



NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars

TÜRKİYE NÜKLEER TIP DERNEĞİ
Turkish Society of Nuclear Medicine

Temmuz 2025

Cilt: 11

Sayı: 2 www.nukleertipseminerleri.org

NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars



İmtiyaz Sahibi / Association Owner

Elif Özdemir

Department of Nuclear Medicine, Ankara Yıldırım Beyazıt University Faculty of Medicine, Ankara, Türkiye

E-mail: elifozdemir@ybu.edu.tr

ORCID: 0000-0002-9142-8752

Editör / Editor

Tamer Özülker

University of Health Sciences Türkiye, Prof. Dr. Cemil Taşcıoğlu City Hospital, Clinic of Nuclear Medicine, İstanbul, Türkiye

E-mail: tozulker@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9521-683X

Yardımcı Editör / Associate Editor

Özlem Özmen

University of Health Sciences Türkiye, Ankara Etlik City Hospital, Department of Nuclear Medicine, Ankara, Türkiye

E-mail: ozmenozlem@yahoo.com

ORCID: 0000-0002-5392-1626

Editöryal Kurul / Editorial Board

Çiğdem Soydal

Ankara University Faculty of Medicine, Department of Nuclear Medicine, Ankara, Türkiye

E-mail: csoydal@yahoo.com

ORCID: 0000-0002-6199-8551

Nalan Alan

Yeditepe University Faculty of Medicine, Department of Nuclear Medicine, İstanbul, Türkiye

E-mail: nalansalcuk@yeditepe.edu.tr

ORCID: 0000-0002-3738-6491

M. Özdeş Emer

Güven Hospital, Clinic of Nuclear Medicine, Ankara, Türkiye

E-mail: ozdesemer@yahoo.com

ORCID: 0000-0001-5729-0406

Tunç Öneş

Marmara University Faculty of Medicine, Department of Nuclear Medicine, İstanbul, Türkiye

E-mail: tones@marmara.edu.tr

ORCID: 0000-0002-5992-545X

Yasemin Şanlı

İstanbul University, İstanbul Faculty of Medicine, Department of Nuclear Medicine, İstanbul, Türkiye

E-mail: yaseminsanli75@yahoo.com

ORCID: 0000-0002-1267-2379

TÜRKİYE NÜKLEER TIP DERNEĞİ
Turkish Society of Nuclear Medicine

Nükleer Tıp Seminerleri Dergisi, Türkiye Nükleer Tıp Derneği'nin resmi yayın organıdır.
The Nuclear Medicine Seminars is an official journal of the Turkish Nuclear Medicine Society.



Yayınevi İletişim/Publisher Contact

Adres/Address: Molla Gürani Mah. Kaçamak Sk. No: 21/1 34093 İstanbul, Türkiye

Telefon/Phone: +90 530 177 30 97

E-posta/E-mail: info@galenos.com.tr / yayin@galenos.com.tr

Web: www.galenos.com.tr

Yayıncı Sertifika No: 14521

Yayın Tarihi/Publication Date: Temmuz 2025/July 2025

E-ISSN: 2149-6447

Dört ayda bir yayımlanan süreli yayındır.

The international scientific journal is published every four months.



NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars

Derginin “Amaç ve Kapsam”, “Yazarlara Bilgi” ve “Yayın Etiği” konularında bilgi almak için lütfen web sayfasına (<https://nukleertipseminerleri.org/>) başvurun.

Derginin editöryal ve yayın süreçleri ile etik kuralları ICMJE, WAME, CSE, COPE, EASE ve NISO gibi uluslararası kuruluşların kurallarına uygun olarak şekillenmektedir. Dergimiz, “şeffaf olma ilkeleri ve akademik yayıncılıkta en iyi uygulamalar ilkeleri” ile uyum içindedir. Nükleer Tıp Seminerleri, EBSCO, Embase, Gale, ProQuest, J-Gate, IdealOnline, Türk Medline ve Türkiye Atıf Dizini tarafından indekslenmektedir.

Dergi çevrimiçi olarak yayınlanmaktadır.

İmtiyaz Sahibi: Türkiye Nükleer Tıp Derneği

Baş Editör: Tamer ÖZÜLKER

Please refer to the journal's webpage (<https://nukleertipseminerleri.org/>) for “Aims and Scope”, “Instructions to Authors” and “Ethical Policy”.

The editorial and publication processes of the Nuclear Medicine Seminars are shaped in accordance with the guidelines of ICMJE, WAME, CSE, COPE, EASE, and NISO. The journal is in conformity with the Principles of Transparency and Best Practice in Scholarly Publishing. The Nuclear Medicine Seminars is indexed in EBSCO, Embase, Gale, ProQuest, J-Gate, IdealOnline, Türk Medline and Turkish Citation Index.

The journal is published online.

Owner: Turkish Society of Nuclear Medicine

Responsible Manager: Tamer ÖZÜLKER

NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars



Editörden/Editorial

Değerli meslektaşlarım,

Günlük pratiğimizin önemli bir kısmını oluşturan pediatrik Nükleer Tıp uygulamaları erişkin pratiğinden çok daha farklı ve hassas bir yaklaşım gerektirmektedir. Çocukların anatomik ve fizyolojik farklılıkları, normal varyasyonların çeşitliliği nedeniyle görüntüleme, elde edilen görüntülerin değerlendirilmesi daha zordur ve deneyim ister. Pediatrik hastalarda Nükleer Tıp uygulamalarında diğer önemli bir konu radyasyon güvenliğidir. Tanısal doğruluk kadar radyasyon güvenliğinin dikkate alınması, kullanılan radyonüklidlerin yaşa, kiloya ve yüzey alanına göre hesaplanması önemlidir. Ayrıca iyi bir görüntüleme için kullanılan cihazların ve görüntüleme parametrelerinin çocuklar için optimize edilmesi zorunludur. Doğru tekniğin uygulanması yanında hasta konforu da görüntülemede büyük önem taşır. Çocukların hareketsiz kalmalarını sağlamak için iyi bir kooperasyon sağlanmalı, çocukların korkuları ve ebeveynin endişeleri giderilmelidir. Tüm bunlar işlem sürecini uzatan, zorlaştıran ve tetkik kalitesini etkileyen faktörlerdir.

Bu sayımızda pediatrik hastalarda başlıca konvansiyonel Nükleer Tıp uygulamaları olarak, endokrin sistem, kardiyak ve pulmoner sistem, gastrointestinal sistem, üriner sistem uygulamaları ile onkolojik uygulamalar ve nedeni bilinmeyen ateş konuları alanında deneyimli meslektaşlarımız tarafından ele alınmıştır. Başta konuk editörlüğümüz Prof. Dr. Pınar Özgen Kıratlı olmak üzere sayımızın hazırlanmasında büyük emeği olan tüm yazarlarımıza katkılarından dolayı en içten teşekkürlerimi sunar, güncel ve değerli bir kaynak olduğunu düşündüğüm sayımızı ilgiyle okumanızı dilerim.

Saygılarımla.

Prof. Dr. Özlem Özmen
Editör

TÜRKİYE NÜKLEER TIP DERNEĞİ
Turkish Society of Nuclear Medicine



NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars

Editörden/Editorial

Her geçen gün yeni gelişmeler ile gerek tanıda gerek tedavide ilerleme gösteren Nükleer Tıp biliminde pediatrik Nükleer Tıp uygulamaları da aynı şekilde gelişmektedir. Her ne kadar erişkinler ile aynı radyoaktif maddeleri ve görüntüleme cihazları kullanılmaktaysa da, pediatrik yaş grubunda izlenen değişik klinik sorunlar ve bu yaş grubunun özelinde olan farklılıklar nedeniyle erişkin nükleer tıbbından ayırmakta olup, sadece bu nedenle bile konu ile ilgili özellikli bilgiler içermektedir.

Çocukluk döneminde hastalar, erişkin yaş grubundan sadece vücut şekli ve boyut nedeniyle farklı olmayıp beraberinde epidemiyolojik olarak ve yaş ile birlikte değişen sistemleri ilgilendiren değişiklikleri de içlerinde bulundurmaktadırlar. Bu nedenle çok geniş bir perspektif dahilinde hem hasta çocuk hem de ailesini kapsayacak şekilde hastalığın değerlendirilmesi için görüntüleme yöntemini planlama ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi için konu ile ilgili adanmış bir yaklaşım ihtiyacı bulunmaktadır.

Nükleer Tıp Seminerleri Dergisi'nin bu sayısını emeği geçen yazar meslektaşlarıyla birlikte pediatrik yaş grubunda konvansiyonel Nükleer Tıp uygulamalarını ve bu alanda olan son gelişmelerden yararlanarak hazırladık. Dr. Lay Ergün ve Dr. Volkan Salancı nörolojik hastalıklarda özellikle epilepsi konusunda metodoloji ve yorumlama üzerinde bilgileri kendi arşivlerindeki olgular üzerinden örnekler ile sunarken, Dr. Gülaldı çocukluk çağında endokrin sistemi ilgilendiren hastalıklarda son çıkan kılavuzları gözeterak Nükleer Tıp uygulamaları üzerinde bilgileri ile katkıda bulunmuştur. Dr. Özcan ve Dr. Koç ise pediatrik gastroenteroloji prosedürleri ile ilgili çalışmalardan, özofagogastrik motiliteden ve intestinal transit hesaplama çalışmaları ile ilgili bilgi vermiş ve bu yöntemlerin çocukluk ile adölesan dönemde uygulanma şekillerinden bahsetmişlerdir. Gastroözefagial reflü, mide boşalma gibi uygulamalar pekçok klinik duruma yardımcı olarak hastaların yanlış değerlendirilmesi ve fazla tedaviye engel olması açısından büyük önem taşımaktadır. Dr. Bozkurt çocukluk yaş döneminde Nükleer Tıp uygulamalarının daha sınırlı uygulandığı ancak büyük öneme sahip kardiyak ve solunum yolu hastalıklarının değerlendirilmesinde, hastalıkların ayırıcı tanısının yapılmasını sağlayacak olan Nükleer Tıp yöntemleri ile ilgili kapsamlı bilgi veren bir yazı ile katkıda bulunmaktadır. Dr. Soydaş Turan ve Dr. Volkan Salancı çocuk hastalarda benign kemik patolojilerinin değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir görüntüleme yöntemi olan kemik sintigrafisinin rolünü olarak diğer görüntüleme yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak ele almışlardır. Dr. Özgen Kıratlı ise çocukluk yaş grubunda kompleks ve hayatı tehdit eden, literatürde kısıtlı deneyim aktarılan nedeni bilinmeyen ateş konusunda, tanıda kullanılabilecek görüntüleme yöntemlerinden bahsetmiştir. Dr. Çiftçi ve Dr. Aktaş, sırasıyla dinamik ve statik böbrek sintigrafisini, metodolojilerini ve değerlendirme prensiplerini ayrıntılı bir şekilde ele almışlar ve son çıkan kılavuzları da gözeterak kendi klinik pratiklerini konjenital ve akkiz nefroürolojik hastalıklar ile idrar yolu enfeksiyonlarında kullanım alanlarını hakkında bilgi vermişlerdir.

Son söz olarak, bu sayıda bahsi geçen yazıların gerek Nükleer Tıp doktorları gerekse sınırlı tecrübesi olan diğer bilim dallarındaki klinisyenler için faydalı olacağına inancımla, emeği geçen tüm yazarlara çocukluk yaş grubunda konvansiyonel Nükleer Tıp görüntüleme yöntemlerini kendi deneyimleri ve literatür örnekleri ile güncel kılavuzlar eşliğinde sunmaları nedeniyle bir kez daha teşekkür ederim.

Prof. Dr. Pınar Özgen Kıratlı

NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars



İçindekiler/Contents

DERLEMELER/REVIEWS

- 71 Nörolojik Görüntüleme - Epilepsi**
Neurologic Imaging - Epilepsy
Eser Lay Ergün, Bilge Volkan Salancı
- 81 Pediatrik Endokrin Sistem Hastalıklarında Konvansiyonel Nükleer Tıp Uygulamaları**
Conventional Nuclear Medicine Applications in Pediatric Endocrine System Diseases
Nedim C. M. Gülaldı
- 92 Pediatrik Kardiyak ve Pulmoner Nükleer Tıp Uygulamaları: Güncel Tanısal ve Klinik Yaklaşımlar**
Pediatric Cardiac and Pulmonary Nuclear Medicine Applications: Current Diagnostic and Clinical Approaches
Mehmet Bozkurt
- 107 Çocuklarda Gastrointestinal Sistemde Nükleer Tıp Sintigrafik Görüntülemeleri**
Nuclear Medicine Scintigraphic Imaging of the Gastrointestinal System in Children
Pınar Pelin Özcan, Zehra Pınar Koç
- 114 Konvansiyonel Pediatrik Nükleer Tıp Kemik Sintigrafisi Uygulamaları**
Nuclear Medicine in Conventional Pediatrics: Applications of Bone Scintigraphy
Başak Soydaş Turan, Bilge Volkan Salancı
- 127 Çocukluk Yaş Grubunda Nedeni Bilinmeyen Ateş: Moleküler Görüntülemenin Yeri**
Fever of Unknown Origin in Pediatric Age Group: Role of Molecular Imaging
Pınar Özgen Kıratlı
- 134 Güncel Yaklaşımlar Eşliğinde Pediatri Hastalarında Dinamik Böbrek Sintigrafisi Değerlendirilmesi**
Evaluation of Dynamic Renal Scintigraphy in Pediatric Patients with Current Approaches
Esra Ciftci
- 144 Pediatrik Hastalıklarda Güncel Kılavuzlar Işığında Tc-99m DMSA Kortikal Böbrek Sintigrafisi Endikasyonları**
Current Indications of Tc-99m DMSA Renal Cortical Scintigraphy in Pediatric Population
Lütfiye Gül Ege Aktaş

TÜRKİYE NÜKLEER TIP DERNEĞİ
Turkish Society of Nuclear Medicine



TÜRKİYE NÜKLEER TIP DERNEĞİ
Turkish Society of Nuclear Medicine

Temmuz 2025 Cilt: 11 Sayı: 2 www.nukleertipseminerleri.org

NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars

NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars



İmtiyaz Sahibi / Association Owner

Elif Özdemir

Department of Nuclear Medicine, Ankara Yıldırım Beyazıt University Faculty of Medicine, Ankara, Türkiye

E-mail: elifozdemir@ybu.edu.tr

ORCID: 0000-0002-9142-8752

Editör / Editor

Tamer Özülker

University of Health Sciences Türkiye, Prof. Dr. Cemil Taşcıoğlu City Hospital, Clinic of Nuclear Medicine, İstanbul, Türkiye

E-mail: tozulker@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9521-683X

Yardımcı Editör / Associate Editor

Özlem Özmen

University of Health Sciences Türkiye, Ankara Etlik City Hospital, Department of Nuclear Medicine, Ankara, Türkiye

E-mail: ozmenozlem@yahoo.com

ORCID: 0000-0002-5392-1626

Editöryal Kurul / Editorial Board

Çiğdem Soydal

Ankara University Faculty of Medicine, Department of Nuclear Medicine, Ankara, Türkiye

E-mail: csoydal@yahoo.com

ORCID: 0000-0002-6199-8551

Nalan Alan

Yeditepe University Faculty of Medicine, Department of Nuclear Medicine, İstanbul, Türkiye

E-mail: nalansalcuk@yeditepe.edu.tr

ORCID: 0000-0002-3738-6491

M. Özdeş Emer

Güven Hospital, Clinic of Nuclear Medicine, Ankara, Türkiye

E-mail: ozdesemer@yahoo.com

ORCID: 0000-0001-5729-0406

Tunç Öneş

Marmara University Faculty of Medicine, Department of Nuclear Medicine, İstanbul, Türkiye

E-mail: tones@marmara.edu.tr

ORCID: 0000-0002-5992-545X

Yasemin Şanlı

İstanbul University, İstanbul Faculty of Medicine, Department of Nuclear Medicine, İstanbul, Türkiye

E-mail: yaseminsanli75@yahoo.com

ORCID: 0000-0002-1267-2379

TÜRKİYE NÜKLEER TIP DERNEĞİ
Turkish Society of Nuclear Medicine

Nükleer Tıp Seminerleri Dergisi, Türkiye Nükleer Tıp Derneği'nin resmi yayın organıdır.
The Nuclear Medicine Seminars is an official journal of the Turkish Nuclear Medicine Society.



Yayınevi İletişim/Publisher Contact

Adres/Address: Molla Gürani Mah. Kaçamak Sk. No: 21/1 34093 İstanbul, Türkiye

Telefon/Phone: +90 530 177 30 97

E-posta/E-mail: info@galenos.com.tr / yayin@galenos.com.tr

Web: www.galenos.com.tr

Yayıncı Sertifika No: 14521

Yayın Tarihi/Publication Date: Temmuz 2025/July 2025

E-ISSN: 2149-6447

Dört ayda bir yayımlanan süreli yayındır.

The international scientific journal is published every four months.



NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars

Derginin "Amaç ve Kapsam", "Yazarlara Bilgi" ve "Yayın Etiği" konularında bilgi almak için lütfen web sayfasına (<https://nukleertipseminerleri.org/>) başvurun.

Derginin editöryal ve yayın süreçleri ile etik kuralları ICMJE, WAME, CSE, COPE, EASE ve NISO gibi uluslararası kuruluşların kurallarına uygun olarak şekillenmektedir. Dergimiz, "şeffaf olma ilkeleri ve akademik yayıncılıkta en iyi uygulamalar ilkeleri" ile uyum içindedir. Nükleer Tıp Seminerleri, EBSCO, Embase, Gale, ProQuest, J-Gate, IdealOnline, Türk Medline ve Türkiye Atıf Dizini tarafından indekslenmektedir.

Dergi çevrimiçi olarak yayınlanmaktadır.

İmtiyaz Sahibi: Türkiye Nükleer Tıp Derneği

Baş Editör: Tamer ÖZÜLKER

Please refer to the journal's webpage (<https://nukleertipseminerleri.org/>) for "Aims and Scope", "Instructions to Authors" and "Ethical Policy".

The editorial and publication processes of the Nuclear Medicine Seminars are shaped in accordance with the guidelines of ICMJE, WAME, CSE, COPE, EASE, and NISO. The journal is in conformity with the Principles of Transparency and Best Practice in Scholarly Publishing. The Nuclear Medicine Seminars is indexed in EBSCO, Embase, Gale, ProQuest, J-Gate, IdealOnline, Türk Medline and Turkish Citation Index.

The journal is published online.

Owner: Turkish Society of Nuclear Medicine

Responsible Manager: Tamer ÖZÜLKER

NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars



Editörden/Editorial

Değerli meslektaşlarım,

Günlük pratiğimizin önemli bir kısmını oluşturan pediatrik Nükleer Tıp uygulamaları erişkin pratiğinden çok daha farklı ve hassas bir yaklaşım gerektirmektedir. Çocukların anatomik ve fizyolojik farklılıkları, normal varyasyonların çeşitliliği nedeniyle görüntüleme, elde edilen görüntülerin değerlendirilmesi daha zordur ve deneyim ister. Pediatrik hastalarda Nükleer Tıp uygulamalarında diğer önemli bir konu radyasyon güvenliğidir. Tanısal doğruluk kadar radyasyon güvenliğinin dikkate alınması, kullanılan radyonüklidlerin yaşa, kiloya ve yüzey alanına göre hesaplanması önemlidir. Ayrıca iyi bir görüntüleme için kullanılan cihazların ve görüntüleme parametrelerinin çocuklar için optimize edilmesi zorunludur. Doğru tekniğin uygulanması yanında hasta konforu da görüntülemede büyük önem taşır. Çocukların hareketsiz kalmalarını sağlamak için iyi bir kooperasyon sağlanmalı, çocukların korkuları ve ebeveynin endişeleri giderilmelidir. Tüm bunlar işlem sürecini uzatan, zorlaştıran ve tetkik kalitesini etkileyen faktörlerdir.

Bu sayımızda pediatrik hastalarda başlıca konvansiyonel Nükleer Tıp uygulamaları olarak, endokrin sistem, kardiyak ve pulmoner sistem, gastrointestinal sistem, üriner sistem uygulamaları ile onkolojik uygulamalar ve nedeni bilinmeyen ateş konuları alanında deneyimli meslektaşlarımız tarafından ele alınmıştır. Başta konuk editörlüğümüz Prof. Dr. Pınar Özgen Kıratlı olmak üzere sayımızın hazırlanmasında büyük emeği olan tüm yazarlarımıza katkılarından dolayı en içten teşekkürlerimi sunar, güncel ve değerli bir kaynak olduğunu düşündüğüm sayımızı ilgiyle okumanızı dilerim.

Saygılarımla.

Prof. Dr. Özlem Özmen
Editör

TÜRKİYE NÜKLEER TIP DERNEĞİ
Turkish Society of Nuclear Medicine



NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars

Editörden/Editorial

Her geçen gün yeni gelişmeler ile gerek tanıda gerek tedavide ilerleme gösteren Nükleer Tıp biliminde pediatrik Nükleer Tıp uygulamaları da aynı şekilde gelişmektedir. Her ne kadar erişkinler ile aynı radyoaktif maddeleri ve görüntüleme cihazları kullanılmaktaysa da, pediatrik yaş grubunda izlenen değişik klinik sorunlar ve bu yaş grubunun özelinde olan farklılıklar nedeniyle erişkin nükleer tıbbından ayırmakta olup, sadece bu nedenle bile konu ile ilgili özellikli bilgiler içermektedir.

Çocukluk döneminde hastalar, erişkin yaş grubundan sadece vücut şekli ve boyut nedeniyle farklı olmayıp beraberinde epidemiyolojik olarak ve yaş ile birlikte değişen sistemleri ilgilendiren değişiklikleri de içlerinde bulundurmaktadırlar. Bu nedenle çok geniş bir perspektif dahilinde hem hasta çocuk hem de ailesini kapsayacak şekilde hastalığın değerlendirilmesi için görüntüleme yöntemini planlama ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi için konu ile ilgili adanmış bir yaklaşım ihtiyacı bulunmaktadır.

Nükleer Tıp Seminerleri Dergisi'nin bu sayısını emeği geçen yazar meslektaşlarıyla birlikte pediatrik yaş grubunda konvansiyonel Nükleer Tıp uygulamalarını ve bu alanda olan son gelişmelerden yararlanarak hazırladık. Dr. Lay Ergün ve Dr. Volkan Salancı nörolojik hastalıklarda özellikle epilepsi konusunda metodoloji ve yorumlama üzerinde bilgileri kendi arşivlerindeki olgular üzerinden örnekler ile sunarken, Dr. Güldal çocukluk çağında endokrin sistemi ilgilendiren hastalıklarda son çıkan kılavuzları gözetenek Nükleer Tıp uygulamaları üzerinde bilgileri ile katkıda bulunmuştur. Dr. Özcan ve Dr. Koç ise pediatrik gastroenteroloji prosedürleri ile ilgili çalışmalardan, özofagogastrik motiliteden ve intestinal transit hesaplama çalışmaları ile ilgili bilgi vermiş ve bu yöntemlerin çocukluk ile adölesan dönemde uygulanma şekillerinden bahsetmişlerdir. Gastroözefagial reflü, mide boşalma gibi uygulamalar pekçok klinik duruma yardımcı olarak hastaların yanlış değerlendirilmesi ve fazla tedaviye engel olması açısından büyük önem taşımaktadır. Dr. Bozkurt çocukluk yaş döneminde Nükleer Tıp uygulamalarının daha sınırlı uygulandığı ancak büyük öneme sahip kardiyak ve solunum yolu hastalıklarının değerlendirilmesinde, hastalıkların ayırıcı tanısının yapılmasını sağlayacak olan Nükleer Tıp yöntemleri ile ilgili kapsamlı bilgi veren bir yazı ile katkıda bulunmaktadır. Dr. Soydaş Turan ve Dr. Volkan Salancı çocuk hastalarda benign kemik patolojilerinin değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir görüntüleme yöntemi olan kemik sintigrafisinin rolünü olarak diğer görüntüleme yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak ele almışlardır. Dr. Özgen Kıratlı ise çocukluk yaş grubunda kompleks ve hayatı tehdit eden, literatürde kısıtlı deneyim aktarılan nedeni bilinmeyen ateş konusunda, tanıda kullanılabilecek görüntüleme yöntemlerinden bahsetmiştir. Dr. Çiftçi ve Dr. Aktaş, sırasıyla dinamik ve statik böbrek sintigrafisini, metodolojilerini ve değerlendirme prensiplerini ayrıntılı bir şekilde ele almışlar ve son çıkan kılavuzları da gözetenek kendi klinik pratiklerini konjenital ve akkiz nefroürolojik hastalıklar ile idrar yolu enfeksiyonlarında kullanım alanlarını hakkında bilgi vermişlerdir.

Son söz olarak, bu sayıda bahsi geçen yazıların gerek Nükleer Tıp doktorları gerekse sınırlı tecrübesi olan diğer bilim dallarındaki klinisyenler için faydalı olacağına inancım, emeği geçen tüm yazarlara çocukluk yaş grubunda konvansiyonel Nükleer Tıp görüntüleme yöntemlerini kendi deneyimleri ve literatür örnekleri ile güncel kılavuzlar eşliğinde sunmaları nedeniyle bir kez daha teşekkür ederim.

Prof. Dr. Pınar Özgen Kıratlı

NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ

Nuclear Medicine Seminars



İçindekiler/Contents

DERLEMELER/REVIEWS

- 71 Nörolojik Görüntüleme - Epilepsi**
Neurologic Imaging - Epilepsy
Eser Lay Ergün, Bilge Volkan Salancı
- 81 Pediatrik Endokrin Sistem Hastalıklarında Konvansiyonel Nükleer Tıp Uygulamaları**
Conventional Nuclear Medicine Applications in Pediatric Endocrine System Diseases
Nedim C. M. Gülaldı
- 92 Pediatrik Kardiyak ve Pulmoner Nükleer Tıp Uygulamaları: Güncel Tanısal ve Klinik Yaklaşımlar**
Pediatric Cardiac and Pulmonary Nuclear Medicine Applications: Current Diagnostic and Clinical Approaches
Mehmet Bozkurt
- 107 Çocuklarda Gastrointestinal Sistemde Nükleer Tıp Sintigrafik Görüntülemeleri**
Nuclear Medicine Scintigraphic Imaging of the Gastrointestinal System in Children
Pınar Pelin Özcan, Zehra Pınar Koç
- 114 Konvansiyonel Pediatrik Nükleer Tıp Kemik Sintigrafisi Uygulamaları**
Nuclear Medicine in Conventional Pediatrics: Applications of Bone Scintigraphy
Başak Soydaş Turan, Bilge Volkan Salancı
- 127 Çocukluk Yaş Grubunda Nedeni Bilinmeyen Ateş: Moleküler Görüntülemenin Yeri**
Fever of Unknown Origin in Pediatric Age Group: Role of Molecular Imaging
Pınar Özgen Kıratlı
- 134 Güncel Yaklaşımlar Eşliğinde Pediatri Hastalarında Dinamik Böbrek Sintigrafisi Değerlendirilmesi**
Evaluation of Dynamic Renal Scintigraphy in Pediatric Patients with Current Approaches
Esra Ciftci
- 144 Pediatrik Hastalıklarda Güncel Kılavuzlar Işığında Tc-99m DMSA Kortikal Böbrek Sintigrafisi Endikasyonları**
Current Indications of Tc-99m DMSA Renal Cortical Scintigraphy in Pediatric Population
Lütfiye Gül Ege Aktaş

TÜRKİYE NÜKLEER TIP DERNEĞİ
Turkish Society of Nuclear Medicine



Nörolojik Görüntüleme - Epilepsi

Neurologic Imaging - Epilepsy

© Eser Lay Ergün, © Bilge Volkan Salancı

Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

Öz

Epilepsi hastalarının çoğunda ilaç ile nöbet kontrolü sağlanmakla birlikte bu grup hastanın 1/3 kadarı ilaca dirençlidir. İlaça dirençli epilepsi hastasında öncelikli olarak cerrahi tedavi düşünülür. Erken çocuklukta hastalar cerrahi rezeksiyonu iyi tolere eder; erken cerrahi ile beyindeki gelişimsel etkilenme en aza indirilebilir. Bu nedenle ilaca dirençli hastalar öncelikle cerrahi aday olma olasılığı ile ileri inceleme, ilaca direncin gerçek direnç olup olmadığının araştırılması ve ileri tedavi yöntemleri için epilepsi merkezine yönlendirilmelidir. Bu hastalarda epilepsi semiyolojisi ve video- elektroensefalografi monitörizasyonu ile nöbet sınıflaması; manyetik rezonans (MR) görüntüleme ile yapısal değerlendirme yapılır. Tüm sonuçlar birbiri ile uyumlu değilse veya MR'de yapısal lezyon saptanmamışsa Nükleer Tıp yöntemleri [tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi (SPECT) ve pozitron emisyon tomografi (PET)] ile araştırma önemli rol oynar. Bu grup hastada SPECT ve PET epileptojenik bölgenin lokalizasyonu/lateralizasyonunda, tedaviye yön vermede, cerrahi planlamasında, intrakraniyal elektrot yerleştirilecek bölge için yönlendirmede, çocukluk çağı epilepsi sendromlarını değerlendirmede yardımcı olarak tedavi seçiminde ve beynin fonksiyonel bütünlüğünü göstermede önemli rol oynar. İlaça dirençli epilepsi hastaları tüm bu incelemelerin sonuçları ile birlikte rezektif/palyatif cerrahi, diğer tedavi yöntemleri ve izlemleri açısından multidisipliner epilepsi toplantısında tartışılır.

Anahtar Kelimeler: Pediatrik nöroloji, epilepsi, beyin perfüzyon SPECT, FDG PET

Abstract

Although appropriate anti-epileptic medication control seizures in epilepsy patients, 1/3 of the patients are drug resistant. In this intractable patient group, surgical resection is the primarily preferred treatment option. In early childhood, patients tolerate surgery better and surgery significantly influences good neurological development. Therefore, every drug-resistant case should be promptly referred to the relevant center as a potential candidate for surgery and for detailed investigation and further treatment. Seizure type is classified with clinical status and video- electroencephalography monitoring (VEM); magnetic resonance (MR) imaging detects structural causes for epilepsy. If semiology, VEM and MR findings are discordant or there is no structural lesion on MRI, Nuclear Medicine techniques [single photon emission computerized tomography (SPECT) and positron emission tomography (PET)] play key roles in the investigation. SPECT and PET are important for lateralization/localization of the epileptogenic zone, therapy planning, guidance for subdural electrode placement, evaluation of epilepsy syndromes in childhood by showing abnormal brain regions and demonstrating the functional status of the brain in intractable epilepsy. Finally, all the findings of these procedures should be discussed in multidisciplinary team for better surgical approach or palliative procedures individually.

Keywords: Pediatric neurology, epilepsy, brain perfusion SPECT, FDG PET

Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Prof. Dr. Bilge Volkan Salancı, Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: bilgev@hacettepe.edu.tr ORCID ID: orcid.org/0000-0002-1488-6012

Geliş Tarihi/Received: 30.04.2025 Kabul Tarihi/Accepted: 22.07.2025 Yayınlanma Tarihi/Publication Date: 29.07.2025

Cite this article as/Atıf: Lay Ergün E, Volkan Salancı B. Neurologic imaging - epilepsy. Nucl Med Semin. 2025;11:71-80



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.

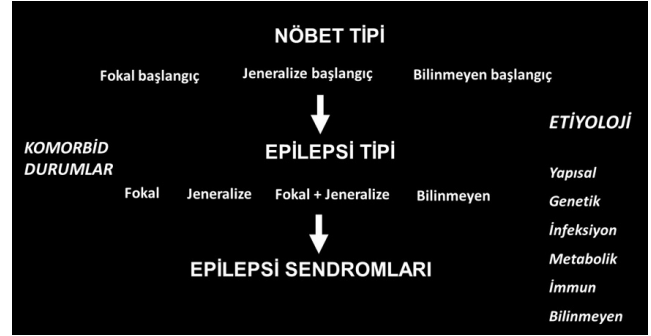
Giriş

Epilepsi dünyada 50 milyondan fazla insanı etkileyen heterojen bir grup beyin hastalığını kapsamaktadır (1). Epilepsilerin 2/3'ü nöbet için uygun ilaçlara cevap verirken, 1/3 kadarında farklı ilaç kombinasyonlarına rağmen tedavi sağlanamamaktadır. Bu grup hasta ilaca dirençli kabul edilir (2,3,4). İlaça dirençli epilepsi hastaları cerrahi aday olma olasılığı açısından ileri değerlendirme için epilepsi merkezine yönlendirilmelidir.

Çocukluk çağında klinik ve elektrografik nöbetler kontrol altına alınamadığında ve devam edilen ilaçların da yan etkisi ile erken çocuklukta nörolojik gelişim önemli düzeyde etkilenmektedir. Yaşamın ilk 5-7 yılında motor ve dil-konuşma önem arz etmektedir; bu dönemde plastisite gecikmiş veya bozuk gelişime neden olabilir (2). Bu nedenle özellikle çocukluk döneminde ilaca dirençli epilepsi hastaları cerrahi aday olma olasılığı ile epilepsi merkezine gecikmeden yönlendirilmelidir. Çocuk hastalar erken dönemde cerrahi rezeksiyonu iyi tolere eder ve cerrahi sonrası o bölgenin işlevinin gelişmekte olan sağlam beyin bölgelerine transferi sağlanır (3,4). Ayrıca, yine erken çocuklukta, ilaca direnç gerçek direnç olmayabileceğinden bunun net olarak aydınlatılması için de epilepsi merkezinde değerlendirme önem arzeder.

Klinik Yaklaşım

Epilepsi hastasının epilepsi uzmanı nörolog tarafından muayenesi, semiyoloji ve klinik nöbet durumunun değerlendirmesi yapılır. Bu kapsamda Uluslararası Epilepsi ile Savaş Derneği (*The International League Against Epilepsy* - ILAE) sınıflaması revize edilmiştir ve bu sınıflama hastaların klinik yönetimi için etiolojinin önemini vurgulamaktadır (5). Etiyoloji yapısal, genetik, enfeksiyöz, metabolik, immün bir durum olabilir veya bilinmeyebilir. ILAE sınıflaması sadeleştirilmiş biçimde Şekil 1'de gösterilmiştir. Epilepsi sadece nöbetten ibaret olmayıp epilepsili hastalarda nörodavranışsal ve nöropsikiyatrik semptomlar da eşlik edebilmektedir. Bu nedenle ILAE 2017 sınıflaması hastalığı yönetici bir sınıflama imkanı vermektedir. Son kılavuzda epilepsinin patofizyolojik mekanizmaları dikkate alınmakta ve epilepsinin sadece bir semptom değil beyindeki bir "network" hastalığı olduğu vurgulanmaktadır. Cerrahi düşünülen ilaca dirençli hastada cerrahi rezeksiyonun başarısı ve cerrahi sonrası klinik-elektroensefalografi (EEG) takibi için sadece anatomik planlama değil bu network ağı da göz önünde bulundurulmalıdır. ILAE sınıflaması hastaları tedavi için gruplamaya yardımcı olmaktadır.



Şekil 1. ILAE 2017 sınıflaması

ILAE: Uluslararası Epilepsi ile Savaş Derneği (*The International League Against Epilepsy*)

ve sınıflamada, prognozu ön görmede, hasta takibi ve tedavisine yaklaşımda etkin rol oynamaya başladığıdır (1).

Epilepsi hastalarında nöbet semiyolojisi ve klinik değerlendirme bulgularının EEG bulguları ile ilişkilendirilmesi önemlidir. Video-EEG monitörizasyonu (VEM) özel ekipman ile donatılmış odada, sürekli ve kesintisiz EEG kaydı ile eş zamanlı video kaydının alındığı bir inceleme yöntemidir (6). VEM epileptik ve epileptik olmayan olayları ayırt etmek, nöbet semiyolojisi ve eş zamanlı EEG bulgularını incelemek, epilepsi sendrom sınıflaması yapmak, dirençli epilepsisi olan hastalarda ameliyat öncesi hazırlık döneminde nöbet başlangıç yeri ve/veya epileptojenik bölgenin yerini belirlemeye çalışmak için çok önemli bir basamaktır.

Nöbet semiyolojisi ve VEM değerlendirmesiyle birlikte yüksek çözünürlüklü manyetik rezonans (MR) görüntüleme, epilepsi etiolojisinin aydınlatılmasında önemli görüntüleme yöntemidir (3,4,7,8). Epilepsi hastalarında MR ile fokal olarak nöbetten sorumlu patolojinin belirlenmesi mümkün olabilmektedir. MR hipokampal skleroz ve kortikal gelişim bozukluklarını tespit eder. MR spektroskopi hücresel düzeydeki fonksiyon bozukluklarını ortaya koyar. Fonksiyonel MR (fMR) beyin önemli fonksiyonel merkezlerini non-invazif olarak belirleyebilir. Görev bazlı ve istirahat halindeki fMR, beyin aktivitelerini ve fonksiyonel bağlantıları ortaya çıkarır. Özellikle cerrahi rezeksiyon düşünülen hastalarda cerrahi öncesinde bu yöntemler ile beyindeki aktivasyon bölgelerini belirlemek cerrahi sonrası durumu öngörmek ve cerrahiye kesin karar verebilmek için önemlidir. Diffüzyon tensor görüntüleme ve traktografi, sinir yollarının görselleştirilmesini sağlar. Epilepsi cerrahisi sonrasında da fMR ve traktografi ile fonksiyonel değişiklikler ve traktus hasarları değerlendirilebilir.

Nükleer Tıp görüntülemeleri fonksiyonel ve metabolik görüntüleme yöntemleridir (3). Nöbet semiyolojisinin video-EEG bulguları ile uyumlu olduğu, MR'de de sorumlu lezyonun gösterilebildiği hastalar epilepsi cerrahisi için uygun adaylardır. Ancak, bunların sonuçlarının birbiri ile uyumsuz olduğu ya da MR'de net bir lezyonun gösterilemediği durumlarda, epilepsi temelinde fonksiyonel bir bozukluk olduğundan, bu hastaların değerlendirilmesinde Nükleer Tıpta kullanılan fonksiyonel görüntüleme yöntemleri olan beyin perfüzyon tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi (SPECT) ve florodeoksiglukoz (FDG) ile yapılan pozitron emisyon tomografisi (PET) uygulamaları önemli rol oynar.

İlaça dirençli epilepside beyin perfüzyon SPECT ve F-18 FDG PET'in kullanım amaçları şöyle özetlenebilir:

1. Epileptojenik korteksin tespit edilmesi ve lateralizasyonu.
2. Klinik gereklilik durumunda subdural elektrot yerleştirilecek ve özellikle MR normal ise bu işlem için rehberlik etmek, elektrotların yerleştirileceği bölge için yol göstermek veya nöbet bölgesini göstererek invazif EEG uygulamalarının sayısını azaltmak.
3. Beyindeki fonksiyonel bütünlüğü göstermek.
4. Epilepsi patofizyolojisine ışık tutmak.
5. Geçirilmiş epilepsi cerrahisi sonrasında ilaca dirençli fokal epilepsisi devam eden hastaları değerlendirmek.
6. Çocukluk çağı epilepsi sendromu olan hastaların değerlendirilmesi.
7. Hastanın cerrahi şansının olup olmadığı hakkında tamamlayıcı bilgi vermek.

Dolayısıyla son yıllarda epilepside Nükleer Tıp uygulamaları beyindeki fonksiyonel ağı ve fonksiyonel bütünlüğünü gösterdiğinden öne çıkmakta; hastayı yorumlamada, sınıflamada, tedavi seçeneğine yön vermede ve cerrahi sonrası sonucu öngörmede önemi artmaktadır.

Beyin Perfüzyon SPECT

Beyinde bölgesel kan akımı değişken beyin fonksiyonlarına bağlı ve anlık olarak yeniden düzenlenir. Daha fazla çalışan kortikal kesimlerde bölgesel beyin kan akımı gereksinim duyulan metabolitlerin ve oksijenin karşılanabilmesi için artırılır. Beyin kan akımının bu özelliği nöbet sırasında artan metabolik ihtiyaca bağlı bölgesel hiperperfüzyona; nöbetin olmadığı zamanlarda

normale oranla azalan hipoperfüzyona neden olur. Beyin perfüzyon çalışmaları ile hem iktal hem de interiktal dönemde görüntüleme yapılarak nöbet odağının belirlenmesi sağlanabilir.

