastalarda koroner cerrahinin

etkinliğini belirlemede önemli bir rol oynar. Bu amaçla günümüzde, daha yüksek uzaysal çözünürlük ve daha hızlı protokol avantajları nedeniyle F-18-FDG PET, miyokardiyal canlılık değerlendirmesinde altın standart kabul edilmektedir (27).

Erişkinlerde uygulanan miyokardiyal viabilite hazırlığının aksine, çocuk hastalarda görüntüleme öncesi açlık gerekmez ve insülin enjeksiyonuna ihtiyaç yoktur.

Kan şekeri ölçümünden sonra, hastaya oral glikoz çözeltisi (1.5 g/kg, maksimum 50 g) verilir. Kırk beş dakika sonra kan şekeri yeniden değerlendirilir ve F-18-FDG enjekte edilir. Görüntüleme, enjeksiyondan yaklaşık 45 dakika sonra yapılır. Oral alım mümkün değilse, intravenöz glikoz (%25 veya %50; 0,3 g/kg; 15 dakika içinde) uygulanabilir (28).

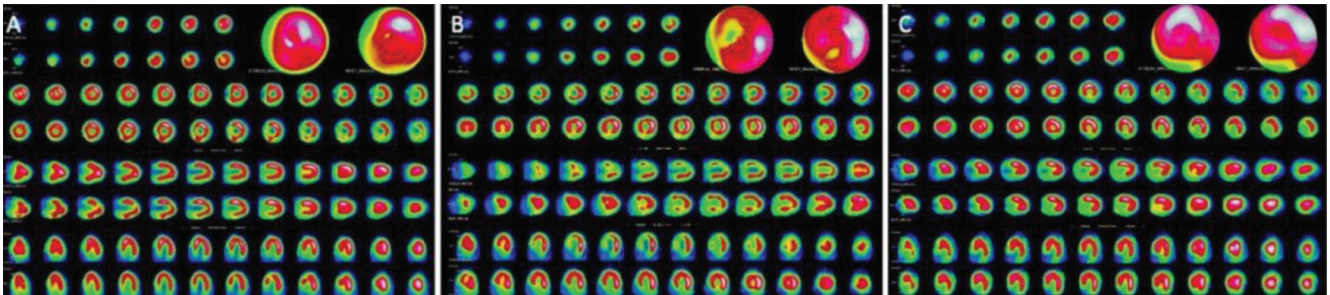
#### Enfeksiyon ve Enflamasyonların Değerlendirilmesi

##### Miyokardiyal Baskılama:

Baskılama protokolünün ana amacı, kalbin fizyolojik glikoz tüketimini azaltarak yağ asidi metabolizmasını ön plana çıkarmaktır. Erişkinlerde kullanılan çeşitli baskılama protokolleri çocuklar için de önerilmiştir. Bunlar arasında:

- Yirmi dört saatlik düşük karbonhidrat diyeti (dekstroz infüzyonundan kaçınılması dahil),
- On iki saat veya daha uzun süreli açlık,
- F-18-FDG enjeksiyonundan 45 dakika (5 Üİ/kg IV) ve 15 dakika (10 Üİ/kg IV) önce düşük doz IV heparin verilmesi yer alır.

Anne sütü veya formül mama ile beslenen bebeklerde miyokardiyal baskılama çalışmaları genellikle uygulanamaz.



**Şekil 1.** Pediatrik hastada miyokard perfüzyon SPECT görüntüleme örneği. **A.** İstirahat ve stres görüntülerinde normal miyokard perfüzyonu izlenmektedir, **B.** Sol ön inen koroner arter darlığına bağlı, stres görüntülemesinde ortaya çıkan ve istirahatte kaybolan (reversibl) anteroseptal/apikal perfüzyon defekti gözlenmektedir. Bu bulgu miyokard iskemisini düşündürmektedir, **C.** Hem istirahat hem stres görüntülerinde sabit inferior defekt (fikse defekt) görülmektedir ve miyokard enfarktüsü veya hiberne miyokard dokusuyla uyumludur (Orijinal kaynak: Venet ve ark. (8), Frontiers in Pediatrics, 2022. Creative Commons Attribution [CC BY 4.0] lisansı kapsamında kullanılmıştır, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

SPECT: Tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi

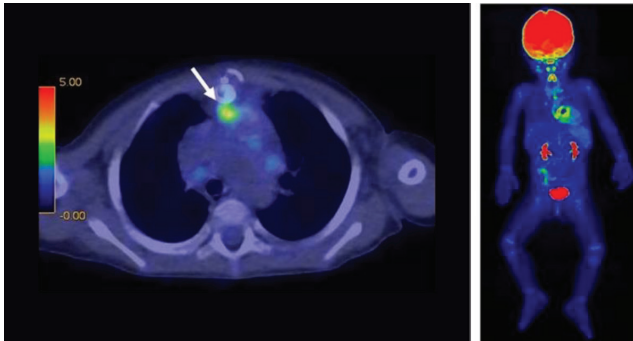
### a. Endokardit

Pediatric hastalarda F-18-FDG PET/BT kullanımı ile ilgili çalışmalar, endokardit ve septik emboli odaklarının yüksek duyarlılıkla saptandığını göstermektedir (29).

Genel olarak konjenital kalp hastalığı olan hastalarda IE insidansı yılda 1000 hasta başına 1,33 olarak bildirilmektedir ve sağ kalp endokarditi daha yüksek oranda görülmektedir (30). Ayrıca, kalp pili sistemleri ve ventriküler destek cihazları (VAD) da bu hasta grubunda sık enfekte olan yapılar arasındadır (31). PET/BT'nin Duke kriterlerine eklenmesi, duyarlılığı %70'ten %97'ye çıkarır (32). Pediatric popülasyonda özel olarak değerlendirme yapılmamış olsa da, uygun protokoller uygulandığında benzer tanılabilir performansın beklenebileceği düşünülmektedir (33). Özellikle pulmoner çıkış yolu protezleri, VAD veya intrakardiyak iletkenler gibi ekokardiyografinin düşük duyarlılığına sahip olduğu durumlarda önemlidir (33).

### b. Konjenital Kalp Hastalığı Onarımı

Konjenital kalp hastalığı onarımları sıklıkla protez materyal gerektirir ve bu da enfeksiyon açısından bir risk faktörüdür (Şekil 2). Bu yöntem, endokarditin



**Şekil 2.** İnfantta sağ ventrikül-pulmoner arter konduiti enfeksiyonunun F-18-FDG PET/BT görüntüsü. Altı aylık, konjenital kalp cerrahisi sonrası sağ ventrikül-pulmoner arter konduit enfeksiyonu şüphesi bulunan bebekte PET/BT görüntüleme yapılmıştır. **Soldaki görüntü:** Aksiyal kesitte PET/BT füzyon görüntüsünde, mediasten ön bölümünde, konduit hizasında artmış FDG tutulumu (ok ile gösterilen bölge; SUV~3,4) görülmekte olup enfeksiyonu desteklemektedir. **Sağdaki görüntü:** Tüm vücut maksimum intensite projeksiyon görüntüsünde fizyolojik FDG tutulum alanları (beyin, kalp, böbrekler, mesane) yanı sıra toraksta patolojik tutulum alanı açıkça seçilebilmektedir (Orijinal kaynak: Kawamura et al. (73), Frontiers in Pediatrics, 2022. Creative Commons Attribution [CC BY 4.0] lisansı kapsamında kullanılmıştır, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

FDG: Florodeoksiglukoz, PET: Pozitron emisyon tomografi, BT: Bilgisayarlı tomografi, SUV: Standart tutulum değeri

ekstrakardiyak komplikasyonlarını göstermek için de kullanılır: örneğin; perikardiyal koleksiyonlar, mediastinit, pulmoner enfeksiyonlar. Endokardit olgularının %15-60'ında septik embolilerle ilişkili ekstrakardiyak enfeksiyon odakları bildirilmiştir (34).

