

# Endokrin Hastalıklarda Fonksiyonel Görüntüleme - Nükleer Tıp

## Functional Imaging in Endocrine Diseases - Nuclear Medicine

Emine Göknur Işık, Yasemin Şanlı

*İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye*

### ÖZ

Endokrin organ hastalıklarında fonksiyonel görüntüleme, anatomik yöntemlere ek olarak metabolik ve sekresyonel bilgi sağlar. Tiroid, paratiroid, adrenal bez ve pankreatik nöroendokrin tümörlerde kullanılan radyofarmasötikler, lezyonların fonksiyonel durumunu ortaya koyarak tanı, ayırıcı tanı ve tedavi planlamasına katkı sunar. Radyonüklid görüntüleme, özellikle çok bezli tutulum, reseptör ekspresyonu ya da hormon üretim kapasitesine dair bilgilerle klinik yönetimi destekler.

**Anahtar Kelimeler:** Tiroid sintigrafisi, [<sup>99m</sup>Tc] sestamibi, [<sup>18</sup>F] FDG, MIBG, somatostatin reseptör görüntüleme, [<sup>68</sup>Ga] DOTATATE, adrenal hastalıklar, nöroendokrin tümörler

### ABSTRACT

Functional imaging plays a complementary role to anatomical methods by providing metabolic and secretory information in endocrine organ disorders. Radiopharmaceuticals used for the evaluation of the thyroid, parathyroid, adrenal glands, and pancreatic neuroendocrine tumors reveal the functional status of lesions, thereby contributing to diagnosis, differential diagnosis, and treatment planning. Radionuclide imaging supports clinical management, particularly by demonstrating features such as multiglandular involvement, receptor expression, or hormone production capacity.

**Keywords:** Thyroid scintigraphy, [<sup>99m</sup>Tc] sestamibi, [<sup>18</sup>F] FDG, MIBG, somatostatin receptor imaging, [<sup>68</sup>Ga] DOTATATE, adrenal disease, neuroendocrine tumors

### ÖĞRENME HEDEFLERİ

- Tiroid, paratiroid, adrenal bezler ve pankreas görüntülemede kullanılan nükleer tıp yöntemlerini bilmek ve protokolleri tanımlayabilmek.
- Sintigrafik yöntemlerde görüntülemeyi etkileyebilecek faktörleri öğrenmek.
- Tiroid paratiroid, adrenal bezler ve pankreas nükleer tıp görüntülemesinde normal ve anormal bulguları ayırt edebilmek.
- Endokrin sistemle ilgili hastalıklarda nükleer tıp testlerinin gerektiği durumları anlayıp yönlendirebilmek.
- Multidisipliner klinik karar süreçlerinde görüntüleme uzmanlarının yaklaşımını destekleyebilmek.

### GİRİŞ

Endokrin sistem hastalıkları, hormon üreten bezlerin fonksiyonel bozukluklarına bağlı olarak ortaya çıkan bir grup klinik tablodur. Bu hastalıkların tanısı çoğunlukla biyokimyasal testlerle konulup takipleri yapılsa da etkilenen bezin anatomik olarak lokalize edilmesi ve fonksiyonel özelliklerinin değerlendirilmesi klinik yönetime katkıda bulunmaktadır. Anatomik görüntüleme yöntemleri, başta konvansiyonel ultrasonografi (USG) olmak üzere kesitsel incelemeler olan

bilgisayarlı tomografi (BT) ve magnetik rezonans görüntüleme (MRG) ile çoğu zaman yapısal bilgi sağlarken fonksiyonel görüntüleme, organ veya lezyonun metabolik ya da sekresyonel aktivitesine dair bilgi sunarak tanı ve ayırıcı tanıyı kolaylaştırır. Özellikle tiroid, paratiroid ve adrenal bezler gibi endokrin organlarda, nükleer tıp teknikleri bu değerlendirmede önemli avantajlar sağlar.

Günümüzde radyonüklid görüntüleme, sadece nodül veya lezyon varlığını değil, fonksiyonunu, hormon üretim



**Yazışma Adresi/Address for Correspondence:** Emine Göknur Işık Dr, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

**E-posta:** egoknur@istanbul.edu.tr **ORCID ID:** orcid.org/0000-0002-3786-8052

**Geliş Tarihi/Received:** 01.12.2025 **Kabul Tarihi/Accepted:** 09.12.2025 **Yayınlanma Tarihi/Publication Date:** 17.12.2025

**Cite this article as:** Işık EG, Şanlı Y. Functional imaging in endocrine diseases - nuclear medicine. *Trd Sem.* 2025;13(3):459-473



Copyright© 2025 Yazar(lar). Türk Radyoloji 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.

kapasitesini, organifikasyon yeteneğini ve hatta multiglandüler tutulum gibi karmaşık senaryoları değerlendirebilme kapasitesiyle klinik pratiğin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Ayrıca, tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi (SPECT)/BT ve pozitron emisyon tomografisi (PET)/BT gibi hibrit teknolojiler sayesinde hem anatomik hem fonksiyonel veriler aynı anda elde edilebilmekte, bu da cerrahi planlamada ve tedaviye yanıt değerlendirmede üstünlük sağlamaktadır.

Bu derleme makalesinde, endokrin hastalıkların tanısında kullanılan başlıca fonksiyonel görüntüleme yöntemleri gözden geçirilecek; kullanılan radyofarmasötikler, tutulum mekanizmaları, endikasyonlar, yorumlama kriterleri ve yorumlamada karşılaşılan başlıca zorluklara değinilecektir. Farklı ajanların histopatolojik alt türlere, fonksiyonel duruma ve tedavi planına göre değişen katkıları vurgulanacak böylece görüntüleme pratiğinde bu yöntemlerin yeri ve multidisipliner karar süreçlerindeki önemi ortaya konacak ve görüntüleme uzmanlarının kliniğe yaklaşımını destekleyecektir.