Beyin perfüzyon sintigrafisi için literatürde iki farklı radyofarmasötik bulunmaktadır: Tc-99m hegzametilpropilenaminoksim (HMPAO) ve 99mTc-etilensistein dimer (ECD). Tc-99m-HMPAO'nun bağlandıktan sonra *in vitro* stabilitesinin düşük olması nedeni ile günümüzde rutinde beyin perfüzyon SPECT çalışmalarında Tc-99m ECD kullanılmaktadır. Tc-99m ECD lipofilik yapısına bağlı olarak hızla kan beyin bariyerini geçer, beyin kan akımı ile doğru orantılı olacak şekilde nöronlarca alınır. Hücre içinde enzimatik olarak lipofilik forma dönüşür ve bu şekilde hücre içerisinde tuzaklanarak kalır. İntravenöz enjeksiyon sonrasındaki ilk bir dakika içerisinde radyoaktif maddenin beyindeki tutulumunun hızla arttığı, sonrasında ise platoya erişerek sabit kaldığı gösterilmiştir. Beyinde bölgesel kan akımı değişken beyin fonksiyonlarına bağlı, anlık olarak yeniden düzenlenir. Epileptik nöbet sırasında kontrolsüz deşarjlardan sorumlu nöronların bulunduğu bölgelerde nöronların artan enerji ihtiyacı ile orantılı olarak bölgesel kan akımı artmaktadır. Beyin perfüzyon SPECT çalışmaları yüksek zamansal rezolüsyona sahip olduğu için hem nöbet sırasında (iktal) hem de nöbetsiz zamanda (interiktal) uygulanabilir. Bu ikili görüntüleme sayesinde epileptojenik odak daha doğru olarak belirlenebilir.

İktal beyin perfüzyon çalışmalarında Tc-99m ECD enjeksiyonu klinik olarak nöbet başladığında ve EEG'de nöbete bağlı değişiklikler izlendiği sırada yapılır. Bu şekilde nöbetin başlangıcı zamansal olarak yakalandığında beyindeki epileptojenik odakta artmış perfüzyonu gözlenebilir. Ancak Tc-99m ECD enjeksiyonunun yapılması nadir olmayarak gecikebilir, bu durumda post-iktal bir görüntü elde edilmiş olur. Özellikle nöbet jeneralize olduktan sonra enjeksiyon yapılırsa nöbetin yayıldığı kortikal bölgelerde hiperperfüzyon gözlenir. Bu sırada epileptojenik odakta perfüzyon azalmaya başlar ve bu alan hipoperfüze olarak bile gözlenebilir.

Bebeklik ve çocukluk çağında beyin perfüzyonunda belirgin değişiklikler olmaktadır. Bu nedenle bu yaş grubunda gerek tetkiklerin yapılması gerek ise yorumlanması özellik arz eder. Doğumdan sonraki ilk aylarda frontal lobun perfüzyonu beynin diğer kesimlerine göre daha düşük olup ön-arka oranı posteriorda oksipital lob lehine bozulmuştur (9). Frontal lobun perfüzyonu 2

yaşına kadar giderek artar. Global beyin perfüzyonu 5-6 yaşlarda maksimuma ulaşır ve daha sonra perfüzyon 15-19 yaşlarına kadar giderek azalır ve erişkin paternine döner.

Beyin perfüzyon çalışmalarının nöbet odağını belirlemedeki rolü çoğunlukla erişkinler üzerinde yapılan çalışmalara dayanmaktadır. İktal, postiktal ve interiktal beyin perfüzyon çalışmasının değerlendirildiği bir metaanalizde sırası ile iktal, postiktal ve interiktal beyin perfüzyon SPECT çalışmalarının duyarlılığı %96, %75 ve %44 olarak bulunmuştur (10). Yalancı pozitiflik diğer tanısal testler ile karşılaştırıldığında interiktal çalışmalarda %7,4, postiktal çalışmalarda %4,4 iken cerrahi sonrası değerlendirme ile karşılaştırıldığında interiktal çalışmalar için %4,4 bildirilmiştir. Bu çalışmada özellikle çocuk hastalar için bir alt grup analizi de yapılmış olup pediatrik popülasyonda interiktal çalışmaların duyarlılığı %53, postiktal çalışmalarınki ise %73 bulunmuştur. İktal çalışmalarda enjeksiyon zamanı ne kadar erken yapılırsa doğru lezyon lokalizasyon başarısının da o kadar yüksek olduğu gösterilmiştir (11).

Çocukluk yaş grubunda iktal ve interiktal beyin perfüzyon çalışmalarının birbirinden çıkartılarak MR görüntüleri üzerine çakıştırıldığı “*Subtraction Ictal SPECT Coregistered to MR imaging (SISCOM)*” algoritması ile lezyon lokalizasyonu, bu tetkiklerin tek tek görsel olarak değerlendirilmesinden daha başarılı sonuçlar vermektedir. MR’nin, FDG PET’in, ve SISCOM algoritması kullanılarak yorumlanan beyin perfüzyon çalışmalarının pediatrik hastalarda epilepsi odağının lokalizasyon başarısının değerlendirildiği bir çalışmada sadece MR’nin lokalizasyon başarısı %39 iken, FDG PET’in ve SISCOM’un tek tek lezyon saptama oranları sırası ile %67 ve %57; SISCOM ve FDG PET’in ortak kullanıldığı durumda ise %76 olarak bulunmuştur (12). Hem görsel değerlendirmenin hem de SISCOM algoritmasının karşılaştırıldığı bir çalışmada enjeksiyon zamanı 20 saniye altında olan hastalarda lezyon lokalizasyon başarısı görsel değerlendirme ve SISCOM için sırası ile %67,6 ve %80,7 iken enjeksiyon zamanı geciken hastalarda bu oran %52’ye düşmüştür (11). Ancak enjeksiyon zamanı aslında başka faktörler ile de ilişkilidir. Pediatrik yaş grubundan toplam 118 hasta üzerinde retrospektif olarak yapılan bir çalışmada radyofarmasötik enjeksiyon zamanı iktal ya da periiktal network dinamikleri ve iktal lezyon lokalizasyon başarısı arasındaki ilişki araştırılmış olup EEG’de lokalizasyon yapılamayan hastaların %57’sinde iktal beyin perfüzyon çalışmaların odaksal olarak raporlandığı,

bu hastaların %67,5’inde hiperperfüze odağın cerrahi eksizyonun yapılabilirdiği, bu hastaların da %74,1’inde cerrahi sonuçlar ile SPECT sonuçlarının uyumlu olduğu gösterilmiştir (13). Video-EEG değerlendirmelerinde fokal başlayan ve yavaş gelişen, aurası olan ya da EEG’de öncü değişikliklerin gözlemlendiği, jeneralizasyon olsa bile bunun belirli bir kural doğrultusunda geliştiği hastalarda iktal radyofarmasötik enjeksiyonu daha erken yapılabilirmekte, dolayısı ile hiperperfüzyon alanı ile nöbet odağı ilişkisi daha doğru kurulabilirdiği için lezyon lokalizasyonu da daha doğru yapılabilirmektedir (13). Benzer şekilde nöbet ile ilişkili kortikal networkün karmaşık olduğu durumlarda hem EEG ya da nöbet semiyolojisi ile doğru lokalizasyon ve lateralizasyon yapılamamakta hem de iktal beyin perfüzyon çalışmalarında radyofarmasötik enjeksiyon zamanı gecikmektedir. Başka bir deyişle enjeksiyon zamanı optimal olsa bile kompleks nöronal networkün olduğu karmaşık nöbet tiplerinde iktal beyin perfüzyon sintigrafisinin odaksal bir hiperperfüzyon göstermesi olasılığı da düşük olacaktır.

Yenidoğan ve infantlarda yapılan bir çalışmada iktal-interiktal beyin perfüzyon SPECT ile nöbet odağı lokalizasyonu yapılabilen hastalardan cerrahi olarak tam rezeksiyonu yapılabilen 5 hasta nöbetsiz iken SPECT ile gösterilmiş hiperperfüze alan cerrahi olarak çıkarılamamış hastaların cerrahi sonrası nöbetlerinin devam ettiği bildirilmiştir (14). Bu nedenle beyin perfüzyon çalışmaları cerrahinin yapılabilirliği, eksize edilecek alanın genişliği ve cerrahi sonrası prognoz hakkında önemli işlevsel bilgiler vermektedir.

Pozitron Emisyon Tomografisi

F-18 FDG PET: İlaça dirençli epilepsi değerlendirmesinde beyinde glukoz metabolizmasındaki değişiklikleri görüntülemek için kullanılır (3). FDG’nin beyinde tutulması 45-60 dakikalık bir sürede gerçekleşir. Bu nedenle F-18 FDG PET beyinde hızlı yayılımın olduğu iktal/periiktal dönemde kullanıma uygun değildir; interiktal dönemde uygulanır. Beyindeki FDG tutulumu glukoz metabolizmasını, nöronların canlılığını, nöronal bütünlüğü ve sinaptik yoğunluğu gösterir. Enjeksiyon zamanından çekime kadar olan 45-60 dakikalık bekleme sürecinde (loş-sakin PET hasta odasında) hasta nöbet açısından yakın takip edilir; mümkünse hastanın EEG kaydı alınabilirse bu süreçteki metabolizma değişiklikleri ile EEG aktivitesi ilişkisi görüntüyü yorumlamada fayda sağlar.

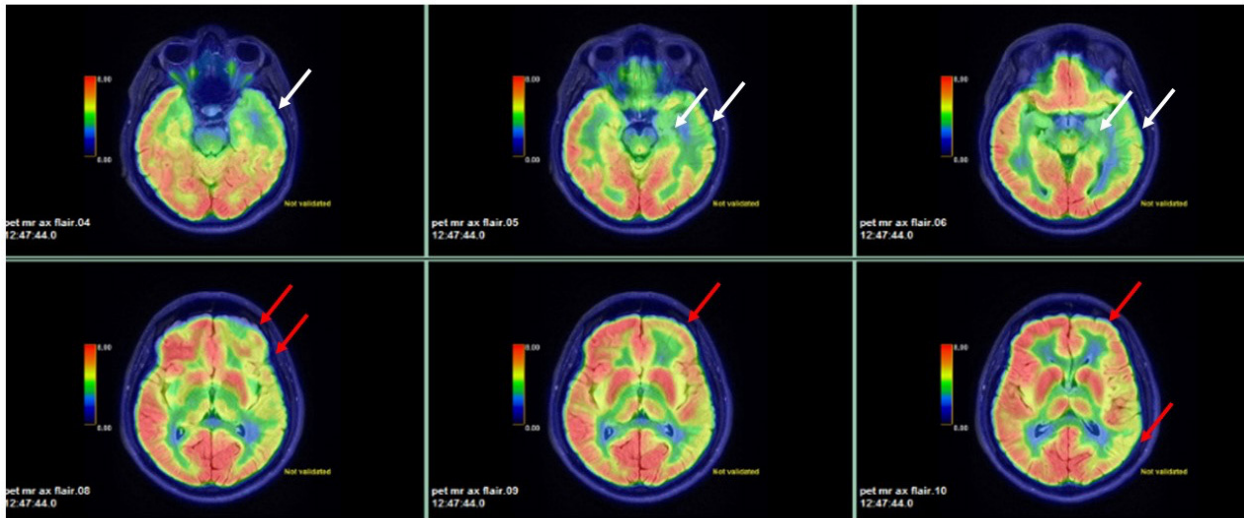
Epileptojenik zon, nöbet odağı (“*ictal onset zone*”) ve hemen çevresindeki etkilenen alandır (3,8). F-18

FDG PET çalışmasında epileptik alan-lateralizasyonu bölgesinde beklenen bulgu o bölgede hipometabolizma olmasıdır. F-18 FDG PET görüntüsünde hipometabolik bölge genellikle gerçek epileptojenik zondan ve MR'de saptanan lezyondan daha geniş olarak izlenir (Şekil 2). Bu hipometabolik bölge nöbetlere bağlı olarak sinaptik uyarıdaki kayıp ve serebral disfonksiyonun şiddeti ile ilişkili olarak epileptojenik zon ile fonksiyonel “defisit zone”, “irritative zone”, semptomatolojik “zone” olarak adlandırılan ve nöbet odağı ile etkileşim içerisinde olan beyin alanlarını da içerebilir. Yani ilaca dirençli epilepside beyinde FDG tutulumundaki bu azalma hem epileptojenik zondaki hipometabolizmayı hem de çeşitli epileptik yolların aktivasyonu nedeni ile etkilenmiş korteks bölgelerinin gösterilmesini sağlar (8). Bu bilgi cerrahi için hasta seçiminin daha doğru yapılmasına katkıda bulunur. Epileptojenik zon dirençli nöbette başarı elde etmek için çıkarılması yeterli olan beyin bölgesidir. F-18 FDG PET çalışmasında tamamlayıcı bulgu olarak; ipsilateral talamusta (Şekil 3), bazal ganglionda, parietal-frontal hatta karşı temporal kortekste hipometabolizma; kontralateral serebellumda hipometabolizma (diaşizis) izlenebilir

(Şekil 3). Çocukluk çağında band heterotopi, çift korteks gibi anomalilerde ise FDG tutulumu normal düzeyde olabilir veya rölatif hipermetabolizma gözlenebilir. Çocuklarda bilateral temporal hipometabolizma ve prefrontal lob hipometabolizması agresif davranış ile ilişkilendirilebilmektedir (3). Ayrıca, temporal lob epilepsisinde parietal ve frontal hipometabolizma da eşlik edebilmektedir; bu bilişsel disfonksiyon veya diaşizis nedeni ile olabilir. F-18 FDG PET hem temporal hem de ekstrapetal neokortikal nöbet bölgelerini (“dual” patoloji) göstermede yardımcıdır.

F-18 FDG PET’in temporal lob epilepsilerinde epileptojenik beyin bölgesini tespitteki duyarlılığı yüksektir (%85-90); ekstrapetal lob epilepsilerinde de duyarlılığı (%45-92) iyidir (3,15). Epileptik lezyonların metabolik aktivitesinin değerlendirilmesi için PET ve MR görüntülerinin karşılaştırılması veya PET-MR ile görüntüleme yorumlanmada yarar sağlamaktadır.

F-18 FDG PET nöbet başlangıç yerini tam göstermede düşük özgüllüğe sahip olsa da epileptojenik bölgeyi göstermede MR’nin normal olduğu durumlarda önem



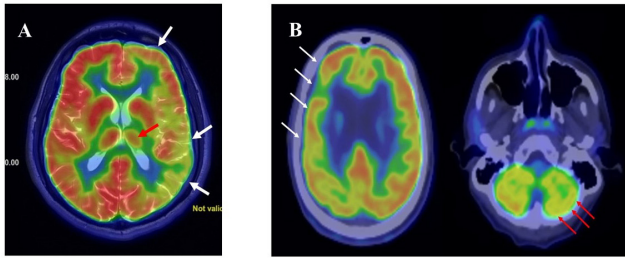
Şekil 2. Semiyolojisi ve VEM bulgularıyla temporal ve frontotemporal nöbetleri sınıflanan hastanın beyin MR’sinde solda hipokampal skleroz tespit edildi. Hastanın frontotemporal bulguları da olduğundan “dual” patoloji veya bulguların frontal bölge ile ilişkisini aydınlatmak için F-18 FDG PET görüntülemesi yapıldı. F-18 FDG PET görüntülerinde sol temporal lobda lateralde-mezialde belirgin hipometabolizma (beyaz oklar) gösterilmektedir. Ayrıca, sol frontal-sol parietal lobda da hipometabolizma görülmektedir (kırmızı oklar). F-18 FDG PET hastanın semiyolojisi ve VEM bulguları ile uyumlu sonuç vermiş olup, multidisipliner epilepsi toplantısında MR’deki skleroz bulgusu ve hastanın temporal nöbetlerinin baskın olması göz önüne alınarak öncelikle sol temporal lobektomi önerildi. Bu hastada F-18 FDG PET çalışmasında hipometabolik bölgenin genellikle gerçek epileptojenik zondan ve MR’de saptanan lezyondan daha geniş saptanabileceği gösterilmekte ve F-18 FDG PET semiyolojik bulgulara açıklık getirmektedir

MR: Manyetik rezonans, FDG: Florodeoksiglukoz, PET: Pozitron emisyon tomografisi, VEM: Video- elektroensefalografi monitörizasyonu

arzeder (Şekil 4). Ayrıca, F-18 FDG PET bulguları normal yapısal nörogörüntüleme bulgusuna sahip hastalarda invaziv elektrot yerleştirilecek bölge için yol göstermede önemli rol oynar (Şekil 4). Hastanın epilepsisine bağlı beyindeki metabolik fonksiyonel ağı yani beyindeki fonksiyonel bütünlüğü gösterir (Şekil 2).

Flumazenil (FMZ) benzodiazepine antagonistidir ve “ γ -aminobutyric acid (GABAA)” reseptör kompleksinin α alt ünitesine bağlanır. İnterikrital FMZ-PET beyinde nöronal kayıp ve GABAA reseptör dansitesini yansıtır (3,4). Epileptik odakta FMZ bağlanması azalır (3,16,17). FMZ-PET, F-18 FDG PET’e göre nöbet fokusunu daha doğru sınırlayarak gösterir. MR’nin gösteremediği kortikal displazi alanlarını belirleyebilir. Hipokampal sklerozu göstermede duyarlıdır. Hastada “dual” patoloji var ise bunu göstermede başarılıdır.

Alpha-(C-11/F-18)methyl-L-tryptophan (AMT) beyinde α -(C-11/F18)methyl serotoninine dönüşür; monoaminoksidad için substrat değildir ve serotenerjik terminalerde akumule olur. AMT-PET tüberoskleroziste ve multifokal kortikal displazide epileptojenik ve non-epileptojenik odakları ayırmada kullanılır (3). Epileptojenik odak/odaklarda AMT tutulumu olurken nonepileptojenik odaklarda AMT tutulmaz. Böylece bu grup hastada nöbetten sorumlu odakların belirlenmesinde ve cerrahi açısından değerlendirmede önemli rol oynar. “Quinolic acid” triptofan metabolizmasının az bir bölümünü oluşturur ve kuvvetli konvülzan bir maddedir. AMT’nin bu grup epilepsi hastasında epileptojenik odakta bu yolağı daha aktif kullandığı düşünülmektedir.



Şekil 3. A. F-18 FDG PET görüntülemesinde epilepsi açısından sol lateralizasyon ile uyumlu sol parietal ve sol frontal hipometabolizması olan (beyaz oklar) hastada ipsilateral talamusta hipometabolizma (kırmızı ok) izlenmektedir. **B.** İlaça dirençli epilepsi hastasının F-18 FDG PET görüntülemesinde sağ frontal ve sağ parietal lobda yaygın hipometabolizma (beyaz oklar) izlenmektedir. Bu hipometabolik bölge ile ilişkili olarak sol serebellumda diazisiz ile uyumlu görece hipometabolizma gösterilmektedir (kırmızı oklar)

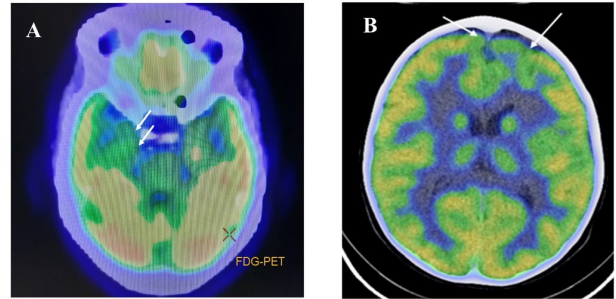
FDG: Florodeoksiglukoz, PET: Pozitron emisyon tomografisi

Ayrıca, epilepside PET ile serotonin, asetilkolin, dopamin ile reseptör bağlanma araştırmaları ve beyin perfüzyon çalışmaları da yapılmaktadır (3,8). Serotonin PET ile yapılan çalışmalarda mezial temporal bölgeyi de içeren temporal alan ile diğer kortikal ve limbik bölgelerde azalmış bağlanma olduğu bildirilmiştir. Epilepsi hastalarındaki azalmış serotonin bağlanması ile bu hastalardaki depresif semptomlar arasında ilişki olduğu gösterilmiştir.

Çocukluk Çağı Epilepsi Sendromları

Bu grup hastada deneyimlerin çoğu PET ile elde edilmiştir (3,4). Bu grupta Nükleer Tıp yöntemleri aşağıdaki konularda önemli rol oynar.

1. Beyindeki epileptik-fonksiyonel bozukluk olan bölgenin tespiti,
2. Bu bölge tek veya sınırlı ise hastaya cerrahi şansı tanınması,
3. Cerrahi olamayacak hastalarda hangi tedavi yöntemlerinin kullanılabileceğinin öngörülmesi,



Şekil 4. A. Semiyolojisi sağ temporal lob epilepsisi açısından şüpheli olan ve MR’inde belirgin patoloji izlenmemekle birlikte sağ amigdalada şüpheli hafif kalınlık izlenen hastada bu bulguları netleştirmek için yapılan F-18 FDG PET çalışmasında sağ mezial temporal kortekste hipometabolizma (beyaz oklar) saptandı. F-18 FDG PET çalışması ile sağ temporal lob epilepsisi tanısı netleşen hasta multidisipliner epilepsi toplantısında cerrahi rezeksiyona yönlendirildi. **B.** İlaça dirençli epilepsi hastasında semiyolojik olarak sol taraf frontal nöbet sınıflaması ve sağ frontal tip nöbet açısından şüpheli semiyolojik yorumlama yapıldı. VEM bulguları sol frontale işaret etmekteydi. MR’de sol frontal geniş sulkus ve çevresinde kortikal displazi alanı mevcuttu. Sağ frontal şüpheli semiyolojik bulgusu olan hastaya uygulanan F-18 FDG PET çalışmasında sol prefrontal hipometabolizma ve sağ prefrontal-mezial hipometabolizma izlendi (beyaz oklar). Multidisipliner epilepsi toplantısında FGD-PET sonucu dikkate alınarak hem sol hem sağ prefrontal bölge için invaziv elektrot ile inceleme yapılması önerildi

MR: Manyetik rezonans, FDG: Florodeoksiglukoz, PET: Pozitron emisyon tomografisi, VEM: Video- elektroensefalografi monitörizasyonu

4. Hastalığın fonksiyonel açıdan progresyonunun takibi,
5. Biyopsi gerektiren durumlarda biyopsi yapılacak bölgenin tespiti.

İnfanıl spazmlar (West sendromu): Bir yaş altında ciddi klinik spazmlar ve EEG'de hipsaritmi bulguları ile seyreder (3,18,19). Gelişimsel ve nörokognitif geriliklerine neden olur. Etiyolojide serebral malformasyonlar, kromozomal anomaliler ve hipoksik/hemorajik ensefalopatiler bulunur. İlaça dirençli infanıl spazmda seçilmiş hastalarda epilepsi cerrahisi önemli bir tedavi seçeneğidir. İlk görüntüleme yöntemi MR'dir. F-18 FDG PET, MR negatif/şüpheli olgularda önemli rol oynar. F-18 FDG PET tutulum paternine göre medikal/cerrahi yaklaşım için yardımcıdır. F-18 FDG PET tek bölgede hipometabolizma gösterirse hastanın cerrahi şansı yüksektir; erken cerrahi ile prognozda fayda sağlanabilir. Bilateral, multifokal hipometabolizma görülen hastalarda cerrahi rezeksiyon şansı azalır. İktal SPECT veya AMT-PET bu hastalarda rezektif cerrahi şansı için ayrıntılı-dikkatli inceleme imkanı verir. Bu hastalarda cerrahi sonrasında farklı nöbet tipleri görülebilmekte veya gelişimsel yavaşlama devam edebilmektedir. Simetrik hipometabolizma mevcut olan hastalarda nörometabolik, nörolojik bozukluk akla gelir ve lezyon etiyojisinden uzaklaşılır. Başlangıçta MR negatif yorumlansa da F-18 FDG PET görüntülerinde hipometabolizma saptanması durumunda MR'de farklı sekanslar alınarak ve görüntülerin yeniden değerlendirilmesi ile MR'de ilk yorumlamada gözden kaçabilecek belirsiz lezyonların saptanması mümkün olmaktadır.

Sturge-Weber sendromu: Genellikle ilk yaş içerisinde görülen, embriyonik damarsal anomaliler ve glokomla seyreden gelişimsel bir hastalıktır (3,18,20). Hastalar çocuklukla ilaca dirençli epilepsi, hemipleji/hemiparezi ve görsel defisit ile başvurur. MR beyinde damarsal patolojinin gösterilmesinde önemlidir. Hastalarda anjiyomatöz lezyon olan kortikal alanda belirgin hipometabolizma görülür. Hastaların prognozunu bu hipometabolik alanın genişliği etkiler. Hipometabolizma gösteren alan ne kadar genişse hastaların klinik tablosu-nörogelişimsel gerileme o kadar kötü seyreder. F-18 FDG PET bu grup hastada fokal kortikal rezeksiyona yol gösterir; erken hemisferektomi adaylarının belirlenmesine yardımcı olur. F-18 FDG PET takiplerinde hafif-orta derecede yavaş ilerleyen hipometabolizma daha kötü prognozludur. Bunun tersine hızlı ilerleyen hipometabolizma hızlı kortikal

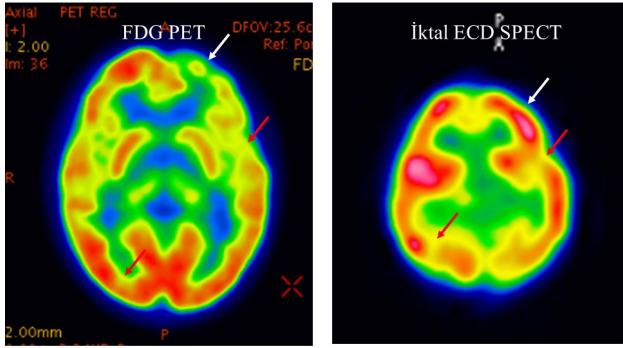
destrüksiyon nedeniyle nöbetlerde azalma ve rölatif iyi prognoz ile seyretmektedir. Erken yaşlarda yapılan F-18 FDG PET çalışmalarında Sturge-Weber sendromlu hastalarda yer yer hipermetabolik alanlar görülebilir. Bu hipermetabolik alanların ilk klinik nöbet öncesinde görüldüğü, epileptogeneze önemli olduğu, izlemde hipometabolik karakter kazandığı düşünülmektedir.

Tüberoskleroz: Konjenital bir sendrom olan tüberosklerozda hastaların çoğunda epilepsi görülmektedir (1,3,18). Hastalarda birden fazla odakta kortikal ya da subkortikal tüberler görülebilir ve bunlar MR ile saptanabilir. F-18 FDG PET çalışmalarında bu tüberlere uyan alanlarda hipometabolizma izlenir. Bu tüberlerden biri ya da birkaç epilepsi ile ilişkili olup, epilepsiden sorumlu olan tüberlerin saptanmasında AMT-PET faydalıdır. Epileptik tüberde AMT tutulumu olur. Bu tüberin cerrahi olarak çıkarılması ile hastanın nöbetsiz kalması sağlanabilmektedir. İktal SPECT bu özel grup hastada önemli yere sahip olup, epileptik tüber bölgesinde hiperperfüzyon gösterilebilir (Şekil 5).

Lenoux-Gastaud sendromu: Gelişimsel epileptik ensefalopati sendromudur (3,18,21). Farklı epileptik nöbet tipleri bir arada görülebilir. Bazal EEG'de yavaş diken-dalga paterni saptanır. Nöbetler tedaviye dirençlidir; öğrenme zorluğu ve davranış sorunları görülebilmektedir. F-18 FDG PET ile normal metabolizma, unilateral odaksal hipometabolizma, unilateral diffüz hipometabolizma veya bilateral simetrik hipometabolizma şeklinde dört farklı tipte bulgu tanımlanmıştır. Unilateral odaksal hipometabolizması olan hastalar bölgesel cerrahi rezeksiyondan; unilateral diffüz hipometabolizma izlenen hastalar ise korpus kallozektomi ya da hemisferektomi operasyonlarından fayda görebilmektedir. Bu hastalarda adaptif davranışlar ile F-18 FDG PET çalışmasındaki frontal loblarda hipometabolizmanın yaygınlığının ters orantılı olduğu bilinmektedir. Sendromda epileptik lezyonların bazı nöral bağlantı ağları üzerinden epilepsi geliştirdikleri düşünülmektedir. Epilepsi cerrahisi sonrasında hastalarda epileptik deşarjların giderek söndüğü, bu deşarjlara bağlı olarak dengesizlik gösteren nöral bağlantı ağlarında stabilizasyon olduğu düşünülmektedir.

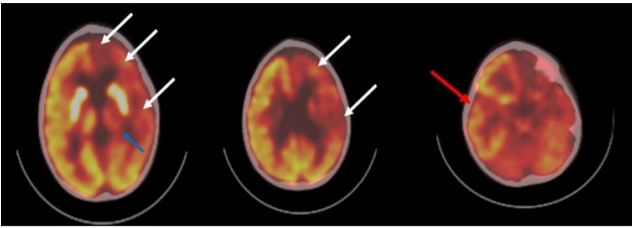
Rasmussen sendromu: Nadir gözlenen bir çocukluk çağı sendromudur. Hastalarda değişken hemiparezi, kognitif yetersizlik ve progressif ensefalopati görülebilir. Sendrom viral ya da otoimmün ensefalit sonrasında gelişebilir. Hastalarda beklenen tipik bulgu progresif hemisferik atrofi ve bu alanda belirgin FDG hipometabolizmasıdır. Hastanın

epileptik durumuna göre F-18 FDG PET'te hipometabolizma veya hipermetabolizma görülebilir. MR'de yapısal görünüm oturmadan önce erken dönemde F-18 FDG PET ile hipometabolizma gösterilmesi yüksek tanısal performans ile kliniği yönlendirebilmektedir. Beyinde bir hemisferde F-18 FDG PET ile yaygın hipometabolizmanın



Şekil 5. Tüberoskleroz tanılı epilepsi hastasında F-18 FDG PET çalışmasında beyaz ok ile hipoaktif gösterilen tüber bölgesi iktal Tc-99m ECD SPECT çalışmasında beyaz ok ile hiperaktif olarak izlenmekte olup; multidisipliner epilepsi toplantısında, semiyoloji ve EEG bulguları da göz önüne alındığında, bu tüberin nöbetten sorumlu odak olduğu düşünülmüştür. Hastanın F-18 FDG PET çalışmasında kırmızı olarak gösterilen diğer tüber bölgelerinde iktal Tc-99m ECD çalışmasında hipoperfüzyon (kırmızı oklar) izlenmektedir

FDG: Florodeoksiglukoz, PET: Pozitron emisyon tomografisi, SPECT: Tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi, EEG: Elektroensefalografi, ECD: Etilestisistein dimer



Şekil 6. Kliniğinde Rasmussen ensafalitinden şüphelenilen ve MR'sinde bu durum ile ilişkili bulguları bulunmayan hastada F-18 FDG PET çalışmasında sol hemisferde yaygın hipometabolizma (beyaz oklar), sol talamusta hipometabolizma (mavi ok), sağda temporal lob ön kesiminde hipometabolizma (kırmızı ok) izlenmektedir. Kliniğinde sol hemisfer bulguları olan ve son birkaç günde sağda da klinik bulgular yerleşmeye başlayan hastada F-18 FDG PET bulguları yapısal bulgular oluşmadan kliniğin Rasmussen sendromu ön tanısını desteklemiş; tanısal performans sağlayarak klinisyeni yönlendirmiştir

MR: Manyetik rezonans, FDG: Florodeoksiglukoz, PET: Pozitron emisyon tomografisi

gösterilebilirse hastalar hemisferektomiden fayda görebilir. Biyopsi planı var ise biyopsi yeri için yön vermede ve hastanın seyrini takipte F-18 FDG PET önerilmektedir. F-18 FDG PET hastanın semptomatolojisinin açıklanmasında fayda sağlar ve karşı hemisfere yayılım durumunu erken safhada gösterir (Şekil 6).

Hemimegalensefali: Beyinde unilateral, kongenital, geniş-defektif, hemisferik gelişimsel bir malformasyondur. Kontralateral hemisfer normal ise erken dönemde hemisfer diskonneksiyonundan fayda sağlanabilir. F-18 FDG PET'in bu durumdaki yeri cerrahi öncesi kontralateral hemisferdeki fonksiyonel bütünlüğü göstermek ve cerrahiden sağlanabilecek faydayı ön görmektir.

İlaça Dirençli Epilepsi Hastalarının Değerlendirilmesi

İlaça dirençli epilepsi hastalarının öncelikle cerrahi rezeksiyon ile nöbet kontrolünün sağlanması veya hastanın durumuna göre diğer tedavi olasılıklarının değerlendirilmesi açısından epilepsi merkezlerine yönlendirilmeleri gerekmektedir. Erken çocukluk çağında ilaca dirençli hastaların epilepsi merkezinde incelenmesi ayrıca önem taşır. Epilepsi merkezinde hastalar klinik, EEG, MR, SPECT ve PET bulguları ile multidisipliner hasta konseyinde tartışılır. Çünkü bu grup hastada hastaya özel yaklaşım önemlidir. Epilepsi merkezi medikal ve cerrahi/ilacı dışı tedavilerin gerektirdiği alt yapıya (VEM, MR-BT, PET-SPECT, anjiyogram ve intrakarotid amobarbital testi, fonksiyonel beyin haritalama vb.) ve bu alanda uzmanlaşmış nörolog, nörogörüntüleme uzmanları, epilepsi cerrahı, nöropsikolog, psikiyatrist, epilepside uzman hemşire, EEG teknisyeni, nöroanestezi, sosyal hizmet uzmanı, fizyoterapistten oluşan ekibe sahip merkezdir. Epilepsi merkezleri birincil sağlık hizmeti hekimleri, nörologlar ile iş birliği içinde olarak onlara danışmanlık ve hasta ile bakımının eğitimine yön vermektedir.

Üniversite hastanemizde 30 yıla yakın süredir alanında uzman ekip ve donanımlar ile merkezimizde hastalarımıza hizmet vermekteyiz. Her hafta düzenli olarak hastalarımızı multidisipliner epilepsi toplantısında tartışmaktayız. Bu toplantılarda ilaca dirençli hastalar nöbetlerinin temporal/ekstraparoksal, odaksal/yaygın, bilateral/unilateral olup olmadığı açısından tartışılır. Semiyoloji ve VEM kayıtları ile nöbet sınıflandırması yapılır. Hastaların nöbetlerini açıklayacak epileptojenik lezyon/lezyonlar açısından MR görüntüleri incelenir. Bir

lezyon saptanması durumunda bunun primer motor alana, görme ya da konuşma merkezlerine yakınlığı vb. durumları değerlendirilir. Lezyon saptanmadığı durumlarda o hasta özelinde uygun olacak fonksiyonel Nükleer Tıp uygulamaları kararlaştırılır. Bazı hastalarda değerlendirme sonuçlarına göre epileptojenik odağın tam olarak sınırlandırılabilmesi için intrakraniyal elektrotların yerleştirilmesine ve nereye yerleştirileceğine karar verilebilir. Hastalar nöropsikolojik değerlendirme ve fMR tetkikleri ile ayrıca incelenir. Bu bilgiler ile hastaların bellek durumları, olası cerrahi sonrasında etkilenebilecek işlevleri (görme, konuşma, motor vb.) gözden geçirilir. Tüm değerlendirmelerin sonucunda hastaya cerrahi uygulanabilecek ise uygulanacak cerrahinin tipi (lobektomi, lezyonektomi, hemisferotomi vb.) kararlaştırılır. Eğer bulgular hastanın epilepsi cerrahisi için uygun olmadığını gösteriyorsa diğer tedavi seçenekleri ile palyatif yöntemler (ketojenik diyet, vagal sinir stimülasyonu, korpus kallosotomisi vb.) ve bu tedavilerin sonuçları tartışılır.

Sonuç

İlaça dirençli epilepsi hastaları öncelikle olası cerrahi rezeksiyon ile nöbet kontrolü sağlanması açısından değerlendirilir. Özellikle çocukluk çağında erken epilepsi cerrahisi ile iyi sonuçlar elde edilmektedir. Bu nedenle bu hastalar ileri değerlendirme ve tedavi planlaması için epilepsi merkezine yönlendirilmelidir. Burada hasta semiyolojik olarak ve VEM ile değerlendirilir; MR incelemeleri yapılır. Bunların sonuçları uyumsuz ise veya lezyon saptanamıyorsa hasta özelinde beyin perfüzyon SPECT ve/veya F-18 FDG PET çalışmaları gündeme gelir. Nükleer Tıp uygulamaları epileptojenik bölgenin lokalizasyonu/lateralizasyonunu göstermede, hastanın nöbet tipini sınıflamada, tedaviye yön vermede, cerrahi planlamasında, intrakraniyal elektrot yerleştirilecek bölge için yönlendirmede, çocukluk çağı epilepsi sendromlarının değerlendirmesinde ve bu fonksiyonel bozuklukta beyin fonksiyonel bütünlüğünü göstermede önemli rol oynamaktadır.

Dipnotlar

Çıkar Çatışması: Yazarlar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar

- Perucca P, Bahlo M, Berkovic SF. The genetics of epilepsy. *Annu Rev Genomics Hum Genet.* 2020;21:205-230.
- Türkdoğan. Pediatrik nörologdan pediatrik epileptoloğa: Hangi hasta ne zaman yönlendirilmeli? In: Yalnızoğlu D, ed. *Pediatrik Epilepsi Cerrahisi*. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2024:1-7.
- Ergun EL, Saygi S, Yalnizoglu D, Oguz KK, Erbas B. SPECT-PET in Epilepsy and clinical approach in evaluation. *Semin Nucl Med.* 2016;46:294-307.
- Ergün E, Salancı VB. Epilepsi cerrahisi öncesi invazif olmayan incelemeler:Nükleer tıp. . In: D Y, ed. *Pediatrik Epilepsi Cerrahisi*. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2024:25-33.
- Fisher RS, Cross JH, French JA, et al. Operational classification of seizure types by the International league against epilepsy: position paper of the ILAE commission for classification and terminology. *Epilepsia.* 2017;58:522-530.
- Öztoprak Ü, Turanlı G. Epilepsi cerrahisi öncesi invazif olmayan incelemeler: video EEG monitörizasyon. In: Yalnızoğlu D, ed. *Pediatrik Epilepsi Cerrahisi*. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2024:8-18.
- Koç A, Ucar M. Epilepsi cerrahisi öncesi invazif olmayan incelemeler: Nöroradyoloji. In: D Y, ed. *Pediatrik Epilepsi Cerrahisi* Ankara; 2024:19-24.
- Traub-Weidinger T, Arbizu J, Barthel H, et al. EANM practice guidelines for an appropriate use of PET and SPECT for patients with epilepsy. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2024;51:1891-1908.
- Chiron C, Raynaud C, Maziere B, et al. Changes in regional cerebral blood flow during brain maturation in children and adolescents. *J Nucl Med.* 1992;33:696-703.
- Devous MD Sr, Thisted RA, Morgan GF, Leroy RF, Rowe CC. SPECT brain imaging in epilepsy: a meta-analysis. *J Nucl Med.* 1998;39:285-293.
- Lee SK, Lee SY, Yun CH, Lee HY, Lee JS, Lee DS. Ictal SPECT in neocortical epilepsies: clinical usefulness and factors affecting the pattern of hyperperfusion. *Neuroradiology.* 2006;48:678-684.
- Perissinotti A, Setoain X, Aparicio J, et al. Clinical role of subtraction ictal SPECT coregistered to MR imaging and (18) F-FDG PET in pediatric epilepsy. *J Nucl Med.* 2014;55:1099-1105.
- Stamoulis C, Connolly J, Axen E, et al. Non-invasive seizure localization with ictal single-photon emission computed tomography is impacted by preictal/early ictal network dynamics. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2018.
- Kudr M, Krsek P, Maton B, et al. Ictal SPECT is useful in localizing the epileptogenic zone in infants with cortical dysplasia. *Epileptic Disord.* 2016;18:384-390.
- la Fougere C, Rominger A, Forster S, Geisler J, Bartenstein P. PET and SPECT in epilepsy: a critical review. *Epilepsy Behav.* 2009;15:50-55.
- Juhasz C, Chugani DC, Muzik O, et al. Electroclinical correlates of flumazenil and fluorodeoxyglucose PET abnormalities in lesional epilepsy. *Neurology.* 2000;55:825-835.
- Juhasz C, Nagy F, Muzik O, Watson C, Shah J, Chugani HT. [11C] Flumazenil PET in patients with epilepsy with dual pathology. *Epilepsia.* 1999;40:566-574.