### c. Ventriküler Destek Cihazları

VAD yerleştirilen hastaların %15-20'sinde bir yıl içinde enfeksiyon gelişir. En sık görülen enfeksiyon odağı driveline çıkış noktasıdır. Yalnızca bu alanda enfeksiyon varsa, bölgesel debridman ve antibiyotikle tedavi mümkündür. Ancak enfeksiyon cihazın iç bileşenlerine ilerlemişse, mortalite oranı artar ve daha agresif tedavi gerekir.

Erişkinlerde yapılan çalışmalarda F-18-FDG PET/BT'nin VAD enfeksiyonlarını saptamada duyarlılığı %92, özgüllüğü %83 olarak bulunmuştur. Bu görüntüleme sonucunda hastaların %80'inde tedavi planı değiştirilmiştir (35).

### d. İmplant Edilebilir Kardiyak Elektronik Cihazlar

İmplant edilebilir kardiyak elektronik cihazlar (ICED) enfeksiyonları; yüzeysel insizyonel enfeksiyon, cihaz cebinde enfeksiyon, torasik elektrot enfeksiyonu ve endokardit şeklinde ortaya çıkabilir. Tüm ICED implantasyonlarının %1'inden azı çocuklara uygulanmakla birlikte, pediatrik hastalarda kullanılan cihazların kendine özgü bazı özellikleri vardır. Örneğin; daha küçük çocuklarda veya kavopulmoner bağlantısı olan hastalarda kalp pili uyarısı epikardiyal yolla sağlanır ve cihaz genellikle sol üst karın bölgesine tünellenerek yerleştirilir. F-18-FDG PET/BT, enfeksiyon tanısında, elektrotların kalp dışındaki kısımlarının değerlendirilmesinde ve septik emboli odaklarının lokalizasyonunda etkilidir. Ayrıca yüzeysel doku enfeksiyonunu, cerrahi olarak çıkarılması gereken derin ICED enfeksiyonlarından ayırt etmede oldukça başarılıdır. Yeni bir meta-analizde cihaz cebine özgü enfeksiyonlarda duyarlılık %96, özgüllük %97 olarak bulunmuştur. Elektrot enfeksiyonlarında bu oranlar sırasıyla duyarlılık %76, özgüllük %83 olarak bildirilmiştir (36).

### e. Büyük Damar Vaskülitleri

F-18-FDG ile PET/BT görüntüleme, çocuklarda büyük damar vaskülitlerinin (örneğin; Takayasu arteriti) değerlendirilmesinde de yardımcıdır (37).

### f. Kalp Nakli Reddi

Ayrıca, kalp nakli sonrası olası reddin değerlendirilmesi ve reddin seyrinin izlenmesinde de potansiyel bir rol oynayabilir (38). Özellikle nakil sonrası ilk 6 ayda gelişen akut rejeksiyon epizotlarında, reddedilen kalpteki

enflamatuvar aktivitenin görüntülenmesi mümkündür (38). Sica ve ark. (39), kalp nakli sonrası gelişen lenfoproliferatif hastalıkların erken tanısında F-18-FDG PET/BT'nin yararlılığını göstermiştir.

#### g. Perikardiyal Hastalıklar

F-18-FDG PET/BT, perikard aktivitesini ve/veya perikardiyal efüzyonu değerlendirmede rol oynayabilir. Ayrıca, vücut genelinde tutulum paternlerini göstererek enfeksiyon, bağ dokusu hastalığı veya neoplaziye işaret edebilir (40).

Neoplastik perikardiyal hastalıklarda PET/BT, perikardın doğrudan tutulumu ile paraneoplastik sendromu ayırt etmeye yardımcı olur. Çocuklarda en sık nedenlerden biri, Hodgkin lenfomadır (özellikle büyük mediastinal tutulumla birlikte). Daha nadiren, perikardın primer tümörleri (örneğin; sarkomlar) de görülebilir (41). Perikardiyal efüzyon varlığında, altta yatan maligniteyi dışlamak gerekir.

Enfeksiyöz perikardiyal hastalıklar arasında viral, bakteriyel, fungal ve nadiren paraziter nedenler yer alır. En sık görülen viral perikardit olup, genellikle izole seyirlidir. Tüberküloz perikardit açısından PET/BT özellikle faydalıdır. Tedavi edilmezse, yüksek morbidite ve mortalite ile ilişkilidir. PET/BT, akciğer, kemik veya kolik odakların saptanmasıyla biyopsi yönlendirmesi sağlayabilir.

Konstriktif perikarditin değerlendirilmesinde de önemlidir. Bu durum genellikle geri dönüşümsüz enflamasyon ve perikard fibrozisi ile karakterizedir. Nedeni idiyopatik, cerrahi sonrası, enfeksiyon sonrası veya bağ dokusu hastalıklarına bağlı olabilir. Aktif enflamasyonun gösterilmesi, geçici konstriktif perikardit yönetiminde önemlidir (42).

#### Radyoişaretli Lökosit Sintigrafisi

Nükleer tıpta enfeksiyon tanısında kullanılan tekniklerden biri olan radyoişaretli lökosit sintigrafisi (RLS), teknik olarak daha karmaşık ancak F-18-FDG PET/BT'ye göre bakteriyel enfeksiyonlara daha özgüdür (43). Klinikte yaygın kullanılsa da, özellikle kaynağı bilinmeyen enfeksiyonların tanısında, yenidoğanlar dahil pediatrik hastalarda etkinliği gösterilmiştir (44).

Buteknikte, hastanın lökositleri manuel olarak işaretlenir (genellikle In-111-oksin veya Tc-99m- heksametilpropilen amin oksim ile) ve iki gün boyunca çok aşamalı görüntüleme yapılır. Lökosit birikimi enfeksiyonda yavaş ilerler; bu, enflamasyondan ayırt edici bir özelliktir. Tanı, erken (4-6 saat) ve geç (18-24 saat) görüntüleme arasında

stabil ya da artan lökosit tutulumu odakları varsa konur. RLS, modifiye Duke kriterlerine göre protez kapak endokarditi tanısında majör kriter olarak kabul edilmiştir (32).

#### Somatostatin Reseptör Görüntüleme ve Kardiyak Sempatik İnervasyon

Kalp nakli reddi sürecinde ortaya çıkan enflamatuvar aktivite genellikle lenfosit infiltrasyonu ile karakterizedir ve bu hücreler somatostatin reseptörleri eksprese eder.

Geçmişte Aparici ve ark. (45), kalp reddi sırasında lenfosit aktivitesini değerlendirmek amacıyla In-111-Octreotid ile sintigrafi yapılabilirliğini göstermiştir. Bu amaçla Ga-68-DOTA-peptitleri ile PET görüntüleme yapılması da düşünülebilir ve teorik olarak daha iyi sonuçlar verebilir. Zira PET, sintigrafiye kıyasla daha yüksek uzaysal çözünürlük sağlar ve Ga-68-DOTA-peptitlerinin somatostatin reseptörlerine bağlanma afinitesi, In-111-Octreotid'e kıyasla daha yüksektir (46).