## TIROID BEZİNİN FONKSİYONEL GÖRÜNTÜLEMESİ

Tiroid bezi hastalıkları, klinik pratikte en sık karşılaşılan endokrin bozukluklar arasında yer alır. Tiroid fonksiyonunun bozulduğu durumlarda, tanının doğrulanması ve uygun tedavi yaklaşımının belirlenmesinde fonksiyonel görüntüleme yöntemlerinin katkısı önemlidir. Anatomik görüntüleme modaliteleri (USG, BT, MRG) yapısal bilgi sunarken; nükleer tıp temelli fonksiyonel görüntüleme teknikleri tiroid bezinin iyot metabolizması, hormon sentezi ve fonksiyonel heterojenitesi gibi fizyolojik parametreleri ortaya koyar [1]. USG gibi anatomik yöntemler tiroide izlenen nodül yapısını ve vaskülaritesini ayrıntılı şekilde gösterse de fonksiyonel durum hakkında sınırlı bilgi verir. Bu nedenle sintigrafik yöntemler, özellikle düşük tiroid uyarıcı hormon düzeyine sahip hastalarda tiroid nodüllerinin fonksiyonunu belirlemek, hipertiroidi nedenlerini belirlemek ve konjenital hipotiroidi gibi durumlarda tiroid bezinin varlığını, yerleşimini ve fonksiyonunu saptamak amacıyla klinik olarak değerlidir [2].

Tiroid bezi normal fonksiyonu sırasında doğada bulunan I-127'yi kullanır. Sintigrafi veya uptake testinde ise doğal iyot yerine radyoaktif iyot formları (I-123 veya I-131) kullanılarak fonksiyon bilgisi elde edilir [2]. Radyoaktif iyot verildikten 2 saat sonra tiroid follikül hücreleri tarafından alınır (*uptake*) ve 24. saatte organifiye olur. Bu mekanizmadan yararlanarak görüntüleme yapılır. I-123 tiroid görüntülemede optimum enerji aralığı (159 KeV), yarı ömrü (13 saat) ve doğal iyotu taklit etmesi nedeniyle en ideal ajan olmakla birlikte pahalı olması ve erişiminin sınırlı olması nedeniyle günlük pratikte hızlı, ucuz, kolay uygulanabilir olması ve benzer molekül çapı nedeniyle Teknesyum-99m-perteknetat ( $^{99m}\text{Tc}$ ) kullanılmaktadır [1, 2].  $^{99m}\text{Tc}$  perteknetat da tiroid bezi tarafından alınır, buradaki en önemli fark teknesyumun 15 dakikada tiroid hücresine alınması

ancak organifikasyona girmede için 20-30 dakika içinde tiroid bezinden atılmasıdır.  $^{99m}\text{Tc}$  perteknetat hormon sentezini değerlendiremez, yalnızca sodyum iyot simporter ekspresyonunu gösterir [3]. I-131 ise uzun yarı ömrü (8,02 gün), beta radyasyon içeriği ve yüksek gama enerjisi (364 KeV) nedeniyle tanısıl amaçla genellikle tercih edilmez [2]. Ancak hipertiroidi ve diferansiye tiroid kanserlerinin tedavisinde tercih edilmektedir. Radyoaktif iyot tedavi sonrası tüm vücut görüntülemesi ve takipte düşük doz (2-5 mCi) tüm vücut tarama da yine kullanılan önemli bir fonksiyonel görüntüleme yöntemidir.

$^{99m}\text{Tc}$  sestamibi, lipofilik yapısı sayesinde hücre membranını geçerek mitokondride birikir. Malign hücrelerdeki artmış mitokondriyal membran potansiyeli ve metabolik aktivite nedeniyle, bu ajanın tutulumu benign dokulara göre anlamlı şekilde artış gösterebilir. Bu özellik sayesinde malign tiroid nodüllerinin değerlendirilmesinde diagnostik fayda sağlayabilir [4]. Avrupa Tiroid Derneği tarafından soğuk nodüllerin benign/malign ayrımında kullanımı onaylanmıştır. Anatomik görüntülemenin de eklendiği SPECT-BT görüntüleri ile duyarlılık artmaktadır.

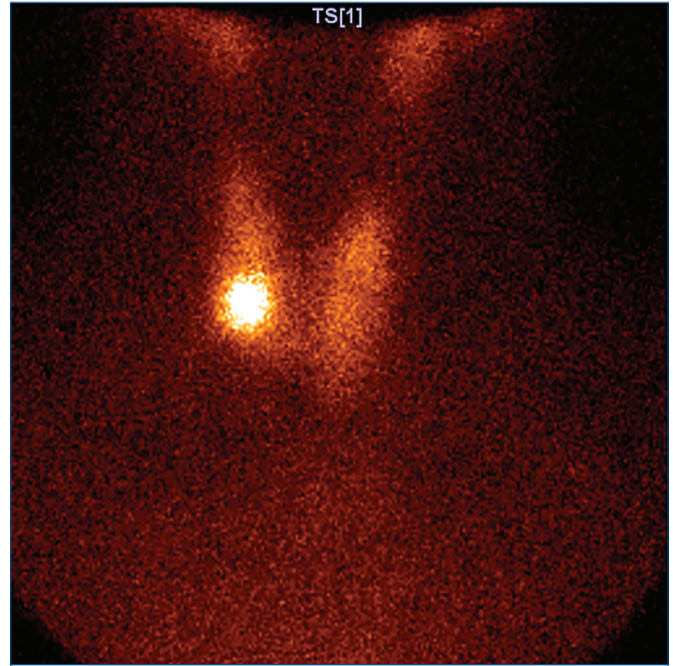
Flor-18 floro-deoksi-glukoz ( $^{18}\text{F}$  FDG) PET/BT ise özellikle dediferansiye tiroid kanserlerinde artmış glukoz metabolizmasını saptamak için kullanılır. Glukoz taşıyıcı proteinler (GLUT) ve heksokinaz (HK) enzimlerinin dediferansiye tiroid kanserlerinde artmış ekspresyonu,  $^{18}\text{F}$  FDG'nin hücre içine alımını ve hücre içinde tutulmasını sağlar. Bu mekanizma, agresif ya da radyoiyota refrakter diferansiye tiroid kanserlerinde tanı ve evreleme açısından önemli bir avantaj sunar [4]. İnsidental saptanan nodüllerde ise %1-3 oranında  $^{18}\text{F}$  FDG tutulumu görülebilir. Tiroid bezinde tespit edilen hipermetabolik nodüllerin %30-35'inde tiroid kanseri tespit edilmektedir [5, 6]. Ayrıca  $^{18}\text{F}$  FDG PET/BT anaplastik veya medüller tiroid kanserinde evreleme ve takibin desteklenmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Kullanılan radyofarmasötiklerin özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Ayrıca erişimi sınırlı olmakla birlikte yine diferansiye tiroid kanserlerinin görüntülemesinde bir PET ajanı olan I-124'ten yararlanılmaktadır [7, 8].