18. Kumar A, Chugani HT. The role of radionuclide imaging in epilepsy, part 2: epilepsy syndromes. *J Nucl Med Technol.* 2017;45:22-29.
19. Pavone P, Striano P, Falsaperla R, Pavone L, Ruggieri M. Infantile spasms syndrome, West syndrome and related phenotypes: what we know in 2013. *Brain Dev.* 2014;36:739-751.
20. De la Torre AJ, Luat AF, Juhasz C, et al. A multidisciplinary consensus for clinical care and research needs for Sturge-Weber syndrome. *Pediatr Neurol.* 2018;84:11-20.
21. Archer JS, Warren AE, Stagnitti MR, Masterton RA, Abbott DF, Jackson GD. Lennox-Gastaut syndrome and phenotype: secondary network epilepsies. *Epilepsia.* 2014;55:1245-1254.



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).

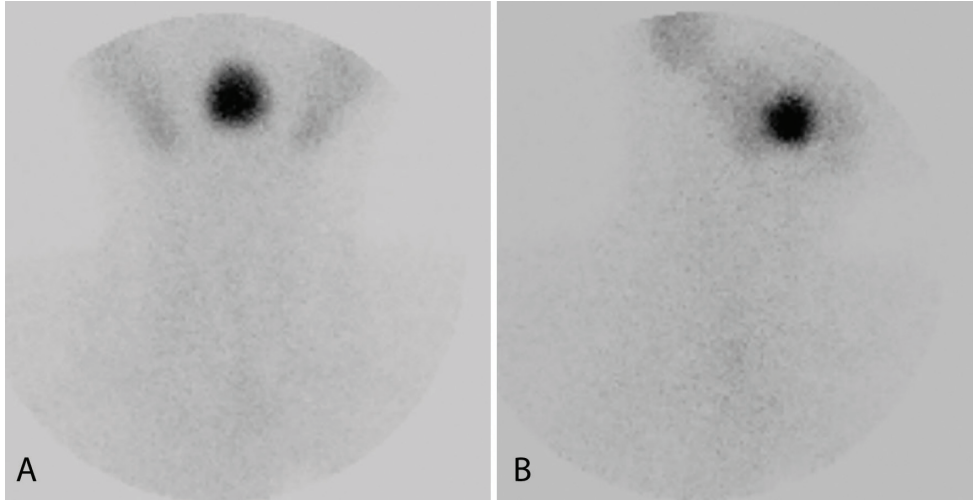
$Tc-99m$ perteknetat sintigrafisinin KH'li bebeklerde ektopik tiroid dokusunu tespit etmede %92 duyarlılığa sahip olduğu bilinmektedir (1,2). İşlem, genellikle 20-30 dakika sürer ve düşük radyasyon maruziyeti sebebiyle güvenle kullanılır (etkin doz $\sim 0,5-1$ mSv). Bununla birlikte, dishormonogenez 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.

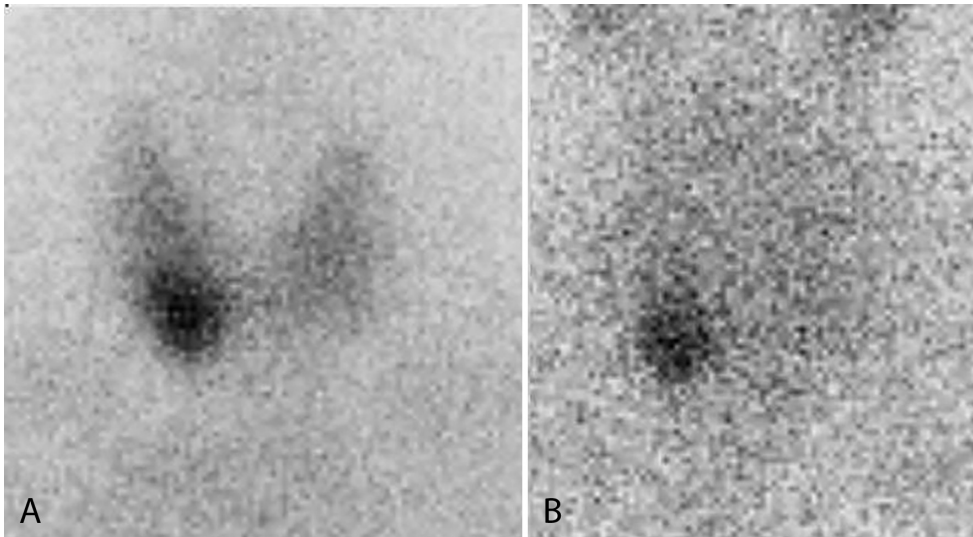
1. Tc-99m-sestamibi Sintigrafisi

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.

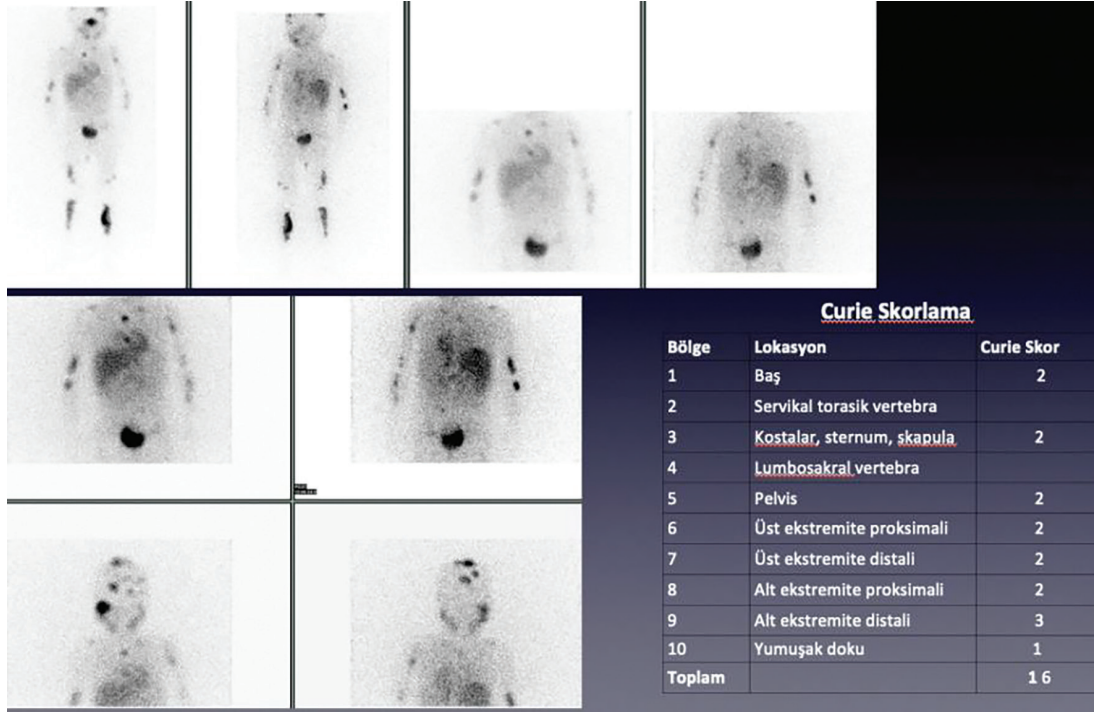
Bununla birlikte, adrenal sintigrafisi pediatrikte nadiren kullanılır, çünkü yüksek radyasyon dozu (5-10 mSv) içerir ve MR gibi non-invaziv alternatifler mevcuttur. Nadir durumlarda, benign adrenal hiperplazi ile malign adrenal tümörler (örneğin; adrenokortikal karsinom) arasında ayırım yapmak için F-18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

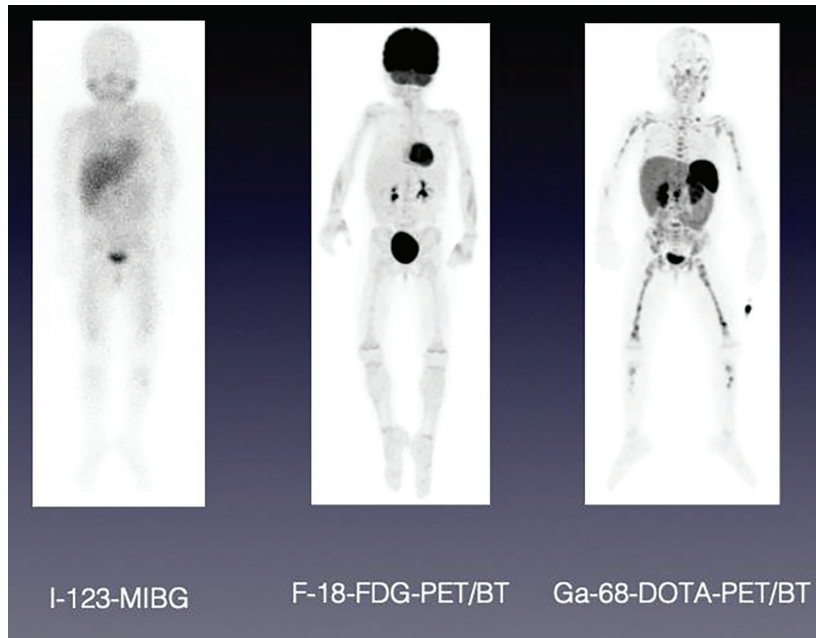
Sonuç

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 SIOPEX scoring method in two independent high-risk neuroblastoma populations: the SIOPEX/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, Thamvirat 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.



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, kardiyomiopatiler 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 indüklenebilir 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 iskemiyi 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-NH₃)- 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-NH₃-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-NH₃

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-NH₃ 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

Tanısall 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).

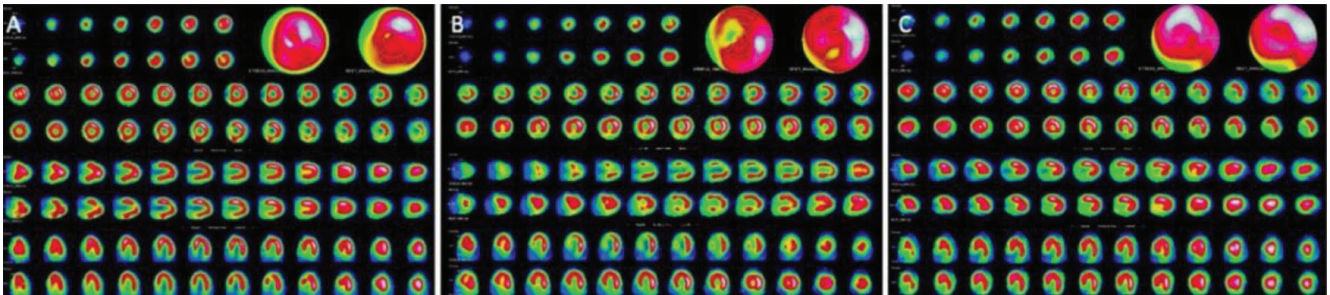
Enfeksiyon ve Enflamasyonların Değerlendirilmesi

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

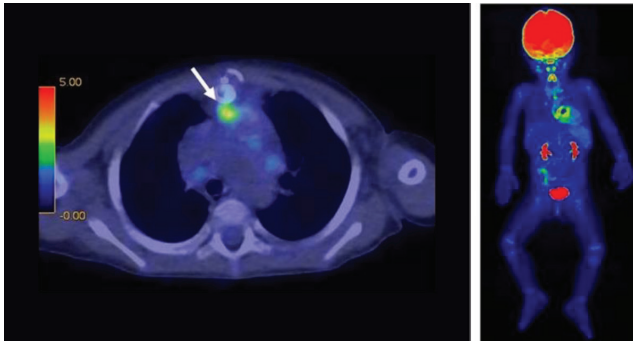
a. Endokardit

Pediatrik 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). Pediatrik popülasyonda özel olarak değerlendirme yapılmamış olsa da, uygun protokoller uygulandığında benzer tanısal performansın beklenebileceği düşünülmektedir (33). Özellikle pulmoner çıkış yolu protezleri, VAD veya intrakardiyak iletkenler gibi ekokardiyografinin düşük duyarlılığa 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 düzeltmesi 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 düzeltmesi ve hareket gibi artefaktlara da neden olabilir.

Çocuklarda kardiyak MR teknik açısından 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).

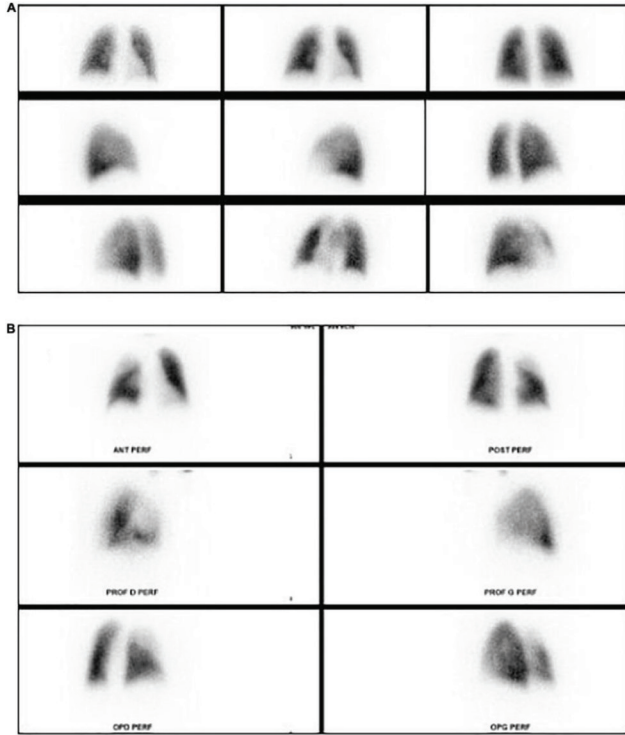
PET/MR, KH, anormal koroner arterler, iskemik ve non-iskemik kardiyomiyopatilerin ayrımı gibi durumlarda akım, metabolizma ve kardiyak fonksiyonun değerlendirilmesine olanak sağlar. Ayrıca, canlılık değerlendirmesi için F-18-FDG ile kombine edilebilir; geç gadolinyum zenginleştirme görüntüleme ile skar 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 göreceli 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 ortanca MCC₆₀ 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
Bileşim ve form	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
Partikül/gaz özellikleri	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
Görüntüleme tekniği	Statik planarlı ve SPECT, çoklu projeksiyon imkanı	Statik ve SPECT, dağılım sabit	Dinamik (tek nefes, denge, yıkama fazları)	Sürekli inhalasyonla çoklu projeksiyon ve SPECT
Doz (yetişkin/çocuk)	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
Fiziksel/biyolojik yarı ömür	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
Klirens mekanizması	Alveolo-kapiller membran, renal eliminasyon	Fiziksel bozunma, minimal biyolojik klirens	Ekshalasyon ve minimal kan/doku dağılımı	Ekshalasyonla anında klirens
Avantajları	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
Dezavantajları	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
Özel güvenlik önlemleri	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
Tercih edilen hasta grupları	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 PLOPED'e göre orta olasılık*

Bu tablo, modifiye PLOPED 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

PIOPE: 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.



Çocuklarda Gastrointestinal Sistemde Nükleer Tıp Sintigrafik Görüntülemeleri

Nuclear Medicine Scintigraphic Imaging of the Gastrointestinal System in Children

✉ Pınar Pelin Özcan, ✉ Zehra Pınar Koç

Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye

Öz

Bu derlemede çocukluk çağında gastrointestinal sistemi ilgilendiren çeşitli sıklıkta karşımıza çıkan bazı hastalıklar ile ilgili temel bilgiler ve bu hastalıklarda yapılan sintigrafik çalışmalarda tetkik hakkında genel bilgiler, tetkikin avantaj ve dezavantajları, hasta hazırlığı, görüntüleme protokolü, bulguların değerlendirilmesi yöntemleri özetlenerek sunulmuştur. Nispeten daha az sıklıkta yapılan tetkikleri de içeren bu derlemede birkaç görüntü-olgu örneği de eklenerek Nükleer Tıp hekimlerine yönelik hızlıca ulaşılabilecek temel bilgiler içeren bir kaynak oluşturulması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sintigrafi, gastroözefageal reflü, mide boşalma sintigrafisi, gastrointestinal kanama, Meckel divertikülü, hepatobiliyer sistem sintigrafisi

Abstract

In this review, basic information about some diseases that are encountered with varying frequencies in childhood and related to the gastrointestinal system, general information about the examination in scintigraphic studies performed in these diseases, advantages and disadvantages of the examination, patient preparation, imaging protocol, and methods for evaluating the findings are summarized. In this review, which also includes examinations performed less frequently, it is aimed to create a resource containing basic information that can be accessed quickly for Nuclear Medicine physicians by adding a few image-case examples.

Keywords: Scintigraphy, gastroesophageal reflux, gastric emptying scintigraphy, gastrointestinal bleeding, Meckel diverticulum, hepatobiliary system scintigraphy

Giriş

Pediyatrik olgularda gastrointestinal (GI) sistemi ilgilendiren bazı hastalıklarda uygulanan sintigrafik yöntemler fizyolojik durumu simüle eden, bebek veya çocuk tarafından kolay tolere edilebilen, invazif olmayan, oldukça düşük maliyetli, çok düşük radyasyon maruziyeti nedeni ile güvenli, uygulaması kolay ve doğruluğu yüksek, avantajlı ve tercih edilen tetkiklerdir. Bu derlemede alt başlıklar halinde bu sintigrafik görüntüleme yöntemleri kısaca özetlenmiştir.

Gastroözefageal Reflü Sintigrafisi

Gastroözefageal reflü (GÖR) hastalığı, mide içeriğinin özofagusa geri kaçmasından kaynaklanan semptom ve komplikasyonlardan oluşan bir hastalıktır. Erişkin ve adolesan yaş gruplarında GÖR, göğüs bölgesinde ağrılı yanma ve ağrı ile kendisini gösterirken, pediatrik yaş grubunda tekrarlayan pnömoni ve gelişme geriliğine neden olmaktadır. En çok etkilenen yaş grubu 6 ay-2 yaş aralığı olup infantlarda sıklıkla izlenen fizyolojik düzeylerdeki reflü çoğunlukla 8 ay, 1 yaşa kadar kendiliğinden gerilemektedir (1). Şüpheli akciğer

Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Prof. Dr. Pınar Pelin Özcan, Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye

E-posta: ppelinozcan@gmail.com ORCID ID: orcid.org/0000-0003-0147-2678

Geliş Tarihi/Received: 02.06.2025 Kabul Tarihi/Accepted: 22.07.2025 Yayınlanma Tarihi/Publication Date: 29.07.2025

Cite this article as/Atıf: Özcan PP, Koç ZP. Nuclear medicine scintigraphic imaging of the gastrointestinal system in children. Nucl Med Semin. 2025;11:107-113



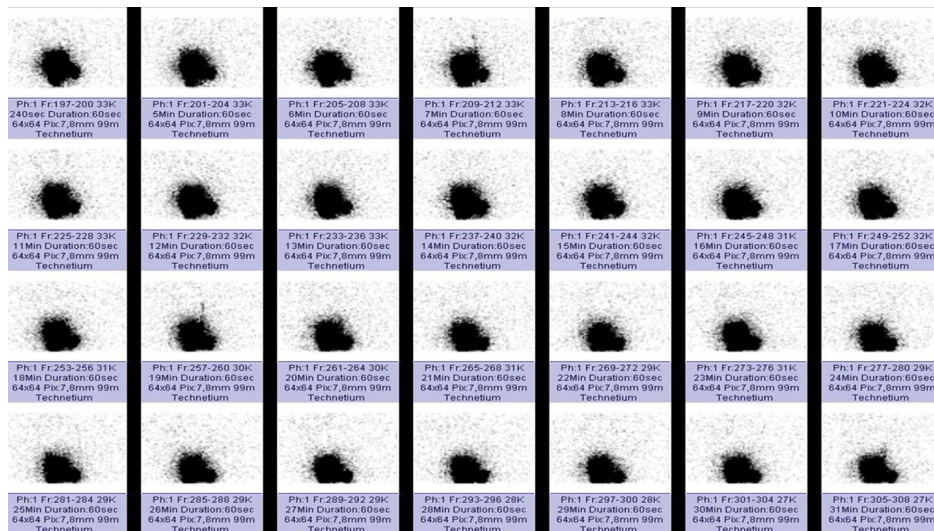
Copyright© 2025 Yazar. Türkiye Nükleer Tıp Derneği adına Galenos Yayınevi tarafından yayımlanmıştır. Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası (CC BY-NC 4.0) Uluslararası Lisansı ile lisanslanmış, açık erişimli bir makedir.

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.

aspirasyonlarının doğrulanması, kronik nokturnal öksürük, kilo almada gerilik, persistan ve tekrarlayıcı göğüs yanması gibi durumlarda akla gelmelidir. Reflü sintigrafisi fizyolojik ve non-invazif olması yanı sıra pulmoner aspirasyonun da belirlenebilmesi ve mide boşalma zamanının da eş zamanlı değerlendirilebilmesi gibi avantajlara sahiptir. Reflü sintigrafik çalışması için GI sistemden ve trakeobronşiyal sistem mukozasından emilimi olmayan bir radyofarmasötik seçilmelidir. GÖR tanısında reflü sintigrafisi hasta hazırlığı, kullanılan ajanlar, uygulama yöntemi, görüntüleme dikkat edilecek noktalar ve görüntüleme protokolünü içeren bilgilere uygulama kılavuzumuzdan ulaşılabilir (2). Gastroözefageal bileşkeden özofagusu ulaşan aktivite kaçıışı olması reflü varlığını gösterir. Aktivitenin orta özofagusu kadar görülmesi düşük seviyeli, orta özofagusu aşarak daha proksimale ulaşması yüksek seviyeli reflü olarak tanımlanır. Bunun dışında aktivite 10 saniyeden kısa sürüyorsa kısa süreli, 10 sn. den uzun ise uzun süreli olarak belirlenebilir (3,4). Görsel değerlendirme çok değerli olup zaman aktivite eğrileri ile görsel bulguların sağlaması yapılabilir. Dinamik takibin ardından 2-4 saat sonra ve bazen 24. saatte akciğer görüntülemesi ile pulmoner aspirasyon varlığı, 2. saatte geç görüntülemeler ile mide boşalması da saptanır. Kantitatif değerlendirmede %5 veya üzerindeki değerler anormal olarak kabul edilir (4). Reflü varlığını belirlemekte sintigrafinin duyarlılığı %60-90, özgüllüğü ise %90 civarında verilmektedir (5). Şekil 1'de gastroözefageal reflü sintigrafisi pozitif olan bir olgu görüntülemesi sunulmuştur.

Mide Boşalma Zamanı Sintigrafisi

Mide alınan besinlerin duodenuma geçmeden önce en uygun şekilde ve zamanında sindirilmesinden sorumlu bir organdır. Mide boşalma sintigrafisi katı ya da sıvı besinlerin mideden boşalmasını değerlendirmek için kullanılan mide motor fonksiyonu için değerli bilgiler veren bir sintigrafik yöntemdir. Diyabetik gastroparezi, idiyopatik gastroparezi, nokturnal aspirasyon, persistan dispepsi, açıklanamayan bulantı-kusma, mide cerrahisi sonrası dumping ya da staz sendromu, GÖR, gastrit (kronik ve atrofik), duodenal ülser, Zollinger Ellison sendromu, vagotomi, progresif sistemik skleroz gibi endikasyonlarda daha çok erişkin yaşlarda ve büyük çocuklarda yapılan tetkiktir. Mide boşalımı karmaşık bir süreç olup alınan yiyeceğin katı, sıvı oluşu, içeriği (lipid, karbonhidrat, protein miktarları), kalori miktarı, yiyeceğin hacmi gibi birçok faktör boşalımı etkilemektedir. Hasta hazırlığı için açlık ve mide motilitesini etkileyen prokinetikler, narkotik analjezikler, antikolinergik ajanlar, antidepresantlar, somatostatin ve kalsiyum kanal blokerleri gibi bazı ilaçların önceden kesilmesi gerekir. Hiperglisemi gecikmiş mide boşalımına neden olabileceği bilindiğinden diabetik hastalarda işlem öncesi kan glukoz seviyesinin regülasyonu (<200 mg/dL) önemlidir. Ayrıca tetkik öncesi 48 saat içerisinde baryum grafisi çekilmemiş olması önerilmektedir. Mide boşalım zamanı sintigrafisi için için sıvı faz, katı-sıvı faz ve katı faz olmak üzere 3 yöntem vardır. İnfantlarda, 15 µCi/kg (minimum: 200 µCi, maksimum: 1 mCi) teknesyum-99m (Tc-99m) sülfür kolloid eklenmiş 50 mL anne sütü



Şekil 1. Tekrarlayan krup atakları nedeni ile reflü şüphesi olan 7 yaşında erkek hastada dinamik takipte birden fazla görüntüde mide içeriğinin orta-alt özofagusareflüsü saptanmıştır.

veya formula süt ile mide boşalımının değerlendirilmesi mümkündür. Daha büyük çocuklarda katı veya katı-sıvı faz karışımı kullanılır. Katı faz için yumurtalı sandviç içerisine 250-300 μ Ci Tc-99m sülfür kolloid ilave edilir. Katı-sıvı faz uygulamasında katı faz için Tc-99m sülfür kolloid (300 μ Ci) sıvı faz için 50 mL'lik su içerisine In-111 (50 μ Ci) kullanılır. Bebeklerde süt ve formüller mide içeriğindeki sindirim enzimleri ve gastrik asitle etkileşerek katı forma dönüşürler ve bebeğe sıvı verilmesine rağmen fizyolojik bir mide boşalımı takip edilebilir. Beslenme tamamlandıktan sonra hasta supin pozisyonunda kamera altına yatırılır. 30'ar sn.'lik 60 dk boyunca anterior ve posterior dinamik imajlar (tek dedektörlü sistemlerde LAO), 60. dk'da statik imaj alınır. Hızlı bir mide boşalımı görülmediği sürece 2. saate kadar görüntü alınmalıdır. Görsel değerlendirmenin yanı sıra mide çevresinden ilgi alanı (region of interest - ROI) çizilerek kantitatif değerlendirme yapılır ve zaman-aktivite eğrisi oluşturulur. 60. dk'da mide kalan aktivite miktarı (%) olarak hesaplanır. T1/2 genellikle yetişkinlerde ve büyük çocuklarda kullanılır. Fizyolojik durumda sıvı besinler 25. dakikadan önce yarılanır. Katı besinlerin ise 1. saatte %10, 2. saatte %40 ve 4. saatte %90'ının mideden boşalması beklenmektedir. Bu sürelerin üzerinde uzamış mide boşalması raporlanır. Aksine boşalım 30 dakikada %70, 1 saatte %90'ın üzerinde ise boşalmada hızlanmadan söz edilmektedir (6). Çocuklarda değişken olmakla birlikte, normalde mide boşalma yarı zamanı katı faz için 90 (45-110) dk, sıvı faz için 40 dk'dır. Katı-sıvı fazda 55 ± 15 değerleri kullanılabilir.

Özofagus Transit Zamanı Sintigrafisi

Özofagus, peristaltik hareketlerle besinlerin ağızdan mideye iletilmesini sağlamaktadır. Radyonüklid özofagus transit zamanı sintigrafisi besinlerin özofagustan geçme hızını ve retansiyon durumunu ölçerek özofagus fonksiyonunu değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Diğer anatomik tetkiklerin yetersiz kaldığı durumlarda non-invazif ve kolay uygulanabilen bir tetkik olarak tercih edilmektedir. Motilite bozukluğu olan hastalar, sistemik skleroz, özofagus motor hastalıkları, atrezi, darlık durumları ve hiatal herni gibi endikasyonları vardır. Radyofarmasötik olarak 0,2-1 mCi Tc99m-SK veya DTPA kullanılır. Görüntüleme öncesi hastanın en az 6 saat aç olması önerilir. 30 mL sıvı (süt, formula, %5 dekstrozu) içerisinde bebek hafif eğimli kolimatör üzerine veya daha büyük çocukta sırtı kameraya yaslı oturur halde pozisyonlandırılarak içirilir. Görüntüleme alanına özofagus girecek şekilde dinamik çekim başlatılır. Düşük

enerjili yüksek rezolüsyon (low energy high resolution - LEHR), 128x128, 2 s/frame, 100 s dinamik çekim yapılır. Görüntüleme sırasında hastadan 15 sn.'de bir yutkunması istenir. Ağır olgular görsel olarak değerlendirilebilir. Orta/hafif düzeyde transit anomalileri bulunan hastalarda kantifikasyon yapılması önerilir. Üst, orta ve alt 1/3 kesim özofagusa ROI çizilir. Birbirini takip eden sıralı piklerin olması beklenir. Normalde farinksten özefagusa 0,5-1 sn.'de geçiş olur. Tüm özofageal geçiş 5,5-9,5 sn.'de tamamlanır. Özofagus geçiş zamanı orofarinksteki toplam aktivitenin %90'ının özofagustan geçişini tamamladığı zaman süresi, geçiş zamanı olarak belirlenir. Bu süre normalde 12 saniyenin altında olmalıdır. Bu sürede uzama geçiş zamanında gecikmeye işaret etmektedir (7,8,9). Akalazyada distal segmentte transitte gecikme, diffüz özofageal spazmda alt 2/3 kesimde gecikmiş transit ve retrograd bolus, Nutcracker özofagusta ise distalde gecikmiş transit ve reflü görülür.

Radyonüklid Salivogram

Mide içeriği değil de oral sekresyonların hava yollarına gitmesi sonucu oluşan aspirasyon pnömonilerinin tanısında kullanılır. 0,3 mCi Tc99m-SK küçük bir damla olarak dilin arka kısmına damlatılır. Dinamik çalışma hemen başlatılır. Hasta supin kamera arkada (orofarinks, göğüs ve üst abdomen), LEHR, 128x128, 30 s/frame, 60 dk dinamik çekim yapılır. Normalde özofagustan mideye geçiş beklenir. Bronş ve akciğer periferinin görülmesi aspirasyon lehine bir bulgudur. Trakeobronşial dalların gözükmesi aspirasyon lehinedir. Aspirasyon tek veya çift taraflı olabilir. Hastalık potansiyeli aspirasyonun distale uzanması ile artar.

Meckel Sintigrafisi

Pediyatrik hastalarda GI sistem kanamalarında altta yatan sebep sıklıkla Meckel divertikülüdür. Meckel divertikülü terminal ileumda bulunan omfalomezenterik kanal artığı olup sıklıkla sağ alt kadranda bulunur. Popülasyonun %1 ile %3'ünde görülür. Olguların %50'si 2 yaş altındadır. %25-40'ı asemptomatiktir. Erkeklerde 3 kat daha sık görülür. Ektopik mide mukozası içeren olguların %95-98'i kanar. Obstruksiyon, divertikülit, perforasyon ve ülser diğer komplikasyonlarını oluşturur. Semptomatik hastalarda cerrahi rezeksiyon gerekir. Rutin radyolojik yöntemlerle tanısı zordur. Tanıda Tc-99m perteknetat görüntüleme standart yöntemdir. Meckel divertikülü için kanama alanının belirlenmesinde duyarlılık %85 ve özgüllük %95 olarak bildirilmiştir (10). Meckel sintigrafisi hasta hazırlığı, kullanılan ajanlar,

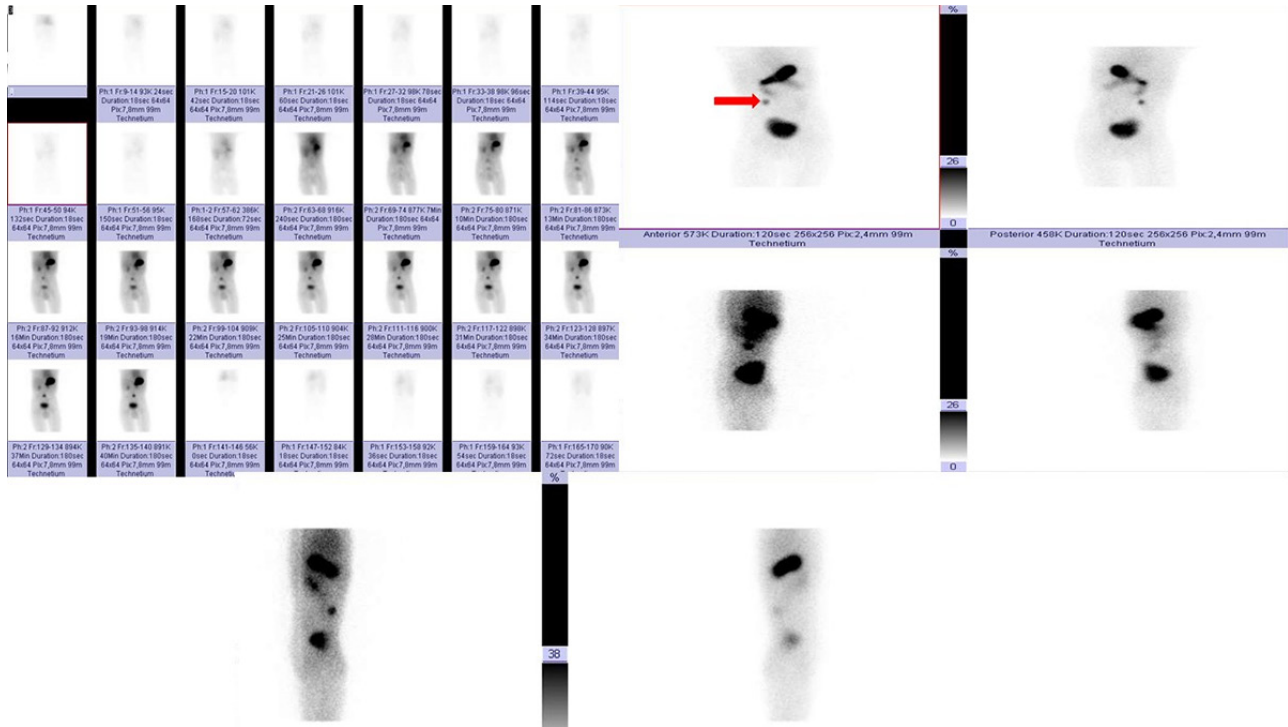
uygulama yöntemi, görüntülemeye dikkat edilecek noktalar ve görüntüleme protokolünü içeren bilgilere uygulama kılavuzumuzdan ulaşılabilir (2). Genellikle 5-20. dk.'da gastrik aktiviteye paralel olarak sıklıkla tek, bazen ayrı iki odak halinde çoğunlukla sağ hipogastriumda veya paraumbilikal bölgede izlenir. Kalay pirofosfat 3-4 haftaya kadar kanda aktif kalabildiği için tetkik mutlaka GI kanama sintigrafisinden önce yapılmalıdır. Shammas ve ark. (11) tarafından ektopik gastrik mukoza içeren duplikasyon kisti olgusu bulguları Meckel sintigrafisinde yalancı pozitif olgu olarak sunulmuştur. Yalancı negatif sonuçların nedenleri arasında ektopik gastrik mukozanın nekroze olması, ektopik gastrik mukozanın olmaması, ektopik gastrik mukozanın küçük olması, mesanenin aktiviteyi gölgelemesi yer alır. Yalancı pozitif sonuçların nedenleri ise sağ iliak fossada apandisit, apse, enterit, hemanjiom, anevrizma, arteriyovenöz malformasyon (AVM), bağırsaklarda ektopik mukoza bulunması, genitoüriner sistem organları, ektopik gastrik mukoza içeren duplikasyon kistleri olarak bilinmektedir. Şekil 2, 3 ve 4'te Meckel divertikülü pozitif olan birkaç olgu görüntülemesi sunulmuştur.

Gastrointestinal Sistem Kanama Sintigrafisi

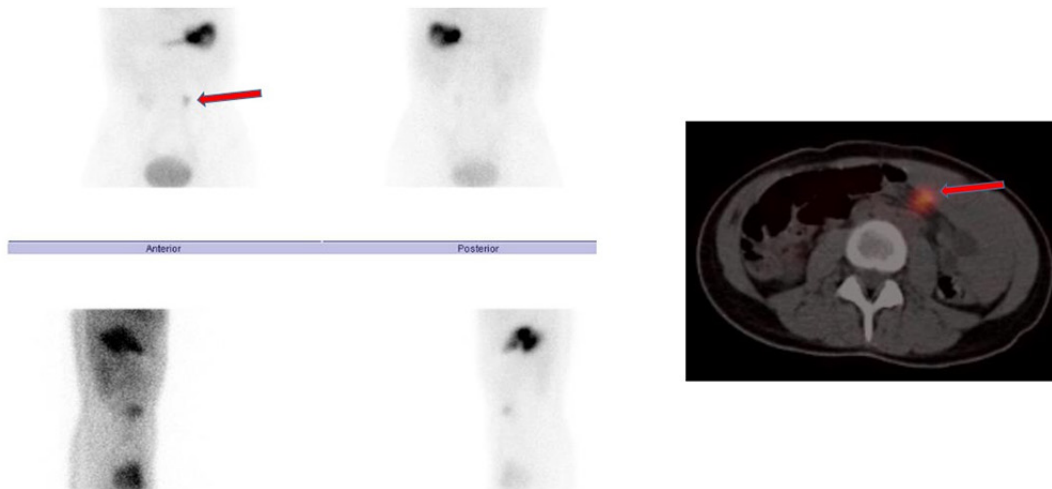
GI sistem kanamalarının %80'i üst GI sistem kanamaları, %20'si alt GI sistem kanamaları nedenlidir. Özofagus varisleri, mide-duodenum ülserleri, özefajit, eroziv gastrit, mide ca ve duodonal divertiküller en sık üst sistem kanamaları nedenleri iken, divertiküller (meckel divertikülü), alerjik enterokolit, hemolitik üremik sendrom, iskemik veya ülseratif kolit, anjiyodisplaziler ve tümörler alt GI kanama nedenleri arasındadır. Kanamanın alt-üst ayırımını klinik bulgularla yapmak zordur. Üst GI kanama odağı tespiti için endoskopi, baryum çalışması, selektif anjiyografi yöntemleri kullanılmaktadır. Alt GI kanama odağı tespitinde ise kolonoskopi, selektif anjiyografi, baryum çalışması kullanılan yöntemlerdendir. Kolonoskopi için önceden hasta hazırlığı gereklidir ve kanama yerinin kesin lokalizasyonunu her zaman tespit edememektedir. Anjiyografi tanıda oldukça faydalı olmasına rağmen pahalı ve invaziv bir yöntemdir. Nükleer Tıp görüntüleme yöntemleri GI sistem diğer tüm tetkiklerinde olduğu GI sistem kanama yeri tespitinde de ucuz, güvenli ve oldukça etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Hasta hazırlığı gerektirmemesi, az miktardaki, uzun süreli



Şekil 2. Alt gastrointestinal kanama nedeni ile başvuran hemoglobin düşüklüğü olan 11 yaşında erkek hastada Meckel divertikülü araştırmak üzere yapılan sintigrafik dinamik görüntülemeye mesane süperioru düzeyinde batın orta hattında Meckel divertikülü ile uyumlu fokal odak tespit edilmiştir. Operasyon sırasında tarif edilen lokalizasyonda 3x2,5x1,5 cm boyutunda ektopik gastrik epitel içeren divertikül rezeksiyonu yapılmıştır.



Şekil 3. Alt gastrointestinal kanama nedeni ile başvuran hemoglobin düşüklüğü olan 2 yaşında erkek hastada Meckel divertikülü araştırmak üzere yapılan sintigrafik dinamik ve statik görüntülemelerde umblikus düzeyinde batın orta hattın hafif sağında Meckel divertikülü ile uyumlu fokal odak tespit edilmiştir. Operasyon sırasında tarif edilen lokalizasyonda 15x12x11 mm boyutunda ektopik gastrik epitel içeren divertikül rezeksiyonu yapılmıştır.



Şekil 4. Melenası olan 15 yaşında kız hastada batın orta hattın solunda böbrek inferioru düzeyi anteriorda bağırsak traselerine uyan alanda statik ve SPECT-BT görüntülemelerinde tetkiki takiben yapılan operasyonda da aynı lokalizasyonda saptanan ve rezeke edilen Meckel divertikülü tespit edilmiştir.