Kardiyak sempatik inervasyon, miyokardiyal kan akımının düzenlenmesinde önemli bir rol oynar.

Radyofarmasötiklerin katekolamin analoglarının kullanımı, kardiyak inervasyon görüntülenmesi sağlar: Metaiodobenzilguanidin (MIBG) ve meta-hidroksiefedrin (mHED), her ikisi de norepinefrin nörotransmitterinin analoglarıdır ve sempatik nöronlar tarafından norepinefrin taşıyıcı aracılığıyla alınırlar.

- I-123-MIBG sintigrafisi ve
- C-11-mHED PET, kalbin sempatik sinir sisteminin değerlendirilmesinde kullanılır. Bu amaçla pediatrik hastalardaki kullanımları ile ilgili çalışmalar mevcuttur (47,48).

Bu sistemin bozulması, aşağıdaki pediatrik hasta gruplarında gözlemlenebilir:

- Fallot tetralojisi (48),
- KH'de, muhtemelen koroner arter darlıklarına bağlı olarak (49),
- Kalp cerrahisi sonrası, kardiyak otonom sinir sisteminde bozulma sık görülür. Bu durum genellikle kalbin sinir ağına doğrudan cerrahi travma, uzun süren aort klemp uygulaması ya da koroner manipülasyonlara bağlı iskemik hasar ile ilişkilidir. Possner ve ark. (50), BDT için ASO sonrası tam olmayan yeniden innervasyonun, sempatik stimülasyona azalmış miyokardiyal perfüzyon yanıtını açıklayabileceğini göstermiştir.

- Kalp nakli, tam kalp denervasyonu ile sonuçlanır (51).
- Konjenital uzun QT sendromu (52) gibi hastalıklarda MIBG tutulumundaki heterojenliğin aritmi riskiyle ilişkili olduğunu göstermiştir.
- Kardiyomiyopati gibi kalp yetmezliği olan çocukların değerlendirilmesi için yararlı görüntüleme teknikleridir (örneğin; dilate kardiyomiyopati) (53). Bu bağlamda, Karasawa ve ark. (54) I-123-MIBG ile miyokard sintigrafisinin, kalp yetmezliği olan 33 pediatrik hastada (8 kardiyomiyopati olan çocuk dahil) mortalite ve tedavi sonuçlarının bir belirleyicisi olarak rolünü göstermiştir. Ayrıca, I-123-MIBG'nin bozulmuş uptake'i, özellikle aritmojenik sağ ventrikül kardiyomiyopatisi olan hastalarda ventriküler taşikardiler için daha yüksek bir risk ile ilişkilidir (54). İskemik kardiyomiyopatilerde, otonom görüntüleme, sol ventrikül ejeksiyon fraksiyonuna göre hayatı tehdit eden ventriküler aritmileri daha iyi öngörebilir (55).
- Nörokardiyojenik senkop şüphesi olan çocuklarda da kullanılabilir. MIBG ile sol ventrikülde artmış tutulum, sempatik hiperaktivitenin bir göstergesi olabilir (56).

Ancak, norepinefrin tutulumundaki patolojik paternlerin prognoz üzerindeki etkisi hala tam olarak anlaşılamamıştır ve bu nedenle otonomik nükleer görüntüleme, günlük pediatrik kardiyoloji pratiğinde rutin olarak kullanılmamaktadır.

### Kardiyak Malignite

Nükleer görüntüleme pediatrik onkolojide yaygın kullanılmasına rağmen, pediatrik kardiyak tümörlerde kullanımı sınırlıdır. Bu tümörlerin %90'ı benignidir ve tanı çoğunlukla ekokardiyografi ve/veya MR ile konur.

Ancak atipik olgularda ve malignite şüphesi varsa, F-18-FDG PET/BT, benign ve malign lezyonları ayırt etmekte yardımcı olabilir. Ayrıca, metastatik hastalıkta primer lezyonun tespiti, evreleme, biyopsi yeri seçimi veya radyoterapi planlamasında da kullanılabilir.

Bu alanda çocuklara özel veri sınırlıdır. Birkaç olguda, tüm vücut PET/BT ile miyokard metastazlarının tespiti bildirilmiştir (57). Ancak özgül bir çalışma henüz yapılmamıştır.

### Pediatrik F-18-FDG PET/MR Kardiyovasküler Görüntüleme

Hibrit PET/MR sistemleri, pediatrik hastalar için birçok avantaj sunar; PET'in fonksiyonel bilgilerini, MR'ın yüksek kontrastlı yapısal çözünürlüğü ve anatomik doğruluğu ile birleştirir. PET/MR, atenüasyon düzeltilmesi veya mekansal eşleştirme için ek BT gerektirmez, bu da daha avantajlı bir dozimetri sağlar. Ancak, tüm vücut PET/MR çekimleri PET/BT'ye kıyasla daha uzun sürer ve genellikle sedasyon gerektirir. Ayrıca, konjenital kalp hastalığı olan çocuklarda sık görülen pacemaker veya mekanik kapak gibi cihazlar MR ile uyumsuz olabilir veya artefakta yol açabilir. PET/MR ayrıca görüntü alanının kesilmesi, atenüasyon düzeltilmesi ve hareket gibi artefaktlara da neden olabilir.

Çocuklarda kardiyak MR teknik açıdan zorludur. Doğru görüntüleme için elektrokardiyografi eş zamanlaması gerekir, ancak bu işlem hızlı kalp atımı olan bebeklerde veya pacemaker'ı olan hastalarda teknik olarak zordur. MR anjiyografi için uygun kontrastlanmış görüntüler elde edebilmek için solunum tutma yeteneği ve hastanın boyutuna göre sekanslar uyarlanmalıdır. PET bileşenine solunum senkronizasyonu eklenebilir; ancak, MR tabanlı navigator'lara kıyasla solunum bandı kullanımı daha etkilidir (58).

PET/MR, KH, anormal koroner arterler, iskemik ve non-iskemik kardiyomiyopatilerin ayrımı gibi durumlarda akım, metabolizma ve kardiyak fonksiyonun değerlendirilmesine olanak sağlar. Ayrıca, canlılık değerlendirmesi için F-18-FDG ile kombine edilebilir; geç gadolinyum zenginleştirme görüntüleme ile skar dokusunun saptanması, yağ içeriği, doku ödemi ve enflamasyonun belirlenmesi ile miyokardit gibi infiltratif hastalıkların değerlendirilmesine de yardımcı olur (59).