### Tiroid Sintigrafisi Endikasyonları:

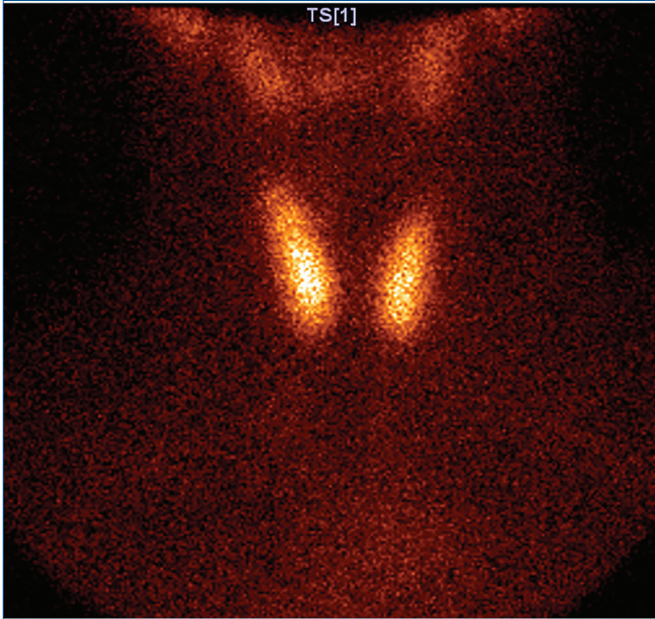
- Primer hipertiroidi nedenlerinin ayrımı (Graves, tiroitid, otonom nodül),
- Nodülün fonksiyonel karakterinin belirlenmesi (soğuk/sıcak),
- Konjenital hipotiroidide tiroidin yeri ve yapısının değerlendirilmesi,
- Tiroidektomi sonrası bakiye doku varlığının belirlenmesi olarak sıralanabilir.

Gebelik iyotlu görüntülemede kesin kontrendikasyon olup, teknesyumda ise rölatif kontraendikasyon olarak yer alır. Emziren annelerde kullanılan radyofarmasötiğe göre emzirmeye ara ya da son verilmelidir.

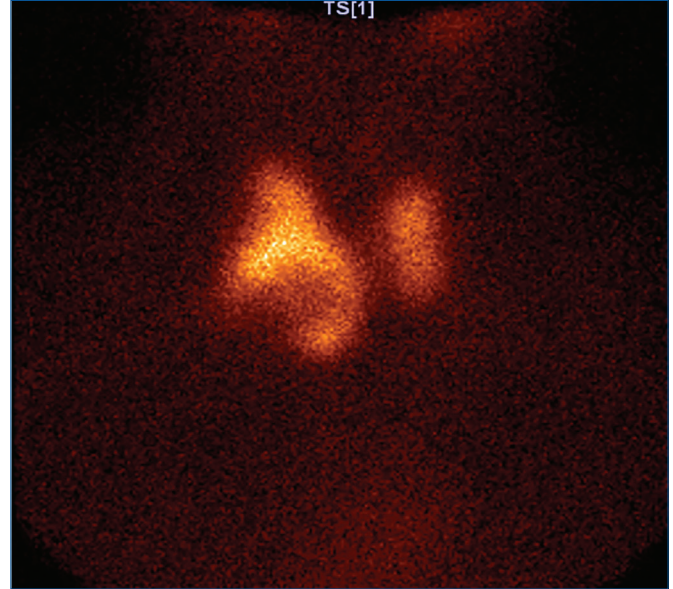
Görüntülemelerde tiroid ve tükürük bezleri görüntü alanında olacak şekilde hasta pozisyonlanır ve uygulanan radyofarmasötiğe göre görüntüleme için geçmesi gereken süre sonunda görüntü kaydedilir. Normal fonksiyon gösteren tiroid bezinde her iki lobda aktivite dağılımı homojendir ve lobların orta kısımlarında doku daha kalın olduğu için daha yoğun bir görünüm izlenir (Resim 1). Normalde sağ lob, sola göre hafifçe büyüktür. İsthmus çeşitli varyasyonlarda görülebilir. Hastaların %10-15'inde ise piramidal lob gözlenebilir. Normal tiroid glandı tükürük bezleri ile eş ya da daha yüksek aktiviteye sahiptir. Fonksiyon arttığında bezde tutulum oranı artarken bez fonksiyonu azaldığında tiroid aktivitesi azalır. Tiroid bezi içerisinde izlenen nodüller sıcak (hiperaktif) (Resim 2), ılık (normoaktif) ya da soğuk (hipoaktif) nodül (Resim 3) olarak değerlendirilir. Soğuk nodüllerin malignite potansiyeli normoaktif ve hiperaktif nodüllere göre daha yüksektir. Bu nedenle multinodüler guatrlarda hangi nodülden örnekleme yapılacağını belirlemede tiroid sintigrafisi önemli rol oynar. Biyokimyasal hipertiroidi durumunda ise Graves (Resim 4) ve toksik nodüler guatr (Resim 5) ile diğer tirotoksikoz nedenleri olan tiroiditin (Resim 6) ayırıcı tanısında kullanılır [1, 9].