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

intermittan kanamaların teşhisinde duyarlılığının yüksek olması, saatler boyunca tüm GI sistemin monitörize edilebilmesi ve yüksek riskli hastalarda prognostik bilgiler vermesi yöntemin avantajlarıdır. GI kanama sintigrafisi 2 yöntemle yapılabilir. Tc-99m sülfür colloid (SC) ile yapılan sintigrafide radyofarmasötik enjekte edildikten hemen sonra retiküloendotelial sistem tarafından tutulur. Serum yarı ömrü çok kısa olup 15-20 dk sonrasında intravasküler alandan hızla arınmaktadır. Aktif bir kanama varsa radyofarmasötik ekstrasvasküler alana geçiş gösterir. Batın içerisinde birikerek göllenme meydana gelir. Tc99m-SC ajanının avantajı 0,05-0,1 mL/dL kadar düşük kanamaları gösterebilmesidir. Dezavantajı ise 20 dk gibi kısa süreli imajlar alınmasını gerektirmesidir. Görüntülemenin başarılı olabilmesi için aktif kanamanın dinamik takip sırasında olması gerekir. Hasta sırt üstü yatar pozisyonda gama kamera altında yatarken IV 50 µCi/kg (minimum: 0,1 mCi maksimum: 3 mCi) Tc-99m SC enjekte edilir. 15 dk boyunca 1-2 dk'lık dinamik görüntüler toplanır. Aktif kanama varsa genellikle 15 dk içerisinde bu durum saptanır. Eğer kanama odağı gözükmiyorsa inceleme 15 dk daha uzatılabilir. Tc-99m RBC (eritrosit) işaretleme ile yapılan sintigrafi ise intermitant veya yavaş kanamaları gösterebilir. Background (zemin) aktivitesi düşüktür. Uzun süre vasküler alanda kalabilir. 0,1 mL/dk - 0,4 mL/dk kanamalar tespit edilebilir. Duyarlılık %90-95 bildirilmiştir (10). Radyofarmasötik bağlama yöntemleri görüntüleme protokolü için uygulama kılavuzumuzdan yararlanılabilir (2). Vasküler tümörler, anjiyodisplazi, AVM sıklıkla kanar. Yalancı negatif ve pozitif sonuçlar ek çekimlerle azaltılır.

Hepatobilier Sistem Sintigrafisi

Tc-99m iminodiacetic asit (IDA) analogları sıklıkla kullanılır. Aktif olarak hepatositler tarafından tutularak safra yollarına atılırlar. Bilirubinden farklı olarak başka maddeler ile birleşmezler. Tc-99m HIDA 5-8 mg/dL serum bilirubin düzeylerinde atılır. Tc-99m DISIDA 20 mg/dL bilirubin düzeylerinde atılır. Mebrofenin 30-40 mg/dL bilirubin düzeylerinde atılır. Bilirubin yüksek ise tercih edilir. Safra sekresyonunu artırmak ve tanıyı güçlendirmek için işlem öncesi (3-5 gün) 5 mg/kg/gün fenobarbital uygulanır. Hastanın aç olması gerekmektedir. Gama kamera altında hastanın karaciğer ve bağırsakları girecek şekilde 0,05 mCi/kg (minimum: 0,25 mCi, maksimum: 3 mCi) Tc-99m IDA deriveleri intravenöz yolla enjekte edilir. 0,5-3'er dk.'lık 60 dk boyunca dinamik imajlar (1 saatlik safra kinetiği izlenmesi) alınır. Normal koşullarda karaciğerde iyi derecede tutulum ve homojen dağılım

görülmesi, 15-30 dk içinde ana safra yolları ve safra kesesinin vizüalize edilmesi beklenir. Aktivite daha sonra duodenuma geçer. Bir saat içinde safra kesesi ve yollarının vizüalize olmaması durumunda 2, 4 ve 6. saatlerde statik imajlar ve 24. saat geç görüntüleme yapılır. Normal safra yolları sintigrafisinde ilk 1-2 dk.'da karaciğer uptake'i görülür, 10. dk.'da SK dolmaya ve 45-60. dakikalarda radyofarmasötik bağırsağa geçmeye başlar. Hepatobiliyer sintigrafi endikasyon ve kontrendikasyonları, kullanılan ajanlar, hasta hazırlığı, görüntüleme protokolü, değerlendirme yöntemleri Nükleer Tıp Seminerleri dergimizde yayınlanan güncel bir derlemede ayrıntılı olarak anlatılmıştır (12).

Dipnotlar

Çıkar Çatışması: Yazarlar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar

1. Hassan F, Al-Enizi E, Elgazzar AH. Digestive system 1: Gastrointestinal Tract. In: Elgazzar, A.H. (eds) The Pathophysiologic Basis of Nuclear Medicine. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006.
2. Günay EC, Aksoy T, Aydın F, et al. TNTD, çocuklarda gastroözefagial reflü ve pulmoner aspirasyon sintigrafisi, gastrointestinal sistem kanama Sintigrafisi ve Meckel's divertikülü sintigrafisi uygulama kılavuzu. Nucl Med Semin. 2015;1:31-37.
3. Asa S. Gastrointestinal sistem ve hepatobilier sistem sintigrafileri. Nükleer tıp: temel ilkeler ve uygulamalar. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa. Ekim 2024. Kısım 2, Bölüm 4, sayfa 71-79.
4. Ziessman HA, O'Malley JP, Thrall JH. Nuclear medicine-therquisites third edition, Chapter 11. Gastrointestinal System. 2006;346-383.
5. Bar-Sever Z. Scintigraphic evaluation of gastroesophageal reflux and pulmonary aspiration in children. Semin Nucl Med. 2017;47:275-285.
6. Abell TL, Camilleri M, Donohoe K, et al. Consensus recommendations for gastric emptying scintigraphy: a joint report of the American Neurogastroenterology and Motility Society and the Society of Nuclear Medicine. J Nucl Med Technol. 2008;36:44-54.
7. Kır KM. Gastrointestinal motilite çalışmaları: (özofagus transit zamanı, gastroözofageal reflü incelemesi, mide boşalım zamanı, ince ve kalın barsak transit zamanı). Nucl Med Semin. 2022;8:149-156.
8. Solnes LB, Sheikhbaehi S, Ziessman HA. Nuclear scintigraphy in practice: gastrointestinal motility. AJR Am J Roentgenol. 2018;211:260-266.

9. Maurer AH. Gastrointestinal motility, Part 1: esophageal transit and gastric emptying. J Nucl Med. 2015;56:1229-1238.
10. Warrington JC, Charron M. Pediatric gastrointestinal nuclear medicine. Semin Nucl Med. 2007;37:269-285.
11. Shamma A, Vali R, Charron M. Pediatric nuclear medicine in acute care. Semin Nucl Med. 2013;43:139-156.
12. Sütçü G, Soydağ Ç. Hepatobiliyer sintigrafi. Nucl Med Semin. 2022;8:136-142.



Konvansiyonel Pediatriye Nükleer Tıp Kemik Sintigrafisi Uygulamaları

Nuclear Medicine in Conventional Pediatrics: Applications of Bone Scintigraphy

© Başak Soydaş Turan¹, © Bilge Volkan Salancı²

¹Kastamonu Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Nükleer Tıp Kliniği, Kastamonu, Türkiye

²Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

Öz

Pediyatrik hastalarda kemik sintigrafisi (KS) benign kemik patolojilerinin değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Osteomyelit tanısı, spor yaralanmalarının tespiti, çocuk istismarı şüphesi ve mandibular asimetri gibi büyüme bozukluklarının değerlendirilmesi başlıca endikasyonlar arasında yer almaktadır. KS'nin tüm vücut görüntüleme kapasitesi, osteomyelit olgularında multifokal tutulumların saptanması ya da klinik olarak odak lokalizasyonunun zor olduğu durumlarda önemli katkılar sağlamaktadır. Stres kırıklarında manyetik rezonans görüntülemenin yapılamadığı durumlarda tanıya yardımcıdır. Çocuk istismarı şüphesinde özellikle kosta kırıklarının tespiti açısından tamamlayıcı bir rolü vardır. Mandibular kondilde aktif hiperplaziye değerlendirmesiyle tedavi planlanmasında önemlidir. Tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi (SPECT) veya SPECT/bilgisayarlı tomografi çalışmasıyla lokalizasyon ve tanısal doğruluk artmaktadır. Ancak, SPECT görüntülemenin süresinin görece uzun olması özellikle küçük çocuklarda hareket nedeniyle uygulanabilirliği sınırlayabilmektedir. Bu derlemede, pediatrik hastalarda görülen benign kemik patolojilerinin tanısında KS'nin kullanım alanları, sınırlılıkları diğer görüntüleme yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak ele alınmış ve klinik kullanıma yönelik öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Pediatrik, kemik, radyonüklid görüntüleme, SPECT

Abstract

Bone scintigraphy (BS) is frequently used in pediatric patients for the evaluation of benign bone pathologies. Key indications include the diagnosis of osteomyelitis, detection of sports injuries, suspicion of child abuse, and assessment of growth disorders such as mandibular asymmetry. The whole-body imaging capacity of BS provides significant contributions in osteomyelitis cases, particularly in detecting multifocal involvement or in situations where the clinical localization of a focus is challenging. It is helpful in diagnosing stress fractures when magnetic resonance imaging cannot be performed. In cases of suspected child abuse, BS plays a complementary role, particularly in detecting rib fractures. It is also crucial in evaluating active hyperplasia in the mandibular condyle, aiding in treatment planning. The integration of single photon emission computerized tomography (SPECT) or SPECT/computerized tomography enhances localization and diagnostic accuracy. However, the relatively long duration of SPECT imaging can limit its applicability, especially in young children due to movement. This review examines the use of BS in diagnosing benign bone pathologies in pediatric patients, discusses its limitations, compares it with other imaging methods, and offers recommendations for clinical use.

Keywords: Pediatrics, bone, radionuclide imaging, SPECT

Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Uzm. Dr. Başak Soydaş Turan, Kastamonu Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Nükleer Tıp Kliniği, Kastamonu, Türkiye

E-posta: basaksoydas@hotmail.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0003-3425-751X

Geliş Tarihi/Received: 30.04.2025 **Kabul Tarihi/Accepted:** 22.07.2025 **Yayınlanma Tarihi/Publication Date:** 29.07.2025

Cite this article as/Atıf: Soydaş Turan B, Volkan Salancı B. Nuclear medicine in conventional pediatrics: applications of bone scintigraphy.

Nucl Med Semin. 2025;11:114-126



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.

Giriş

Kemik sintigrafisi (KS) kemik metabolizmasını değerlendiren fonksiyonel görüntüleme yöntemidir. Kemik metabolizmasındaki patolojik değişikliklerin erken tespitindeki yüksek duyarlılığı, tüm iskelet sistemini görüntüleyebilmesi, küçük çocuklarda sedasyon ihtiyacı olmadan uygulanabilmesi tetkikin güçlü yönleridir. Ancak, yüksek duyarlılığın yanında tetkikin özgüllüğü genellikle düşüktür. Bu nedenle tetkike mümkünse tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi (SPECT)/bilgisayarlı tomografi (BT) eklenerek tanısal doğruluk ve özgüllük artırılmalı veya tetkik varsa radyolojik görüntüleme yöntemleriyle korele edilmelidir.

Pediatrik KS'nin yorumlanması olgunlaşan iskelet sisteminde yaşa bağlı metabolik farklılıklar nedeniyle zor olabilir. Yaş gruplarına ait iskelet sistemine özgü normal görüntüleme paternlerini tanımak önemlidir. Pediatrik KS atlasları bu konuda yardımcı olabilir (1).

Çocuklar ağrının kaynağını belirlemede zorluk çekebilir. Ağrı, lezyonunun olduğu yerden uzak bir bölgeye yansıyabilir. Ağrının kaynağı olduğu düşünülen sınırlı bir alana odaklanan görüntüleme yaklaşımı iskelet kaynaklı ağrıyı atlayabilir. Bu nedenle iskelet kaynaklı ağrının tanı ve lokalizasyonunda KS ile kolayca elde edilebilen tüm vücut görüntülemenin avantajı unutulmamalıdır. KS'de anormallik tanımlanan alana yönelik yapılan radyolojik görüntülemeyle tanısal özgüllük sağlanması mantıklı bir yaklaşım gibi görünmektedir.

Bu bölümde pediatrik hastalarda KS'nin benign kemik patolojilerindeki klinik uygulamaları ve rolü diğer görüntüleme yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak ele alınarak özetlenmiştir.

Radyofarmasötik

KS'de teknesyum-99m işaretli metilen difosfonat veya hidroksimetilen difosfonat kullanılır. Verilecek aktivite hastanın ağırlığına göre belirlenir (2,3); Avrupa Nükleer Tıp Birliği (*The European Association of Nuclear Medicine*) online doz hesaplayıcısı bu konuda yardımcı olabilir (<https://eanm.org/publications/useful-resources/dosage-calculator-old/>).

Radyofarmasötigin intravenöz enjeksiyonundan sonra kemikteki tutulumu ve dağılımı bölgesel kan akımına ve osteoblastik aktiviteye bağlıdır. Aktivitenin yaklaşık %50'si 1-2 saat içinde kemiğe lokalize olur. Kandaki aktivite 2 saat içinde uygulanan dozun %4-10'una, 24 saat sonra %2'den azına düşer (4).

Teknesyum-99m işaretli fosfatlar nöroblastom, fonksiyonel aspleni, miyozitis ossifikans ve nekrotizan enterokolit gibi iskemi ve/veya mikrokalsifikasyona eğilimli yumuşak doku lezyonlarında tutulum gösterebileceğinden KS görüntülerinde yumuşak doku tutulumu açısından dikkatli olunmalıdır.

Hasta Hazırlığı

Radyofarmasötik uygulamasından sonra en az 24 saat boyunca radyasyon dozunu azaltmak için hastalar bol sıvı tüketmelidir. Dolu mesane pelvik bölgenin değerlendirmesini sınırlayabilir. Bu nedenle tuvalet eğitilmiş çocuklardan görüntüleme öncesinde idrar yapmaları istenmelidir. Bu bölgeyi daha iyi değerlendirmek için mesane kateterizasyonu gerekebilir. Çoğunlukla sedasyon olmadan çekim tamamlanabilir ancak SPECT için sedasyon gerekebilir.

Görüntüleme

KS görüntüleri klinik duruma göre tek veya çok fazlı şekilde elde edilir. Üç fazlı KS kanlanma, kan havuzu ve geç görüntülemeyi içerir. Kanlanma görüntüleri radyofarmasötigin enjeksiyonuyla eş zamanlı başlatılan, klinik olarak en fazla şüphe çeken alanın dinamik görüntüleridir. Kan havuzu görüntüleri kanlanma fazından hemen sonra elde edilen, enjeksiyonu takiben 10 dakika içinde tamamlanması önerilen ilgili alanın veya tüm vücudun görüntüleridir. Erken fazlar olarak adlandırılan bu görüntüler enfeksiyon veya enflamasyon değerlendirilmesinde faydalıdır. Geç görüntüler genellikle 3-5saat sonra elde edilir, tüm vücudu içermelidir (tüm vücut tarama veya çoklu spot görüntüleme). Görüntüler düşük enerjili yüksek rezolüsyonlu paralel-hol kolimatörle elde edilir. Pinhol kolimatörle görüntüleme kalça eklemine, el ve ayakların küçük kemiklerinin değerlendirilmesinde ve osteoid osteomanın karakterizasyonunda faydalıdır. Hareketsiz bir çekim için yenidoğan ve küçük çocuklarda geç görüntüler uyku saatine planlanabilir. Hasta mümkün olduğunca simetrik yatırılmalı; kalça, diz ve fibulanın uygun şekilde görüntülenebilmesi için ayaklar içe dönük ve baş parmaklar birbirine yakın olmalıdır (nötral pozisyon) (5).

Klinik Uygulamalar

Osteomiyelit

Pediatrik grupta osteomiyelit sıklıkla hematogen kaynaklı ve bakteriyel kökenlidir. Genellikle uzun

kemiklerin metafizinde görülür. Bu bölgedeki sinüzoidal damarlardaki yavaş kan akımı ve düşük fagositik aktivite bakteriyel kolonizasyonu kolaylaştırır. Distal femur, proksimal tibia ve humerus en sık etkilenen kemiklerdir (6,7).

Yenidoğanlarda, 1 yaşına dek, büyüme plağı olarak adlandırılan fizis bölgesinin metafizel alandan epifize uzanan transfizyel damarlarla beslenmesi enfeksiyonun epifize geçişine, gevşekçe yapışmış ve eklem kapsülüyle devamlılığı olan periosteum enfeksiyonun metafizden eklem boşluğuna yayılmasına izin verir. Bu nedenle, osteomiyelit 1 yaşından küçük çocuklarda sıklıkla septik artrit ile ilişkilidir. Çocuk büyüdükçe, 2-16 yaş arasında, büyüme plağının kapanma sürecine girmesiyle metafizel alandan epifizel alana vasküler uzanım kaybolur, bu durum epifizi ve eklemi enfeksiyondan korur (8).

Radyografiler kırık veya kemik tümörleri gibi diğer ağır nedenlerini kolay bir şekilde değerlendirebileceğinden başvuru ilk görüntüleme yöntemi olsa da osteomiyelitin erken döneminde genellikle negatiftir; 10 güne kadar bulgu izlenmeyebilir (9).

Pediatrik akut hematojen osteomiyelitin tanısı ve yönetimi üzerine 2021'de yayınlanan kılavuzda (10); düz grafiden sonra ileri görüntüleme gereken durumlarda manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ile değerlendirme önerilmiştir. MRG'nin apse ve septik artrit gibi yumuşak doku komplikasyonlarını karakterize etme yeteneği ve diğer görüntüleme yöntemlerinden daha iyi tanısal doğruluğa sahip olduğu vurgulanmıştır.

Ancak, bazen enfeksiyon bölgesi dolayısıyla MRG'de görüntülenecek bölge net olmayabilir. Yürüme reddi veya aksaması olan çocuklarda semptomların kaynağını saptamak zor olabilir; bulgular, pelvis veya kalça ile ayak arasındaki herhangi bir yerdeki osteomiyelitten kaynaklanabilir. Ayrıca ağrılı bölge, yansıyan ağrıyı temsil ediyor olabilir. Bu gibi klinik durumlarda veya MRG'nin yapılmasının mümkün olmadığı durumlarda (sedasyon ihtiyacı, metalik enstrümantasyon vb.) tüm vücut görüntülemeyi sağlayan Nükleer Tıp görüntüleme yöntemleri arasında ilk olarak üç fazlı KS yapılmalıdır (11).

Akut hematojen osteomiyelit çoğunlukla tek bölgeyi içerir. Ancak çocuklarda (%7), özellikle yenidoğanlarda (%22) ve bağışıklık sistemi baskılanmış hastalarda multifokal osteomiyelit görülebilir (6). Bu durum tüm vücut görüntülemeyi tercih sebebi kılar.

Osteomiyelitte üç fazlı KS'de kemikte kanlanma fazında artmış kan akımı, kan havuzu fazında hiperemi

ve geç fazda artmış radyoaktif madde tutulumu izlenir. Kan havuzu görüntüleri de tüm vücut tarama şeklinde yapılmalıdır (5). Geç görüntülerde fizyolojik olarak artmış radyoaktif madde tutulumu gösteren büyüme plakları bu alandaki enfektif süreçlerin yarattığı asimetrisinin saptanmasını zorlaştırabilir. Bu nedenle kanlanma ve kan havuzu görüntüleri, büyüme plaklarında henüz radyoaktif madde tutulumu izlenmemişken, şüpheli bölgeyi saptamak açısından dikkatlice incelenmelidir (12). KS görüntüleri, artmış radyoaktif madde tutulumuna yol açabilecek diğer nedenleri tanımlamak adına anatomik görüntülerle karşılaştırılmalı ve mümkünse çalışmaya SPECT/BT eklenmelidir (13).

Çocuklarda, özellikle yenidoğanlarda, subperiosteal ödem ve efüzyondan kaynaklanan basınç enfekte bölgeye kan akımını azaltabilir. Bu nedenle hastalığın erken döneminde hiperperfüzyon ve hiperemi görülmeyebilir, geç görüntülerde fotopeni izlenebilir ("soğuk" osteomiyelit). Kan akımı yeniden sağlandığında, radyoaktif maddenin kemikteki tutulumu kademeli olarak artar. Enfekte kemikteki radyoaktif madde tutulumunun yoğunluğu komşu normal kemiktekiyle benzer düzeyde olduğu bir dönemde sintigrafik değerlendirme yapıldığında patolojik alan tespit edilemeyebilir (6). Ayrıca, enfeksiyonun korteksten subperiosteal alana yayılmasıyla oluşan subperiosteal apse de KS'de odaksal fotopeni olarak görülür. Bu görünüm altta yatan osteomiyeliti düşündürmelidir (14).

Üç fazlı KS'nin duyarlılığı yaklaşık %90, özgüllüğü %40-70 arasında bildirilirken (15,16); MRG'de bu oranlar sırasıyla %82-100 ve %75-95 olarak belirtilmiştir (17). MRG ve üç fazlı KS'nin tanısal doğruluğunu karşılaştıran çalışmada MRG'nin duyarlılığı %100, özgüllüğü %93; KS'nin ise duyarlılığı %68, özgüllüğü %47 olarak bulunmuştur (18). Ancak, yenidoğan osteomiyelitinde KS'nin duyarlılığı daha düşüktür (19); nitekim eski bir çalışmada duyarlılık %31,5 olarak bildirilmiştir (20).

Sonuç olarak, osteomiyelit tanısında odak lokalizasyonunun mümkün olmadığı olgularda veya multifokal tutulum açısından üç fazlı KS tamamlayıcı ve yönlendirici bir görüntüleme yöntemi olarak katkı sağlamaktadır.

Artrit

Artrit, enfeksiyöz veya non-enfeksiyöz enflamatuvar olabilir. Üç fazlı KS'de akut artrit, erken görüntülerde eklem hiperperfüzyonu ve hiperemisi, geç görüntülerde

periartiküler tutulum şeklinde izlenir. Bu görünüm hem septik hem de aseptik artritte görülebilir. KS'nin septik eklem değerlendirilmesindeki rolü, en azından bir tanı aracı olarak, bu nedenle sınırlıdır. Septik artrit şüphesinde eklemdeki sıvı varlığının değerlendirilmesi için ultrasonografi yapılmalıdır. Sıvı varsa, eklem aspire edilmelidir. KS, septik artrit ortamında osteomyelit olasılığını dışlamak için uygulanmalıdır (7).

Kronik Tekrarlayan Multifokal Osteomyelit

Genellikle 5-15 yaş arasında ve kızlarda daha sık görülen nadir sistemik enflamatuvar kemik hastalığıdır. Hastalar genellikle kemik ağrısı, şişlik ve bazen birden fazla tutulum bölgesiyle başvururlar. En sık uzun kemiklerin metafizleri, sıklıkla tibia, femur ve klavikula etkilenir. Mandibula, omurga, pelvis, kostalar, sternum da etkilenebilir. Tanı genellikle tekrarlayan epizotlar sırasında klinik, görüntüleme ve patolojik bulgulara dayalı konur. Klinik osteomyelit ile benzerdir ancak kemik biyopsileri ve kan kültürleri her zaman negatiftir. MRG öncelikle tercih edilen görüntüleme yöntemidir. KS'de tipik görünüm etkilenen kemikte belirgin artmış radyoaktif madde tutulumudur. Tipik lokalizasyonlarda birden fazla tutulumun varlığı tanıyı desteklemeye yardımcı olur (21,22).

Osteoid Osteoma

Osteoid osteoma, genellikle genç, çoğunlukla erkeklerde görülen, çoğunlukla 2 cm'den küçük, benign ancak ağrılı osteoplastik kemik lezyonudur. Lezyondan prostaglandinlerin yüksek üretimi klinik sunumdaki ağrının geceleri kötüleşmesinin ve nonsteroidal anti-enflamatuvar ilaçlarla hafiflemesinin temelini oluşturur. Çoğunlukla (>%50) alt ekstremitede, genellikle uzun kemiklerin korteksinde, diyafiz veya metafizde yerleşim gösterirler. Yaklaşık %10-20 olgu vertebrada, sıklıkla lomber seviyede, özellikle posterior elemanlarda (%70-100) yerleşimlidir, vertebra gövdesi nadiren etkilenebilir (%10) (23,24).

Düz grafiyer tercih edilen ilk görüntüleme çalışmasıdır. Osteoid osteoma, radyolüsen bir nidus çevresinde skleroz veya kortikal kalınlaşma alanı şeklinde görünür. Omurga, pelvis, kafatası veya ayak gibi karmaşık anatomik bölgelerdeki üst üste binen kemik yapılar, intra-artiküler yerleşim ve çevre sklerotik kortikal kemik lezyonun saptanmasını zorlaştırabilir (25). Ayak-ayak bileği osteoid osteomu olan 223 hastalık bir meta-analizde, düz grafiyle yalnızca %66 lezyonun tespit edildiği bildirilmiştir (26).

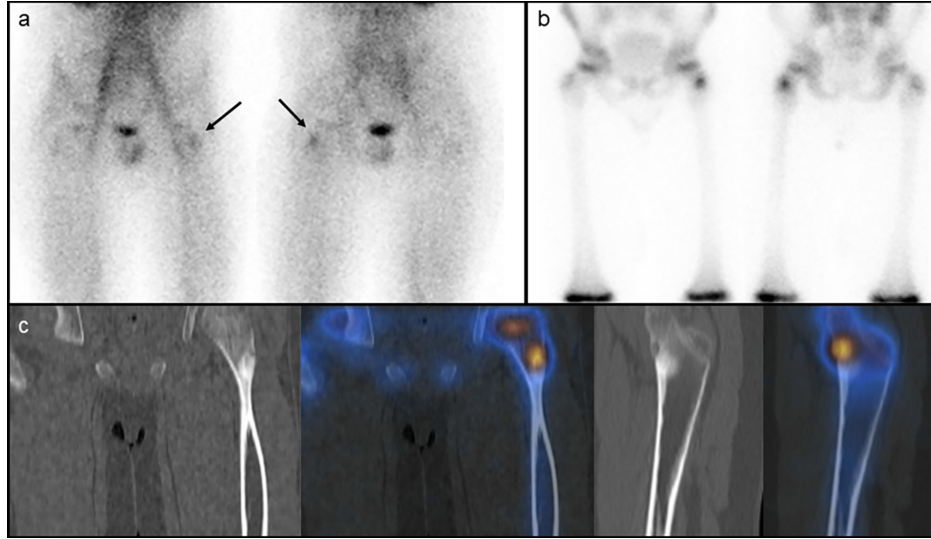
Aynı çalışmada BT ve KS'nin duyarlılığı %96, MRG'nin duyarlılığı %65 olarak bulunmuştur.

BT, osteoid osteoma görüntülemesinde en iyi teknik olarak belirtilmiştir. Tipik olarak iyi sınırlı yuvarlak veya oval şekilli hipodens nidus sklerozla çevrilidir. Lezyon çevresinde korteksten nidusa uzanan kalibrasyonu ince, kıvrımlı hipodens çizgiler gözlenmiştir (vasküler oluk işareti); lezyonun ayırıcı tanısı için orta derecede duyarlı ve yüksek derecede özgül olduğu bulunmuştur (27). MRG'nin olguların %35'inde tanıyı kaçırabildiği ve BT'nin MRG'den üstün olduğu bildirilmiştir (28). Ancak MRG teknolojisinin gelişmesiyle, dinamik postkontrast görüntülemenin özellikle atipik yerleşimli osteoid osteomaların tanısında BT ile eşit ve hatta biraz daha iyi olduğu öne sürülmüştür (29). BT'nin bir avantajı ise minimal invaziv perkütan tedaviler için kılavuz olmasıdır (25).

KS osteoid osteoma tanısında oldukça duyarlıdır. Sintigrafide, nidusta yoğun radyoaktif madde tutulumu izlenirken çevre reaktif sklerozda daha az yoğunlukta aktivite tutulumu gözlenmesi "çift dansite" bulgusu olarak tanımlanmıştır ve apendiküler lezyonlar için oldukça tanısaldır. Vertebral lezyonlarda reaktif sklerozun daha az olması nedeniyle bu bulgu vertebralarda daha nadir görülür. Lezyonun daha iyi karakterizasyonu için pinhol kolimatör kullanımı önerilmiştir. İntra-operatif radyonüklid görüntüleme imkanı nidusun lokalize edilmesine ve tam rezeksiyonunun doğrulanmasına yardımcı olur (30). SPECT/BT'nin sağladığı fonksiyonel ve anatomik bilgilerle osteoid osteomanın tespiti yüksek doğrulukla yapılmaktadır (Şekil 1). Otuz-bir hastanın dahil edildiği bir çalışmada lezyon tespiti için duyarlılık, özgüllük ve doğruluk SPECT/BT'de (hepsi %100), BT (sırasıyla %78, %92 ve %84) ve planar sintigrafiye (sırasıyla %100, %38 ve %74) kıyasla daha yüksek bulunmuştur (31).

Fibröz Displazi

Fibröz displazi (FD), Gs uyarıcı proteininin α -alt biriminin sporadik mutasyonundan kaynaklanan kemiğin benign gelişimsel hastalığı olup kemik, zayıf organize olmuş, yapısal olarak sağlam olmayan fibröz doku ile yer değiştirir ve bozular. Sıklıkla çocuklarda ve ergenlerde tespit edilir. McCune-Albright (MAS) ve Mazabraud sendromlarında FD, iskelet dışı anormalliklerle birlikte görülür. Monostotik (%70-85) veya poliestotik (%15-30) olabilir. Monostotik form poliestotik FD'ye veya MAS'a ilerlemez. Monostotik FD sıklıkla kosta, femur ve kafatasında görülür. Monostotik FD olgularının çoğu



Şekil 1. Sol kalçada ağrı şikayetiyle başvuran 8 yaşında erkek hastaya ait görüntüler. **a.** Kan havuzu fazında sol femur proksimalinde odaksal hiperemi izlenmektedir (siyah ok), **b.** Geç fazda aynı bölgede odaksal artmış radyoaktif madde tutulumu mevcuttur, **c.** Koronal ve sagittal SPECT/BT görüntülerinde hipodens nidusta artmış radyoaktif madde tutulumu ve çevresinde skleroz izlenmekte olup bulgular osteoid osteoma lehine değerlendirilmiştir

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

insidental olarak saptanırken polioyotik form genellikle yaşamın ilk birkaç yılında tespit edilir. Polioyotik formda kafatası, mandibula, pelvik kemikler ve femur en sık etkilenen yerlerdir. Sendromik hastalarda genellikle polioyotik form görülür (32,33).

KS, metabolik aktif lezyonları saptamak ve hastalık yaygınlığını değerlendirmek için kullanılır. MAS'da ilk KS'nin 5 yaşında yapılması önerilmektedir; çünkü klinik önemli lezyonların %90'dan fazlası bu dönemde tespit edilebilir (34). KS'de lezyonda artmış radyoaktif madde tutulumu izlenir. SPECT/BT lezyon karakterizasyonunu ve invazyonunu doğru bir şekilde değerlendirmeye yardımcı olur (35).

Stres Kırığı

Pedriatrik sporcularda spor yaralanmasının sık nedenlerinden biri yoğun antrenman ile tekrarlayan hareketlerin kemikte yarattığı strestir. Yeterli dinlenmenin olmadığı, kasın sürekli kullanıldığı ancak mineralizasyonu normal iskelet sisteminin bunu destekleyemediği yorgunluk durumunda stres kırıkları meydana gelir. Stres kırıkları alt ekstremitelerde; tibiada (%50), fibulada (%20), metatarsal ve tarsal kemiklerde (%7) daha sık görülür. Üst ekstremitelerde stres kırıkları daha nadirdir (%10'dan az) (36,37).

Radyografi ucuz ve erişilebilir olmasıyla genellikle başvuru ilk görüntüleme yöntemidir ancak akut dönemde olguların %90'ında bulgu izlenmeyebilir (37). MRG, yüksek duyarlılık ve özgüllüğe sahip olması, iyonlaştırıcı radyasyon içermemesi ve ağrıya neden olabilecek diğer patolojileri gösterebilmesi sebebiyle bir sonraki basamakta tercih edilen yöntemdir (38,39). MRG'nin yapılamadığı durumlarda veya radyografi ile klinik arasında uyumsuzluk varsa üç fazlı KS tanıda yararlı olabilir (40).

Üç fazlı KS'nin erken fazlarında enflamasyon kaynaklı hiperperfüzyon ve hiperemi, geç fazında strese bağlı osteoblastik aktivite artışı olan bölgelerde artmış radyoaktif madde tutulumu gözlenir. Bulgular semptomların başlangıcından 6-72 saat sonra görülür (40). MRG'nin stres kırığı tanısında duyarlılığı %88, KS'nin %74 olarak bulunmuştur (41).

KS bulgularına göre stres kırığının tüm spektrumunu kapsayan ekstremitelerin uzun kemiklerine uygulanabilen bir derecelendirme sistemi geliştirilmiştir (42). Erken dönemde kemiğin strese tepkisi olarak meydana gelen periyotik reaksiyon, küçük bir alanda kortikal kemiğe sınırlı lineer paternde artmış radyoaktif madde tutulumu şeklinde gözlenir. Süreç ilerledikçe, artmış radyoaktif madde tutulumu gösteren alan genişler ve kemik iliğine

doğru posteriora ilerleyerek fusiform bir görünüm kazanır. Son aşamada transosseöz stres kırığı kemiğin tüm kalınlığını kaplayan artmış radyoaktif madde tutulumu şeklinde izlenir. SPECT/BT, stres kırığının evresini daha doğru bir şekilde belirlemeye yardımcı olur ve küçük boyutlu lezyonları tespit edebilir.

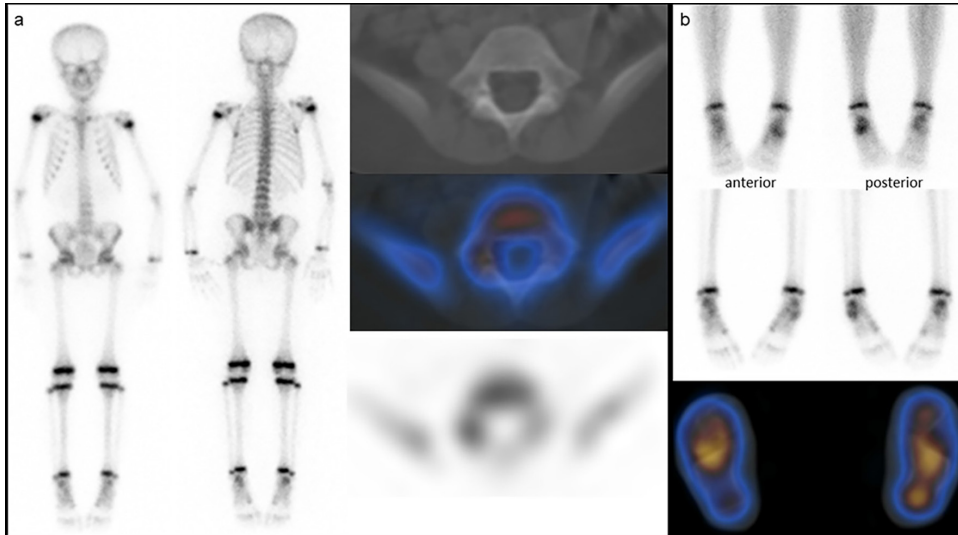
Tibiadaki stres kırıkları genellikle posteromedial kortikal kemikte, sıklıkla orta üçte birlik kısmın distal üçte birlik kısmıyla birleştiği yerde gözlenir, ancak diyafiz boyunca herhangi bir yerde olabilir. Genellikle multifokal ve bilateraldir, aynı sporcu da farklı evrelerde stres kırıkları görülebilir. Fibula stres kırıkları diyafizin distal üçte birlik kısmında dış malleolusun proksimalinde yer alır. Tipik olarak diyafize paralel yönelimli oval veya fusiform şekilli lokalize artmış radyoaktif madde tutulumu izlenir. Ancak, periostik reaksiyon aşamasında genellikle tutulum daha doğrusaldır ve kortikal bölgeye sınırlıdır (36).

Tibial stres kırığındaki semptomlar *shin splints* (medial tibial stres sendromu) gibi entezopatik lezyonlarla karışabilir. *Shin splints*'te, stres kırığının aksine erken fazlarda kanlanmada artış izlenmez ve geç fazda odaksal veya fusiform tutulum olmaksızın posterior tibial kemik korteksi boyunca uzanan lineer paternde artmış radyoaktif madde tutulumu gözlenir (36). Ancak tanıda

MRG bulgularıyla klinik semptomların daha iyi korele olması, takipte kullanılması ve rehabilitasyon sürecine yön vermesi sebebiyle KS yerine MRG önerilmiştir (43).

Ayak ve ayak bileği stres kırıklarının %55'i metatarsallarda yer alır, en sık ikinci ve üçüncü metatarsal kemikler etkilenir. Tarsal kemikler arasında en sık kalkaneus etkilenir (36). Stres kırığı nedeniyle artmış aktivite tutulumu; metatarsal kemiğin shaftı boyunca horizontal-fusiform veya iyi sınırlı-fokal veya transvers-lineer görünümde olabilir (44). SPECT/BT'nin eklenmesiyle tarsal ve metatarsal stres kırıklarının lokalizasyonu doğru bir şekilde tespit edilebilir.

Omurganın tekrarlayan hiper ekstansiyon ve rotasyon hareketleri, pars interartikulariste strese neden olur. Bu kronik ve tekrarlayan stres yorgunluk kırığı olan spondilolizise yol açabilir ve genellikle bilateralidir. Olguların %85-95'inde L5'i ve %10'unda L4'ü etkiler. Bilateral olguların yarısında lizis spondilolistezise ilerlerken, olay tek taraflıysa listezis nadirdir. Pars interartikulariste stres reaksiyonu (kırık hattı veya skleroz yok) ve spondilolizis (kırık hattı var) durumlarında KS'de artmış radyoaktif madde tutulumu izlenir. Eski iyileşmiş non-union kırıkta artmış radyoaktif madde tutulumu gözlenmez (Şekil 2) (36). Pars interartikularisteki artmış



Şekil 2. a. Bel ağrısı şikayetiyle başvuran 7 yaşındaki kız hastanın tüm vücut kemik sintigrafisinde iskelet sisteminde radyoaktif madde tutulumu normal sınırlardadır. SPECT/BT'de L5 seviyesinde, sağ pars interartikulariste artmış radyoaktif madde tutulumu saptanmıştır. Tanısal BT'de L5 vertebrada bilateral spondilolizis ile uyumlu görünüm raporlanmış olup; kırık hattı sağ tarafta aktif, sol tarafta inaktif olarak değerlendirilmiştir. **b.** Sol ayakta ağrı şikayeti ile başvuran 8 yaşındaki kız hastanın MRG'sinde sol kalkaneusta medüller ödematöz sinyal değişiklikleri saptanmıştır. Nidus açısından şüpheli görünüm tariflenmesi üzerine yapılan BT'de osteoid osteoma ile uyumlu tipik görünüm veya stres kırığı ile uyumlu olabilecek kortikal devamsızlık izlenmemiştir. Kemik sintigrafisinin kan havuzu fazında (ilk sıra) sol kalkaneal bölgede hiperemi, geç faz spot ve SPECT/BT görüntülerde (orta ve alt sıra) sol kalkaneusta artmış radyoaktif madde tutulumu izlenmiştir. Bulgular, MRG ile birlikte değerlendirildiğinde, ön planda stres reaksiyonu lehine yorumlanmıştır

SPECT: Tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi, BT: Bilgisayarlı tomografi, MRG: Manyetik rezonans görüntüleme

aktivite tutulumunun ağrı ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (45). Planar görüntülerin genellikle pars lezyonlarının tespiti için duyarlılığı düşük olduğundan kemik kökenli bel ağrısı araştırılan olgularda planar görüntüye SPECT hatta SPECT/BT eklenmelidir; duyarlılığı %20-50 oranında artırdığı belirtilmiştir (36). Bir çalışmada SPECT'te görülen 50 lezyondan 40'nin MRG'de tespit edildiği ve SPECT'in negatif olup MRG'nin pozitif olduğu olgunun olmadığı gösterilmiştir (46). Başka bir çalışmada ise SPECT'te tespit edilen 20 lezyonun 18'nin MRG'de tespit edildiği ve SPECT'in negatif olup (n=690) MRG'nin pozitif olduğu 7 pars lezyonu olduğu belirtilmiştir (47).

Sonuç olarak; MRG, stres kırığı olgularında tanı ve takipte öncelikle tercih edilmektedir. Bazı durumlarda KS ve SPECT/BT, MRG'ye tamamlayıcı bilgiler sunabilir.