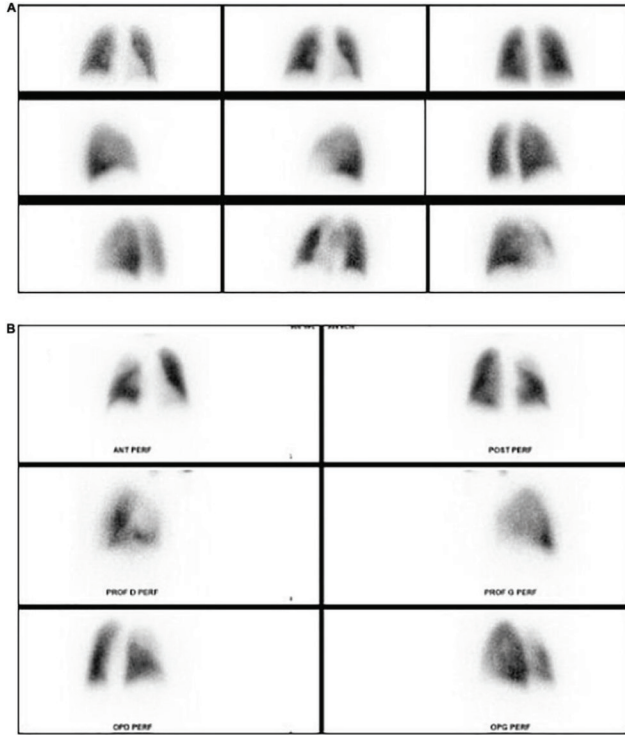
### Pediatrik Pulmoner Nükleer Tıp

#### Akciğer Perfüzyon Sintigrafisi

Tc-99m ile işaretli makroagregat albümin (MAA) kullanılarak yapılan akciğer perfüzyon sintigrafisi (APS), akciğer perfüzyonunu kantitatif olarak değerlendirmek ve görel akım dağılımını belirlemek için en yaygın kullanılan Nükleer Tıp tekniğidir (Şekil 3).

Çocuk hastalarda, Tc-99m-MAA dozlaması vücut ağırlığına göre ayarlanır. Bu sayede, akciğer kapiller damarlarının %0,1'inden fazlasının tıkanması gibi klinik olarak anlamlı embolizasyon riski ve aşırı radyasyon maruziyeti önlenmiş olur (60).





**Şekil 3.** Çocukta akciğer ventilasyon-perfüzyon (V/Q) sintigrafisi örneği. **A.** Normal bilateral akciğer perfüzyon görüntüsü. Her iki akciğerde homojen perfüzyon dağılımı izlenmektedir, **B.** Sağ üst lobda izlenen belirgin perfüzyon defekti. Bu bulgu pulmoner emboliyi düşündürmektedir. V/Q taramalarında ventilasyonun normal olduğu ancak perfüzyonun azaldığı bölgeler “mismatch” olarak tanımlanır ve tipik olarak pulmoner emboliyi işaret eder.

(Orijinal kaynak: Venet ve ark. (8), Frontiers in Pediatrics, 2022. Creative Commons Attribution [CC BY 4.0] lisansı kapsamında kullanılmıştır, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

İntravenöz enjeksiyon sonrası, radyoaktif partiküller pulmoner dolaşımdaki kan akımına göre her iki akciğere dağılır ve sonuçlar, her bir akciğere düşen toplam akciğer kan akımının yüzdesi olarak ifade edilir.

APS, en az anterior ve posterior projeksiyonlardan elde edilen birden fazla planar görüntüleme ile yapılır; özel bir hazırlık gerekmez ve bebeklerde bile sedasyona ihtiyaç duyulmaz (61). APS, pulmoner kan akımı dağılımının değerlendirilmesinde halen klinik referans yöntemi olarak kabul edilmektedir ve konjenital kalp hastalığı olan çocuklarda her yaşta, 50 yılı aşkın süredir kullanılmaktadır (61). Alternatif olarak, SPECT, akciğer perfüzyonunun 3 boyutlu görüntülemesini sağlamak için kullanılabilir. SPECT, daha yüksek görüntü kontrastı (yani daha fazla duyarlılık) sağladığı için bazı araştırmacılar tarafından önerilmektedir (62).

Ancak, SPECT ile görüntülemede, özellikle küçük çocuklarda yaklaşık 15 dakikalık hareketsizlik gereksinimi nedeniyle sedasyon gerekebilir; planar APS için bu süre yalnızca 2 dakikadır.

### APS'nin Başlıca Endikasyonları

APS'nin en önemli endikasyonu, pulmoner vasküler anomalilerin hemodinamik etkisini değerlendirmektir. Bunlar arasında:

- Pulmoner arter veya ven darlığı,
- Pulmoner emboli (PE),
- Arteriyovenöz fistül,
- Aortopulmoner kollateraller yer alır.

Özellikle pulmoner arter darlığında, APS, darlığın hemodinamik etkisi hakkında kritik bilgiler sağlar. Kuzey Amerika pediatrik kardiyak kateterizasyon kılavuzları, iki akciğer arasında %35/%65 veya daha fazla akım farkı varsa bu durumu önemli darlık olarak tanımlar (63).

APS ayrıca, pediatrik pulmoner arteriyel hipertansiyon olgularında etiyolojik değerlendirme amacıyla da kullanılabilir (64). Pulmoner ven darlığı durumunda, anjiyografi ile karşılaştırmalı değerlendirmede APS'nin duyarlılığı %72, özgüllüğü ise %83 olarak bildirilmiştir (65).

### APS'nin Avantaj ve Sınırlamaları

APS'nin en büyük avantajı, her yaşta sedasyon gerektirmeden kolay ve hızlı uygulanabilir olmasıdır. Ancak yorum hataları, sıklıkla akciğer akımını etkileyen faktörlerle ilişkilidir. Bu nedenle:

- Enjeksiyon bölgesi (örneğin; Fontan dolaşımında bir akciğere yönlü kaval akım) dikkatli seçilmeli,
- Cerrahi geçmiş mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Nadir ama önemli bir tuzak ise, her iki pulmoner arterde simetrik darlık bulunması durumunda, her iki akciğere de eşit perfüzyon izlendiği için anomali fark edilemeyebilir.

### Pulmoner Arter Stenozu

Fallot tetralojisi hastalarında cerrahi sonrası en sık görülen komplikasyonlardan biri, pulmoner arter dalı darlığıdır. Bu durumda, Tc-99m-MAA ile yapılan APS, perfüzyonun değerlendirilmesinde sık kullanılan bir yöntemdir.

Ventilasyon sintigrafisi (Tc-99m-Technegas ile) ve SPECT ile birlikte yapılması durumunda, perfüzyon sintigrafisinin tanısal değeri artırılabilir (62).

### Primer Pulmoner Ven Stenoza

Primer pulmoner ven stenoza, miyofibroblastların neoplastik proliferasyonu sonucu oluşan intraluminal pulmoner ven obstrüksiyonu ile karakterize nadir bir hastalıktır.

Drubach ve ark.'nın (65) yaptığı retrospektif bir çalışmada, akciğer sintigrafisi bulgularıyla anjiyografi sonuçları arasında anlamlı korelasyon gösterilmiştir.

### Pulmoner Emboli

PE, erişkinlere kıyasla pediatrik popülasyonda daha az sıklıkta görülür. Ancak kronik hastalığı olan çocukların sağkalım oranlarının artmasıyla birlikte, PE gibi komplikasyonların riski de artmıştır (Şekil 3B) (66).

Çeşitli çalışmalar, çocuklarda PE'nin sıklıkla yeterince tanınmadığını ve hekimlerin genellikle PE'yi değerlendirmek için gerekli testleri istemediğini göstermektedir (66).

### Ventilasyon Ajanları

Kullanılan ventilasyon ajanlarının özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

### Yorumlama

PE tanısına yardımcı olmak için çeşitli diagnostik şemalar geliştirilmiştir. Bunlar arasında:

- Biello kriterleri,
- PE tanısının prospektif incelenmesi (*Prospective investigation of pulmonary embolism diagnosis* - PIOPED),
- ve modifiye PIOPED II kriterleri bulunur.

Bu kriterler genellikle PE olasılığını "düşük, orta veya yüksek" olarak sınıflandırır. Ancak bu kriterler çocuklarda valide edilmemiştir (Tablo 2).