**Resim 2.** Hiperaktif nodül, sağ lob alt pol yerleşimli hiperaktif nodül.



**Resim 1.** Normal tiroid sintigrafisi.

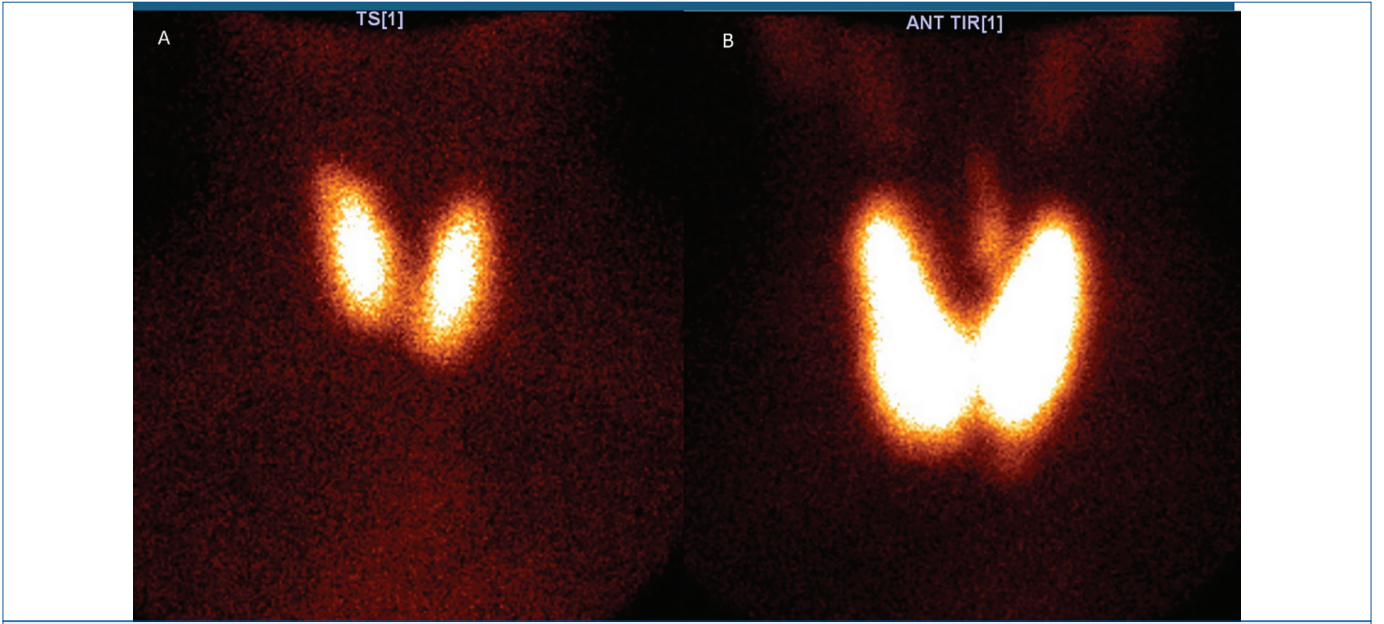


**Resim 3.** Hipoaktif nodül, sağ lob alt polde hipoaktif karakterde nodül.

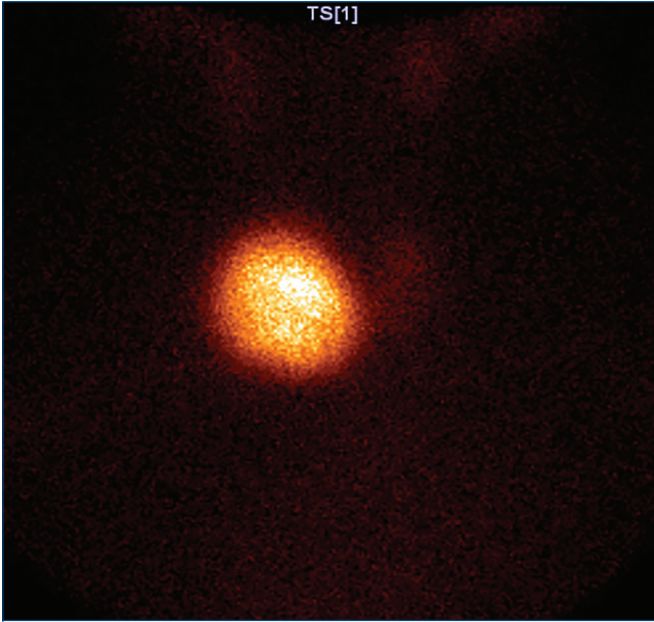
**Tablo 1. Tiroid görüntülemelerde kullanılan radyofarmasötiklerin özellikleri**

| Radyofarmasötik       | [ <sup>131</sup> I] | [ <sup>123</sup> I] | [ <sup>99m</sup> Tc] Perteknetat | [ <sup>99m</sup> Tc] sestamibi | [ <sup>18</sup> F] FDG    |
|-----------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Uygulama yolu         | Oral                | Oral                | İntravenöz                       | İntravenöz                     | İntravenöz                |
| Erişkin dozu (MBq)    | 0.15-0.37           | 7.4-14.8            | 74-111                           | 185-370                        | 200-370                   |
| Gamma enerjisi (keV)  | 364                 | 159                 | 140                              | 140                            | 511                       |
| Fiziksel yarı ömür    | 8.02 gün            | 13.2 saat           | 6.04 saat                        | 6.04 saat                      | 110 dakika                |
| Efektif doz (mSv/MBq) | 11                  | 0.20                | 0.013                            | 0.009                          | 0.02 (PET)/ 0.04 (PET/BT) |