Kompleks Bölgesel Ağrı Sendromu

Kompleks bölgesel ağrı sendromu tip 1 (refleks sempatik distrofi), genellikle distal ekstremitelerde duyuşal, motor ve otonomik bulgularla karakterize ağrılı klinik durumdur. Pediatrik grupta genellikle kız çocuklarında (%90) ve alt ekstremitelerde (%80-90) görülür. Sıklıkla minör travma (burkulma, kırık, yumuşak doku yaralanması vb.) sonrası sinir yaralanması olmadan gelişir. Tanı klinik değerlendirmeye dayanır. Şüpheli durumlarda konfirmasyon veya ekartasyon amacıyla görüntüleme yöntemlerine başvurulur. Üç fazlı KS'de etkilenen ekstremitelerde erken fazlarda azalmış kan akımı ve geç fazda azalmış radyoaktif madde tutulumu gözlenir. Olguların yaklaşık %80'inde ağrılı ekstremitenin soğuk, ödemli ve siyanotik olduğu belirtilmiştir. Bu belirtiler vazomotor bozuklukları işaret eder ve KS'deki azalmış radyoaktif madde tutulumunun sebebini açıklar. Bu nedenle, pediatrik olgular, erken dönemde klinik (sıcak deri) ve KS özellikleri artan kan akımı ile ilişkili olan erişkin olgulardan farklıdır (48).

Çocuk İstismarı

KS'nin, çocuk istismarından şüphelenildiğinde değerlendirilmede tamamlayıcı bir rolü vardır. Kırık, çocuk istismarında yumuşak doku yaralanmalarından sonra ikinci sırada yer alır ve yaklaşık %55 olguda görülür. En sık kosta kırıkları görülür (%71); bunu humerus (%48) ve femur (%28) kırıkları takip eder. Kafatası kırıkları, istismardan ziyade kazalara bağlı travmalardan sonra daha sık rapor edilmiştir. Kafatası kırığının istismara bağlı olma olasılığı 3'te 1'dir ve genellikle paryetal kemikte doğrusal kırık şeklindedir. Çoklu kırıkların istismardan kaynaklanma olasılığı daha yüksektir (49).

Klasik metafiz lezyonu (KML) veya köşe kırığı, istismara oldukça özgül olan bir kırık tipidir. Bu, çocuğun şiddetli bir şekilde sarsılması veya ekstremitenin bükülmesi sonucunda metafizin süngerimsi kısmında oluşan bir dizi mikrokırıktır. Genellikle distal femur, proksimal tibia, distal tibia veya proksimal humerusta görülür. Tek bir KML'nin varlığı bile ayırıcı tanıda çocuk istismarı olasılığını düşündürmelidir (50).

İki yaşından küçük çocuklarda fiziksel istismar şüphesi olan olguların tümünde iskelet tarama grafileri (kemik serileri) ile değerlendirme önerilmektedir (51). Grafilerle, periost reaksiyonu, kallus oluşumu gibi bulgulara dayanarak eski ve yeni kırık ayırt edilebilir (50). Farklı zamanlarda meydana gelmiş kırıklar tekrarlayan travmayı gösterdiğinden istismar şüphesini artırmaktadır. Kemik serilerinin dezavantajı kosta kırıklarının tespiti için duyarlılığının düşük olmasıdır (52). Bu nedenle, sadece bu yöntemin sonuçlarının kullanılması yanlış karar vermeye neden olabilir.

KS ve kemik serileri, istismar olgularında birbirini tamamlayan çalışmalardır ve birlikte kullanıldığında daha çok kırık tespit edilmiştir (52,53). Bir çalışmada çocuk istismarından şüphelenilen 30 hastada tespit edilen 124 kırıktan 64'ü sintigrafide, 77'si grafide tespit edilmiştir. Kosta kırıkları hariç, kırıkların %33'ü her iki görüntüleme yönteminde, %44'ü yalnızca grafide ve %25'i yalnızca sintigrafide görüntülenmiştir. Grafiyle 20 olguda KML tespit edilmiştir ancak sintigrafide bunların %35'i tespit edilmiştir. Grafisi normal olan 6 hastada sintigrafide; sintigrafisi normal olan 3 hastada grafide bulgu saptanmıştır (53).

KS, kosta ve müphem şaft kırıklarının tespitinde hassastır. Sintigrafi, akut bakım ortamında kemik serilerini desteklemek için kullanılır. Ancak güvenli bir ortama yerleştirilmiş bir çocukta 2-3 hafta sonra yapılan takip radyografik görüntüleme sintigrafiye alternatif olarak belirtilmiştir. Sintigrafinin dezavantajları kırık yaşının belirlenememesi, kafatası kırıklarının ve KML tespitinde çok hassas olmamasıdır; bu durumlarda radyografiye ihtiyaç duyulur (51).

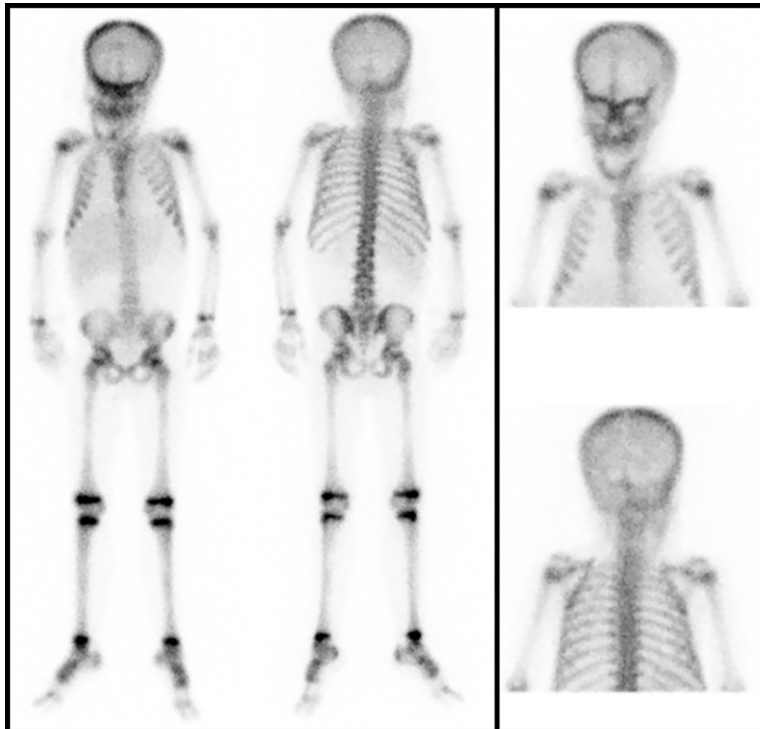
Çocukları iyonlaştırıcı radyasyon kullanmadan değerlendirme yeteneği tüm vücut MRG'ye olan ilgiyi artırmış olsa da kırık tespitinde kemik serileriyle karşılaştırıldığında %40 gibi düşük bir duyarlılığa sahip olması nedeniyle çocuk istismarından şüphelenilen olgularda iskelet travma değerlendirilmesinde MRG önerilmemektedir (54).

Renal Osteodistrofi

Renal osteodistrofi, kronik böbrek yetmezliği (KBY) sonucu iskelet sisteminde gözlenen bulguları tanımlar (55). Üç ana alt tipi vardır: hiperparatiroidizm ilişkili yüksek yapım-yıkım, adinamik kemik hastalığı veya osteomalazi ilişkili düşük yapım-yıkım ve mikst tip. Tanıda altın standart kemik biyopsisidir. Ancak invaziv, maliyetli ve değerlendirilmesi zor olduğundan biyokimyasal belirteçler ve görüntüleme yöntemleri gibi non-invaziv yaklaşımlar değerlendirmede önem kazanmaktadır.

Yüksek yapım-yıkım tipinde sintigrafide kalvaryum, mandibula, periorbital, periartiküler kemikler dahil olmak üzere iskelet sisteminde diffüz artmış radyoaktif madde tutulumu ile kemik-yumuşak doku kontrastının arttığı *superscan* görünümü izlenir. Mesane, bu hastalarda KBY nedeniyle vizüalize edilemeyebilir (Şekil 3). Bu bulgu, renal osteodistrofinin *superscan* görünümüne neden olan diğer metabolik hastalıklardan veya yaygın metastatik

hastalıktan ayrımı için yardımcı olur. Kostokondral bileşkelerde tesbih tanesi görünümü ve sternumda kravat işareti olarak tanımlanan artmış radyoaktif madde tutulumları izlenir. Fraktür, psödofraktür ve brown tümör ilişkili odaksal artmış radyoaktif madde tutulumu gözlenebilir (56). Kalsiyum kristallerinin yumuşak dokuda örneğin büyük eklemlerin çevresinde, midede ve böbreklerde birikmesi sonucu sintigrafide bu alanlarda radyoaktif madde tutulumları izlenebilir (55). Benzer şekilde uzun süreli hemodiyalize giren hastalarda amiloid birikimi meydana gelebilir ve periartiküler veya iskelet dışı yumuşak dokuda aktivite tutulumuna neden olabilir (55). Düşük yapım-yıkım tipinde, odaksal bir patoloji ile komplike olmadığı sürece genellikle azalmış radyoaktif madde tutulumu gözlemlenmiştir (56). KS'de yüksek yapım-yıkım tipine dair bulguların olması adinamik kemik hastalığının ekartasyonu için yol gösterici olabilir.



Şekil 3. Son dönem böbrek yetmezliği nedeniyle 4 yıl periton diyalizi gören ve son 3 aydır hemodiyalize alınan 9 yaşındaki kız hastada bisfosfonat tedavisi öncesi adinamik kemik hastalığını dışlamak amacıyla kemik sintigrafisi yapılmıştır. Görüntülerde epifiz plaklarında hastanın yaşı ile uyumlu radyoaktif madde tutulumları vardır. Kranyumda periorbital alanda belirgin olan ve mandibulada artmış radyoaktif madde tutulumu izlenmiştir. Bu görünüm öncelikle yüksek yapım-yıkım tipi renal osteodistrofiyi düşündürmüştür. KBY ile uyumlu olarak her iki böbrek lojunda ve mesanede radyoaktif madde tutulumu izlenmemiştir. Karaciğer boyutlarında artış ve eşlik eden düşük düzeyde radyoaktif madde tutulumu hastanın bilinen Caroli hastalığına ikincil olarak değerlendirilmiştir

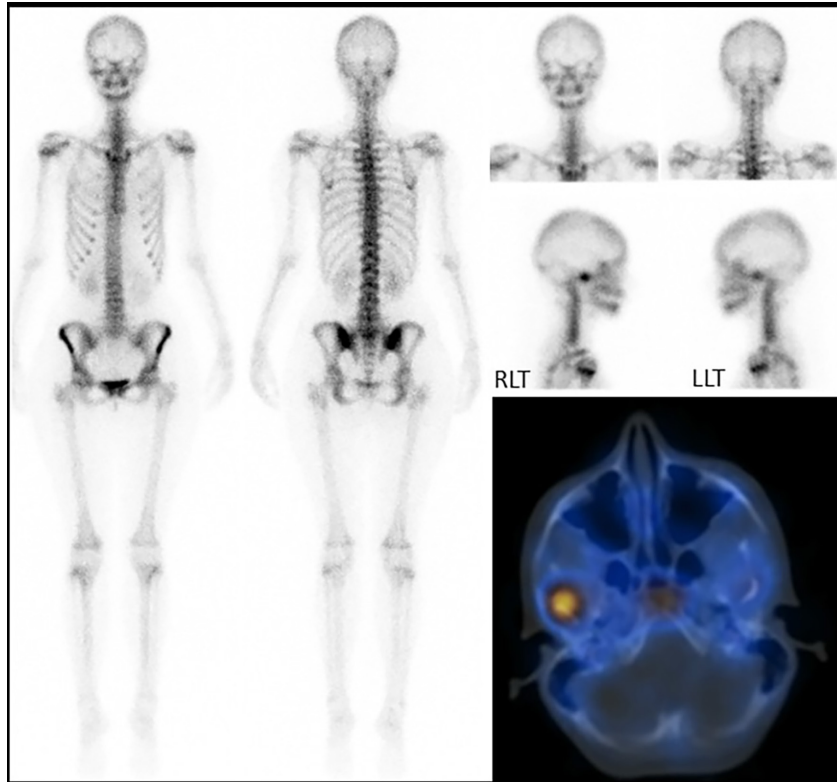
KBY: Kronik böbrek yetmezliği

Mandibular Asimetri

Mandibular kondildeki büyüme anormalliği yüzde asimetriye, malokluzyona ve temporomandibular eklem disfonksiyonuna neden olur. Asimetrinin en sık sebebi unilateral kondiler hiperplazidir. Hastalığın aktif evresinde büyümeyi durdurmak için parsiyel kondilektomiyle anormal büyüme merkezi çıkarılır. Aktif olmayan kondiler hiperplazide, asimetri ortognatik rekonstrüktif cerrahi ile tedavi edilir. Bu nedenle tedavi seçimi ve zamanlaması için hastalığın aktif olup olmadığını değerlendirmek önemlidir (Şekil 4) (57).

Standartlaştırılmış fotoğraflarla yapılan klinik takipler ve düz grafiler değerlendirmede kullanılsa da yeterli veriyi elde etmek için yıllar süren gözlemler gerekebilir (57). BT ile kondildeki anatomik değişiklikler (kondil çapında artışa eşlik eden skleroz) tespit edilebilir ancak kondilin büyüme aktivitesi hakkında bilgi elde edilemez. KS mandibular kondilin aktivitesini değerlendirmek için etkili bir yöntemdir.

Planar görüntüler, mandibular kondilin, kafatabanının ve kontralateral kondilin aktivitelerinin örtüşmesi sebebiyle optimal değildir. Çalışmaya ilgi alanının daha iyi uzaysal rezolusyonunu sağlayan SPECT veya SPECT/BT eklenmesiyle planar çalışmanın zayıflığı giderilmiş, duyarlılık artmıştır (58). Ayrıca, semi-kantitatif analizin görsel değerlendirmeye kıyasla unilateral kondiler hiperplazi tespitinde daha iyi olduğu gösterilmiştir (59). Bu analizde, SPECT çalışmasında bilateral mandibular kondile ve klivusa ilgi alanları çizilir. Klivusun artikülasyonunun olmaması, ağırlık taşımaması nedeniyle internal referans olarak kullanılabileceği düşünülmüştür (57). Ancak klivusun büyümesi sfeno-oksipital sinkondroz kapandığında durur. Bu kapanma kızlarda 12-13, erkeklerde 14-15 yaşlarında başlar ve 17-18 yaşında tamamlanır. Bu nedenle klivus büyüme çağındaki hastalarda güvenilir bir referans bölge olmayabilir (60). Çizilen her bir ilgi alanındaki maksimum piksel sayımı kaydedilir. Maksimum piksel, ilgi alanı içinde kaldığı



Şekil 4. Fasiyal asimetri ve çenede sola deviasyon nedeniyle kemik sintigrafisi çekilen 16 yaşındaki kız hastada, tüm vücut tarama ve kafa spot görüntülerde sağ mandibular kondilde artmış radyoaktif madde tutulumu izlenmiştir. SPECT/BT üzerinden yapılan semi-kantitatif analizde sağ kondilde kondil sayım oranı 1,96; rölatif tutulum yüzdesi %66; kondil-klivus oranı 1,13 olarak hesaplanmıştır. Bulgular sağda aktif kondiler hiperplazi ile uyumlu olarak değerlendirilmiştir (RLT: Sağ lateral, LLT: Sol lateral)

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

sürece bu değer ilgi alanının yerleşimine veya boyutuna bağlı olmadığından tutarlı ve tekrarlanabilir şekilde belirlenebilir. Bu nedenle, ortalama piksel sayısı yerine maksimum sayımın kullanılabileceği önerilmiştir (57).

Rölatif tutulum yüzdesi (sağ veya sol kondildeki sayımın her iki kondildeki toplam sayıya oranı) %55 veya daha yüksek olan kondil aktif hiperplazi lehine değerlendirilmektedir (58,59). Kondil-klivus oranının 1,44'ten büyük olması devam eden kondil büyümesini göstermektedir (61). Bir çalışmada unilateral kondiler hiperplazinin rölatif tutulum yüzdesiyle (≥ 55) daha iyi tespit edilebileceği gösterilmiştir (duyarlılık ve özgüllük %88). Aynı çalışmada kondil-klivus oranı için eşik değer 1,44 olarak kabul edildiğinde özgüllük %96, duyarlılık %42; eşik değer 1'e indirildiğinde özgüllük %61, duyarlılık %65 olarak bulunmuştur; internal referans standartla karşılaştırmanın unilateral kondiler hiperplazi için tanıda ek katkısı olmadığı belirtilmiştir (60). Başka bir çalışmada rölatif tutulum yüzdesi, kondil sayım oranı (sağ kondildeki sayımın sola veya sol kondildeki sayımın sağa oranı) ve kondil-klivus oranının sırasıyla >53 , $>1,11$ ve $>1,40$ eşik değerleri kullanıldığında %100 duyarlılık ve %100 özgüllük ile aktif kondiler hiperplaziyi belirleyebileceği rapor edilmiştir (62).

KS'nin bilateral kondiler hiperplazi tanısındaki rolü henüz net değildir. Çünkü, her iki kondilde artmış tutulum olduğunda rölatif yüzde tutulumu ve kondil sayım oranlarına dayalı hesaplama yetersiz kalabilir (59). Ayrıca, klivusda devam eden büyümenin mandibular kondilin büyüme süreciyle paralel olarak devam etme eğiliminde olabileceği gösterilmiştir. Bu da kondil-klivus oranını sınırlamaktadır (57). Eksternal referans kullanımı, yaşa göre normal veri setiyle yapılacak çalışmalar KS'nin bu hastaların tanısındaki faydasını artırabilir.

Osteonekroz

Osteonekroz (avasküler veya aseptik nekroz), yetersiz vasküler beslenme nedeniyle kemik ölümü olarak tanımlanır. En sık femur başı, diz, talus, humerus başı, skafoid ve lunat kemikte görülür (63). Çocuklarda, travma sonrası veya kortikosteroid tedavisine bağlı olarak gelişebilir (64). Pediatrik popülasyonda femur başının idiopatik avasküler nekrozu, Legg-Calve-Perthes hastalığı olarak bilinir.

Radyografilerin erken osteonekrozu tespit etmede hassasiyeti az olsa da ağrının diğer nedenlerini dışlamaya

yardımcı olması nedeniyle ilk olarak tercih edilir. Kontrastsız MRG, normal veya şüpheli radyografiden sonra osteonekroz tanısı için bir sonraki çalışmadır.

KS'de izlenen tutulum paterni osteonekrozun patofizyolojik evresine bağlıdır. Başlangıçta fotopeni gözlenir. Daha sonra osteonekrotik bölge ile normal doku arasındaki sınırlarda artmış radyoaktif madde tutulumu görülür; bu, komşu kemiğin iyileşme tepkisini yansıtır. SPECT/BT osteonekrozun erken evresinde genellikle komşu normal kemik tarafından maskelenen, periferinde artmış tutulum olan veya olmayan santral fotopeninin görüntülenmesinde yardımcı olur (65). Ancak KS'nin özgüllüğünün düşük olması ve KS'de eklem kollapsı açısından öngörü değer olan nekrotik hacmin ölçülememesi nedeniyle osteonekroz tespitinde KS'nin yerini MRG almıştır (63).

KS'nin pediatrik hastalarda femur başı epifiz kaymasının veya travmatik femur boyun kırığının cerrahisinden sonra gelişebilecek komplikasyonlardan biri olan avasküler nekrozun tespiti için yüksek duyarlılığa ve öngörü değerine sahip olduğu gösterilmiştir (66).

Graft Viabilitesinin Değerlendirilmesi

Kemik defektinin rekonstrüksiyonu için kullanılan kemik greftinin başarısı vaskülarizasyona bağlıdır. Üç fazlı KS greft viabilitesinin değerlendirilmesini sağlayabilir. Ameliyattan 3-7 gün sonra yapılan KS'de greftte izlenen radyoaktif madde tutulumu viabiliteyi yansıtır. Cerrahiden 1 hafta sonra KS'de greftte radyoaktif madde tutulumu izlenmemesi greft başarısızlığını öngörebilir (67). SPECT veya SPECT/BT, greft aktivitesini komşu kemik ve yumuşak doku aktivitesinden ayırmada faydalıdır.

Tuzaklar

- Ossifiye olmamış büyüme merkezleri sintigrafide fotopenik görünür.
- İskiyopubik sinkondrozda, ossifikasyon sürecinde tek veya bilateral odaksal artmış radyoaktif madde tutulumu gözlenebilir ve lezyonla karıştırılmamalıdır.
- Aksayan bir hastada kullanıma bağlı olarak normal olan alt ekstremitede, semptomatik ekstremitayla karşılaştırıldığında, artmış radyoaktif madde tutulumu sıklıkla gözlenir. Bu nedenle, görüntüler yorumlanırken tercih edilen tarafın bilinmesi önemlidir.

- Fokal osteomyelit odağı olan ekstremitenin normal kemiklerinde gözlenen diffüz hiperemi multifokal osteomyelit veya septik artritis ile karıştırılmamalıdır (11).
- Toraksın posterior görüntüsünde kostokondral bileşkenen gelen aktivitenin parlaklığı (*shine-through*) multipl kosta kırıkları ile karıştırılmamalıdır.

Sonuç

KS, pediatrik hastalarda benign kemik patolojilerinin değerlendirilmesinde önemli bir tanı yöntemidir. Osteomyelitte multifokal tutulumların saptanması veya odak lokalizasyonunun zor olduğu durumlarda sağladığı katkı kritik rol oynamaktadır. Osteoid osteoma tanısında BT ön planda olsa da KS bu lezyonların saptanmasında yüksek duyarlılığa sahiptir. FD olgularında hastalığın yaygınlığını değerlendirmesinde KS'den yararlanılmaktadır. Stres kırıklarında tanıya yardımcıdır. Pediatrik kompleks bölgesel ağrı sendromu olgularında KS bulguları erişkinlerden farklılık gösterebilmektedir. Renal osteodistrofide *superscan* görünümü yüksek yapım-yıkım tipi için yol göstericidir. Çocuk istismarında özellikle kosta kırıklarının tespitiyle tamamlayıcı bir rol üstlenmektedir. Mandibular kondildeki aktif hiperplaziyi değerlendirmesi uygun tedavi planının oluşturulmasında önemlidir. Cerrahi sonrası femur başı avasküler nekrozun tespitinde veya greft viabilitesinin değerlendirilmesinde yüksek duyarlılığa ve öngörü değerine sahiptir. Tüm bu özellikleriyle KS, pediatrik görüntüleme pratiğinde etkili bir tanı aracı olmaya devam etmektedir.

Dipnotlar

Çıkar Çatışması: Yazarlar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar

- Hahn K, Fischer S, Gordon I. Atlas of bone scintigraphy in the developing paediatric skeleton: The normal skeleton, variants and pitfalls. 1st ed. Springer; 1993.
- Lassmann M, Biassoni L, Monsieurs M, Franzius C, Jacobs F; EANM Dosimetry and Paediatrics Committees. The new EANM paediatric dosage card. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2007;34:796-798.
- 2024 Update of the North American Consensus Guidelines for Pediatric Administered Radiopharmaceutical Activities. [Available from: <https://captions.snmmi.org/Web/Clinical-Practice/Dose-Optimization/2024-Update-of-the-North-American-Consensus-Guidelines-for-Pediatric-Administered-Radiopharmaceuticals>].
- Subramanian G, McAfee J, Blair R, Kallfelz F, Thomas F. Technetium-99m-methylene diphosphonate—a superior agent for skeletal imaging: comparison with other technetium complexes. J Nucl Med. 1975;16:744-755.
- Stauss J, Hahn K, Mann M, De Palma D. Guidelines for paediatric bone scanning with 99mTc-labelled radiopharmaceuticals and 18F-fluoride. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2010;37:1621-1628.
- Dartnell J, Ramachandran M, Katchburian M. Haematogenous acute and subacute paediatric osteomyelitis: a systematic review of the literature. J Bone Joint Surg Br. 2012;94:584-595.
- Jaramillo D, Treves ST, Kasser JR, Harper M, Sundel R, Laor T. Osteomyelitis and septic arthritis in children: appropriate use of imaging to guide treatment. AJR Am J Roentgenol. 1995;165:399-403.
- Offiah A. Acute osteomyelitis, septic arthritis and discitis: differences between neonates and older children. Eur J Radiol. 2006;60:221-232.
- Oudjhane K, Azouz EM. Imaging of osteomyelitis in children. Radiol Clin North Am. 2001;39:251-266.
- Woods CR, Bradley JS, Chatterjee A, et al. Clinical practice guideline by the pediatric infectious diseases society and the infectious diseases Society of America: 2021 guideline on diagnosis and management of acute hematogenous osteomyelitis in pediatrics. J Pediatric Infect Dis Soc. 2021;10:801-844.
- DiPoce J, Jbara ME, Brenner AL. Pediatric osteomyelitis: a scintigraphic case-based review. Radiographics. 2012;32:865-878.
- Gülaldı NCM. Bone scintigraphy and hybrid imaging in pediatric musculoskeletal cases. Nucl Med Semin. 2022;8:69-81.
- Horger M, Eschmann SM, Pfannenberger C, et al. Added value of SPECT/CT in patients suspected of having bone infection: preliminary results. Arch Orthop Trauma Surg. 2007;127:211-221.
- Allwright S, Miller J, Gilsanz V. Subperiosteal abscess in children: scintigraphic appearance. Radiology. 1991;179:725-729.
- Tuson C, Hoffman E, Mann M. Isotope bone scanning for acute osteomyelitis and septic arthritis in children. J Bone Joint Surg Br. 1994;76:306-310.
- Kaiser S, Jorulf H, Hirsch G. Clinical value of imaging techniques in childhood osteomyelitis. Acta Radiologica. 1998;39:523-531.
- Pineda C, Vargas A, Rodríguez AV. Imaging of osteomyelitis: current concepts. Infect Dis Clin North Am. 2006;20:789-825.
- Riise Ø R, Kirkhus E, Handeland KS, et al. Childhood osteomyelitis-incidence and differentiation from other acute onset musculoskeletal features in a population-based study. BMC Pediatr. 2008;8:45.
- Karmazyn B. Imaging approach to acute hematogenous osteomyelitis in children: an update. Semin Ultrasound CT MR. 2010;31:100-106.
- Ash JM, Gilday DL. The futility of bone scanning in neonatal osteomyelitis: concise communication. J Nucl Med. 1980;21:417-420.

21. Drubach LA. Nuclear medicine techniques in pediatric bone imaging. *Semin Nucl Med.* 2017;47:190-203.
22. Zhao Y, Ferguson PJ. Chronic nonbacterial osteomyelitis and chronic recurrent multifocal osteomyelitis in children. *Pediatr Clin North Am.* 2018;65:783-800.
23. Papathanassiou ZG, Megas P, Petsas T, Papachristou DJ, Nilas J, Siablis D. Osteoid osteoma: diagnosis and treatment. *Orthopedics.* 2008;31:1118.
24. Bhure U, Roos JE, Strobel K. Osteoid osteoma: multimodality imaging with focus on hybrid imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2019;46:1019-1036.
25. Boscainos PJ, Cousins GR, Kulshreshtha R, Oliver TB, Papagelopoulos PJ. Osteoid osteoma. *Orthopedics.* 2013;36:792-800.
26. Jordan RW, Koç T, Chapman AW, Taylor HP. Osteoid osteoma of the foot and ankle--a systematic review. *Foot Ankle Surg.* 2015;21:228-234.
27. Liu PT, Kujak JL, Roberts CC, de Chadarevian J-P. The vascular groove sign: a new CT finding associated with osteoid osteomas. *AJR Am J Roentgenol.* 2011;196:168-173.
28. Davies M, Cassar-Pullicino VN, Davies MA, McCall IW, Tyrrell PN. The diagnostic accuracy of MR imaging in osteoid osteoma. *Skeletal Radiol.* 2002;31:559-569.
29. French J, Epelman M, Johnson CM, Stinson Z, Meyers AB. MR imaging of osteoid osteoma: pearls and pitfalls. *Semin Ultrasound CT MR.* 2020;41:488-497.
30. Roach PJ, Connolly LP, Zurakowski D, Treves ST. Osteoid osteoma: comparative utility of high-resolution planar and pinhole magnification scintigraphy. *Pediatr Radiol.* 1996;26:222-225.
31. Sharma P, Mukherjee A, Karunanithi S, et al. 99mTc-Methylene diphosphonate SPECT/CT as the one-stop imaging modality for the diagnosis of osteoid osteoma. *Nucl Med Commun.* 2014;35:876-883.
32. Kim Y-i, Ryu J-S. Fibrous dysplasia. In: *Atlas of Nuclear Medicine in Musculoskeletal System: Case-Oriented Approach.* 1st ed. Yang S-o, Oh SW, Choi YY, Ryu J-S, editors. Singapore: Springer; 2022. p. 195-201.
33. Kushchayeva YS, Kushchayev SV, Glushko TY, et al. Fibrous dysplasia for radiologists: beyond ground glass bone matrix. *Insights Imaging.* 2018;9:1035-1056.
34. Ackah SA, Eugster EA. McCune-Albright syndrome. In: *Pediatric Endocrinology: A Practical Clinical Guide.* 4th ed. Radovick S, Misra M, editors. Switzerland: Springer; 2024. p. 997-1006.
35. Zhang L, He Q, Li W, Zhang R. The value of 99m Tc-methylene diphosphonate single photon emission computed tomography/ computed tomography in diagnosis of fibrous dysplasia. *BMC Med Imaging.* 2017;17:46.
36. Font MM. Clinical applications of nuclear medicine in the diagnosis and evaluation of musculoskeletal sports injuries. *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol (Engl Ed).* 2020;39:112-134.
37. O'dell MC, Jaramillo D, Bancroft L, Varich L, Logsdon G, Servaes S. Imaging of sports-related injuries of the lower extremity in pediatric patients. *Radiographics.* 2016;36:1807-1827.
38. Ishibashi Y, Okamura Y, Otsuka H, Nishizawa K, Sasaki T, Toh S. Comparison of scintigraphy and magnetic resonance imaging for stress injuries of bone. *Clin J Sport Med.* 2002;12:79-84.
39. Wright AA, Hegedus EJ, Lenchik L, Kuhn KJ, Santiago L, Smoliga JM. Diagnostic accuracy of various imaging modalities for suspected lower extremity stress fractures: a systematic review with evidence-based recommendations for clinical practice. *Am J Sports Med.* 2016;44:255-263.
40. Pelletier-Galarneau M, Martineau P, Gaudreault M, Pham X. Review of running injuries of the foot and ankle: clinical presentation and SPECT-CT imaging patterns. *Am J Nucl Med Mol Imaging.* 2015;5:305-316.
41. Gaeta M, Minutoli F, Scribano E, et al. CT and MR imaging findings in athletes with early tibial stress injuries: comparison with bone scintigraphy findings and emphasis on cortical abnormalities. *Radiology.* 2005;235:553-561.
42. Zwas ST, Elkanovitch R, Frank G. Interpretation and classification of bone scintigraphic findings in stress fractures. *J Nucl Med.* 1987;28:452-457.
43. Patil SSD. Shin splints. In: *Foot and ankle sports orthopaedics.* 1st ed. Valderrabano V, Easley M, editors. Switzerland: Springer; 2017. p. 181-186.
44. Zukotynski KA. Sport injuries. In: *Pediatric nuclear medicine and molecular imaging.* 4th ed. Treves ST, editor. New York: Springer; 2014. p. 385-396.
45. Sanpera Jr I, Beguiristain-Gurpide JL. Bone scan as a screening tool in children and adolescents with back pain. *J Pediatr Orthop.* 2006;26:221-225.
46. Masci L, Pike J, Malara F, Phillips B, Bennell K, Brukner P. Use of the one-legged hyperextension test and magnetic resonance imaging in the diagnosis of active spondylolysis. *Br J Sports Med.* 2006;40:940-946.
47. Campbell R, Grainger A, Hide I, Papastefanou S, Greenough C. Juvenile spondylolysis: a comparative analysis of CT, SPECT and MRI. *Skeletal Radiol.* 2005;34:63-73.
48. Lascombes P, Mamie C. Complex regional pain syndrome type I in children: what is new? *Orthop Traumatol Surg Res.* 2017;103:S135-S142.
49. Kemp AM, Dunstan F, Harrison S, et al. Patterns of skeletal fractures in child abuse: systematic review. *BMJ.* 2008;337:a1518.
50. van Rijn RR, Sieswerda-Hoogendoorn T. Educational paper: imaging child abuse: the bare bones. *Eur J Pediatr.* 2012;171:215-224.
51. Section on Radiology; American Academy of Pediatrics. Diagnostic imaging of child abuse. *Pediatrics.* 2009;123:1430-1435.
52. Kemp AM, Butler A, Morris S, et al. Which radiological investigations should be performed to identify fractures in suspected child abuse? *Clin Radiol.* 2006;61:723-736.
53. Mandelstam S, Cook D, Fitzgerald M, Ditchfield M. Complementary use of radiological skeletal survey and bone scintigraphy in detection of bony injuries in suspected child abuse. *Arch Dis Child.* 2003;88:387-390.

54. Perez-Rossello JM, Connolly SA, Newton AW, Zou KH, Kleinman PK. Whole-body MRI in suspected infant abuse. *AJR Am J Roentgenol.* 2010;195:744-750.
55. Ryu J-S, Chung HW. Metabolic bone disease. In: *Atlas of Nuclear Medicine in Musculoskeletal System: Case-Oriented Approach.* 1st ed. Yang S-O, Oh SW, Choi YY, Ryu J-S, editors. Singapore: Springer; 2022. p.157-178.
56. Gedik GK. Metabolik kemik hastalıklarında radyonüklid görüntüleme. *Nucl Med Semin.* 2022;8:25-31.
57. Fahey FH, Abramson ZR, Padwa BL, et al. Use of 99m Tc-MDP SPECT for assessment of mandibular growth: development of normal values. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2010;37:1002-1010.
58. Lopez BD, Corral SC. Comparison of planar bone scintigraphy and single photon emission computed tomography for diagnosis of active condylar hyperplasia. *J Craniomaxillofac Surg* 2016; 44: 70-74.
59. Buitrago DL, Botero JR, Corral C, Carmona A, Sabogal A. Comparison of 99mTc-MDP SPECT qualitative vs quantitative results in patients with suspected condylar hyperplasia. *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol (Eng Ed).* 2017;36:207-211.
60. Saridin C, Raijmakers P, Al Shamma S, Tuinzing D, Becking A. Comparison of different analytical methods used for analyzing SPECT scans of patients with unilateral condylar hyperactivity. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2009;38:942-946.
61. Kao YH, Magsombol BM, Ng DC. The potential of hybrid SPECT/CT fusion imaging to improve diagnostic accuracy in the scintigraphic quantitative functional assessment of suspected unilateral mandibular hyperactivity. *Oral Maxillofac Surg.* 2012;16:89-93.
62. Hamed MAG, AlAzzazy MZ, Basha MAA. The validity of SPECT/CT in diagnosis of condylar hyperplasia. *Egypt J Radiol Nucl Med.* 2017;48:451-9.
63. Ha AS, Chang EY, Bartolotta RJ, et al. ACR appropriateness criteria® osteonecrosis: 2022 update. *J Am Coll Radiol.* 2022;19:S409-S416.
64. Roca I, Barber I, Fontecha CG, Soldado F. Evaluation of bone viability. *Pediatr Radiol.* 2013;43:393-405.
65. Oh SW, Chai JW, Park JM. Osteonecrosis. In: *Atlas of Nuclear Medicine in Musculoskeletal System: Case-Oriented Approach.* 1st ed. Yang S-O, Oh SW, Choi YY, Ryu J-S, editors. Singapore: Springer; 2022. p. 83-91.
66. Grewal RS, Hollnagel KF, Curran PF, Bomar JD, Upasani VV. Bone scintigraphy prediction of postoperative femoral head avascular necrosis in children with hip trauma and slipped capital femoral epiphysis. *J Pediatr Orthop.* 2025;45:e418-e421.
67. Kim H, Lee K, Ha S, et al. Predicting vascularized bone graft viability using 1-week postoperative bone SPECT/CT after maxillofacial reconstructive surgery. *Nucl Med Mol Imaging.* 2020;54:292-298.



Çocukluk Yaş Grubunda Nedeni Bilinmeyen Ateş: Moleküler Görüntülemenin Yeri

Fever of Unknown Origin in Pediatric Age Group: Role of Molecular Imaging

© Pınar Özgen Kıratlı

Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

Öz

Nedeni bilinmeyen ateş, pek çok incelemeye karşın kesin tanı konulamayan, son üç hafta içerisinde 38,3 °C ateş ile seyreden klinik bir durumdur. Konu ile ilgili erişkin yaş grubunda çok sayıda araştırma olmasına karşın çocukluk çağına ait sınırlı sayıda yayın bulunmaktadır. Ayırıcı tanıda enfeksiyon, enflamasyon, malignite ve diğer nedenler olarak kategoriler geliştirilmiş olmakla birlikte, genellikle sorun, bilinen nedenin bilinmeyen tablo ile ortaya çıkmasından kaynaklanmaktadır. F-18 florodeoksiglukoz (FDG) pozitron emisyon tomografi/bilgisayarlı tomografi (PET/BT) nedeni bilinmeyen ateşin kaynağının belirlenmesinde fokal tutulum alanını lokalize eden duyarlı bir görüntüleme yöntemidir. Bu derlemede çocukluk çağında nedeni bilinmeyen ateş araştırılmasında FDG PET/BT'nin önemi üzerinde durularak, ileride klinik uygulamada hastane yatışının kısalması ve gereksiz uygulamaları azaltmak için daha yaygın kullanımından bahsedilecektir.

Anahtar Kelimeler: Nedeni bilinmeyen ateş, pediatri, FDG PET/BT

Abstract

Fever of unknown origin is a clinical condition when the elevated body temperature is 38.3 °C or higher in the last 3 weeks and remaining undiagnosed after appropriate investigation. The literature is very limited in pediatric patients compared to adults. Inflammation, infection, malignancy and others are in the differential diagnosis. The problem is the known problem presenting in an unknown clinical scenario. F-18 fluorodeoxyglucose (FDG) positron emission tomography/computerized tomography (PET/CT) is sensitive imaging method in the evaluation of fever of unknown origin. In this review the role of F-18 FDG PET/CT is going to be discussed in pediatric population.

Keywords: Fever of unknown origin, pediatrics, FDG PET/CT

Giriş

İlk kez 1961'de Petersdorf ve Beeson (1) tarafından tanımlanan nedeni bilinmeyen ateş (NBA), 3 hafta boyunca, çeşitli zamanlarda, ateşin 38,3 °C olması ve 1 hafta boyunca hastanede kalış süresince herhangi bir etiyolojik neden bulunmamasına atfedilirken, 1991'de

tanının hastane yatış gerekliliğinin kalkması ve immün yetmezliği olan hastaların farklı bir tanı ve tedavi ihtiyacı olması nedeniyle grup dışında kalmaları sonucunda değişmiştir (2).

Günümüzde NBA tanısı için; a) hasta ateşinin 2 defa 38,3 °C'nin üzerinde olması, b) hastalığın 3 hafta

Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Prof. Dr. Pınar Özgen Kıratlı, Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: pkiratli@gmail.com ORCID ID: orcid.org/0000-0002-5181-2311

Geliş Tarihi/Received: 30.04.2025 Kabul Tarihi/Accepted: 22.07.2025 Yayınlanma Tarihi/Publication Date: 29.07.2025

Cite this article as/Atıf: Kıratlı PÖ. Fever of unknown origin in pediatric age group: role of molecular imaging. Nucl Med Semin. 2025;11:127-133



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.

ve daha uzun sürmesi ve çok kez febril epizod olması, c) hastaların immün yetmezliğinin (HIV) olmaması (i. ateşin izlenmesinden önceki son 3 ayda 1 haftadan daha fazla nötropenik olmamaları, ii. HIV enfeksiyonunun olmaması, iii. Hipogamaglobunemisinin olmaması, iv. Ateşin başlamasından önceki 3 ayda 10 mg prednizolon kullanmamış olması) d) Ayrıntılı kan laboratuvar testleri, kan ve idrar kültürü, toraks direkt grafi, abdominal ultrasonografi (US), PPD testinin sonuçsuz kalması şartlarını yerine getirmesi gerekmektedir (3,4).

Ancak çocuk hastalarda literatür kısmen farklı olup, NBA, 8 gün boyunca günde en az 1 kere hasta ateşinin 38,3 °C olup, hastane yatışı olarak veya ayaktan ayrıntılı anamnez-fizik muayene ve laboratuvar testlerinde açıklayıcı neden bulunamaması olarak tanımlanmıştır (5,6).