Klinik uygulamada, hekimler genellikle katı kuralları takip etmez; çeşitli kriterleri ve klinik deneyimlerini (Gestalt yorumu) birlikte kullanırlar (67).

### Trinary Yorumlama Sistemi

Glaser ve ark. (68), üçlü (trinary) bir yorumlama sistemi önermiştir. Bu sistemde:

- Normal, düşük, ve çok düşük olasılık → PE yok,
- Yüksek olasılık → PE var,

- Orta olasılık → tanısal değil (non-diagnostic) olarak değerlendirilir.

Aynı çalışmada:

- Ventilasyon/perfüzyon (V/Q) uyumsuzluğu olan tek segmental defekt, PE pozitif olarak kabul edilmiştir.
- Bu sistem, klasik olasılık algoritmasıyla karşılaştırılmış ve yanlış negatiflik oranlarında anlamlı bir fark görülmemiştir ( $p=0,63$ ).
- Altı yüz altmış dört hastanın %8,4'ü PE pozitif, %3,5'i tanısal değil, %88,1'i PE negatif olarak değerlendirilmiştir.
- Çocuklardan oluşan 20 kişilik bir alt grupta ise %10 pozitif, %5 tanısal değil ve %85 negatif sonuç bulunmuş; her iki sistemle de yanlış negatif olgu gözlenmemiştir.

### Diğer Bulgular ve SPECT'in Rolü

Gelfand ve ark. (69), altta bilinen akciğer hastalığı veya PE öyküsü olmayan çocuklarda, minimal modifiye Biello kriterlerinin kullanılmasıyla %15 gibi düşük bir belirsiz sonuç oranı elde etmişlerdir. Gelfand, V/Q taramasının CTA'ya göre daha az radyasyon içerdiğini ve PE şüphesi olan çocuklarda güvenle kullanılabileceğini belirtmiştir. Ventilasyon ve perfüzyon için SPECT veya SPECT/BT kullanımı, V/Q taramanın tanısal doğruluğunu daha da artırır ve belirsiz sonuçların oranını azaltır (70). Ancak çocuklarda PE değerlendirmesi için SPECT veya SPECT/BT'nin değeri henüz kesin olarak kanıtlanmamıştır.

### Mukosiliyer Klirens Ölçümü

Bu yöntemde, hastaya inhale ettirilen Tc-99m ile işaretlenmiş sülfür kolloid veya MAA partiküllerinin akciğerlerdeki dağılımı ve temizlenme hızı gama kamera ile izlenir. Bu teknik, mukosiliyer transport sisteminin etkinliğini değerlendirmek için kullanılır. Özellikle kistik fibrozis (KF) gibi mukus birikimi ve silier disfonksiyonun olduğu durumlarda, bu sintigrafik yöntem hastalığın fizyopatolojisini anlamada ve tedavi etkinliğini izleme açısından önemlidir.

Genç hastalarda mukosiliyer klirens (MCC) ölçümünün tekrarlanabilirliği ve tanısal doğruluğu gösterilmiştir. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, KF olan 5-7 yaş arası çocuklarda MCC değerlendirilmiş ve MCC sonuçlarının kısa zaman aralıklarında yüksek oranda tekrarlanabilir olduğu ve bu yaş grubunda bir yıllık takip süresince stabil kaldığı saptanmıştır. Bu çalışmada her çocukta ardışık MCC taramaları yapılmış; başlangıçta ortalama MCC<sub>60</sub> değerleri

**Tablo 1. Pulmoner ventilasyon görüntülemesinde yaygın olarak kullanılan ventilasyon ajanlarının (Tc-99m-DTPA Aerosol, Tc-99m-Technegas, Xenon-133 ve Kripton-81m) bileşim, partikül/gaz özellikleri, görüntüleme tekniği, doz, fiziksel ve biyolojik yarı ömür, klirens mekanizması, avantajları, dezavantajları, özel güvenlik önlemleri ve tercih edilen hasta grupları açısından karşılaştırılması**

| Özellikler                          | Tc-99m-DTPA aerosol                                                       | Tc-99m-technegas                                                       | Xenon-133                                                             | Kripton-81m                                                           |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Bileşim ve form</b>              | Salin içindeki Tc-99m-DTPA aerosol, nebulizatörle inhalasyon              | Argon gazında buharlaştırılmış ultra ince Tc-99m-karbon partikülleri   | İnert gaz formunda Xenon-133                                          | 81Rb/81mKr jeneratöründen elde edilen inert gaz                       |
| <b>Partikül/gaz özellikleri</b>     | 0,1-0,5 µm aerosol partikülleri, alveollere ve hava yollarına çöker       | 30-60 nm karbon partikülleri, gaz benzeri dağılım                      | İnert gaz, alveollere hızla yayılır                                   | İnert gaz, ventilasyonu gerçek zamanlı yansıtır                       |
| <b>Görüntüleme tekniği</b>          | Statik planarlı ve SPECT, çoklu projeksiyon imkanı                        | Statik ve SPECT, dağılım sabit                                         | Dinamik (tek nefes, denge, yıkama fazları)                            | Sürekli inhalasyonla çoklu projeksiyon ve SPECT                       |
| <b>Doz (yetişkin/çocuk)</b>         | Erişkin: ~30 mCi (1110 MBq), çocuk: min. 10 MBq                           | Erişkin: 20-50 MBq, çocuklarda ayarlanmış doz                          | Erişkin: 200-750 MBq, çocuk: 10-12 MBq/kg                             | Sürekli inhalasyon, düşük radyasyon dozu                              |
| <b>Fiziksel/biyolojik yarı ömür</b> | Fiziksel: 6 saat, biyolojik: ~60 dakika                                   | Fiziksel: 6 saat, biyolojik: Uzun süre akciğerde kalır                 | Fiziksel: 5,24 gün, Biyolojik: ~30 saniye                             | Fiziksel: 13 saniye, biyolojik: anında ekshalasyon                    |
| <b>Klirens mekanizması</b>          | Alveolo-kapiller membran, renal eliminasyon                               | Fiziksel bozunma, minimal biyolojik klirens                            | Ekshalasyon ve minimal kan/doku dağılımı                              | Ekshalasyonla anında klirens                                          |
| <b>Avantajları</b>                  | Kolay ulaşılabilir, çoklu projeksiyonlar mümkün, çocuklarda tercih edilir | Uniform dağılım, yüksek görüntü kalitesi, obstrüktif hastalıklarda iyi | Dinamik bilgi sağlar (hava tutulumu), yıllardır kullanılan bir yöntem | Gerçek gaz özellikleri, çok düşük radyasyon, çoklu görüntüleme imkânı |
| <b>Dezavantajları</b>               | Büyük hava yollarında birikim artefaktı, hastanın işbirliğini gerektirir  | Özel jeneratör gerekir, maliyet yüksek                                 | Tek projeksiyon görüntüleme, özel havalandırma gerekir                | Kısa yarı ömür, maliyet yüksek, her yerde bulunmaz                    |
| <b>Özel güvenlik önlemleri</b>      | Maske/ağızlık, aerosol filtre sistemi, yutkunma önlenmeli                 | Minimal özel önlem, partikül filtre kullanılır                         | Negatif basınçlı oda, özel gaz tutma sistemi gerekir                  | Özel önlem gerekmez, ekshalasyonla hızlıca kaybolur                   |
| <b>Tercih edilen hasta grupları</b> | Çocuklar, genel kullanım, uyumu sınırlı olanlar                           | KOAH'lı hastalar, kaliteli görüntü gereken durumlar                    | Obstrüktif akciğer hastalığı, dinamik değerlendirme isteyen hastalar  | Yoğun bakım hastaları, çocuklar, uyumu zor hastalar                   |

DTPA: Dietilentriaminpentasetik asit, KOAH: Kronik obstrüktif akciğer hastalığı, SPECT: Tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi

yaklaşık %11-13 arasındaydı ve bu değerlerin bir yıl sonunda anlamlı bir şekilde değişmediği gözlenmiştir. Bu bulgu, MCC testinin fizyolojik değişimleri güvenilir biçimde takip edebildiğini göstermektedir (71).