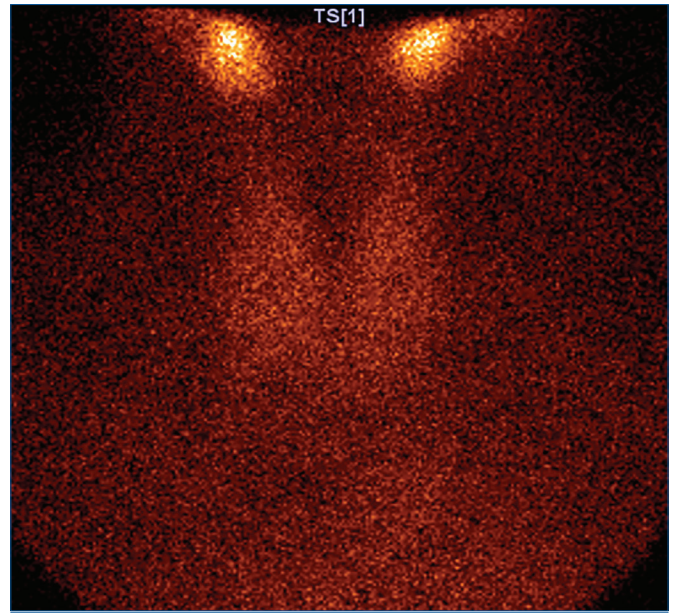
mSv, milisivert; MBq, megabekerel; PET/BT, pozitron emisyon tomografisi/bilgisayarlı tomografi; [<sup>99m</sup>Tc], Teknesyum99m; [<sup>18</sup>F] FDG, flor-18 floro-deoksi-glukoz.



**Resim 4.** Diffüz hiperplazi (A) ve Graves hastalığına bağlı (B) görünüm. Zemin aktivite ve tükrük bezi aktivitesi azalmış (B) görselinde piramidal loba ait sol lobdan yukarı uzanan aktivite izlenmekte.



**Resim 5.** Toksik nodüler guatr. Sağ lobda, lobu tamamen kaplayan hiperaktif tek nodül ve bezin diğer kısımlarında tam supresyon ile uyumlu görünüm.



**Resim 6.** Düşük uptake ile uyumlu tiroid sintigrafisi. Hipertiroidi kliniği olan hastada tiroidit ile uyumlu görünüm.

Ektopik tiroid doku araştırılmasında (mediasten, lingual ya da tiroglossal kistte tiroid varlığı) tiroid sintigrafisi önemli bir görüntüleme yöntemidir.

**Tiroid tarafından iyot ve iyot analoglarının tutulumu, hastanın yakın dönemde maruz kaldığı iyot içeren ilaçlar, kontrast maddeler ve tiroid fonksiyonunu etkileyen tedavilerden önemli ölçüde etkilenir. Bu nedenle tiroid sintigrafisi veya radyoiyot**

**tedavisi planlanırken, bu maddelerin kullanım öyküsünün dikkatle sorgulanması ve uygun kesilme sürelerine uyulması gerekir.** Amiodaron ve yağ bazlı iyotlu kontrast maddeler en uzun süre etki gösteren ajanlardır ve iyot tutulumu 3-6 ay boyunca baskılanabilir. Daha sık karşılaşılan intravenöz iyotlu kontrast maddeler ise genellikle 1-2 ay süreyle tiroide iyot alımını azaltır. İyot içeren ilaçlar, antiseptikler ve lugol gibi iyot solüsyonları ise genellikle 4 hafta kadar iyot alımını etkiler. Levotiroksin (LT4) 4 hafta, lioironin (LT3) ise görüntülemeyi

2 hafta önce kesilmelidir. Anti-tiroid ilaçlar (metimazol, karbimazol veya propiltiourasil) daha kısa etkili olduğundan iyot izotopları ile yapılacak uptake ve görüntüleme öncesi genellikle 3-7 gün önceden bırakılması yeterlidir. Perklorat kullanımı ise tiroid tutulumunu baskıladığından, en az 1 hafta öncesinde kesilmelidir. Bu süreler, özellikle radyoaktif iyot tutulum testi, tanısal radyoiyot sintigrafisi veya ablasyon tedavisi öncesinde doğru hazırlığın yapılması açısından kritik öneme sahiptir [2].