Nedeni Bilinmeyen Ateş Etiyolojisi

NBA ayırıcı tanısında enfeksiyöz hastalıklar, malignite, enfeksiyöz olmayan enflamasyon ile görülen hastalıklar ve diğer nedenler bulunmaktadır (Tablo 1) (5). Hastaların büyük kısmında (%51) etken enfeksiyonlar olup, bakteriyel kaynaklı hastalıklar (%59) çoğunluktadır. Ülkemizin de dahil olduğu coğrafyada enfeksiyon (çoğunlukla tüberküloz) daha sık izlenmektedir (Şekil 1). Lokalize enfeksiyonlar arasında sinüzit, mastoidit, septik artrit ilk sıralardadır. Neoplastik hastalıklar içerisinde lenfoproliferatif hastalıklar (Şekil 2) ve solid tümörler (Nöroblastoma, Willm's, Histiositozis, vs.) izlenirken, romatolojik hastalıklar da (juvenile romatoid artrit, sistemik lupus eritوماتosis, Kawasaki sendromu, poliarteritis nodosa, Behçet hastalığı) (Şekil 3) ayırıcı tanıda düşünülmelidir (6). Tabii etnik nedenler, hayvan teması, geçirilmiş cerrahiler, kullanılan ilaçlar (antikonvülsan, antimikrobiyal, kemoterapötikler vs) mutlaka akılda bulundurulmalıdır. Etiyolojide daha önceden sağlıklı olan çocuklar ile bilinen bir hastalığı (örneğin; kardiyak veya

kromozom anomalileri, NBA ile ilişkili medikal sorun, organ transplantasyonu yapılanlar, immün süpresyonu olanlar) olan çocuklar arasında fark olacaktır. Teorik olarak herşey NBA ile ilişkili olabilir. O nedenle ayrıntılı anamnez çok önem taşımaktadır.

NBA ayırıcı tanısı için hastalar değerlendirilirken hastalıklar için yaş gruplarının da farklılık gösterdiği akılda bulundurulmalıdır. Enfeksiyonlar 1 yaş civarında sıklıkla görülürken, yaş ilerledikçe enfeksiyöz nedenlerin yanı sıra neoplastik veya otoimmün hastalıklar izlenmektedir. Ancak her türlü araştırmaya rağmen çocuk hastaların yaklaşık %30'unda NBA kesin bir teşhis konulmadan geçmektedir (7).

Görüntüleme Yöntemleri

Hasta yaklaşımda ayrıntılı anamnez ve fizik muayene sonrasında, ayırıcı tanıya ulaşmada kullanılacak görüntüleme yöntemleri her zaman olduğu gibi en non-invaziv yöntem ile olmalıdır.

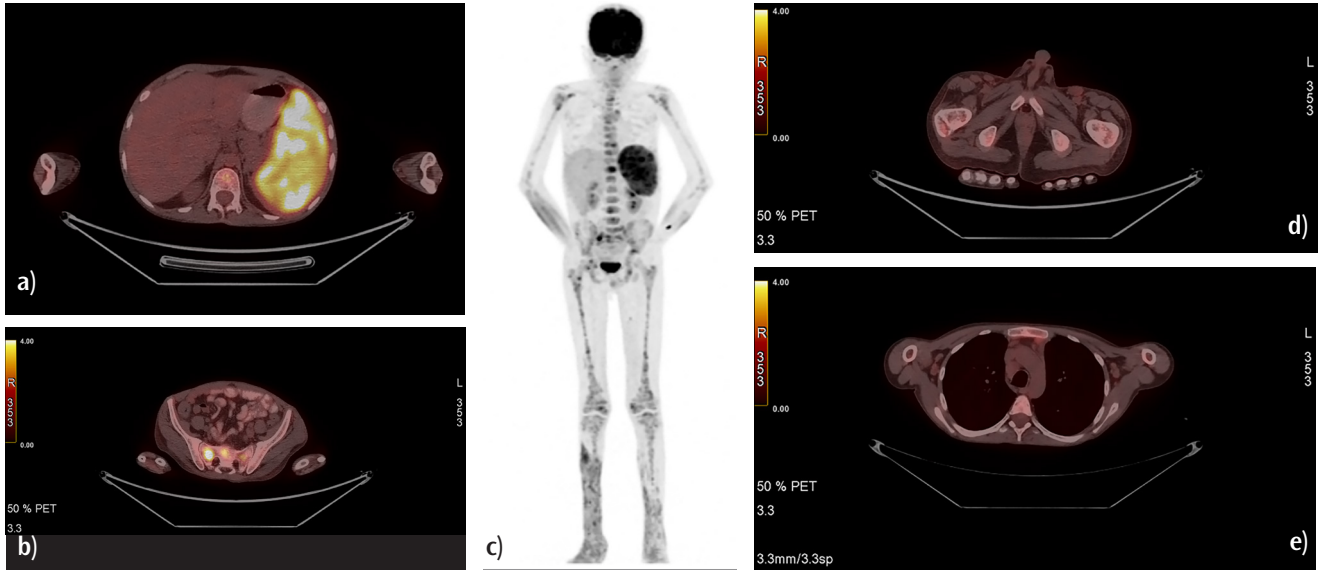
USG; abdomende abse, enflamatuvar bağırsak hastalığı, boyunda servikal lenf nodu varlığı veya plevral effüzyon araştırılmasında ilk tercih edilmesi gereken yöntemdir (8). Hemen her merkezde yaygın olarak bulunması, radyasyon riskinin olmaması en önemli avantajları arasındadır.

Akciğer ve mediasten yanı sıra kas iskelet sisteminin morfolojik değerlendirmesinde; direkt grafi sıklıkla kullanılmaktadır. Daha ayrıntılı değerlendirmede bilgisayarlı tomografi (BT) kullanılabilir. BT'nin yaygın olarak bulunması, standart protokol uygulanması, kısa aküzyon zamanı sayesinde sedasyona nadiren ihtiyaç duyulması avantajlı yanlarıdır. Ancak duyarlılığının düşük olması, radyasyon ve kontrast kullanımı olması yanı sıra, santral sinir sistemi ve kemik iliğinde düşük doğruluğunun olması dezavantajları arasındadır (9).

Tüm vücut manyetik rezonans (MR) görüntüleme ise son zamanlarda NBA tanısında alternatif bir yöntem olarak uygulanmaktadır. Sınırlı sayıda hastanın dahil

Tablo 1. Nedeni bilinmeyen ateş sebepleri

Enfeksiyon	Enflamasyon	Neoplazi	Diğer
Sepsis	Juvenil romatoid artrit	Lösemi	İlaç kullanımı
Abse	SLE	Nöroblastoma	Diabetes insipidus
Osteomyelit	Vaskülit	Hepatoblastoma	İmmün yetmezlik
Ensefalit	Behçet hastalığı	Yumuşak doku sarkomu	Hipertiroidi
Sinüzit/mastoidit	Enflamatuvar barsak hastalığı		
Pyelonefrit			



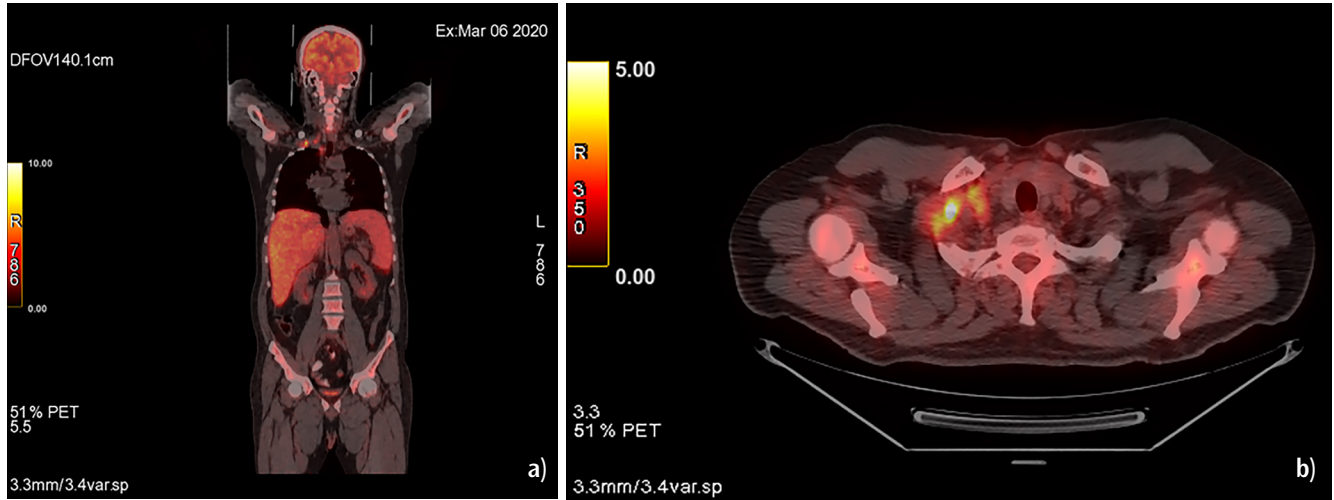
Şekil 1. On dört yaş erkek hasta, RAG1 mutasyonu ve immün yetmezlik tanısı ile takip edilmekteyken, kliniğinde bozulma ve tekrar eden geçmeyen ateş öyküsü olması nedeniyle hastaneye yapılan başvurusunda FDG PET/BT çekilmesine karar verilmiştir. Uygun hazırlık koşulları sonrasında yapılan görüntülemelerde, a) dalakta fokal tutulumların izlendiği hepatosplenomegalisi ve b) kemiklerde (şakrum ve sol asetabulum ile sol femur diafizinde belirgin) ve, c) MIP görüntülerde alt ekstremitelerde yaygın cilt altı lezyonları yanı sıra, her iki akciğerde anlamlı FDG tutulumu göstermeyen bronşiektatik görünüm ile, d) bilateral aksiller ve inguinal FDG tutulumu gösteren lenf nodları izlenmiştir. Bulguların ayırıcı tanısında lenfoproliferatif ve granülomatöz hastalıklar düşünülmüş olup yapılan biyopside tüberküloz tespit edilmiştir
FDG: Florodeoksiglukoz, MIP: Maksimum yoğunlukta projeksiyon, PET: Pozitron emisyon tomografi, BT: Bilgisayarlı tomografi

olduğu bir çalışmada tüm vücut MR'ın NBA kaynağını tespit ederek, klinik yaklaşımı %92 oranında değiştirdiği bildirilmiştir (10). İyonizan radyasyon kullanmaması ve nefrotoksititeye neden olacak kontrast olmaması en önemli avantajı olmakla birlikte, henüz her merkezde olmaması ve çekim süresi nedeniyle çocuk yaş grubunda sedasyona ihtiyaç göstermesi yaygın kullanımını sınırlamakla birlikte, prospektif çalışmalar ile yetkinliğinin belirlenmesi sonrası gelecekte NBA araştırılmasında önemli yere geleceği düşünülmektedir.

Nükleer Tıp uygulamaları, kemik enfeksiyonu, enflamatuvar bağırsak hastalıkları ve NBA araştırılmasında Galyum 67 (Ga-67) sitrat görüntüleme ile başlamıştır (Tablo 2). Takeuchi ve ark. (11) tarafından yapılan bir meta-analizde Ga-67 sitratın duyarlılığı %60, özgüllüğü %63 bulunmuştur. Tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi (SPECT) ve SPECT-BT, planar çalışmaya göre tanısallık doğruluğu artırmaktadır. Ancak hasta radyasyon dozu, uzun süren enjeksiyon sonrası çekimler (48-72 s), görüntü kalitesinin suboptimal olması dezavantajları arasındadır. Talebin azalması, radyofarmasötik üretilmemesi nedeniyle zaman içinde kullanım dışı olmuştur. Daha sonra Takeuchi ve ark. (11) NBA tanısı ile araştırılan 153 hastada In-111 işaretli lökosit ile yaptıkları çalışmada,

tetkinin duyarlılığını %33, özgüllüğünü %83 bulmuştur. Bu tetkinin her zaman hazır olmaması, işaretleme işleminin zor olması yanı sıra kan ürünleri içermesi, tekrarlayan görüntülemeler nedeniyle tetkinin uzun sürmesi (24-48 s) ve yüksek radyasyon dozu çocukluk çağında özellikle yenidoğanda kullanımını kısıtlanmıştır. Ayrıca odağın tam lokalizasyon için SPECT-BT görüntülemeye ihtiyaç duyulması lökopenili hastalarda da uygun olmaması nedeniyle yerini nonspesifik glukoz analogu olan F-18 florodeoksiglukoz (FDG) almıştır. F-18 FDG sadece malign dokularda değil, enflamatuvar hücrelerin yüksek glukoz transport göstermesi nedeniyle enflamasyon ve enfeksiyon odaklarının tespitinde de kullanılmaktadır. Bu kapsamda erişkinlerde kullanımı yaygınlaştığı halde çocukluk çağına ait bilgi sınırlıdır. Literatürde çoğunlukla az sayıda hastanın dahil olduğu retrospektif çalışmalar olup, diğer görüntüleme yöntemleri ile karşılaştırma yapan yayınlar oldukça azdır.

Pozitron emisyon tomografi (PET)/BT'de pozitif FDG tutulumu fokal veya yaygın olabilir. Yaygın (non-fokal) lezyonlar belirgin bir neden olmaksızın FDG'nin fizyolojik dağılımına bağlı olabilir. O nedenle öncelikle fokal tutulum hastaların değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Öte yandan diffüz kemik iliği tutulumunun varlığı çoğunlukla



Şekil 2. Miyelodisplastik sendrom tanısı ile takip edilen hastanın serviste takip edilirken ateş öyküsü olması nedeniyle etiyoloji açısından FDG PET/BT görüntüleme istenmiştir. Yapılan görüntülemede, A. karaciğer ve dalakta büyüme yanı sıra diffüz artmış FDG tutulumu, B. sağ supra ve infra klavikular lenf nodu ile sağ üst paratrakeal lenf nodunda artmış FDG tutulumu izlenmiştir. Lenf nodundan yapılan doku tanısı Hodgkin lenfoma ile uyumlu gelmiştir

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

reaktif veya granülosit-koloni uyarıcı faktör kullanımı sonrası izlenmekle birlikte, NBA durumunda malignite infiltrasyonu veya enfeksiyonu düşündürmelidir. Diffüz dalak tutulumu enfeksiyöz durumlardan ziyade otoimmün hastalıklarda izlenir. Diffüz subkutan yağ dokuda FDG tutulumu Ebstein-Barr virüs enfeksiyonunda izlenmektedir (12). Yine yaygın lenfadenopatide FDG tutulumu çoğunlukla lenfoma gibi malignitede izlenmekle birlikte, viral enfeksiyon ve otoimmün hastalıklarda da görülmektedir (13,14,15). Bazen de FDG dağılımı sırasında fokal tutulum gösteren bir yer tespit edilemez, bu durumda beyin ve genitoüriner system gibi fizyolojik tutulumun yoğun olduğu alanlara ek önem verilmesi ve PET/BT'nin BT komponentinden yanlış negative sonucu ekarte edebilmek için yararlanılması önerilmektedir.

Literatür taramalarında ne yazık ki son 20 yılda çocukluk çağında FDG PET/BT ile NBA konusunda oldukça sınırlı sayıda yayın bulunmaktadır. Var olan çalışmaların çoğunda ise hasta yaş grubunun karma olduğu dikkati çekmektedir.

Ferda ve ark. (16) yaptığı, yaşları 15-89 arasında değişen 48 hastanın dahil olduğu bir çalışmada FDG-PET/BT'nin %97 duyarlılık ve %75 özgüllük ile 44 hastada NBA nedeni belirlediğini göstermişlerdir.

Simons ve ark. (17), 5 çocuk hastanın dahil olduğu yoğun bakımda ventilatöre bağlı yine karma yaş grubuna sahip hastalarda, konvansiyonel yöntemler ile



Şekil 3. Yirmi dört yaş kadın hasta için nedeni bilinmeyen ateş etiyolojisi ile FDG PET/BT görüntüleme istenmiştir. Yapılan görüntüleme sonrası bilateral subklavian arter ile torasiko-abdominal aortanın tamamında artmış FDG tutulumu izlenmiş olup, bulgular vaskülit ile uygunluk göstermektedir

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

bulunmayan NBA'de F-18 FDG PET/BT ile %100 duyarlılık, %79 özgüllük ve %91 doğruluk ile göstermişlerdir. Bu çalışmada kritik hastalarda F-18 FDG-PET/BT'nin sadece konvansiyonel yöntemlere göre üstün olarak etkeni tespit etmediğini, aynı zamanda yüksek negative kestirim değeri ile uzun süreli antibiyotik tedavisine veya invaziv

Tablo 2. NBA araştırılmasında kullanılan moleküler görüntüleme yöntemlerinin performansı (12)

Nükleer Tıp tetkikleri	Duyarlılık	Özgüllük	Tanısal doğruluk
In-111 işaretli lökosit	%33	%83	%20
Ga-67 sitrat	%60	%63	%35
FDG PET	%76	%50	%44
FDG PET-BT	%86	%52	%58

FDG: Florodeoksiglukoz, PET: Pozitron emisyon tomografi, BT: Bilgisayarlı tomografi, Ga-67: Galyum 67

girişimlere neden olacak durumları da ekarte ettiği göstermişlerdir.

Sadece çocuk hastaların dahil olduğu, bilier sirozu olan 11 çocuklu grupta NBA araştırılmasında, beş hastada F-18 FDG PET/BT ile fokal abse, mikro abse, enfeksiyöz nekroz veya süpüratif kolanjit bulunmuştur. Negatif PET/BT çalışmalarında ise, etken diğer yöntemler ile de bulunamamıştır (18).

Hasta sayısının kısmen fazla olduğu (69 çocuk hasta) bir çalışmada Jasper ve ark. (19), %82 anormal olmakla birlikte (odak bulunan ve bulunmayan) FDG PET ve FDG PET/BT çalışmasının %51'inde faydalı olduğunu belirtmişlerdir. Kesin sonuca hastaların %54'ünde ulaşmışlardır. Pozitif çıkan çalışmalar C-reaktif protein (CRP) seviyesi, nötrofil ve trombosit sayısındaki artış ile korele bulunmuştur.

İmmünoşüprese transplante hastalarında lenfoproliferatif hastalıklar sıklıkla izlenmekte olup, sıklıkla yüksek mortaliteye neden olmaktadır. Yang ve Zhuang'ın (20) 31 çocuk hastanın dahil olduğu grup ile yaptığı çalışmada 11 hastada FDG PET/BT ile fokal artmış metabolik aktivite gösteren posttransplant lenfoproliferatif hastalık ile uyumlu bulgular tespit etmiş ve hasta tedavisini yönlendirmiştir. Aynı çalışmada diğer hastalarda da enfeksiyon odakları tespit edilmiştir.

En fazla çocuk hastanın dahil olduğu (110 hasta) çalışmada Pijl ve ark. (21) tarafından yapılan değerlendirmede FDG PET/BT'nin %48 hastada ateşin nedenini gösterdiği ve hastaların %53'ünde tedavi planının değiştiği %85,5 duyarlılık ve %79,3 özgüllük ile belirtilmiştir. Bu çalışmada pozitif kestirim değeri %84 ve negatif kestirim değeri %81 olarak bulunmuştur (21).

Nygaard ve ark.'nın (22), 2022'de yayınladıkları çalışmada, daha önceden herhangi bir sağlık sorunu olmayan 35 çocuk hastada hastaneye başvurusu sonrası, altısında NBA, 29'unda tekrarlayan ateş tespit etmişlerdir. Sekiz hastanın ateşi spontan olarak düzelmiştir. Bu hastaların yedisinde tetkik öncesi CRP değeri normal olup, F-18-FDG PET'te gerçek negatif olarak değerlendirilmiştir

(22). Sadece bir hastanın CRP değeri yüksek izlenmiş ve o hastada FDG PET/BT apandisit olabileceğini düşündürmüştü, ancak yapılan eksploratuar laporoskopi tanıyı desteklememiştir. FDG PET/BT ile yüksek duyarlılıkla hastalar enfeksiyon (3 hasta) ve neoplazi (4 hasta) açısından değerlendirilmiştir. Non-enfeksiyöz enflamasyon olarak değerlendirilen tüm hastalar (8 hasta) ile neoplazi grubundan bir hastada (sonrasında lösemi tanısı alan) diffüz dalak ve kemik iliği tutulumu izlenmiştir. Bu bulgu önceden reaktif nedenlere bağlı olarak negatif değerlendirilmiştir (22).

2022 yılına ait bir meta-analizde NBA ile araştırılan 141 hastanın, %81'inde FDG PET/BT sonuçları, tanı ile uyumlu gelmiştir (23). Tıpkı erişkinlerde olduğu gibi NBA'den enfeksiyon %24, enflamasyon %22, malignite %3 ve diğerleri %11 olacak şekilde sorumlu bulunmuştur. Hastaların %40'ında kesin tanı bulunamamıştır. Bu meta-analiz sonuçlarına göre anormal FDG PET bulgusu olan hastaların, normal FDG PET sonucu olanlara göre 17 kat daha fazla sonuca ulaşabildikleri gösterilmiştir. Bu araştırma yegane meta-analiz olmakla birlikte, hasta sayısının düşüklüğü, NBA için gerekli parameter olan ateşin değişkenlik göstermesi ve açık olarak çocukta NBA tanımının net olmaması değerlendirme yaparken karşılaşılan en önemli sorunlardır.

NBA'nın etkeni, daha önceden sağlıklı çocuklar da dahil olmak üzere, sıklıkla enfeksiyon, endokardit, kolanjit ve akciğer enfeksiyonları bulunmuştur. FDG PET/BT genel olarak tanı ile uyumlu olmakla beraber en düşük duyarlılığa endokardit olgularında rastlanmıştır. Bunun nedeni belki de endokarditi gösterebilmek için uygun hasta hazırlığının optimal yapılmamış olmasıdır. Bir diğer sınırlı başarı izlenen grup, idrar yolu enfeksiyonudur. Bu grupta duyarlılığın düşük olmasındaki neden hastaların antibiyotik tedavisi altında olmaları olabilir. FDG PET/BT'nin Takayasu gibi büyük damar arteritlerinde başarılı olduğu görülmekle birlikte, aynı başarılı sonuçlar küçük damar hastalıklarında, Kawasaki ve Ailevi Akdeniz ateşi gibi hastalıklarda elde edilememiştir. İlaça bağlı gelişen

NBA'de de FDG PET/BT bekleneneği üzere başarılı sonuç vermemektedir.

F-18 FDG-PET/BT Görüntüleme Kısıtlılıkları

F-18 FDG PET/BT'nin yetersiz açlık düzeyi ve hasta hareketi nedeniyle izlenen suboptimal uygulamaları dışında pek çok nedenden dolayı yanlış negatif ve pozitif sonuçlar izlenebilmektedir. Bu nedenle görüntüleri değerlendirecek olan kişilerin bunlara dikkat etmesi gerekmektedir.

FDG PET/BT native kalp kapağındaki endokardit tespiti için düşük duyarlılığa sahiptir. Bu durumda tetkik öncesi birkaç gün düşük karbonhidratlı beslenmenin myokard duvarındaki fizyolojik aktivitenin minimize olmasını sağlayacaktır.

Enfeksiyon ve enflamasyonda tedavide kullanılan steroid ve antibiyotikler de tetkikin duyarlılığını azaltmaktadır. Tercihen F-18 FDG PET görüntülemesi hastaların antibiyotik kullanımı öncesi ve düşük doz steroid alırken yapılmasıdır. FDG'nin kemik iliği ve/veya dalakta diffüz tutulum göstermesi, fokal tutulum olmaması, sistemik enflamatuvar hastalığı düşündürmelidir. Bu durumlarda ileri tetkik yapılması önerilmektedir.

Takayasu arteriti gibi NBA nedenlerinden biri olan durumlarda FDG PET/BT yapılan çalışmaların meta-analiz sonuçlarında, enfeksiyon belirteci CRP ile FDG PET görüntüleme arasında birbirlerini destekleyen -aditif ilişki gösterilmiştir (24).

FDG PET/BT görüntüleme yüksek duyarlılığa ancak düşük özgüllüğe sahiptir. Benign reaktif lenfadenopatinin maligniteden ayırt edilmesi her zaman kolay olmamaktadır. Bu durumda lenf nodu tutulumlarının her hastalık için farklı olacağını akılda bulundurarak, tüm vücutta izlenen lezyonların tanımlanması önem taşımaktadır. Enfeksiyon ve maligniteyi ayırt etmede her zaman çok faydalı olmasa da klinisyeni biyopsi alacağı noda yönlendirmesi ve hastalık yaygınlığını belirleme açısından önemlidir.

FDG PET/BT çalışmaları değerlendirilirken, hastanın tüm klinik bilgisine sahip olmak, anamnez ve laboratuvar değerlerini bilmek önem taşımaktadır. Erişkinlerde yapılan bazı çalışmalarda, uzun süre devam ateşin, dalgalı arada yükselen ateşe nazaran, FDG PET/BT'de daha fazla pozitif sonuç alındığına dair çalışmalar bulunmaktadır (4). Ayrıca CRP değeri ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır. Ancak bazı sonuçlar FDG PET/BT pozitifliğinin yüksek CRP ile arttığını göstermekte iken bazı çalışmalarda da herhangi bir etkisinin olmadığını göstermiştir (25).

Radyasyon Dozu

Çocukluk çağında radyasyon hassasiyeti, büyüme hızının ve hücrel diferansiyasyonun fazla olması ve beklenen yaşam süresinin uzun olması nedeniyle, çocuk hastalara tetkik yapılırken radyasyon dozuna çok dikkat edilmelidir.

Her Zaman Makul Olarak Ulaşılabildiği Kadar Düşük (As Low As Reasonably Achievable) prensibine göre Avrupa Nükleer Tıp Derneği'nin (European Society of Nuclear Medicine) doz hesaplama kartına uygun olacak şekilde uygulama yapılmalıdır. Cihazlardaki gelişmeler sonucu eskiye oranla çok daha düşük doz verilebilmektedir. Ancak tanıya yardımcı olacak düzgün bir görüntülemeye LAFV artırılmalı ve BT komponentinden gelecek radyasyon dozunun da mA modülasyonunda ayarlama yapılması ve iterative rekonstrüksiyon yapılması önerilmektedir.

FDG PET/BT Görüntüleme Protokolü

NBA araştırılması yapılırken kullanılan FDG PET/BT protokolünün rutin uygulamadan çok fazla farkı bulunmamaktadır. Hazırlık aşamasında 4 saat açlık, enjeksiyondan önce 30 dk kadar ısıtılmış bir ortamda veya battaniyeler ile beklenmesi, kahverengi yağ dokusundaki fizyolojik tutulumun azalmasını sağlayacağı için önerilmektedir. FDG enjeksiyonundan sonraki 60 dk boyunca hasta sakin bir ortamda bekledikten sonra çekime geçmeden mutlaka mesanesini boşaltmalıdır. Aksi planlanmadıkça kafa tabanından en azından femur orta kısma kadar görüntüleme yapılmalıdır. Yaşı 1-5 arasında olan çocuklarda anestezi ihtiyacı olabilmektedir. Ancak tüm vücut PET kamerası olan merkezlerde çekim süresi tetkik kalitesini etkilemeyerek çok kısa zamanda gerçekleşeceği için anestezi ihtiyacı da olmayacaktır. Çocuk hastalar ile deneyimli bir ekibin çalışması başarılı sonuç elde etmede önemlidir.

Sonuç

FDG-PET/BT çocukluk çağı NBA araştırılmasında duyarlılığı yüksek olan bir görüntüleme yöntemidir. Doğru seçilmiş hasta gruplarında, tıbbi sorunu olan veya olmayan hastalarda, tanı ve tedavinin yönetilmesinde yardımcıdır. Hasta anamnezinin iyi alınması, hastalığın etiyolojisi ve ilişkili FDG tutulum paternini bilmek, sonuca ulaşma konusunda önemlidir. Çocukların erişkinlere kıyasla radyasyona daha duyarlı olmaları nedeniyle iyonizan radyasyonun dikkatli kullanımı şüphesiz önemlidir, ancak yeni PET/BT cihazlarında kullanılan

radasyon dozunun düşük olması, BT'den daha fazla bilgi vermesi nedeniyle NBA araştırılmasında daha öncelikli sırada kullanılması gereği düşünülmelidir. Elde edilen bulguların hasta kliniğinin yönetilmesine katkısı Liu ve ark.'nın (26) çalışmasında gösterilmiştir. Bu çalışmada olguların %98'inde klinik yaklaşımın tamamen değiştiği, %83 olguda ise nihai sonuca varıldığı bildirilmiştir. Tüm vücut görüntülemeye imkan vermesi nedeniyle FDG PET/ BT çalışmalarında NBA ile ilgisi olmasa bile %28 olguda klinisyeni elde edilen ek bilgiler üzerinde araştırmaya yönlendirmiştir. Ayrıca negatif sonuç elde edilen olgularda da hastaların kısa sürede taburcu olmalarını sağlayarak gereksiz hastane yatışlarını ve bundan kaynaklanabilecek sorunların ortadan kaldırılabilceği gösterilmiştir.

Dipnotlar

Çıkar Çatışması: Yazar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar

- Petersdorf RG, Beeson PB. Fever of unexplained origin: report on 100 cases. *Medicine (Baltimore)*. 1961;40:1-30.
- Durack DT, Street AC. Fever of unknown origin—reexamined and redefined. *Curr Clin Top Infect Dis*. 1991;11:35-51.
- de Kleijn EM, van Lier HJ, van der Meer JW. Fever of unknown origin (FUO). II. Diagnostic procedures in a prospective multicenter study of 167 patients. The Netherlands FUO Study Group. *Medicine (Baltimore)*. 1997;76:401-414.
- Bleeker-Rovers CP, Vos FJ, de Kleijn EM, et al. A prospective multicenter study on fever of unknown origin: the yield of a structured diagnostic protocol. *Medicine (Baltimore)*. 2007;86:26-38.
- Antoon JW, Potisek NM, Lohr JA. Pediatric fever of unknown origin. *Pediatr Rev*. 2015;36:380-390.
- Chusid MJ. Fever of Unknown Origin in Childhood. *Pediatr Clin North Am*. 2017;64:205-230.
- Tolan RW Jr. Fever of unknown origin: a diagnostic approach to this vexing problem. *Clin Pediatr*. 2010;49:207-213.
- Wright WF, Betz JF, Auwaerter PG. prospective studies comparing structured vs nonstructured diagnostic protocol evaluations among patients with fever of unknown origin: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Netw Open*. 2022;5:e2215000.
- Krupa R, Zielonka TM, Hadzik-Blaszczyk M, Wardyn KA, Zycinska K. Lung lesions during fever of unknown origin. *Adv Exp Med Biol*. 2017;1022:35-43.
- Tavakoli AA, Reichert M, Blank T, et al. Findings in whole body MRI and conventional imaging in patients with fever of unknown origin—a retrospective study. *BMC Med Imaging*. 2020;20:94.
- Takeuchi M, Dahabreh IJ, Nishihashi T, Iwata M, Varghese GM, Terasawa T. Nuclear imaging for classic fever of unknown origin: meta-analysis. *J Nucl Med*. 2016;57:1913-1919.
- Ahn SS, Hwang SH, Jung SM, et al. Evaluation of spleen glucose metabolism using (18)F-FDG PET/ CT in patients with febrile autoimmune disease. *J Nucl Med*. 2017;58:507-513.
- Kong MC, Nadel HR. 18F-FDG PET/CT with diffusely high FDG uptake throughout subcutaneous adipose tissues. *Clin Nucl Med*. 2018;43:762-763.
- Liu B, Lee NJ, Otero HJ, Servaes S, Zhuang H. Rosai-Dorfman disease mimics lymphoma on FDG PET/CT in a pediatric patient. *Clin Nucl Med*. 2014;39:206-208.
- Thomas DL, Syrbu S, Graham MM. Epstein-Barr virus mimicking lymphoma on FDG-PET/CT. *Clin Nucl Med*. 2009;34:891-893.
- Ferda J, Ferdova E, Zahlava J, Matejovic M, Kreuzberg B. Fever of unknown origin: a value of (18)F-FDG-PET/CT with integrated full diagnostic isotropic CT imaging. *Eur J Radiol*. 2010;73:518-525.
- Simons KS, Pickkers P, Bleeker-Rovers CP, Oyen WJ, van der Hoeven JG. F-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography combined with CT in critically ill patients with suspected infection. *Intensive Care Med*. 2010;36:504-511.
- Sturm E, Rings EHM, Scholvinick E, Gouw AS, Porte RJ, Pruijm J. Fluorodeoxyglucose positron emission tomography contributes to management of pediatric liver transplantation candidates with fever of unknown origin. *Liver Transpl*. 2006;12:1698-1704.
- Jasper N, Dabritz J, Frosch M, Loeffler M, Weckesser M, Foell D. Diagnostic value of [18-F]-FDG PET/CT in children with unknown origin or unexplained signs of inflammation. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010;37:136-145.
- Yang J, Zhuang H. The role of 18F-FDG PET/CT in the evaluation of pediatric transplant patients. *Hell J Nucl Med*. 2015;18:136-139.
- Pijl JP, Kwee TC, Legger GE, et al. Role of FDGPET/CT in children with fever of unknown origin. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2020;47:1596-1604.
- Nygaard U, Laerke Vinge L, Vissing L, et al. Unexplained fever in children—benefits and challenges of FDG-PET/CT. *Acta Paediatrica*. 2022;111:2203-2209.
- Li Q, Tian R, Wang H, et al. Quantifying the contribution of 18F-FDG PET to the diagnostic assessment of pediatric patients with fever of unknown origin: a systematic review and metaanalysis. *Pediatr Radiol*. 2022;52:1500-1511.
- Gomez L, Chaumet-Riffaud P, Noel N, et al. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2018, 45: 575-581
- Pereira AM, Husmann L, Sah BR, Battegay E, Franzen D. Determinants of diagnostic performance of 18F-FDG PET/CT in patients with fever of unknown origin. *Nucl Med Commun*. 2016;37:57-65.
- Liu B, Ma R, Shum E, et al. FDG-PET/ CT for investigation of pyrexia of unknown origin: a cost of illness analysis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2024;51:1287-1296.



Güncel Yaklaşımlar Eşliğinde Pediatri Hastalarında Dinamik Böbrek Sintigrafisi Değerlendirilmesi

Evaluation of Dynamic Renal Scintigraphy in Pediatric Patients with Current Approaches

Esra Ciftci

Sakarya Üniversitesi Tıp Fakültesi, Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Sakarya, Türkiye

Öz

Dinamik böbrek sintigrafisi (DBS), bebeklerde ve çocuklarda hidronefroz ve hidroüreterin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Diagnostik doğruluğu yüksek görüntülemenin amacı, fonksiyon kaybı, ağrı, hematüri ve idrar yolu enfeksiyonu gelişimi riski taşıyan hidronefrotik böbrekleri tespit etmektir. DBS'nin güvenilirliği, verilerin elde edilmesi ve işlenmesinin yanı sıra sonuçların yorumlanmasına ve nasıl kullanıldığına bağlıdır. Bu derlemede, standartlaştırılmış DBS'nin temel kavramları ve kaçınılması gereken tuzaklar vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Renografi, diüretikli sintigrafi, pediatrik hidronefroz

Abstract

Dynamic renal scintigraphy (DRS) is widely used in the evaluation of hydronephrosis and hydroureter in infants and children. The aim of diagnostic imaging with high accuracy is to detect hydronephrotic kidneys at risk for loss of function, pain, hematuria, and urinary tract infection. The reliability of DRS depends on how the data are acquired and processed, as well as how the results are interpreted and used. This review highlights the basic concepts of standardized DRS and the pitfalls to avoid.

Keywords: Renography, diuretic scintigraphy, pediatric hydronephrosis

Giriş

Prenatal ultrasonografiden (US) önceki yıllarda intravenöz piyelografi (IVP) ile tespit edilen obstrüktif hidronefrozlu hastalar (HN) klasik üreteropelvik bileşke (UPB) darlığı tanısı alıp, yan ağrısı, enfeksiyon, abdominal kitle, hematüri veya taşlarla ilişkili UPB'nin kısmi veya tam, dışsal veya içsel daralması veya tıkanması ile prezente konjenital hidronefroz olarak tanımlanırdı.

1970'lerde yayınlanan 517 pediatrik pjyeloplasti hastasının değerlendirildiği bir derlemede, hastaların sadece %8'inin tesadüfi saptanan HN ile başvurduğu, çoğunluğunun ise yan ağrısı/karın ağrısı (%43), üriner enfeksiyon (%29), hematüri (%12) veya abdominal kitle (%9) ile başvurduğunu göstermektedir (1,2,3,4). Hastaların büyük kısmı (%60) 6-15 yaşları arasında, sadece %14'ü yaşamın ilk yıllarında tanı almıştır (1,2,5). Bu hastaların

Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Dr. Öğr. Üyesi Esra Ciftci, Sakarya Üniversitesi Tıp Fakültesi, Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Sakarya, Türkiye

E-posta: esraciftci@sakarya.edu.tr ORCID ID: orcid.org/0000-0001-6106-7733

Geliş Tarihi/Received: 05.05.2025 Kabul Tarihi/Accepted: 22.07.2025 Yayınlanma Tarihi/Publication Date: 29.07.2025

Cite this article as/Atıf: Ciftci E. Evaluation of dynamic renal scintigraphy in pediatric patients with current approaches. Nucl Med Semin. 2025;11:134-143



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.

neredeyse tamamı semptomları ve anormal IVP bulguları olduğu için ameliyat edilmiştir.

1970'lerin sonlarında US ve dinamik böbrek sintigrafisinin (DBS) kullanılmaya başlanmasıyla, HN'nin değerlendirilmesi için görüntüleme algoritmaları gelişmeye başladı. DBS ile böbreklerin hem diferansiyel böbrek fonksiyonu (DRF), hem de hidronefrotik böbreklerin drenajını değerlendirebilen yarı kantitatif veriler elde edilmeye başlandı. İlk olarak Kass ve ark.'nın (6) semptomatik HN ile başvuran pediatrik hastaları değerlendirdiği bir makale ile; obstrüktif üropati tanısı için T1/2'nin >20 dk olduğu zaman güvenilirliğini doğrulamış olup, 10-20 dk. arasında olduğunda belirsiz/şüpheli ve <10 dk olduğu zaman non-obstrükte olarak tanımlanmıştır. Bununla birlikte, 1990'larda Homsy ve ark. (7) bu yaklaşımın çok doğru olmadığını tohumlarını atmıştır. T1/2'ye dayalı olarak başlangıçta belirsiz obstrüksiyonu olan 41 HN'li yenidoğan hastasının takipte %80'inin iyileştiği veya stabil kaldığını, sadece %20'sinin ilk 12 ay içinde drenajda bozulma olduğunu gösterdi. Bu hastaların da %14'ünde orta derecede HN, %32'sinde şiddetli HN olduğu gözlemlendi.

2000'lerin başına kadar birçok araştırmacı HN'nin değerlendirilmesinde ve cerrahi kararında T1/2 parametresinin doğruluğunu sorgulamıştır. Son olarak bir çocuk cerrahi olan Koff ve ark. (8) neonatal hidronefroz nedeniyle takip edilen ve hidronefroz düzeylerinde spontan gerileme kaydedilen çocukların; %58'inde başlangıçta T1/2 değerleri >20 dk. iken, takip sırasında %33'ünün gerilediğini; opere edilen diğer grupta ise; %91 hastada başlangıçta T1/2 değerleri >20 dk. iken, cerrahi sonrasında %37'sinin halen T 1/2 değerleri >20 dk. olduğunu göstermiş ve hidronefrozu olan çocuklarda

2 yaşına kadar T1/2 değerinin güvenilir olmadığını, bu nedenle tek başına cerrahi kararı için veya cerrahi sonrasında cerrahi başarının değerlendirilmesi için kullanılmaması gerektiği vurgulanmıştır.

Yapılan bu çalışmalardan şu sonuçlar çıkarılmıştır:

1. Prenatal HN'li böbreklerin çoğu normal veya normale yakın fonksiyona sahiptir.
2. Böbrek fonksiyonu genellikle ameliyat olmadan stabil kalır.
3. HN ve renal drenajdaki iyileşmeye rağmen böbrek fonksiyonu genellikle düzeltici cerrahiden sonra düzelmez (8,9).
4. Drenaj parametreleri yenidoğanlarda ve bebeklerde her zaman intrapelvik basınç ile ilişkili değildir.
5. En önemlisi, renal drenaj ve HN'de spontan iyileşme meydana gelebilir (10).