Corcoran ve Muthukrishnan (72), KF, astım ve konjenital kalp hastalıklarıyla ilişkili siliyopatilere sahip bireylerde MCC ve küçük molekül absorpsiyonunu değerlendirmek için Tc-99m sülfür kolloid ve In-111 DTPA kullanarak çift izotoplu sintigrafi yöntemini tanımlamışlardır.

Nükleer MCC görüntülemesi, pediatrik hastalarda özellikle tercih edilir; çünkü aerosol inhalasyonu dışında

non-invazivdir ve minimal radyasyon maruziyetine neden olur (her tarama başına <1 mSv). Testin, nefes talimatlarına uyum sağlayabilen yaklaşık 5 yaşından itibaren çocuklarda uygulanabilir olduğu gösterilmiştir. Beş yaşından küçük çocuklarda ise teste uyum güç olabilir; bu nedenle sedasyon düşünülebilir, ancak sedatif ilaçların solunumu veya siliyer fonksiyonu baskılayarak MCC ölçümünü etkileyebileceği riski de göz önüne alınmalıdır.

**Tablo 2- V/Q sintigrafisi bulgularının pulmoner emboli (PE) olasılığına göre değerlendirilmesi**

| Bulgular                                                                           | Ek görüntüleme bulgusu                                    | PE olasılığı                    | Açıklama                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Küçük perfüzyon defekti (< bir segmentin %25'i kadar)                              | Ventilasyon taramasında eşleşmiş (matched)                | Düşük                           | Non-spesifik bulgu; eşleşme emboli olasılığını azaltır     |
| Küçük perfüzyon defekti (< bir segmentin %25'i kadar)                              | Akciğer grafisinde daha büyük bir anormallik ile ilişkili | Düşük                           | Anatomik anormallikle açıklanabilen defekt                 |
| İki veya daha fazla uyumsuz perfüzyon defekti (en az biri orta veya büyük boyutta) | Ventilasyon ve akciğer grafisi normal                     | Yüksek                          | Klasik PE paterni                                          |
| Tek segmental orta boyutlu V/Q uyumsuzluğu                                         | Yok                                                       | Orta (intermediate probability) | Yorum tartışmalıdır; modifiye PİOPED'e göre orta olasılık* |

Bu tablo, modifiye PİOPED kriterlerine göre V/Q sintigrafisi bulgularının pulmoner emboli olasılığı açısından değerlendirilmesini özetlemektedir. Klinik karar verme süreçlerinde bu bulgular diğer risk faktörleriyle birlikte göz önünde bulundurulmalıdır.

\*Stein ve ark., altta yatan kardiyopulmoner hastalığı olmayanlarda bu bulgunun %86 pozitif prediktif değere sahip olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, pratikte yüksek olasılık olarak da sınıflandırılabilir

PİOPE: Pulmoner emboli tanısının prospektif incelenmesi (*Prospective investigation of pulmonary embolism diagnosis*), V/Q: Ventilasyon/perfüzyon, PE: Pulmoner emboli

## Sonuç

Nükleer görüntüleme, pediatrik kardiyak ve pulmoner hastalıkların değerlendirilmesinde kritik bir konuma sahiptir ve sıklıkla diğer yöntemlerle elde edilemeyen fonksiyonel bilgiler sağlar. Miyokard perfüzyon sintigrafisi (SPECT/PET), akciğer V/Q taramaları ve enfeksiyon görüntülemesinde kullanılan FDG PET gibi tekniklerin klinik faydası, konjenital kalp ameliyatlarının takibinden akut PE'ye kadar uzanan çeşitli klinik senaryolarda gösterilmiştir.

Daha düşük radyasyon dozları, daha hızlı tarama süreleri ve yapay zeka destekli görüntü iyileştirme yöntemleri sayesinde çocuklar, minimal risk ve maksimum fayda sağlayacak şekilde görüntülenebilmektedir.

Gelecekte, yeni radyofarmasötik ajanlardan daha akıllı tarayıcılara kadar süren araştırma ve teknolojik yenilikler sayesinde, pediatrik kardiyopulmoner patofizyoloji daha iyi anlaşılacak ve klinik kararlar daha iyi şekillendirilebilecektir. Bunun sonucunda, kişiye özgü tedaviler (örneğin; yalnızca perfüzyon taramasında önemli bozukluk saptandığında müdahale yapılması gibi) mümkün hale gelecek ve karmaşık kardiyak ve pulmoner durumları olan çocuklarda sonuçlar daha da iyileşecektir.

Özet olarak, pediatrik kardiyoloji ve pulmonolojide nükleer görüntüleme, anatomik görüntülemeyi tamamlayan ve klinisyenin yalnızca organların görünümünü değil, aynı zamanda nasıl çalıştıklarını da görmesini sağlayan eşsiz fonksiyonel bakış açıları sunan vazgeçilmez bir tanısal araç hâline gelmiştir.

## Dipnotlar

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

## Kaynaklar

1. McCrindle BW, Rowley AH, Newburger JW, et al. Diagnosis, treatment, and long-term management of kawasaki disease: a scientific statement for health professionals from the American Heart Association. *Circ J* [Internet]. 2017 Apr 25 [cited 2025 May 3];135.
2. Fukazawa R, Kobayashi J, Ayusawa M, et al. JCS/JCS 2020 guideline on diagnosis and management of cardiovascular sequelae in Kawasaki disease. *Circ J*. 2020;84:1348-1407.
3. Fukuda T, Ishibashi M, Yokoyama T, et al. Myocardial ischemia in Kawasaki disease: evaluation with dipyridamole stress technetium 99m tetrofosmin scintigraphy. *J Nucl Cardiol Off Publ Am Soc Nucl Cardiol*. 2002;9:632-637.
4. Gravel H, Curnier D, Dallaire F, Fournier A, Portman M, Dahdah N. Cardiovascular response to exercise testing in children and adolescents late after Kawasaki disease according to coronary condition upon onset. *Pediatr Cardiol*. 2015;36:1458-1464.
5. Schwaiger M, Hess J, Hauser M, et al. Myocardial blood flow and coronary flow reserve in children with normal epicardial coronary arteries after the onset of Kawasaki disease assessed by positron emission tomography. *Pediatr Cardiol*. 2004;25:108-112.
6. Moscatelli S, Bianco F, Cimini A, et al. The use of stress cardiovascular imaging in pediatric population. *Children*. 2023;10:218.
7. Dodge-Khatami A, Mavroudis C, Backer CL. Anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery: collective review of surgical therapy. *Ann Thorac Surg*. 2002;74:946-955.