### Medüller Tiroid Kanseri Fonksiyonel Görüntüleme

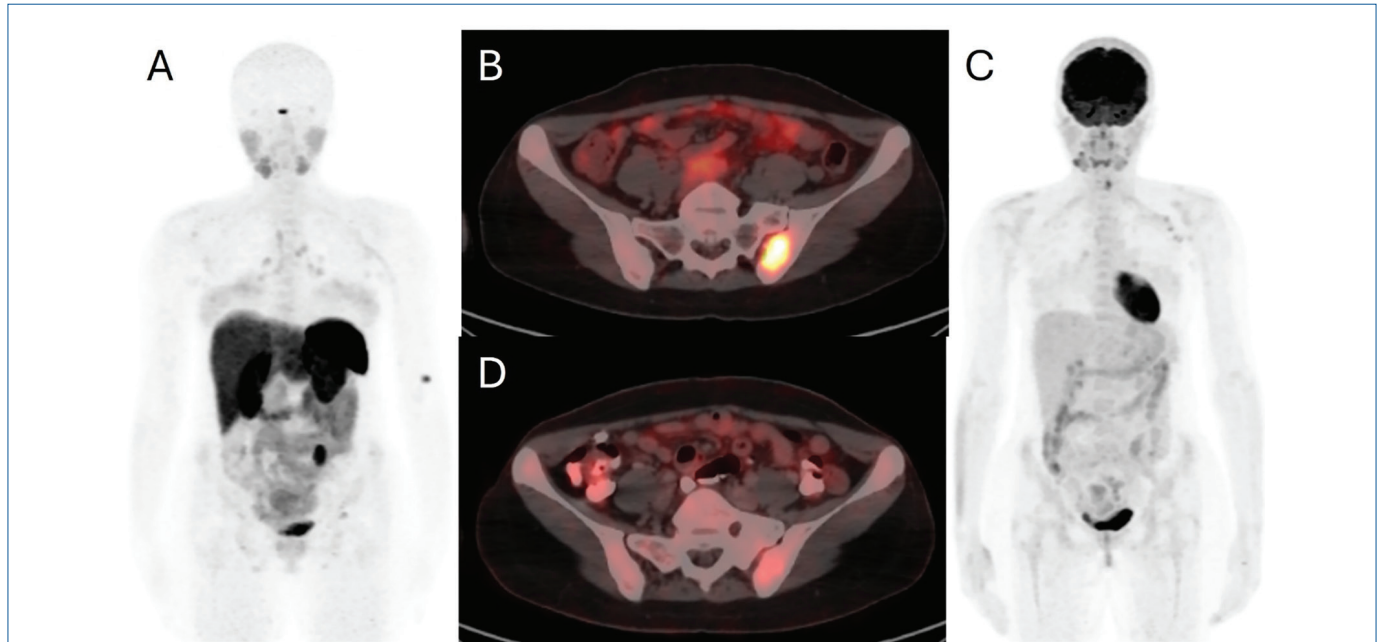
Medüller Tiroid kanseri parafoliküler C hücrelerinden kaynaklanan tiroid kanserlerinden biridir [10]. Görüntüleme konvansiyonel ve kesitsel radyolojik görüntülemeler ilk tercih olmakla birlikte özellikle operasyon sonrası nüks ve rekürrens hastalık tetkikinde nükleer tıp görüntüleme yöntemleri öne çıkmaktadır. [<sup>18</sup>F] FDG PET/BT özellikle glukoz metabolizması üzerinden görüntüleme sağlaması nedeniyle karsinoembriyonik antijen (CEA) ve kalsitonin yüksekliği olan medüller tiroid kanserli hastalarda olası lenf nodu metastazı ve uzak metastazları gösterebilir [11, 12]. Bunun dışında kılavuzlardaki ilk tercih [<sup>18</sup>F] dihidroksifenilalanin (FDOPA) PET/BT (DOPA) olarak bildirilmektedir [13, 14]. Bir diğer alternatif ise Galyum-68 ([<sup>68</sup>Ga]) DOTATATE PET/BT [somatostatin reseptörü (SSTR)] görüntülemesidir [14]. Her bir görüntüleme yöntemi farklı mekanizmayla hastalık ile ilgili bilgi vermektedir (Resim 7). DOPA, erken nöroendokrin diferansiyasyonun; FDG

ise dediferansiyasyonun bir göstergesidir. Yapılan çalışmalar CEA'nın belirgin yüksek olduğu medüller tiroid kanseri hastalarında öncelikle FDG, kalsitoninin yüksekliğinde ise DOPA ve SSTR kullanımını önermektedir [15]. SSTR, peptid reseptör radyonüklid tedavi (PRRT) planlamasında belirleyici olabilir [16, 17]. Tiroid görüntülemesinde kullanılan radyofarmasötikler Tablo 2 de özetlenmiştir.

### PARATİROİD BEZİNİN FONKSİYONEL GÖRÜNTÜLEMESİ

Paratiroid bezleri, kalsiyum fizyolojisinin ve kemik homeostazının anahtar düzenleyicileridir [18, 19]. Paratiroid bezleri genellikle tiroid bezinin her iki üst ve alt komşuluğunda yerleşimli kalsiyum metabolizmasından sorumlu endokrin bezidir [20]. Paratiroid bez sayısı genellikle dört olmakla birlikte hastaların %13'ünde 4'ten fazla %3 ünde ise 2'den az olabilmektedir. Boyutları genellikle 5 mm'yi ağırlığı ise 40 mg'ı geçmez. Büyümedikleri takdirde anatomik ve fizyolojik olarak görüntülenmezler. Primer hiperparatiroidi (pPHT) başta olmak üzere metabolik bozukluklarda gelişen boyut artışı ile tespit edilebilirler [19].

Parathormon (PTH) serum düzeylerinin artmasıyla tanımlanan hiperparatiroidizm (HPT), primer, sekonder veya tersiyer olabilir. pPHT'nin bilinen en sık sebebi %85 oranla soliter paratiroid adenomudur. Olguların %1 kadarı paratiroid karsinomundan kaynaklanır. Kalanlar ise çift adenom ya da



**Resim 7.** Medüller tiroid kanseri nedeniyle tetkik edilen hastada (Kalsitonin 25731 ng/dL ve CEA:28.8 ng/dL) [<sup>68</sup>Ga] DOTATATE MIP (A), aksiyal füzyon (B) ve [<sup>18</sup>F] FDG PET/BT MIP (C), aksiyal füzyon (D) görüntülerinde sol iliak kemikte metastaza ait farklı oranlarda aktivite tutulumu.

CEA, karsinoembriyonik antijen; <sup>68</sup>Ga, Galyum 68; [<sup>18</sup>F] FDG, flor-18 işaretli florodeoksiglukoz; PET/BT, pozitron emisyon tomografisi/bilgisayarlı tomografi; MIP, maksimum yoğunluk projeksiyonu

Tablo 2. Tiroid görüntülemelerde kullanılan radyofarmasötikler, endikasyon ve etki mekanizmaları

| Yöntem                       | Radyofarmasötik                          | Hedef mekanizma                          | Başlıca endikasyonlar                                    | Notlar/avantajlar                                                             |
|------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Perteknetat sintigrafisi     | [ <sup>99m</sup> Tc] Perteknetat         | NIS aracılığıyla hücre içine aktif geçiş | Nodül değerlendirmesi, Graves hastalığı                  | Hızlı, yaygın, hormon sentezini değerlendirmez                                |
| Radyoaktif iyot sintigrafisi | [ <sup>123</sup> I], [ <sup>131</sup> I] | NIS+ organifikasyon                      | DTC tanı ve takip, ablasyon sonrası rezidü/metastaz      | [ <sup>123</sup> I], görüntüleme için ideal, [ <sup>131</sup> I] tedavi edici |
| Sestamibi sintigrafisi       | [ <sup>99m</sup> Tc] Sestamibi           | Mitokondriyal tutulum                    | Hürthle hücreli lezyonlar, paratiroid ayırıcı tanı       | Tiroid dışı mitotik lezyonlarda da tutulabilir                                |
| FDG PET/BT                   | [ <sup>18</sup> F] FDG                   | Glukoz metabolizması                     | De-diferansiye tiroid kanseri, Tg(+)/I(-) olgular        | Metastaz araştırması ve tedavi yanıtı için etkili                             |
| FDOPA PET/BT                 | [ <sup>18</sup> F] FDOPA                 | Amino asit prekürsör metabolizması       | Medüller tiroid kanserinde (erken evre, iyi diferansiye) | Nöroendokrin diferansiyasyonu gösterir                                        |
| DOTATATE PET/BT              | [ <sup>68</sup> Ga] DOTATATE             | Somatostatin reseptörü ekspresyonu       | Medüller tiroid kanseri, PRRT planlaması                 | SSTR pozitiflik tanımlamada ve tedavi seçimi için                             |