Bu nedenle pediatrik üro-nefroloji ile ilgilenen pediatrist, cerrahi, Nükleer Tıp ve radyoloji uzmanlarının klinik değerlendirme sürecinde iş birliği içinde çalışması hidronefrozun derecesi, renal pelvis çapı gibi ultrason verileri ile sintigrafik verilerin klinik bulgular eşliğinde değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla en son 2018'de olmak üzere değişik yıllarda güncellenen ve yeniden yayınlanan kılavuzlar genel olarak Nükleer Tıp ve Moleküler Görüntüleme Derneği (*Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*), Avrupa Nükleer Tıp Derneği (*European Association of Nuclear Medicine - EANM*) ve Nefroürolojide Radyonüklidler için Uluslararası Bilimsel Komite (*International Scientific Committee for Radionuclides in Nephrourology - ISCORN*) tarafından hazırlanmıştır (Tablo 1) (11,12,13,14,15,16,17,18). Aynı zamanda konunun

Tablo 1. Diüretikli renogram ile ilgili yayınlanan kılavuzlar

Yıl	Yazar	Organizasyon	Referans
1992	Conway ve Maizels	Fetal üroloji & SNM	11
1996	O'Reilly ve ark.	ISCORN	12
1997	Mandell ve ark.	SNM	13
2001	Gordon ve ark.	EANM	14
2003	O'Reilly	ISCORN	15
2008	Shulkin ve ark.	SNM	16
2011	Gordon ve ark.	EANM	17
2018	Majd ve ark.	SNMMI/EANM	18

SNM: Nükleer Tıp Derneği (*Society of Nuclear Medicine*), ISCORN: Nefroürolojide Radyonüklidler için Uluslararası Bilimsel Komite (*International Scientific Committee for Radionuclides in Nephrourology*), EANM: Avrupa Nükleer Tıp Derneği (*European Association of Nuclear Medicine*), SNMMI: Nükleer Tıp ve Moleküler Görüntüleme Derneği (*Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*)

uzmanlarının tecrübelerinden kaynaklanan kıymetli çalışmalarda yayınlanmıştır (19,20,21,22,23). Mevcut kılavuzlardaki karşılaştırmalı farklılıklara aşağıda konu başlıklarında değinilmiştir.

Ülkemizde bilimsel uluslararası standartlarda yapılması ve değerlendirilmesi amacıyla Türkiye Nükleer Tıp Derneği Pediatri ve Üronefroloji çalışma gruplarının ilk kez 2001 yılında ulusal bir kılavuz hazırlanmıştır (24). Bu kılavuz gelişmeler ışığında en son 2015 yılında güncellenerek tekrar yayınlanmış (25), 2017 yılında da Türkiye Klinikleri özel sayısında “Pediatrik Olgularda DBS ve Güncel Yaklaşımlar’a” değinilmiştir (26). Hazırlanan ulusal kılavuzlar başta EANM olmak üzere mevcut kılavuzlardan esinlenerek hazırlanmış, hem sahada çalışan hekimlere yol göstermesi hem de ülkemizdeki uygulamaların standardize edilmesine ve merkezler arası karşılaştırılabilir sonuçların elde edilmesine katkıda bulunması hedeflenmiştir.

Amaç

Bu makalenin amacı, fonksiyon kaybı riski taşıyan böbreklerin saptanmasında etkili olacak ve hastanın yönetiminde sevk eden hekime yardımcı olacak şekilde DBS’nin uygulanması, yorumlanması ve raporlanmasında Nükleer Tıp doktorlarına yardımcı olmaktır.

Klinik Endikasyonlar

2018’de yayınlanan SNNMI ve EANM ortak kılavuzunda (18) vurgulanan klinik endikasyonlar aşağıda belirtilmiştir.

- US ile HN veya hidroüreteronefroz tespit edilen ve vezikoürethral reflü ile reflü tespit edilmeyen infant ve çocuklarda,
- UPB darlığı ile reflünün beraber oluşu şüphesi olan asemptomatik infant ve çocuklarda renal fonksiyon ve drenajın başlangıç değerlendirilmesinde,
- İlk görüntülemenin şüpheli olduğu durumlarda renal fonksiyon değişikliklerini tespit etmek veya renal fonksiyon ve drenajın diüretik sonrasındaki progresif bozulmasının değerlendirilmesinde,
- Tekrarlayan abdominal ağrı ve hidronefrozu olan çocuklarda intermittan UPB darlığının araştırılmasında (ağrı sırasında veya 24 saat içinde yapılırsa duyarlılığı yüksek olur),
- Cerrahi girişimden sonra renal fonksiyon ve diüretik sonrası drenaj cevabını değerlendirmede DBS önerilmektedir.

Dinamik Böbrek Sintigrafisi ve Dikkat Edilecek Noktalar

Yapılan çalışmalar neticesinde DBS’nin sonuçları, etkilenen böbreğin fonksiyonu, dilate sistemin kapasitesi ve uyumu, hastanın hidrasyon durumu, mesanenin doluluğu, furosemid dozu, radyofarmasötik enjeksiyona göre furosemid enjeksiyon zamanı ve zaman-aktivite eğrilerinin oluşturulması için ilgi alanlarının (*region of interest* - ROI) seçimi dahil olmak üzere çeşitli fizyolojik, anatomik, mekanik ve teknik faktörlere bağlı olduğu gösterilmiştir. Testin standardizasyonlarını, sınırlamalarını ve hata kaynaklarını anlamak, sonuçların yorumlanmasında ve testin etkili kullanımında esastır.

Tablo 2’de DBS’deki bazı modifiye edilebilir unsurları ve bununla ilgili eski ve 2018’de son çıkan kılavuzdaki (18) öneriler özetlenmiş olup, Tablo 3’te bunlara ek bazı öneriler sunulmuştur (27,28). Bunlardan birkaçı ayrı başlıklar altında değerlendirilecektir.

Görüntülemeye Kullanılan Radyofarmasötik ve Görüntüleme Protokolü

Radyofarmasötik

Mevcut kılavuzlarda DBS’de kullanılacak radyofarmasötik seçimi ile ilgili kesin bir tercih bulunmamaktadır. Glomerular filtrasyon ajanı olan teknesyum-99m (Tc-99m) dietilen-triamin-pentaasetat veya tübüler ekskresyon ajanı olan Tc-99m merkaptosetiltriglisin (MAG3) sıklıkla kullanılan radyofarmasötiklerdir. Bununla birlikte özellikle infantlarda, renal immatürasyon nedeniyle ekstravasküler dağılımı ve düşük ekstraksiyon oranı gösteren DTPA yerine ekstraksiyonu yüksek olan MAG3 kullanımı tercih edilmektedir (17). Aynı şekilde böbrek fonksiyonları kötü (kreatinin ve üre değerleri yüksek) hastalarda glomerüler yolla atılan DTPA yerine yine tübüler sekresyon ile atılan MAG3 kullanılmalıdır. Eğer renal transplantasyon söz konusu ise veya glomerüler filtrasyon hızının ölçümü isteniyorsa Tc-99m DTPA kullanılır. Burada önemli olan izlem sürecindeki ardışık incelemelerde aynı radyofarmasötiğin kullanılması ve böylece karşılaştırılabilir, tutarlı sonuçların elde edilmesidir (24).

Verilecek doz ile ilgili de bir farklılık bulunmaktadır. Tc-99m-MAG3 için kilo başına 1,9 MBq (50 µCi) /kg [minimum (0,5 mCi)] uygulanması yeterli iken, Tc-99m-DTPA’nın düşük ekstraksiyon oranı yüzünden kilo başına 3,7 MBq (100 µCi) /kg [minimum (1 mCi)] önerilmektedir.

Tablo 2. EANM & SNM (MI) kılavuzlar arasındaki farklılıklar

Öneriler	SNM 2008	EANM 2011	SNMMI/EANM 2018
Hidrasyon	İv	Oral	Oral (gerekirse iv)
Mesane sonda takılması	Olguların çoğunda	Nadiren	Nadiren (nörojen mesane, HUN, PUV, bilinen VUR'de önerilmekte)
Diüretik dozu	Maks 40 mg	Maks 20 mg	1 mg/kg (maks 20 mg)
Görüntü intervalı	15-30 sn	10 sn	10-15 sn
Zemin aktivite ilgi alanı	Bahsedilmiyor	Perirenal	Perirenal C-shape
Geç ve miksiyon sonrası görüntüler	Öncelikli değil	Miksiyon sonrası & pozisyon değişikliği sonrası geç görüntüler	Yer çekimi etkisi vurgulanmış →Miksiyon sonrası 10-15 dk sonra →Rf enj.dan sonra 60. dk'da
Drenaj parametresi	T 1/2	OE & NORA	T1/2 ve NORA Yer çekimi sonrası değerlendirme
Yetersiz drenaj yorumu	Obstrüksiyon	Her zaman obstrüksiyon anlamına gelmez	Her zaman obstrüksiyon anlamına gelmez →Görsel ve renogram semikantitatif değerlendirme ve postvoid görüntüleme birlikte

İv: İntravenöz, HUN: Hidroüreteronefroz, PUV: Posterior üretral valve, VUR: Vezikouretral reflü, Maks: Maksimum, RF: Radyofarmasötik, OE: Output etkinliği, NORA: Normalize rezidüel aktivite, EANM: Avrupa Nükleer Tıp Derneği (European Association of Nuclear Medicine), SNMMI: Nükleer Tıp ve Moleküler Görüntüleme Derneği (Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging)

Tablo 3. Optimal çalışmayı sağlamak için DBS'yi etkileyen faktörler ve ilgili öneriler

Faktör	Öneri
Diüretik uygulama zamanı	Tüm dilate renal toplama sistem(ler)i homojen bir şekilde radyoaktif idrarla dolduğunda
Diüretik enjeksiyonu sonrası veri toplama	30 min (C ₃₀)
Hasta pozisyonu	Rutin sırtüstü yatarak Drenaj iyi değilse, yerçekimi destekli drenajı değerlendirin (Cup)
Diürez sonrası ROI çizimi, zaman-aktivite drenaj eğrisi	ROI, maksimum dilate sistem alanını içermelidir (uygunsa üreter dahil) ve çift toplayıcı sistemlerde üst ve alt poller ayrı çizilmelidir

C30: Diürez sonrası 30. dk'da böbreklerden atılan aktivite yüzdesi; Cup: Çalışma sonrası 15 dk'lık dik duruştan sonra sonra böbreklerden atılan aktivite yüzdesi; ROI: İlgi alanı (region of interest), DBS: Dinamik böbrek sintigrafisi

Bununla alakalı EANM'nin sitesinde hazır olarak bulunan ve uygulama sürümü de mevcut olan "EANM dosage card calculator" uygulamasından yararlanılabilir.

Görüntüler değerlendirilirken dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise; Tc99m-MAG3'ün az bir miktarı hepatobilier sistem üzerinden atıldığı için geç görüntülemelerde safra kesesinde veya ince bağırsakta vizualize olması normal fizyolojik bir bulgudur ve sağ renal pelvis retansiyonu veya üriner kaçak ile karıştırılmamalıdır.

Hidrasyon

Tetkik öncesi hasta hazırlığında intravenöz hidrasyon sıklıkla tercih edilememektedir. Bunun nedeni bebeklerin emzirme veya olağan beslenme programlarına uygun şekilde oral hidrasyonun yeterli kabul edilmesidir.

Bununla birlikte pratik uygulama esnasında eğer yetersiz bir hidrasyon söz konusu ise bu durumun uzamış ekskresyon olarak görüntülerimize yansıtacağı ve hatalı yorumlamaya neden olabileceği unutulmamalıdır. Görüntülemelerde böyle bir durum gözlenmesi durumunda bebeğin oral alım iyiliği geriye dönük sorgulanıp, gereklilik halinde iv hidrasyon ile tetkikin tekrarı önerilmelidir.

Veri Analizi ve Kalite Kontrol

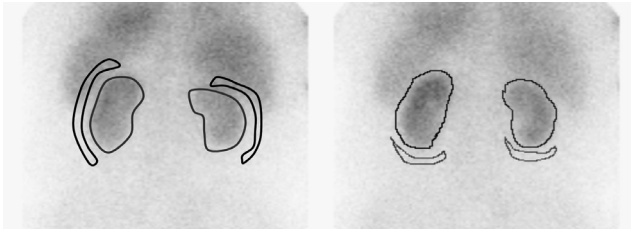
DBS'de en temel analiz görsel değerlendirme ve renogram eğrileri üzerinden yapılmaktadır. Böbrek ve geri-plan dokuları üzerinde ROI'nin çizilmesi ile hem diferansiyel renal fonksiyonu hem de drenaj parametreleri hesaplanabilir. Farklı cihaz üreticilerinin değişik renal yazılım programları sunması nedeniyle metodolojik farklılıklar oldukça fazladır. Bu yüzden veri

analizine geçmeden önce olası hata kaynakları, örneğin; hareket artefaktı, ekstrasvazyon, yeterli miktarda böbrek aktivitesi, böbrek ve çevre dokuların ilgi alanları ROI, kalpte aktivitenin görülebilir olması, hasta pozisyonu ve görüntü alanına giren diğer organlarda görülebilen anomaliler açısından görüntülerin gözden geçirilerek veri işlemlemeye geçilmesi önerilir.

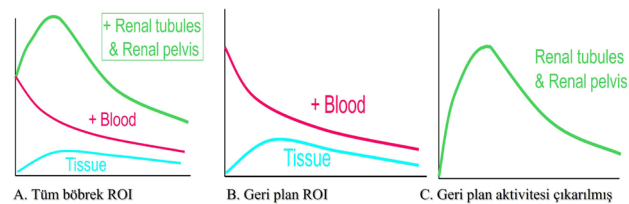
ROI Seçimi-geri Plan Aktivitesinin Düzeltilmesi

Dinamik görüntülerin değerlendirilmesi öncesinde, böbrek üzerinde ve böbrek çevresindeki dokulardan gelen sayımları (geri-plan) düzeltmek üzere böbrek çevresinde ROI seçilir. ROI çizirken önemli olan çizilen ROI içine tüm fonksiyonel böbrek alanlarının dahil edilmesidir. Geri plan aktivitesi çıkarımında ise böbreğin hilusu hariç, böbrek ROI'sinin etrafında ve hafifçe ayrılmış "C şeklinde" bir ROI tercih edilir (17,18). Geri-plan aktivitesinin düzeltilmesinde amaç; böbreğin bulunduğu anatomik plandaki böbrek dışı dokulardan gelen sayımların böbrek sayımlarından çıkarılarak gerçek sayım değerlerine ulaşmaktır. Bunun nedeni böbreğin üst ve alt komşuluklarını içine alarak böbreği çevreleyen perirenal bir ilgi alanı seçilerek karaciğer ve dalak gibi komşu dokulardan gelen sayımları da geri plan sayımlarına dahil etmektir (Şekil 1).

Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir husus; geri plan aktivitesi çıkarıldıktan sonra renogram eğrisi sıfırdan başlayarak düzgün bir şekilde yükselmelidir. Renogram eğrisi sıfırdan sorunsuz bir şekilde yükseldiğinde arka plan çıkarma doğrudur (Şekil 2). Eğer her iki böbreğin simetrik



Şekil 1. Geri plan aktivitesi (ROI) çizimleri
ROI: ilgi alanı (region of interest)



Şekil 2. Tüm böbrek aktivitesinden geri plan aktivitesi çıkarılmış böbreğin olması gereken renogram eğrisi
ROI: ilgi alanı (region of interest)

ve normal düzeylerde fonksiyon gösteriyor ise, geri-plan aktivitesinin düzeltilmesi sonucu pek etkilememektedir. Ancak böbrek fonksiyonlarının düşük veya asimetrik olduğu durumlarda geri-plan aktivitesinin düzeltilmesi önem taşımaktadır. Kabul edilemez olan iki seçenek ya arka plan düzeltilmesi yapılmaması ya da sadece inferior/inferolateral renal alanla sınırlı bir düzeltmedir. Asimetrik DRF durumunda, bu ikinci arka plan ROI'si, daha kötü işleyen böbreğe az zemin aktivite çıkarımı (under-subtracted) yapılarak DRF'nin fazla tahmin edilmesine neden olacaktır. Geri-plan aktivitesinin fazla çıkarımı "over-subtracted (fazla çıkarım)", az çıkarımı ise "under-subtracted" nedenli hatalı diferansiye renal fonksiyon (DRF) verilerine neden olabilmektedir. Bu nedenle her iki böbreğin kanlanması ve fonksiyonları farklı ise; her iki böbrek için tek geri plan aktivitesi çıkarım eğrisi kullanmak yanlış sonuca neden olabilir ve renogram eğrisinin sıfırdan başlayarak düzgün bir şekilde yükselip yükselmediği kontrol edilmelidir. Renogramdan elde edilen renal fonksiyonun kantitatif ölçümlerinin arka plan düzeltme yöntemleri ve kalite kontrolü ile ilgili daha fazla ayrıntı bilgi için ISCORN konsensüs raporu incelenebilir (29,30).

Bir diğer önemli husus, küçük bebeklerde perirenal çizim yaparken vücut konturlarının dışına çıkmamaya özen göstermektir. Böbreğin belirgin büyük olduğu küçük bebeklerde bu mümkün olmuyorsa böbreğin alt ve üstünden ROI çizilerek geri-plan düzeltilebileceği belirtilmektedir (17). Ayrıca çizilen ROI'lerin sapma göstermeden tüm imajlar ve toplama imaj üzerinde uygun biçimde konumlandığı kontrol edilmelidir (motion-correction).

Diüretik Uygulama

Diüretik uygulaması ile ilgili olarak kabul gören standart doz çocuklarda 1 mg/kg olup maksimum doz 20 mg olarak tanımlanmaktadır. Bilindiği üzere standart uygulamalarda diüretik, tetkikin 20. dakikasında toplayıcı sistem yapılarında radyofarmasötüğün birikmesi ile uygulanır. F+20 olarak tanımlanan ve yaygın kullanılan bu protokolden sonra, diüretüğün radyofarmasötikle eş zamanlı (F0) veya birkaç dakika içinde (F+2) veya tetkik esnasında diüretik etkinin maksimum olduğu dönemden faydalanmak üzere (F-15) protokolleri kullanıma girmiştir. Burada yine yöntemler arası belirgin farklılık bulunmadığı ancak aynı olgunun izleyen tetkiklerinde yine aynı protokolün tercih edilmesi vurgulanmaktadır.

Kılavuzlar, çocuklarda renal pelvisin belirgin elastik yapısı nedeniyle en idealinin toplayıcı sistemin radyoaktif idrarla dolduktan sonra diüretiğin yapılması ve sonrasında postdiüretik drenaj parametrelerinin değerlendirilmesini önermektedir (18,24).

Diferansiyel Renal Fonksiyon Ölçümü

DFR ölçümü hasta yönetiminde önemli bir parametredir. DRF, bir böbreğin sayımının iki böbreğin sayımlarının toplamına oranıdır. Normal değeri %45-55 olarak kabul edilen DRF değerinin tanı anında düşük bulunması veya izlem sürecinde azalması cerrahi tedavi kararını vermede önem arz etmektedir. DRF, radyofarmasötüğün kortekste olduğu ve toplayıcı sisteme geçmediği 1 dakikalık intervalde ölçülür. Glomerüler bir ajan kullanılıyorsa bu interval 2-3 dk. arası, tübüler bir ajan kullanıldığında 1-2 dakika arası olarak belirlenir.

Bu hesaplamada 2 farklı matematiksel yöntem kullanılır. İntegral metodu ve Rutland-patlak metodu. İntegral metodu otomatik renal yazılımların tamamında bulunan ve en sık kullanılan basit bir yöntemdir. Geri-plan aktivitesi düzeltilmiş renogram eğrisi altındaki alan üzerinden yapılan bir ölçümdür.

Eğri altında kalan alan ismi ile de anılır. Sağlıklı bireylerde ve renal fonksiyonun korunduğu durumlarda doğru ve tutarlı sonuçlara ulaşılır.

Rutland-patlak metodunda ise integral yönteminden farklı olarak vasküler kompartmandaki sayımlar da toplam sayımlardan çıkartılır. Bu amaçla, sol ventrikül üzerinde bir ilgi alanı çizilir. Yapılan bu intravasküler düzeltme ile teorik olarak integral metodundan daha doğru ve güçlü bir sonuç verdiği düşünülmektedir (17,29). Seçilen zaman aralığındaki kardiyak aktiviteye oranla böbrek eğrilerinin eğim oranı üzerinden DRF hesaplanmaktadır. Ancak Rutland-patlak analizi düşük sayım istatistiğinden ve eğitimdeki dalgalanmalardan etkilenerek hatalar oluşabilmektedir. Aslında, Rutland-patlak analizi çoğu cihazın otomatik renal yazılım programı içinde bulunmamaktadır. Bununla birlikte gelişmekte olan ülkelerde renal tetkik standartlarının iyileştirilmesi amacıyla Uluslararası Atom Enerjisi'nin hazırladığı renal yazılım programı içinde her iki DRF ölçüm metodu ve tüm drenaj parametreleri yer almaktadır. Her platformda çalışabilecek bu renal yazılım programı ek bir ücret ödmeden kullanıma sunulmuş bulunmaktadır (30).

DRF değeri bazı hidronefrotik böbreklerde "supranormal" değerlerde (>%55) hesaplanmaktadır. Bu yanlış yüksek DRF'nin hidronefrotik böbrekteki boyutsal

artış kaynaklı olduğu raporda belirtilmesi ve böbreğin gerçek diferansiyel fonksiyonel oranını yansıtmadığını vurgulamak gerekmektedir. Ülkemizde Gungör ve ark. (31) tek taraflı hidronefrozlarda yaptıkları çalışmada her iki böbrek arasındaki boyut farkı arttıkça integral ve Rutland-patlak yöntemleri ile elde edilen DF verileri arasındaki farkın arttığı bildirilmiştir. Aynı şekilde Ozcan ve ark.'nın (32), 101 olgunun uzun dönem izlemleri boyunca çekilen 398 renografisinin gözden geçirildiği çalışmalarında ise supranormal değerlere integral metodu kullanıldığında daha sık rastlandığı ve iki yöntem arasındaki farkın 1 yaş altında daha belirgin olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca iki yöntemin birbiri ile uyumlu olması koşulu; normal fonksiyon gösteren böbreklerde daha sıklıkla görülmüştür. Sonuç olarak; asimetrik böbrek boyutları, renal immatürasyonun neden olduğu yüksek geri-plan aktivitesi gibi nedenlerle supranormal fonksiyon gözlenebilmektedir. Bu sonuçlar DRF ölçümün özellikle küçük bebeklerde teknik hataya daha açık olduğunu, büyüme ve renal maturasyonun gelişmesi ile daha güvenilir sonuçlara ulaşıldığını göstermektedir (32). Bu konuda detaylı bilgi için bkz. ISCORN report (29,33).

Drenaj Parametreleri ve Diüretik Yanıtı

Erişkinlerde önemli bir indeks olarak kabul edilen T1/2 değeri hidronefrozlu çocuklarda anlamlı değildir. İlk olarak 2008'de Pediatrik Nefroüroloji kılavuzunda, $t_{1/2} > 20$ dk. ise obstrüksiyon varlığı, $t_{1/2} < 10$ dk ise obstrüksiyon olmadığı ve $t_{1/2}$: 10-20 dk ise şüpheli olarak yorumlanmıştır (16). Ancak bu değer tek başına neonatal hidronefrozun tanısını koymada güvenilirliğinin düşük olduğu birçok çalışmada gösterilmiştir. Bunun birçok nedeni vardır. İlk olarak, UPB ve üreterovezikal bileşke (UVB, yani megaüreter) tıkanıklığının doğal öyküsü, yaşa ve hidrasyon durumuna göre değişebilen dinamik bir olgu oluşudur (29,30). İkincisi, kullanılan mevcut standart parametrelerin yetişkinlerde öncelikle tek bir patolojiyi (yani UPB tıkanıklığı) aydınlatmayı amaçlanmış olsa da, pediatrik grupta DBS, UPB darlığı, megaüreter ve üreter ektopisi dahil olmak üzere birçok konjenital anatomik anormallikleri değerlendirmek için kullanılmaktadır. Üçüncüsü, böbrek drenajının değerlendirilmesinde genişleyen pelvis volümünün etkisi, basınç etkisi, böbreğin fonksiyonel durumu, immatürasyon gibi fizyopatolojik mekanizmaların diüretik yanıtında önemli olduğu akıld tutulmalıdır. Bu hususla uyumlu olarak Koff ve ark. (8) Neonatal hidronefroz nedeniyle takip edilen ve hidronefroz düzeylerinde spontan gerileme kaydedilen çocukların;

%58'inde başlangıçta t1/2 değerleri >20 dk. iken, takip sırasında %33'ünün gerilediğini; opere edilen diğer grupta ise; %91'inde başlangıçta t1/2 değerleri >20 dk. iken, cerrahi sonrasında %37'sinin halen t1/2 değerlerinin >20 dk. geldiğini göstermişlerdir. Yine aynı çalışmada belirgin ölçüde genişleyen (elastik) pelvis volumü içinde biriken idrar aktivitesinin boşalmasının uzadığı ve obstrüksiyon olmadığı halde özellikle 2 yaşından küçük çocukların %40'ından fazlasında yanıltıcı sonuçlara ulaşıldığını göstermiştir. Buna göre hidronefrozu olan çocuklarda 2 yaşına kadar t1/2 değerinin güvenilir olmadığı, tek başına cerrahi kararı için veya cerrahi sonrasında cerrahi başarının değerlendirilmesi için kullanılmaması gerektiği vurgulanmıştır (8).

Güncel Drenaj Parametreleri (NORA & OE)

EANM tarafından 2011 güncellenen kılavuzda t1/2'nin drenaj fonksiyonunun değerlendirilmesinde tek başına kullanılmaması gerektiği net olarak vurgulanmış olup, post-miksiyon görüntülerinden elde edilen kalan aktivitenin miktarını gösteren normalize rezidüel aktivite (NORA) veya output -atılım- etkinliğinin (OE) kullanılmasını önermektedir. 2018'de yayınlanan son ortak kılavuzda ise postdiürez drenajının en doğru şekilde gösterildiği parametrenin NORA olduğunu vurgulamıştır.

NORA: Böbreğin uptake fonksiyonu ile ekskresyon fonksiyonu arasındaki ilişkiyi gösterir (23). Dinamik çalışma sonunda (20 ya da 30 dk) böbrekte kalan aktivitenin enjeksiyondan sonraki 2. dk'daki böbrek aktivitesine oranını göstermektedir. $R_{20}/2'$ olarak tanımlanan bu indeks ile tutulan aktivitenin ne kadarının retansiyon gösterdiği belirlenmiş olur. NORA değerinin düşük olması drenajın iyi olduğunu gösterir. Normal değer aralığı: <0,5'tir. Bu değer bazı sistem softwarelerinde "*20.dk'daki rezidüel aktivite*" tanımlaması ile yer almaktadır.

OE: Böbrekten atılan aktivitenin böbreğe giren aktiviteye oranını ifade etmektedir (22). OE oranının yüksek olması drenajın iyi olduğunu gösterir. Normal böbreklerde diüretiksiz olarak elde edilen 20. dk. OE oranı >%80'dir. Diüretikli bir tetkikte bu değer <%60 olması drenajın bozuk olduğunu işaret eder (23). OE'nin hesaplanması için kardiyak aktivitenin de elde edilmesi gerekmektedir. Frame'lerin 10'ar sn. olması gerekmekte olup, "kardiyak eğrinin integralinin 20. dk'daki değeri ile renal eğrinin aynı zamandaki değerinin farkının kardiyak eğrinin integraline oranı" olarak hesaplandığı için software gerekmektedir.

$$\frac{\int_0^{20} P(t)dt - R_{20}}{\int_0^{20} P(t)dt} \times 100\%$$

P(t) Plasma aktivitesi, R20: 20. dk'daki renal aktivite.

Dikkate alınan zaman aralığı ne olursa olsun (renogramın sonu, frusemide testinin sonu, postvoid görüntü) OE ile NORA arasında iyi bir korelasyon bulunmuştur (R, Korelasyon katsayısı, sırasıyla: 0,96, 0,98, 0,99).

NORA parametresini bulan Belçikalı grup, output etkinliğinin ve NORA'nın böbreğin ortalama transit zamanına en yakın korelasyonu gösteren parametreler olduğunu göstermişlerdir. OE ve NORA arasında negatif korelasyon mevcuttur. OE >%80 & Post-miksiyon alınan geç görüntülerden hesaplanan NORA <0,5 ise iyi drenaj; OE <%60 & NORA >1,8 ise yetersiz drenaj olarak yorumlanmaktadır. OE ve NORA'nın, böbrek fonksiyon seviyesi veya kullanılan RF ne olursa olsun, ortalama transit zamanı ile yüksek korelasyon göstermiştir. Ayrıca bu iki parametrenin, renogramın klasik parametrelerinin aksine (Tmax & t1/2 gibi), böbrek fonksiyon seviyesinden neredeyse bağımsız olduğu gösterilmiştir.

OE'nin hesaplama zorluğu ve software gerekliliği nedeni ile NORA daha kolay hesaplanabilir. Her iki drenaj parametresi objektif bir değerlendirme olanağı sunmakla birlikte günlük pratikte miksiyon sonrası geç görüntülerin vizüel değerlendirmesi ile de drenaj fonksiyonu yorumlanabilmektedir (17). Ancak kuşku olgularda tedavi kararı için bu yeni parametrelerin objektif kantitatif bir veri olarak değerlendirmeye katkı sağlayabileceği akıld tutulmalıdır. Aynı zamanda herhangi bir semikantitatif parametrenin tek başına yorum yapmada ve cerrahi kararı vermede kullanılmamasını, değerlendirmede bütün parametrelerin göz önünde bulundurulması gerektiğini ve en doğru yaklaşımın zaman içinde mevcut parametrelerin ve DRF'un kötüleşmesinin en doğru belirteç olarak ele alınmasını önerilmektedir (18).

Yerçekimi Destekli (Gravity-assisted)/Postvoid Görüntüleme

DBS görüntüleri rutin olarak hasta sırtüstü pozisyonunda iken elde edilir. Bu durum dilate hidronefroz durumunda toplayıcı sistemin optimal boşalmasını etkiler. Aynı zamanda dolu mesane de önemli yanlış pozitiflik değerlendirme nedenleri arasındadır. Bazı merkezlerde tetkik süresince mesanenin boş kalması için kateterizasyondan bahsedilse de, Avrupa ekolünde ve ulusal kılavuzlarımızda tetkiki invaziv hale getirdiği için

nörojenik mesane veya ağır reflü gibi özel durumlar hariç kateterizasyon önerilmemektedir (17,24).

Mesane dolusu olması yaratacağı hidrostatik basınç etkisi ile drenaj fonksiyonunun önündeki direnci artırarak dilate sistemdeki aktivitenin boşalmasını zorlaştırır. Bu nedenle eğer 30 dk'lık dinamik görüntülemenin (C_{30}) sonundaki drenaj $<80\%$ ise, hasta 15 dk. dik pozisyonda (ayakta veya ebeveyn sırtında dik şekilde) tutulduktan sonra (C_{up}) yerçekimi etkisini devreye sokarak ve mesane boşaltılarak böbrekler ek statik görüntüleme ile değerlendirilmelidir (Şekil 3) (34). Son kılavuzda aşağıdaki görüntüleme teknikleri, yerçekimi destekli-postvoid drenajın değerlendirilmesi için önerilmektedir:

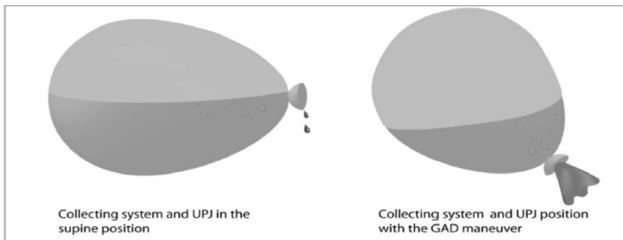
a. Hasta standart bir süre (örneğin; 10 veya 15 dakika) dik tutulduktan sonra alınan statik 1 dk.'lık posterior görüntü (C_{up}).

b. RF enj.'dan sonra standart bir zaman diliminde (60 dk.) alınan statik 1 dk.'lık posterior görüntü. 60. dk'dan sonra geç görüntüleme almak önerilmemektedir.

Tek görüntülemesi olan bir hastaya obstrüksiyon demek için; sadece postmiksion dik görüntüleme (upright) baz alınarak elde edilen renogramın yükselen veya düz çizen eğriye sahip olması vurgulanmaktadır. Bütün bu veriler ışığında son kılavuzda herhangi bir semikantitatif parametrenin tek başına yorum yapmada yetersiz olacağını, bütün parametrelerin değerlendirmede göz önünde bulundurulması gerektiğini ve en önemli parametrelerin takip sintigrafilerde mevcut semikantitatif değerlerin ve DRF'nin bozulması ve post-miksion geç görüntülemeye staz varlığı olarak belirtilmektedir (18).

Görüntünün Son İşlenmesi ve Raporlama

- Raporda hasta demografisi, çalışma için klinik endikasyon, önceki cerrahi müdahaleler ve diğer görüntüleme çalışmalarının ilgili sonuçları yer almalıdır.



Şekil 3. Yerçekimi destekli drenajı tanımlamak için balon benzetmesi

GAD: Yerçekimi destekli drenaj (*gravity-assisted drainage*), UPJ: Üroteropelvik bileşke (*uroteropelvic junction*)

- Bölümde hidrasyon uygulanırsa, hacmi ve uygulama yolu kaydedilmelidir.
- Muayene sırasında toplam idrar çıkışı hacmi biliniyorsa bildirilmelidir.
- Eğer nefrostomi kateteri mevcut ise, varlığı ve klemlendiği zaman aralığıyla ilgili bilgiler verilmelidir.
- İşlem sırasında uygulanan aktivite ve diüretik dozajı ve zamanlaması açıkça belirtilmelidir.
- Pre & Post diüretik imajlar 1 veya 2 dk'lık rekonstrükte edilerek böbreklerin morfolojisi/ eşlik eden anomali, kortikal tutulumdaki herhangi bir fokal defekt tanımlanmalıdır.
- ROI nasıl çizildiğinin raporda görünür olması.
- Diüretik öncesi ve/veya sonrası parankimde, kaliklerde, renal pelviste ve üreterlerde dikkate değer aktivite stazının yerleri ve zaman içindeki seyri belirtilmelidir.
- DRF ve $t_{1/2}$ gibi temel parametreler ve dinamik görüntülemenin sonundaki drenaj yüzdesi ve yerçekimi destekli drenaj bilgisi, NORA gibi drenajın ek kantitatif ölçümleri dahil olmak üzere hesaplanan tüm drenaj parametreleri raporlanmalıdır.
- Pre-upright ve post-upright görüntülerinde raporda görünür olarak dahil edilmesi.
- Anormal post-diüretik zaman-aktivite eğrilerinin şekli (örneğin; düz, yükselen, bifazik) tanımlanmalıdır.
- Görüntüleme süresince ağrının varlığı veya yokluğu ve yeri belirtilmelidir çünkü diüretik kaynaklı çünkü diüretik sonrası oluşan ağrı obstrüksiyon şüphesini artırmaktadır.
- Takip hastalarda aynı protokol ve proses tekniğinin kullanılması.
- Raporun sonuna bir izlenim/sonuç eklenmesi önerilir.

Klinik Karar Sürecinde Önemli Noktalar

Yukarıda raporlamada vurgulanan önemli hususlara ek olarak konjenital hidronefrozun değerlendirilmesinde göz önünde bulundurulması gereken birkaç husus vardır.

- Klinik süreçte tek bir sintigrafik inceleme ile karar vermek çoğu zaman doğru olmamakta olup, takip verileri/sintirafileri dikkate alınmalı, karşılaştırmalı yorum/raporlama yapılmalıdır.

- Tanı anında DRF çok düşük olması halinde, semikantitatif parametrelerin duyarlılığının düşük olacağı göz önüne alınmalı ve kısa aralıklarla ultrason ve sintigrafik incelemeler ile takip edilmeli veya doğrudan piyeloplastiyi önerenler de vardır.
- DRF değerinin izlem sürecinde belirgin azalması (<%10) ve buna paralel olarak US verilerinin bozulması (pelvis çapında veya SFU derecesinde artış, parankim incilmesi gibi) ise doğrudan cerrahi tedavi kararı vermede etkilidir.
- DRF sonuçları ele alınırken kullanılan yöntem, bebeğin yaşı, böbreğin boyutu ve fonksiyonel durumu gibi değişkenlerin etkili olduğu bilinmelidir. Klinikle ve diğer verilerle uyumsuz bir DRF söz konusu olduğunda integral ve Rutland-patlak yöntemlerinin birlikte kullanılması önerilir.
- Drenaj fonksiyonu incelenirken, diüretik yanıtı veya t1/2 cerrahi müdahalede dikkate alınan bir nokta değildir.
- Drenajın iyi olması obstrüktif olası bir süreci tamamen dışlarken, uzamış drenaj bulgusu obstrüksiyonu göstermez.
- Uzamış drenaja neden olabilecek ekstrasvazyon, dehidratasyon, renal immatürasyon, belirgin dilate pelvisle bağlı rezervuar pelvis etkisi, böbreğin fonksiyonel durumu ve dolu mesane etkisi gibi hususlar mutlaka gözden geçirilmelidir.
- Dinamik tetkikin sonunda mesanenin boş iken, yerçekimi etkisini devreye sokarak ilave geç görüntülerin alınması çok önemli olup, bu görüntülemenin raporla birlikte verilen filmde bulunması önerilir.

Sonuç

Sonuç olarak DBS, pediatrik nefroürolojik sorunlarda nükleer tıp uygulamaları başladığından beri uygulanan kliniklerimizin vazgeçilmez önemli bir tanısal inceleme yöntemidir. Konjenital hidronefrozlarda bazı tartışmalı hususların bir bölümünde ortak kaniya varılsa da, halen merkezler arası protokol, görüntüleme ve yorumlama farklılıkları bulunmaktadır. Uluslararası standartları hedefleyen kılavuzların etkin kullanımı ve klinisyenlerle iş birliği içinde multidisipliner ve interdisipliner çalışmaların artırılması çocukluk çağının sık görülen bu önemli klinik sorunun değerlendirilmesine büyük katkı sağlayacaktır.

Dipnotlar

Çıkar Çatışması: Yazar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar

1. Kelalis PP, Culp OS, Stickler GB, Burke EC. Ureteropelvic obstruction in children: experiences with 109 cases. *J Urol.* 1971;106:418-422.
2. Hendren WH, Radhakrishnan J, Middleton Jr AW. Pediatric pyeloplasty. *J Pediatr Surg.* 1980;15:133-144.
3. Drake DP, Stevens PS, Eckstein HB. Hydronephrosis secondary to ureteropelvic obstruction in children: a review of 14 years of experience. *J Urol.* 1978; 119:649-651.
4. Williams DI, Kenawi MM. The prognosis of pelviureteric obstruction in childhood: a review of 190 cases. *Eur Urol.* 1976;2:57-63.
5. Thomas DF, Agrawal M, Laidin AZ, Eckstein HB. Pelviureteric obstruction in infancy and childhood. A review of 117 patients. *Br J Urol.* 1982; 54:204-208.
6. Kass EJ, Majd M, Belman AB. Comparison of the diuretic renogram and the pressure perfusion study in children. *J Urol.* 1985;134:92-96.
7. Homsy YL, Saad F, Laberge I, Williot P, Pison C. Transitional hydronephrosis of the newborn and infant. *J Urol.* 1990;144:579-583.
8. Koff SA, Binkovitz L, Coley B, Jayanthi VR. Renal pelvis volume during diuresis in children with hydronephrosis: Implications for diagnosing obstruction with diuretic renography. *J Urol.* 2005;174:303-307.
9. McAleer IM, Kaplan GW. Renal function before and after pyeloplasty: does it improve? *J Urol* 1999;162:1041-44.
10. Bayne CE, Majd M, Rushton HG. Diuresis renography in the evaluation and management of pediatric hydronephrosis: what have we learned? *J Pediatr Urol.* 2019;15:128-137.
11. Conway JJ, Maizels M. The "well tempered" diuretic renogram: a standard method to examine the asymptomatic neonate with hydronephrosis or hydroureteronephrosis. A report from combined meetings of The Society for Fetal Urology and members of The Pediatric Nuclear Medicine Council-The Society of Nuclear Medicine. *J Nucl Med.* 1992;33:2047-2051.
12. O'Reilly P, Aurell M, Britton K, Kletter K, Rosenthal L, Testa T. Consensus on diuresis renography for investigating the dilated upper urinary tract. Radionuclides in Nephrourology Group. Consensus Committee on Diuresis Renography. *J Nucl Med.* 1996;37:1872-1876.
13. Mandell GA, Cooper JA, Leonard JC, et al. Procedure guideline in diuretic renography in children. *J Nuc Med.* 1997;38:1647-1650.