8. Venet M, Friedberg MK, Mertens L, et al. Nuclear imaging in pediatric cardiology: principles and applications. *Front Pediatr*. 2022;10:909994.
9. Fricke TA, Bell D, Daley M, et al. The influence of coronary artery anatomy on mortality after the arterial switch operation. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2020;160:191-199.e1.
10. Kumar K, Sharma A, Patel C, et al. Feasibility and utility of adenosine stress echocardiography in children following post-arterial switch operation: a comparison with technetium 99m-sestamibi myocardial perfusion SPECT (MPS). *Pediatr Cardiol*. 2021;42:891-897.
11. Sterrett LE, Schamberger MS, Ebenroth ES, Siddiqui AR, Hurwitz RA. Myocardial perfusion and exercise capacity 12 years after arterial switch surgery for D-transposition of the great arteries. *Pediatr Cardiol*. 2011;32:785-791.
12. Sugiyama H, Tsuda E, Ohuchi H, Yamada O, Shiraishi I. Chronological changes in stenosis of translocated coronary arteries on angiography after the arterial switch operation in children with transposition of the great arteries: comparison of myocardial scintigraphy and angiographic findings. *Cardiol Young*. 2016;26:638-643.
13. Bengel FM, Hauser M, Duvernoy CS, et al. Myocardial blood flow and coronary flow reserve late after anatomical correction of transposition of the great arteries. *J Am Coll Cardiol*. 1998;32:1955-1961.
14. Harris KM, Spirito P, Maron MS, et al. Prevalence, clinical profile, and significance of left ventricular remodeling in the end-stage phase of hypertrophic cardiomyopathy. *Circulation*. 2006;114:216-225.
15. Maron MS, Olivotto I, Maron BJ, et al. The case for myocardial ischemia in hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol*. 2009;54:866-875.
16. Hallioglu O, Ceylan Gunay E, Unal S, Erdogan A, Balci S, Citirik D. Gated myocardial perfusion scintigraphy in children with sickle cell anemia: correlation with echocardiography. *Rev Esp Med Nucl*. 2011;30:354-359.
17. Jaeggi E, Bolens M, Friedli B. Reversible second degree atrioventricular block after a severe sickle cell crisis. *Pediatr Cardiol*. 1998;19:171-173.
18. Ergul Y, Nisli K, Kayserili H, et al. Evaluation of coronary artery abnormalities in Williams syndrome patients using myocardial perfusion scintigraphy and CT angiography. *Cardiol J*. 2012;19:301-308.
19. Lee ML. Regression of cardiac enzyme and ventriculocoronary communication in an infant with pulmonary atresia and intact ventricular septum after radiofrequency valvulotomy and valvuloplasty. *Pediatr Cardiol*. 2005;26:792-796.
20. Maiers J, Hurwitz R. Identification of coronary artery disease in the pediatric cardiac transplant patient. *Pediatr Cardiol*. 2008;29:19-23.
21. Sogbein OO, Pelletier-Galarneau M, Schindler TH, Wei L, Wells RG, Ruddy TD. New SPECT and PET radiopharmaceuticals for imaging cardiovascular disease. *BioMed Res Int*. 2014;2014:1-24.
22. Hernandez-Pampaloni M, Allada V, Fishbein MC, Schelbert HR. Myocardial perfusion and viability by positron emission tomography in infants and children with coronary abnormalities. *J Am Coll Cardiol*. 2003;41:618-626.
23. Chhatrwalla AK, Prieto LR, Brunken RC, Cerqueira MD, Younoszai A, Jaber WA. Preliminary data on the diagnostic accuracy of rubidium-82 cardiac PET perfusion imaging for the evaluation of ischemia in a pediatric population. *Pediatr Cardiol*. 2008;29:732-738.
24. Werner RA, Chen X, Rowe SP, Lapa C, Javadi MS, Higuchi T. Moving into the next era of PET myocardial perfusion imaging: introduction of novel 18F-labeled tracers. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2019;35:569-577.
25. Shimoni S, Zoghbi WA, Xie F, et al. Real-time assessment of myocardial perfusion and wall motion during bicycle and treadmill exercise echocardiography: comparison with single photon emission computed tomography. *J Am Coll Cardiol*. 2001;37:741-747.
26. Doan TT, Wilkinson JC, Loar RW, Pednekar AS, Masand PM, Noel CV. Regadenoson stress perfusion cardiac magnetic resonance imaging in children with Kawasaki disease and coronary artery disease. *Am J Cardiol*. 2019;124:1125-1132.
27. Caobelli F, Kamani CH, Nkoulou R, Buechel RR. The importance of 18F-FDG cardiac PET/CT for the assessment of myocardial viability in ischaemic heart disease: a position paper endorsed by the Swiss Society of Nuclear Medicine (SGNM). *Swiss Med Wkly*. 2021;151:w20511.
28. Knuuti MJ, Nuutila P, Ruotsalainen U, et al. Euglycemic hyperinsulinemic clamp and oral glucose load in stimulating myocardial glucose utilization during positron emission tomography. *J Nucl Med*. 1992;33:1255-1262.
29. Hardisky D, Tricarico R, Kelly JM, Bobbey AJ, Stacy MR. Utility of 18F-FDG PET/CT imaging in diagnosing pulmonary prosthetic valve endocarditis in a pediatric patient. *Clin Nucl Med*. 2021;46:e567-e569.
30. Saby L, Laas O, Habib G, et al. Positron emission tomography/computed tomography for diagnosis of prosthetic valve endocarditis. *J Am Coll Cardiol*. 2013;61:2374-2382.
31. Ly R, Compain F, Gaye B, et al. Predictive factors of death associated with infective endocarditis in adult patients with congenital heart disease. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care*. 2021;10:320-328.
32. Habib G, Lancellotti P, Antunes MJ, et al. 2015 ESC guidelines for the management of infective endocarditis: the task force for the management of infective endocarditis of the European Society of Cardiology (ESC) Endorsed by: European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS), the European Association of Nuclear Medicine (EANM). *Eur Heart J*. 2015;36:3075-3128.
33. Venet M, Jalal Z, Ly R, et al. Diagnostic value of 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography computed tomography in prosthetic pulmonary valve infective endocarditis. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2022;15:299-308.