PRRT, peptid reseptör radyonüklid tedavi; <sup>99m</sup>Tc, Teknesyum 99m; <sup>68</sup>Ga, Galyum 68; NIS, sodyum-iyot simporter; DTC, diferansiye tiroid kanseri; PRRT, peptid reseptör radyonüklid tedavi.

hiperplazi kaynaklıdır. Paratiroid bezlerinin embriyolojik göç yolu nedeniyle ektopik yerleşimler nadir değildir ve %15'i ektopik yerleşimli olup dil kökü ile mediasten arasında bir yerde bulunabilir [18, 19, 21].

Avrupa Nükleer Tıp Derneği'nin (EANM) 2021 yılında güncellediği paratiroid görüntüleme kılavuzu, hiperfonksiyonel paratiroid bezlerinin preoperatif lokalizasyonunda nükleer tıp yöntemlerinin belirleyici rolünü vurgulamaktadır [18]. Normal paratiroid bezlerinde sintigrafide aktivite tutulumu görülmez. pPHT'zmd minimal invaziv cerrahinin başarısı, en az bir veya birden fazla bezin doğru şekilde saptanmasına bağlıdır. Bu amaçla en yaygın kullanılan yöntem [<sup>99m</sup>Tc] sestamibi sintigrafisidir; tek fazlı veya çift fazlı protokoller ve SPECT/BT ile birleştirildiğinde doğruluk oranı belirgin biçimde artmaktadır. Hiperfonksiyonel paratiroid dokularında artmış mitokondri yoğunluğu ve oksifil hücre içeriği, [<sup>99m</sup>Tc] sestamibi ve [<sup>99m</sup>Tc] tetrofosmin gibi lipofilik katyonik ajanların hücre içi tutulumu için temel biyokimyasal zemini oluşturur. Bu ajanlar mitokondriyal membran potansiyeline bağlı olarak pasif diffüzyonla hücre içine girer, paratiroid ve tiroid dokusunda tutulur ancak paratiroid dokuda tiroid dokusuna göre daha uzun süre kalır; böylece çift fazlı tek-tracer (*dual-phase*) veya çift-tracer (*dual-tracer*) protokollerle ayırıcı değerlendirme yapılabilir (Resim 8) [18]. EANM kılavuzu, erken (10-15 dk) ve geç (90-150 dk) fazların birlikte değerlendirilmesini, mümkünse SPECT/BT görüntülemesi ile anatomik lokalizasyonun daha duyarlı yapılabileceğini bildirmektedir [18]. Paratiroid sintigrafisi, boyun ve mediastenin aynı anda görüntülenmesi sayesinde ektopik adenomların saptanması açısından avantajlı bir yöntemdir. Ayrıca hastalığa bağlı oluşabilen Brown tümörleri de tüm vücut tarama ile tespit edilebilir. pPHT'li olgularda cerrahi planlama öncesi en uygun ilk basamak görüntüleme yaklaşımı, deneyimli bir radyolog tarafından yapılan servikal USG ile [<sup>99m</sup>Tc] sestamibi SPECT

veya SPECT/BT'nin kombinasyonudur [22]. Yirmi üç çalışmanın değerlendirildiği 1236 hastalık bir meta-analizde pHPT'de [<sup>99m</sup>Tc] MIBI deteksiyon oranı %88 olarak bildirilmiştir [23]. Ancak adenomda oksifilik hücre varlığının az olması, dolayısı ile mitokondri içeriğinin düşük olması, düşük PTH değerleri, multi-glandüler hastalık varlığı, p-glikoprotein ekspresyonu yöntemin duyarlılığını azaltır. Bununla birlikte multinodüler guatr varlığı ise yanlış pozitifliklere neden olabilir. Sekonder veya tersiyer HPT'de duyarlılık daha düşüktür. Özellikle klasik görüntüleme ile sonuç alınamayan olgularda, [<sup>18</sup>F] Florokolin PET/BT daha yüksek uzaysal çözünürlük, kısa çekim süresi ve daha düşük radyasyon dozu ile öne çıkmaktadır. [<sup>18</sup>F] Florokolin artmış kolin kinaz aktivitesi ile hiperaktif paratiroid dokuda birikir. Kolin, fosfolipid membranlara entegre olur. Tutulum düzeyi, kolin kinaz aktivitesine bağlıdır; bu enzimler proliferatif hücrelerde artmıştır. Aşırı çalışan paratiroid bezlerinde ve yüksek PTH varlığında tutulum artar. On dört çalışmanın meta-analizinde duyarlılık %95, hasta bazında duyarlılık: %85-100, lezyon bazında duyarlılık %71-100 ve özgüllük ise %95-100 bildirilmiştir [24]. [<sup>18</sup>F] Florokolin PET/BT, tek adenomu bulunan olgularda intraoperatif PTH ölçümüne gerek kalmadan minimal invaziv cerrahiye yönlendirebilecek düzeyde güvenilir bulunmuştur [24]. Enflamatuvar lezyonlar, benign/malign tümörlerde (tiroid kanseri, paratiroid karsinomu, lenf nodu metastazları) yanlış pozitiflikler görülebilirken cerrahi sonrası nüks HPT, multiglandüler hiperplazi (ör: MEN I), ektopik veya intratiroidal paratiroidlerde ise yanlış negatiflikler izlenebilir. Dolayısıyla EANM, pPHT'zmd ilk basamak olarak [<sup>99m</sup>Tc] sestamibi SPECT/BT ve servikal USG'nin birlikte kullanılması, negatif veya şüpheli olgularda ise [<sup>18</sup>F] Florokolin PET/BT'nin ikinci basamak ya da alternatif bir görüntüleme seçeneği olarak değerlendirilmesini önermektedir [18].