14. Gordon I, Colarinha P, Fettich J, et al. Paediatric Committee of the European Association of Nuclear Medicine. Guidelines for standard and diuretic renography in children. *Eur J Nucl Med*. 2001;28:21-30.
15. O'Reilly PH. Consensus committee of the society of radionuclides in nephrourology. Standardization of the renogram technique for investigating the dilated upper urinary tract and assessing the results of surgery. *BJU Int*. 2003;91:239-243.
16. Shulkin BL, Mandell GA, Cooper JA, et al. Procedure guideline for diuretic renography in children 3.0. *J Nucl Med Technol*. 2008;36:162-168.
17. Gordon I, Piepsz A, Sixt R. Auspices of paediatric committee of EANM. Guidelines for standard and diuretic renogram in children. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2011;38:1175-1188.
18. Majd M, Bar-Sever Z, Santos AI, De Palma D. The SNMMI and EANM procedural guidelines for diuresis renography in infants and children. *J Nucl Med*. 2018;59:1636-1640.
19. De Man KE, Troch ME, Dobbeleir AA, Duong HP, Goethals IM. Comparison of the EANM and SNM guidelines on diuretic renography in children. *Nucl Med Commun*. 2015;36:486-488.
20. Wong D, Rossleigh MA, Farnsworth RH. Diuretic renography with the addition of quantitative gravity-assisted drainage in infants and children. *J Nuc Med*. 2000;41:1030-1036.
21. Eskild-Jensen A, Gordon I, Piepsz A, Frøkiaer J. Interpretation of the renogram: problems and pitfalls in hydronephrosis in children. *BJU Int*. 2004;94:887-892.
22. Chaiwatanarat T, Padhy AD, Bomanji JB, Nimmon CC, Sonmezoglu K, Britton KE. Validation of renal output efficiency as an objective quantitative parameter in the evaluation of upper urinary tract obstruction. *J Nucl Med*. 1993;34:845-848.
23. Piepsz A, Tondeur M, Ham H. NORA: a simple and reliable parameter for estimating renal output with or without frusemide challenge. *Nucl Med Commun*. 2000;21:317-323.
24. Güngör F, Gökçora N, Alan N, et al. Çocuklarda standart ve diüretik dinamik renal sintigrafi protokolü, TNTD nefrouroloji ve pediatri çalışma grupları. *Turk J Nucl Med*. 2001;10.
25. Güldadı NCM, Aksoy T, Aydın F, et al. TNTD, çocuklarda dinamik böbrek sintigrafisi uygulama kılavuzu 2.0. *Nucl Med Semin*. 2015;1:15-18.
26. Erbaş B. Pediatrik olgularda dinamik böbrek sintigrafisi ve güncel yaklaşımlar. *Türkiye Klinikleri J Nucl Med-Special Topics*. 2017;3:21-25.
27. Taylor AT. Radionuclides in nephrourology, part 1: radiopharmaceuticals, quality control, and quantitative indices. *J Nucl Med*. 2014;55:608-615.
28. Taylor AT. Radionuclides in nephrourology, Part 2: pitfalls and diagnostic applications. *J Nucl Med*. 2014;55:786-798.
29. Prigent A, Cosgriff P, Gates GF, et al. Consensus report on quality control of quantitative measurements of renal function obtained from the renogram: International Consensus Committee from the Scientific Committee of Radionuclides in Nephrourology. *Semin Nucl Med*. 1999;29:146-159.
30. Zaknun JJ, Rajabi H, Piepsz A, Roca I, Dondi M. The International Atomic Energy Agency software package for the analysis of scintigraphic renal dynamic studies: a tool for the clinician, teacher, and researcher. *Semin Nucl Med*. 2011;41:73-80.
31. Gungor F, Anderson P, Gordon I. Effect of the size of regions of interest on the estimation of differential renal function in children with congenital hydronephrosis. *Nucl Med Commun*. 2002;23:147-151.
32. Ozcan Z, Anderson PJ, Gordon I. Robustness of estimation of differential renal function in infants and children with unilateral prenatal diagnosis of a hydronephrotic kidney on dynamic renography: How real is the supranormal kidney? *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2006;33:738-744.
33. Durand E, Blaufox MD, Britton KE, et al. International Scientific Committee of Radionuclides in Nephrourology (ISCORN) consensus on renal transit time measurements. *Semin Nucl Med*. 2008;38:82-102.
34. Acker MR, Clark R, Anderson P. Gravity-assisted drainage imaging in the assessment of pediatric hydronephrosis. *Can Urol Assoc J*. 2016;10:96-100.



Pediyatrik Hastalıklarda Güncel Kılavuzlar Işığında Tc-99m DMSA Kortikal Böbrek Sintigrafisi Endikasyonları

Current Indications of Tc-99m DMSA Renal Cortical Scintigraphy in Pediatric Population

İ Lütfiye Gül Ege Aktaş

Manisa Şehir Hastanesi, Nükleer Tıp Kliniği, Manisa, Türkiye

Öz

Konvansiyonel nükleer tıp tetkikleri, konjenital, edinsel böbrek ve üriner sistem hastalıklarının incelenmesinde birçok yöntem sunmaktadır. Teknesyum-99m-dimerkaptosüksinik asit (DMSA) kortikal böbrek sintigrafisi, diferansiyel renal fonksiyon (DRF) hesaplanması, akut pyelonefrit ve kortikal skar ayrımı yapılması, hipoplazik, displazik, multistik böbreklerin ayırt edilmesi ve fonksiyon gösteren parankim saptanması, ektopik böbreklerin, füzyon anomalili böbreklerin değerlendirilmesini sağlayan önemli bir tetkiktir. Klinikte en sık idrar yolu enfeksiyonlarının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır ve tedavi prosedürlerine etki etmektedir. Yakın zamanda, görüntüleme, işleme protokolleri standardize edilmiş, kılavuzlar arasındaki küçük farklılıklar giderilerek, doz protokolleri düzenlenmiş ve maksimum görüntüleme dozu aşağı çekilmiştir. Anterior-posterior projeksiyonda görüntüleme ve geometrik ortalama yöntemi ile DRF hesaplanması, pinhole ve tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi (SPECT) görüntülerin yeri kesinleşmele beraber; mutlak renal fonksiyon hesaplanması, SPECT ile DRF hesabı, hidronefrotik böbrekte alan düzeltmesi gibi güncel çalışmalar da yayınlanmaktadır. Bu derlemede DMSA kortikal böbrek sintigrafisinin pediatrik nefrolojik hastalıklardaki yeri incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Tc-99m DMSA, kortikal böbrek sintigrafisi, ürolojik hastalıklar

Abstract

Conventional Nuclear Medicine offers many investigations for congenital and acquired urinary system diseases in children. Technetium-99m-dimerkaptosuccinic acid (DMSA) renal cortical scintigraphy has got a wide spectrum of indications like; determination of differential renal function (DRF), distinguishing acute pyelonephritis from cortical scar, investigation of dysplastic, hypoplastic kidneys, multicystic kidneys and determination of functional parenchyma, evaluating ectopic kidney and fusion anomalies. The most common indication of DMSA renal cortical scintigraphy is evaluation of urinary tract infections. It is the imaging technique of choice for diagnosing pyelonephritis and effects many clinical conservative or surgical clinical decisions. Recently imaging and processing techniques were standardized and some differences between the guidelines were resolved. Also minimum and maximum imaging doses for DMSA were reduced. Anterior-posterior projection imaging and geometric mean DRF calculation, pinhole and single photon emission computerized tomography (SPECT) imaging were covered by the guidelines. Still, determination of absolute renal function, DRF calculation using SPECT reconstructions, area correction methods for hydronephrotic kidneys with suranormal/normal DRF are the ongoing issues. In this article we assessed the current status of DMSA renal cortical scintigraphy in urinary system diseases of pediatric population.

Keywords: Tc-99m DMSA, renal cortical scintigraphy, urologic disorders

Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Doç. Dr. Lütfiye Gül Ege Aktaş, Manisa Şehir Hastanesi, Nükleer Tıp Kliniği, Manisa, Türkiye

E-posta: dr.gulege@yahoo.com ORCID ID: orcid.org/0000-0003-4880-2275

Geliş Tarihi/Received: 29.04.2025 Kabul Tarihi/Accepted: 22.07.2025 Yayınlanma Tarihi/Publication Date: 29.07.2025

Cite this article as/Atf: Ege Aktaş LG. Current indications of Tc-99m DMSA renal cortical scintigraphy in pediatric population. Nucl Med Semin. 2025;11:144-150



Copyright© 2025 Yazar. Türkiye Nükleer Tıp Derneği adına Galenos Yayınevi tarafından yayımlanmıştır. Creative Commons Atf-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.

Giriş

Teknesyum-99m (Tc-99m) dimerkaptosüksinik asit (DMSA) kortikal böbrek sintigrafisi, non-invaziv, toksik veya alerjik olamayan, düşük radyasyon maruziyetine sebep olan ve erken yenidoğan döneminde (1 hafta) dahi uygulanabilen bir görüntüleme yöntemi olarak pediatrik hasta grubunda önemli bir yere sahiptir.

Diferansiyel renal fonksiyon (DRF) hesaplanmasında, akut pyelonefrit (APN) ve kalıcı kortikal hasar ayrımında, kronik pyelonefritik değişikliklerin takibinde altın-standart yöntem olarak kabul edilmektedir. Endikasyonları içerisinde, tekrarlayan, komorbiditenin eşlik ettiği idrar yolu enfeksiyonları (IYE), APN de riskli grubun belirlenmesi ve Voiding Sistürografi (VCU) gerekliliği kararı, APN/ skar ayrımı, soliter, ektopik böbreğin değerlendirilmesi, hipoplazik ve displastik böbreklerin değerlendirilmesi, multistikistik displastik böbrek (MCDK) tanısı ve fonksiyonel parankim araştırılması, DRF takibi ile çeşitli cerrahi kararların alınması ve tedavi sonrası değerlendirme vb. birçok klinik durum mevcuttur (1,2,3). APN de kullanımının gerekliliği üzerine halen tartışmalar mevcut olmakla beraber, APN sonrası ilk adımda DMSA kortikal böbrek sintigrafisi ile başlanarak, kortikal hasar bulgusu var ise VCU çekilmesi (top-down) yaklaşımı güncelde ağırlık kazanmıştır (1).

Görüntüleme ve işleme prosedürleri standardize edilmişveyakınzamandaanterior-posteriorgörüntülerden geometrik ortalama ile DRF hesaplanması kılavuzlarda yerini almış olmakla beraber, tek foton emisyon tomografisi (SPECT) görüntülerinden DRF hesaplanması, supranormal DRF ve hidronefrotik böbrekler için alan düzeltmesi, mutlak renal fonksiyon hesaplanması üzerine çalışmalar yayınlanmaktadır (1,2,4,5).

İdrar Yolu Enfeksiyonları ve Vezikoüreteral Reflüde DMSA

Pyelonefrit böbreklerin bakteriyel enfeksiyonudur. Genellikle bebekler ve kız çocuklarında daha yaygındır (6,7). Pyelonefrit akut veya kronik pyelonefrit (KPN) şeklinde olabilir. APN ani başlangıçlı, KPN ise tekrarlayan veya kalıcı şekildedir. Genellikle Gram-negatif bakteri ve sıklıkla da Escherichia coli patojendir. Vezikoüreteral reflü (VUR) altta yatan en sık etiyolojidir (8,9). Ateş, ağrı, yanma, sık idrar çıkma gibi bulguları olmakla beraber, bebeklerde semptom vermeyebilir veya kusma, huzursuzluk benzeri genel semptomlar olabilir. Tedavi edilmediğinde, sepsis, böbrek hasarı, yetmezliği, hatta bebek ölümlerine

sebep olabilmektedir. Detaylı klinik öykü, fizik muayene ve laboratuvar bulguları değerlendirmenin temelini oluştururken, ultrasonografi (USG), DMSA böbrek sintigrafisi, abdominopelvik bilgisayarlı tomografi (BT) ve manyetik rezonans (MR) görüntüleme tanıda yardımcı görüntüleme yöntemleridir.

DMSA böbrek sintigrafisinin en sık endikasyonu pyelonefrit tanısıdır. Ateşli idrar yolu sırasında APN tanısı için akut DMSA sintigrafisi yapılabilir (1,2,3,10,11,12). Konturları deforme etmeyen tek veya çoklu kortikal defektler, etkilenen bölgede veya tüm böbrekte hacim artışı, kenar keskinlik kaybı, akut pyelonefriti düşündüren belli başlı bulgulardır. Tedavi sonrası takip (6 ay sonra) DMSA sintigrafisinde, defektler tamamen kaybolabilir, gerileyebilir veya skar gelişmesi sonucunda hacim kaybı ve kontur deformasyonu, kontraksiyonlar gelişebilir (1,2,3,10,11).

Standart anterior-posterior ve oblik görüntülere ek olarak bebeklerde çözünürlüğü artırmak, magnifikasyon için pinhole görüntüleme veya uygunsa detektör üzerine yatırılarak görüntüler alınması önerilmektedir (1,2,3,10,13).

SPECT görüntülemenin özellikle küçük defektlerin tespitinde daha duyarlı olduğu bazı çalışmalarda belirtilmiştir. Yine de halen ciddi bir avantajı olmadığını, tomografik kesitlerin böbreklerin pozisyonu nedeniyle yorumlama güçlüğü ve farklılığına yol açtığını, görüntüleme süresi uzaması, hareket ihtimali vb. sebeplerle pediatrik grupta konforlu olmadığını savunun uzmanlar da mevcuttur (14,15,16,17,18). SPECT görüntüleme güncel kılavuzlarda şu an için ektopik ve transplante böbrek gibi, vücut kemik ve yumuşak dokuları ile atenuasyona uğrayan böbreklerin, küçük defektlerin değerlendirilmesinde önerilmektedir. SPECT/BT ile DMSA sintigrafisi ise doz maruziyetini artırması sebebiyle, kompleks konjenital anomali olguları ve böbrek tümörü olguları gibi küçük bir grup dışında, pediatrik grupta halen rutin çalışmalarda önerilmemektedir (1,2).

APN ve KPN tanısında DMSA böbrek sintigrafisinin, USG'ye göre daha duyarlı olduğu ve daha fazla sayıda kortikal defekti tespit ettiği gösterilmiştir (19,20). Bununla birlikte DMSA böbrek sintigrafisi bulguları spesifik olmayıp, kortikal kistler, abse ve hidronefroza bağlı hipoaktif alanlar izlenebilmektedir. Bu sebeple en yüksek özgüllük ve duyarlılık için, DMSA ile USG'nin birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir. BT ve MR ürografi ise DMSA ile benzer duyarlılığa ve yüksek özgüllüğe sahip

olmakla beraber, kontrast madde uygulanması, doz maruziyeti, hazırlık ve sedasyon gerekliliği, uzun çekim süresi ve yaygınlığının daha az olması gibi nedenlerden pediatrik popülasyonda önerilmemektedir (21,22,23).

APN de DMSA kortikal böbrek sintigrafisinin gerekli olmadığını, yalnızca skar gelişiminin prognoza etkili olduğunu savunan görüşler de mevcuttur. Ağırlıklı görüş ise, APN de kortikal defekt saptanmasının tedavi şekline, profilaksi süresine, yoğunluğuna, takip sıklığına etkili olacağını ve VCU uygulama kararına yardımcı olduğu yönündedir (24,25,26,27). Enfeksiyon erken tespit edilir ve yeterli tedavi edilirse, takipte kortikal defektler iyileşecek ve böbrek kortikal fonksiyonları korunacaktır. Güncel kılavuzlarda, USG ile birlikte DMSA böbrek sintigrafisi pyelonefrit tanı ve takibinde tercih edilen yöntemdir (1,3,28,29).

Üriner enfeksiyon hayatın ilk yedi yılında kız çocukta %8 ve erkek çocukta %2 oranında bildirilmektedir (30). Endikasyonu iyi seçilmiş yaklaşık %50-90 olguda DMSA böbrek sintigrafilerinde kortikal defekt saptanmaktadır. Bu olguların çoğunda takipte iyileşme görülürken, yaklaşık %40 olguda kortikal skar gelişebilmektedir. DMSA pozitifliği, belirtilerin şiddeti ve laboratuvar bulguları, örneğin C-reaktif protein yüksekliği, ile korelasyon göstermektedir (29,31,32). Özellikle tekrarlayan enfeksiyonlarda altta yatan en sık sebebin VUR olması göz önüne alındığında, olguların “bottom-up” yaklaşım ile (önce VCU, eğer VUR pozitif ise akabinde DMSA ile değerlendirilmesi) veya “top-down” yaklaşım (önce DMSA ve eğer pozitif ise VCU) ile değerlendirilmesi tartışması, son yıllarda ilk adımda DMSA ile başlamak yönünde ağırlık kazanmıştır (1,2,24,25,28,32). VUR negatif olgularda da pyelonefrit gelişebileceğinden ve sadece VUR derecesine göre değil, hastaya ait faktörler, patojene bağlı faktörler de skar gelişimine etkili olacağından, ateşli İYE geçiren çocuklarda ilk adımda DMSA böbrek sintigrafisi ile görüntüleme ve kortikal tutulum var ise VCU planlanması uygun bir yaklaşımdır. Bu şekilde %5-27 düşük dereceli VUR olgusu atlanabilirken, %50 olguda gereksiz VCU tetkikinin getirdiği, girişimsel işlem, doz maruziyeti, enfeksiyon ile tanışma gibi sıkıntılardan kaçınılabilir. Yüksek dereceli VUR varlığında DMSA da kortikal defekt görülme oranının arttığı ve düşük dereceli VUR olgularının ise güncel yaklaşımda konservatif yöntemler ve takip ile yönetildiği bilinmektedir. Ayrıca DMSA böbrek sintigrafisinde kortikal tutulum varlığı, VUR eşlik etse veya etmese de, antibiyotik profilaksisi ve takip gerektirmektedir (1,28,33,34,35,36).

Sonuç olarak, son yıllarda üriner enfeksiyon geçiren 1-7 yaş arası tüm çocukları görüntüleme yaklaşımından, KPN riski daha fazla olan, tekrar eden üriner enfeksiyon geçiren, USG’de böbrek veya mesane anomalisi mevcut olguları, ilk adımda DMSA böbrek sintigrafisi ile değerlendirme yaklaşımına bir geçiş mevcuttur. Ulusal Sağlık ve Bakım Mükemmelliği Enstitüsü (*The National Institute for Health and Care Excellence*) kılavuzları, 3 yaş altında tekrarlayan veya atipik İYE geçiren bütün çocukların DMSA böbrek sintigrafisi ile değerlendirilmesini önermektedir. DMSA kortikal böbrek sintigrafisi pyelonefrit tespitinde altın-standart yöntemdir.

Diferansiyel Renal Fonksiyon

DRF hesaplanması DMSA kortikal böbrek sintigrafisinin diğer bir önemli endikasyonudur. Yüksek hedef/geri plan aktivite oranı ve toplayıcı sisteme ekskresyonunun düşük olması sebebiyle DRF hesaplanmasında tercih edilen yöntemdir (1,2). Yine de yüksek kortikal ekstraksiyon oranı bulunan ve çocuklarda diüretikli böbrek sintigrafisi için tercih edilen yöntem olan Tc-99m MAG-3 (merkaptasetil-triglisin) dinamik böbrek sintigrafisi, özellikle hidronefroz grubunda hem drenajı hem de DRF hesabını yüksek doğrulukla değerlendirebilen yöntem olarak tercih edilebilir (1,2,3,37).

DRF, tekrarlayan İYE’de, refrakter VUR de, tekrarlayan nefrolitiazis olgularında, üreteropelvik bileşke darlığında, takipte, cerrahi kararı verilmesinde ve tedavi sonrası değerlendirmede önemli bir parametredir. Yine renal arter stenozunda cerrahi öncesi ve sonrası renal fonksiyonun değerlendirilmesinde, çok düşük fonksiyonlu böbrekte, hipertansiyon ve enfeksiyon riski nedeniyle nefrektomi kararı verilmesinde önemlidir. DRF hesabındaki değişkenlik cerrahi zamanlamasını zorlaştırabilir, örneğin takipte DRF’de %10’luk bir düşüş kritiktir (1,2,5,37,38,39). Bu sebeple DRF hesabının tekniği, güvenilirliği ve tekrar edilebilir olması önemlidir.

İleri dereceli hidronefrozda, infantta olgunlaşmamış böbrek fonksiyonu gibi durumlarda, supranormal DRF (DRF >%55) sonuçları, geri plan düzeltilmesinde güçlükler ve toplayıcı sistem retansiyonu gibi problemler önümüze çıkabilmektedir. Hidronefrozda diüretik uygulanarak geç görüntüler alınması, infantta olgunlaşmamış böbreklerde geç görüntüler alınması ve takip çalışmaları, azalmış renal fonksiyonda geç görüntüleme yapılması ile temiz bir geri plan elde edilmesi, temizlenmiş toplayıcı sistem

içeren görüntülerden DRF hesaplanması önemlidir (1,2,3,5,37,40).

Hidronefroza, ektopik, pitotoik böbreklerde, füzyon anomalilerinde başta olmak üzere, anterior-posterior görüntülerden alınan sayımların geometrik ortalaması yöntemi ile DRF hesaplanması güncel kılavuzlarda önerilen yöntemdir (1,2). Bunun dışında, hidronefroza piksel başına düşen sayımların geometrik ortalamasını kullanarak alan düzeltmesi, SPECT görüntülerden çizilen ilgi alanlarından 3D rekonstrüksiyonu ile DRF hesaplanması gibi metotların önerildiği çalışmaların sonuçları literatürde artmaktadır (4,5).

Diğer Endikasyonlar

DMSA kortikal böbrek sintigrafisi hipoplazik, displastik böbreklerin fonksiyonunun araştırılmasında, DRF'lerinin hesaplanmasında, hipoplazik/displastik böbrek ayırımında güvenilir ve tercih edilen bir yöntemdir. Displastik böbrekler, tipik olarak küçük, azalmış non-homojen DMSA tutulumu gösteren veya hiç gösteremeyebilen, ileri hipofonksiyone ya da non-fonksiyonel olabilen böbreklerdir. Hipoplazik böbrekler ise boyutları küçük, fakat nispeten homojen DMSA tutulumu ve boyutları ile orantılı kortikal fonksiyon gösteren böbrekler olarak ayrıt edilirler (1,2,41,42,43).

Özellikle MCDK'lerin USG'de hidronefroz ile ayırımının yapılmasında zorluklar mevcuttur. Fonksiyon gösteren böbrek dokusu sorgulanması yine DMSA böbrek sintigrafisinin önemli diğer bir endikasyonudur. Günümüzde MCDK takibinin ve tedavisinin konservatif yöntemlere kaydırılması ve USG teknolojisindeki gelişmeler nedeniyle DMSA böbrek sintigrafisi endikasyonu bu alanda komplike ve arada kalınan olgulara indirgenmiştir (44,45).

DMSA böbrek sintigrafisinin daha nadir endikasyonları içerisinde, travma sonrası kortikal hasarın saptanması, yapısal ve pozisyonel böbrek anomalilerinin değerlendirilmesi, örneğin tek böbrek tanısı ve takibi, dubleks böbrek değerlendirilmesi, at-nalı vb. füzyon anomalilerinin belirlenmesi ve her bir böbrek komponentinin kortikal fonksiyonunun hesaplanması, ektopik böbrek tanısı, takibi vb. sıralanabilir.

Örneğin; böbrek toplayıcı sisteminin duplikasyonu, böbreğin çift pelvisinin ve total veya kısmi olarak çift üreterinin olmasıyla karakterizedir. Pek çok olguda böbrek fonksiyon bozukluğuna sebep olmazken, belli oranda ise VUR eşlik eder ve genellikle alt pol üreterinde

mevcuttur. VUR daha yüksek dereceli olup, sıklıkla alt pol displazisine eşlik eder (46,47). Üst pol ile ilişkili total dubleks sistemlerde ise genellikle üreterler displastik üreterosellere birleşmektedir ve hidroüretro-nefroz mevcuttur (48). DMSA böbrek sintigrafisi, anormal yarımın DRF değerini ve normal yarımın kompensasyon derecesini belirlemek için uygulanabilir. Yine, cerrahi öncesi ve sonrası üst ve alt böbrek segmentlerinin diferansiyel fonksiyonlarını değerlendirmede Tc-99m DMSA sintigrafisi kullanılır. Zorlu olgularda, SPECT ve SPECT-BT ile transvers, sagittal ve koronal planlarda görüntü alınarak fonksiyonel böbrek parankim haritalaması planar sintigrafiye göre çok daha ayrıntılı olarak yapılabilir (46).

Çocuklarda nefrolitiazis daha az sıklıkla görülse de diğer bir endikasyon grubunu oluşturmaktadır. Enfeksiyon ve obstrüksiyon yoluyla böbrek fonksiyonunda bozukluğa yol açar. Çocuklarda böbrek taşı tedavisi, perkütan nefrolitotomi, üretroskopik yöntem ya da vücut dışından şok dalgaları ile taş kırma (*extracorporeal shockwave lithotripsy*) tedavisi gibi, açık cerrahiye alternatif metotlarla tedavi edilmektedir. İlgili girişimi böbreğin en az hasar göreceği şekilde gerçekleştirmek önemlidir. Bu hastalar nükse yatkındır ve çoğunlukla mükerrer tedavi görebilirler. Girişim sonrası böbrek fonksiyonu üzerindeki etkiler Tc-99m DMSA böbrek sintigrafisi ile değerlendirilebilir. Preoperatif ve postoperatif DMSA ile DRF değerleri karşılaştırılarak operasyon geçiren böbreğin fonksiyonlarındaki iyileşme veya kötüleşme değerlendirilir. Doğru bir değerlendirme için operasyondan yaklaşık 3 ay sonra uygulanması en uygunu olacaktır. Tc-99m DMSA böbrek sintigrafisi, girişim yapılan böbreğin bütününün ve yanı sıra çizilen üst ve alt ayrı ilgi alanları sayesinde böbreğin pollerinin de ayrı ayrı değerlendirilmesini sağlamaktadır. Ayrıca SPECT veya SPECT-BT ile, görüntüleme mümkünse, alınan üç boyutlu değişik kesitler ve BT komponenti sayesinde anatomik korelasyon ile daha ayrıntılı bir fonksiyonel hasar tespiti mümkündür. Komplikasyon gelişimini önlemek ve geri dönüşümsüz hasarlardan kaçınmak için tanı anında ve tedavi planlaması, girişim sonrası takipte SPECT-BT ile çalışılmasını öneren yayınlar mevcuttur (49).

TC-99m DMSA SPECT veya SPECT/BT radyoterapi planlamasında, böbrek fonksiyonlarını korumak için, hedef alanın daha iyi belirlenmesi için kullanılabilir. Böbrek tümörlerinin kendisi genelde radyoterapiye dirençli olarak bilinirler. Ancak cerrahi ile çıkarılamayacak olgularda, tek böbrekli hastalarda, her iki böbrekte

birden tutulum varlığında veya metastazın neden olduğu semptomlarda palyatif amaçlı radyoterapi seçeneği gündeme gelebilir. Stereotaktik vücut radyoterapisi ile daha az seansta, daha küçük alanlar ve daha yüksek dozlar kullanılarak, küçük ve izole tümörler tedavi edilebilir. Ablatif radyoterapinin normal dokuya etkilerini değerlendirmek için DMSA SPECT/BT ile yapılan çalışmalar da mevcuttur (50).

Sonuç

Pediyatrik hasta popülasyonunda, konjenital ve edinsel böbrek hastalıklarının tanı, tedavi ve takibi radyolojik görüntüleme ve Nükleer Tıp yöntemlerinden elde edilen, anatomik ve fonksiyonel bulgulara dayanmaktadır. Birlikte kullanılan bu yöntemlerin duyarlılık ve özgüllüklerinin bilinerek, kılavuzlara uygun, standart, tekrarlanabilir şekilde uygulanması ve değerlendirilmesi önemlidir.

Yakın zamanda, Tc-99m DMSA böbrek sintigrafisi görüntüleme ve işleme prosedürleri standardize edilmiş ve görüntüleme dozları aşağı çekilmiştir. Tc-99m DMSA böbrek sintigrafisi, erken yenidoğan döneminden itibaren kullanılabilen, non-toksik ve non-invaziv, USG ile korele edildiğinde ve gereklilik halinde, SPECT/BT ile birlikte yüksek özgüllüğe ulaşan bir tetkiktir.

DRF hesaplanması, APN/KPN tanı ve ayırımında, kortikal hasarın takibinde altın-standart yöntemdir. Endikasyonları içerisinde; APN'de riskli grubun belirlenmesi ve VCU kararı, APN/skar ayırımı, soliter, ektopik böbreğin değerlendirilmesi, hipoplazik ve displastik böbreklerin değerlendirilmesi, MCDK tanısı ve fonksiyone parankim araştırılması, DRF takibi ile çeşitli cerrahi kararların alınması ve tedavi sonrası değerlendirme vb. birçok klinik durum mevcuttur.

SPECT görüntülerden DRF hesaplanması, hidronefrotik böbreklerde daha doğru DRF hesaplanmasına yönelik çalışmalar, mutlak renal fonksiyon üzerine çalışmalar, klinik karar aşamalarına etki edebileceğinden, seçilmiş olgu gruplarında önem arz etmektedir.

SPECT/BT doz maruziyetinin getirdiği zarar/ anatomik bilginin getirdiği özgüllük açısından halen değerlendirilmekte olup, pediatrik grupta henüz kılavuzlarda önerilmemektedir. Yine de komplike füzyon anomalilerinde, nefrolitiaziste özellikle cerrahi planı ve postoperatif dönemde takip açısından kullanılabilir. RT planlamasında kullanımına yönelik çalışmalar da mevcuttur.

Dipnotlar

Çıkar Çatışması: Yazar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar

1. Bar-Sever Z, Shammas A, Gheisari F, Vali R. Pediatric nephro-urology: overview and updates in diuretic renal scans and renal cortical scintigraphy. *Semin Nucl Med.* 2022;52:419-431.
2. Brink A. Pitfalls of radionuclide renal imaging in pediatrics. *Semin Nucl Med.* 2022;52:432-444.
3. Biassoni L, Walker M, Redman S, Graham R. Clinical guideline for static renal cortical scintigraphy in paediatrics. *Nucl Med Commun.* 2024;45:993-997.
4. Civan C, Has Simsek D, Kiran MY, et al. Comparison of 2D planar and 3D volumetric methods for estimation of split renal function by 99mTc-DMSA scintigraphy. *Phys Med.* 2022;95:83-88.
5. Aktaş GE, Sarıkaya A. Correction of differential renal function for asymmetric renal area ratio in unilateral hydronephrosis. *Ann Nucl Med.* 2015;29:816-824.
6. Czaja CA, Scholes D, Hooton TM, Stamm WE. Population-based epidemiologic analysis of acute pyelonephritis. *Clin Infect Dis.* 2007;45:273-280.
7. Ki M, Park T, Choi B, Foxman B. The epidemiology of acute pyelonephritis in South Korea, 1997-1999. *A J Epidemiol.* 2004;160:985-993.
8. Garcia-Roig ML, Kirsch AJ. Urinary tract infection in the setting of vesicoureteral reflux. *F1000Res.* 2016;5:1552.
9. Doern CD, Richardson SE. Diagnosis of urinary tract infections in children. *J Clin Microbiol.* 2016;54:2233-2242.
10. Piepsz A, Colarinha P, Gordon I, et al. Paediatric Committee of the European Association of Nuclear Medicine. Guidelines for 99mTc-DMSA scintigraphy in children. *Eur J Nucl Med.* 2001;28:BP37-BP41.
11. Rossleigh MA, Farnsworth RH, Leighton DM, Yong JL, Rose M, Christian CL. Technetium-99m dimercaptosuccinic acid scintigraphy studies of renal cortical scarring and renal length. *J Nucl Med.* 1998;39:1280-1285.
12. Craig JC, Wheeler DM, Irwig L, Howman-Giles RB. How accurate is dimercaptosuccinic acid scintigraphy for the diagnosis of acute pyelonephritis? A meta-analysis of experimental studies. *J Nucl Med.* 2000;41:986-993.
13. Mandell GA, Eggli DF, Gilday DL, et al. Procedure guideline for renal cortical scintigraphy in children. *J Nucl Med.* 1997;38:1644-1646.
14. Applegate KE, Connolly LP, Davis RT, Zurakowski D, Treves ST. A prospective, comparison of high-resolution planar, pinhole, and triple-detector SPECT for the detection of renal cortical defects. *Clin Nucl Med.* 1997;22:673-678.
15. Brenner M, Bonta D, Eslamy H, Ziessman HA. Comparison of 99mTc-DMSA dual-head SPECT versus high-resolution parallel-

- hole planar imaging for the detection of renal cortical defects. *AJR*. 2009;193:333-337.
16. Saleh Farghaly HR, Mohamed Sayed MH. Technetium-99m dimercaptosuccinic acid scan in evaluation of renal cortical scarring: Is it mandatory to do single photon emission computerized tomography? *IJNM*. 2015;3026-3030.
 17. Tripathi M, Agarwal KK, Mukherjee A, et al. 99mTc-DMSA planar imaging versus dual-detector SPECT for the detection of renal cortical scars in patients with CKD-3. *NuclMedCommun*. 2016;37:911-916.
 18. Kim GE, Park JH, Kim JS, Won KS, Kim HW. Comparison of Tc-99m DMSA renal planar scan and SPECT for detection of cortical defects in infants with suspected acute pyelonephritis. *Indian J Pediatr*. 2019;86:797-802.
 19. Finkelstein JB, Rague JT, Chow J, et al. Accuracy of ultrasound in identifying renal scarring as compared to DMSA scan. *Urology*. 2020;138:134-137.
 20. Moorthy I, Wheat D, Gordon I. Ultrasonography in the evaluation of renal scarring using DMSA scan as the gold standard. *Pediatr Nephrol*. 2004;19:153-156.
 21. Cerwinka WH, Kirsch AJ. Magnetic resonance urography in pediatric urology. *Curr Opin Urol*. 2010;20:323-329.
 22. Cerwinka WH, Grattan-Smith JD, Jones RA, et al. Comparison of magnetic resonance urography to dimercaptosuccinic acid scan for the identification of renal parenchyma defects in children with vesicoureteral reflux. *J Pediatr Urol*. 2014;10:344-351.
 23. Kovanlikaya A, Okkay N, Cakmakci H, Ozdoğan O, Degirmenci B, Kavukcu S. Comparison of MRI and renal cortical scintigraphy findings in childhood acute pyelonephritis: preliminary experience. *Eur J Radiol*. 2004;49:76-80.
 24. Moorthy I, Easty M, McHugh K, Ridout D, Biassoni L, Gordon I. The presence of vesicoureteric reflux does not identify a population at risk for renal scarring following a first urinary tract infection. *ADC*. 2005;90:733-736.
 25. Preda I, Jodal U, Sixt R, Stokland E, Hansson S. Normal dimercaptosuccinic acid scintigraphy makes voiding cystourethrography unnecessary after urinary tract infection. *J Pediatr*. 2007;151:581-584.
 26. Mantadakis E, Vouloumanou EK, Georgantzi GG, Tsalkidis A, Chatzimichael A, Falagas ME. Acute Tc-99m DMSA scan for identifying dilating vesicoureteral reflux in children: a meta-analysis. *Pediatrics*. 2011;128:e169-e179.
 27. Hoberman A, Charron M, Hickey RW, Baskin M, Kearney DH, Wald ER. Imaging studies after a first febrile urinary tract infection in young children. *N Engl J Med*. 2003;348:195-202.
 28. Paintsil E. Update on recent guidelines for the management of urinary tract infections in children: the shifting paradigm. *Curr Opin Pediatr*. 2013;25:88-94.
 29. Agras, K, Ortapamuk, H, Naldöken S, Tuncel A, Atan A. Resolution of cortical lesions on serial renal scans in children with acute pyelonephritis. *Pediatr Radiol*. 2007;37:153-158.
 30. White B. Diagnosis and treatment of urinary tract infections in children. *Am Fam Physician*. 2011;83:409-415.
 31. Sarikaya I, Sarikaya A. Current status of radionuclide renal cortical imaging in pyelonephritis. *J Nucl Med Technol*. 2019;47:309-312.
 32. Roupakias S, Sinopidis X, Karatza A, Varvarigou A. Predictive risk factors in childhood urinary tract infection, vesicoureteral reflux, and renal scarring management. *Clin Pediatr*. 2013;53:1119-1133.
 33. Keren R, Shaikh N, Pohl H, et al. Risk factors for recurrent urinary tract infection and renal scarring. *pediatrics*. 2015;136:e13-e21.
 34. Aktaş GE, Inanir S, Turoğlu HT. Renal cortical involvement in children with first UTI: does it differ in the presence of primary VUR? *Ann Nucl Med*. 2008;22:877-881.
 35. Gnech M, 't Hoen L, Zachou A, et al. Update and summary of the European Association of Urology/European Society of Paediatric Urology Paediatric Guidelines on vesicoureteral reflux in children. *Eur Urol*. 2024;85:433-442.
 36. Chroustová D, Trnka J, Langer J, Urbanová I, Lambert L, Kočvara R. How the 99mTc-DMSA scintigraphy findings are reflected in the adopted treatment of primary vesicoureteral reflux: one centre experience. *J Pediatr Urol*. 2023;19:456-462.
 37. Aktaş GE, Inanir S. Relative renal function with MAG-3 and DMSA in children with unilateral hydronephrosis. *Ann Nucl Med*. 2010;24:691-695.
 38. Duong HP, Piepsz A, Collier F, et al. Predicting the clinical outcome of antenatally detected unilateral pelviureteric junction stenosis. *Urology*. 2013;82:691-696.
 39. Piepsz A, Tondeur M, Nogarède C, et al. Can severely impaired cortical transit predict which children with pelvi-ureteric junction stenosis detected antenatally might benefit from pyeloplasty? *Nucl Med Commun*. 2011;32:199-205.
 40. Girotto N, Smokvina A, Grbac Ivanković S, Licul V. Effects of background subtraction on differential kidney function measured by static scintigraphy with DMSA and dynamic scintigraphy with MAG 3. *Nuklearmedizin*. 2008;47:43-47.
 41. Iscaife A, Barbosa M, Ortiz V, Macedo A Jr. Segmental multicystic dysplastic kidney: a rare situation. *J Pediatr Urol*. 2011;7:491-494.
 42. Bozorgi F, Connolly LP, Bauer SB, et al. Hypoplastic dysplastic kidney with a vaginal ectopic ureter identified by technetium-99m-DMSA scintigraphy. *J Nucl Med*. 1998;39:113-115.
 43. Bengtsson C, Hood B. The unilateral small kidney with special reference to the hypoplastic kidney. Review of the literature and authors' points of view. *Int Urol Nephrol*. 1971;3:337-351.
 44. Whittam BM, Calaway A, Szymanski KM, et al. Ultrasound diagnosis of multicystic dysplastic kidney: is a confirmatory nuclear medicine scan necessary? *J Pediatr Urol*. 2014;10:1059-1062.
 45. Hannallah A, Baker ZG, De Filippo RE, Sparks SS, Ko J, Vasquez E. Utility of renal scintigraphy in diagnosis of multicystic dysplastic kidney. *J Clin Ultrasound*. 2022;50:854-861.

46. Ismaili K, Hall M, Ham H, Piepsz A. Evolution of individual renal function in children with unilateral complex renal duplication. *J Pediatr*. 2005;147:208-212.
47. Peppas DS, Skoog SJ, Canning DA, Belman AB. Nonsurgical management of primary vesicoureteric reflux in complete ureteral duplication: is it justified? *J Urol*. 1991;146:1594-1595.
48. Ossandon F, Androulakis P, Ransley PG. Surgical problems in pelviureteral junction obstruction of the lower moiety in incomplete duplex systems. *J Urol*. 1981;125:871-872.
49. Perez-Fentes D, Cortes J, Gude F, García C, Ruibal A, Aguiar P. Does percutaneous nephrolithotomy and its outcomes have an impact on renal function? Quantitative analysis using SPECT-CT DMSA. *Urolithiasis*. 2014;42:461-467.
50. Jackson P, Foroudi F, Pham D, et al. Short communication: timeline of radiation-induced kidney function loss after stereotactic ablative body radiotherapy of renal cell carcinoma as evaluated by serial (99m)Tc-DMSA SPECT/CT. *Radiat Oncol*. 2014;9:253.