34. Pelletier-Galarneau M, Abikhzer G, Harel F, Dilsizian V. Detection of native and prosthetic valve endocarditis: incremental attributes of functional FDG PET/CT over morphologic imaging. *Curr Cardiol Rep.* 2020;22:93.
35. Jeewa A, Imamura M, Canter C, et al. Long-term outcomes after transplantation after support with a pulsatile pediatric ventricular assist device. *J Heart Lung Transplant.* 2019;38:449-455.
36. Mahmood M, Kendi AT, Ajmal S, et al. Meta-analysis of 18F-FDG PET/CT in the diagnosis of infective endocarditis. *J Nucl Cardiol.* 2019;26:922-935.
37. Van Der Geest KSM, Treglia G, Glaudemans AWJM, et al. Diagnostic value of [18F]FDG-PET/CT for treatment monitoring in large vessel vasculitis: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2021;48:3886-3902.
38. Weisert M, Harake D, Hede S, Russell M, Alejos J, Menteer J. A multicenter survey on post-transplant lymphoproliferative disorders in pediatric heart transplant recipients: a case for development of consensus guidelines for screening, surveillance, and treatment? *Pediatr Transplant.* 2020;24:e13730.
39. Sica A, De Rimini ML, Sagnelli C, et al. Post-heart transplantation lymphoproliferative diseases (PTLDs) and the diagnostic role of [18f] FDG-PET/CT. *Minerva Med [Internet].* 2021 May [cited 2025 May 4];112.
40. Kim MS, Kim EK, Choi JY, Oh JK, Chang SA. Clinical utility of [18F]FDG-PET /CT in pericardial disease. *Curr Cardiol Rep.* 2019;21:107.
41. Martineau P, Dilsizian V, Pelletier-Galarneau M. Incremental value of FDG-PET in the evaluation of cardiac masses. *Curr Cardiol Rep.* 2021;23:78.
42. Chang SA, Oh JK. Constrictive pericarditis: a medical or surgical disease? *J Cardiovasc Imaging.* 2019;27:178.
43. Sarrazin JF, Philippon F, Trottier M, Tessier M. Role of radionuclide imaging for diagnosis of device and prosthetic valve infections. *World J Cardiol.* 2016;8:534.
44. Aydın F, Kın Cengiz A, Güngör F. Tc-99m labeled HMPAO white blood cell scintigraphy in pediatric patients. *Mol Imaging Radionucl Ther.* 2012;21:13-18.
45. Aparici CM, Narula J, Puig M, et al. Somatostatin receptor scintigraphy predicts impending cardiac allograft rejection before endomyocardial biopsy. *Eur J Nucl Med.* 2000;27:1754-1759.
46. Buchmann I, Henze M, Engelbrecht S, et al. Comparison of 68Ga-DOTATOC PET and 111In-DTPAOC (Octreoscan) SPECT in patients with neuroendocrine tumours. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2007;34:1617-1626.
47. Grupper A, Gewirtz H, Kushwaha S. Reinnervation post-heart transplantation. *Eur Heart J.* 2017;ehw604.
48. Ono S, Ohuchi H, Miyazaki A, Abe T, Kiso K, Yamada O. Heterogeneity of ventricular sympathetic nervous activity is associated with clinically relevant ventricular arrhythmia in postoperative patients with tetralogy of fallot. *Pediatr Cardiol.* 2015;36:1515-1522.
49. Zhao C, Shuke N, Yamamoto W, et al. Impaired cardiac sympathetic nerve function in patients with Kawasaki disease: comparison with myocardial perfusion. *Pediatr Res.* 2005;57:744-748.
50. Possner M, Buechel RR, Vontobel J, et al. Myocardial blood flow and cardiac sympathetic innervation in young adults late after arterial switch operation for transposition of the great arteries. *Int J Cardiol.* 2020;299:110-115.
51. Nygaard S, Christensen AH, Rolid K, et al. Autonomic cardiovascular control changes in recent heart transplant recipients lead to physiological limitations in response to orthostatic challenge and isometric exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2019;119:2225-2236.
52. Muller KD, Jakob H, Neuzner J, Grebe SF, Schlepper M, Pitschner HF. 123I-metaiodobenzylguanidine scintigraphy in the detection of irregular regional sympathetic innervation in long QT syndrome. *Eur Heart J.* 1993;14:316-325.
53. Porcari A, De Angelis G, Romani S, et al. Current diagnostic strategies for dilated cardiomyopathy: a comparison of imaging techniques. *Expert Rev Cardiovasc Ther.* 2019;17:53-63.
54. Karasawa K, Ayusawa M, Noto N, Sumitomo N, Okada T, Harada K. [Assessment of cardiac sympathetic nerve activity in children with chronic heart failure using quantitative iodine-123 metaiodobenzylguanidine imaging]. *J Cardiol.* 2000;36:387-395.
55. Kelesidis I, Travin MI. Use of cardiac radionuclide imaging to identify patients at risk for arrhythmic sudden cardiac death. *J Nucl Cardiol.* 2012;19:142-152.
56. Olguntürk R, Turan L, Tunaoglu FS, et al. Abnormality of the left ventricular sympathetic nervous function assessed by I-123 metaiodobenzylguanidine imaging in pediatric patients with neurocardiogenic syncope. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2003;26:1926-1930.
57. Snoussi NEH, Radi F, Oussou Y, Manouri K, El Hattab F, Cherti M. Left ventricular metastasis of osteosarcoma: a report of an unusual case. *J Card Surg.* 2020;35:3596-3599.
58. Purz S, Sabri O, Viehweger A, et al. Potential pediatric applications of PET/MR. *J Nucl Med.* 2014;55(Supplement 2):32S-39S.
59. Nensa F, Bamberg F, Rischpler C, et al. Hybrid cardiac imaging using PET/MRI: a joint position statement by the European Society of Cardiovascular Radiology (ESCR) and the European Association of Nuclear Medicine (EANM). *Eur Radiol.* 2018;28:4086-4101.
60. Ciofetta G, Piepsz A, Roca I, et al. Guidelines for lung scintigraphy in children. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2007;34:1518-1526.
61. Fathala A. Quantitative lung perfusion scintigraphy in patients with congenital heart disease. *Heart Views.* 2010;11:109.
62. Sanchez-Crespo A. Lung ventilation/perfusion single photon emission computed tomography (SPECT) in infants and children with nonembolic chronic pulmonary disorders. *Semin Nucl Med.* 2019;49:37-46.
63. Feltes TF, Bacha E, Beekman RH, et al. Indications for cardiac catheterization and intervention in pediatric cardiac disease:

- a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2011;123:2607-2652.
64. Latus H, Kuehne T, Beerbaum P, et al. Cardiac MR and CT imaging in children with suspected or confirmed pulmonary hypertension/pulmonary hypertensive vascular disease. Expert consensus statement on the diagnosis and treatment of paediatric pulmonary hypertension. The European Paediatric Pulmonary Vascular Disease Network, endorsed by ISHLT and DGPK. *Heart*. 2016;102(Suppl 2):ii30-ii35.
  65. Drubach LA, Jenkins KJ, Stamoulis C, Palmer EL, Lee EY. Evaluation of primary pulmonary vein stenosis in children: comparison of radionuclide perfusion lung scan and angiography. *Am J Roentgenol*. 2015;205:873-877.
  66. Patocka C, Nemeth J. Pulmonary embolism in pediatrics. *J Emerg Med*. 2012;42:105-116.
  67. Shammash A, Vali R, Charron M. Pediatric nuclear medicine in acute care. *Semin Nucl Med*. 2013;43:139-156.
  68. Glaser JE, Chamarthy M, Haramati LB, Esses D, Freeman LM. Successful and safe implementation of a trinary interpretation and reporting strategy for V/Q lung scintigraphy. *J Nucl Med*. 2011;52:1508-1512.
  69. Gelfand MJ, Gruppo RA, Nasser MP. Ventilation-perfusion scintigraphy in children and adolescents is associated with a low rate of indeterminate studies. *Clin Nucl Med*. 2008;33:606-609.
  70. Roach PJ, Gradinscak DJ, Schembri GP, Bailey EA, Willowson KP, Bailey DL. SPECT/CT in V/Q scanning. *Semin Nucl Med*. 2010;40:455-466.
  71. Laube BL, Carson KA, Evans CM, et al. Characterizing mucociliary clearance in young children with cystic fibrosis. *Pediatr Res*. 2022;91:612-620.
  72. Corcoran T, Muthukrishnan A. Measurements of mucociliary clearance and small molecule absorption for researching airways disease. *J Nucl Med*. 2018;59(supplement 1):1617.
  73. Kawamura J, Ueno K, Taimura E, et al. Case report: 18F-FDG PET-CT for diagnosing prosthetic device-related infection in an infant with CHD. *Front Pediatr*. 2021;9:584741.