Siklotron bulunan ünitelerde yerinde (on site) üretimle [ $^{11}\text{C}$ ] kolin PET/BT [25] ve [ $^{11}\text{C}$ ] methionine kullanılabilir. Her iki ajan da bu nedenle daha az yaygındır ve sınırlı merkezde erişilebilir. Duyarlılık ve doğruluk [ $^{18}\text{F}$ ] Florokolin gibi yüksek bildirilmekle birlikte [25, 26] kısa yarı ömrü (20,4 dakika) ve yüksek maliyeti kısıtlılık yaratır. Nüks lezyonlar, küçük adenomlar, multiglandüler tutulumda faydalı olabilir.

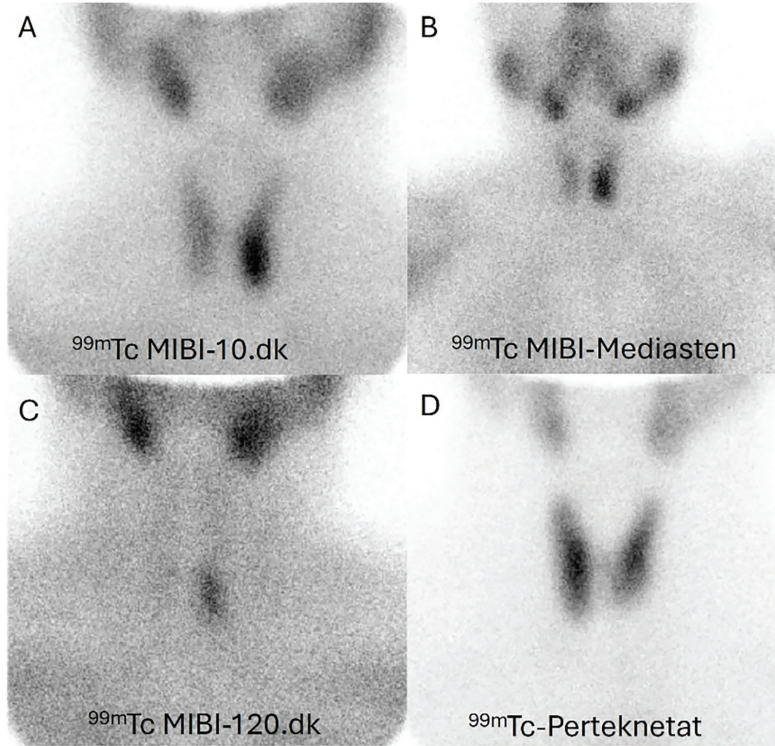
Son yıllarda geliştirilen ve  $\alpha\text{v}\beta 6$  integrin ekspresyonunu hedefleyen [ $^{68}\text{Ga}$ ] Trivehexin, epitel kaynaklı tümörlerin görüntülenmesinde kullanım alanı bulmuş ancak yakın zamanda yapılan çalışmalar bu ajanı paratiroid adenomlarının lokalizasyonunda da umut vadeden bir seçenek olarak ön plana çıkarmıştır. pPHT'li hastalarda [ $^{68}\text{Ga}$ ] Trivehexin PET/BT ile yüksek tutulum gösteren paratiroid lezyonları tespit edilmiş; bu yöntemin, anatomik görüntüleme veya geleneksel radyonüklid görüntüleme yöntemlerine kıyasla üstün lokalizasyon başarısı sunduğu rapor edilmiştir. Bu öncül bulgular, özellikle tekrarlayan hastalık, çoklu gland tutulumu ya da konvansiyonel görüntülemenin yetersiz kaldığı olgularda [ $^{68}\text{Ga}$ ] Trivehexin'in potansiyel kullanımını gündeme getirmektedir [27].

## ADRENAL BEZLERİN FONKSİYONEL GÖRÜNTÜLEMESİ

Adrenal bezin korteksi ve medullası hem embriyolojik kökenleri hem de endokrin fonksiyonları bakımından belirgin farklılıklar gösterir. Bu ayırım, fonksiyonel görüntülemeye tercih edilen radyofarmasötik ajanların ve teknik yaklaşımların hastalığın kaynağına göre özelleştirilmesini gerekli kılar. **Medüller tümörlerde nöroendokrin aktivite veya SSTR aktivitesi görüntülenirken, kortikal patolojilerde steroid sentezine ilişkin metabolik yollar hedeflenmektedir** [28, 29].

### Adrenal Medullanın Fonksiyonel Görüntülemesi

Adrenal medulladan kaynaklanan feokromositoma ve ekstra-adrenal yerleşimli feokromositoma ve paraganglioma, genellikle katekolamin üreten nadir nöroendokrin tümörlerdir (NET) [30, 31]. Hastalık katekolamin salınımının yol açtığı ataklarla seyreden şiddetli hipertansiyon, baş ağrısı, tremor, terleme ve çarpıntı gibi semptomlar oluşturur. Bu tümörlerin doğru tanısı ve lokalizasyonu, tedavi planlaması açısından kritik önem taşır. Görüntülenmesinde radyolojik yöntemler ilk planda yer alsa da fonksiyonelliğini değerlendirmek için nükleer tıp görüntülemelerinden yararlanılmaktadır. Fonksiyonel görüntülemeye başlıca iki adet radyonüklid görüntüleme kullanılmaktadır [28, 32, 33]. Bunlar katekolamin



**Resim 8.** Planar paratiroid sintigrafisi ve tiroid sintigrafisi (dual faz- ikili ajan görüntüleme, sol tiroid bezi alt polde erken ve geç statik görüntülerde sebat eden aktivitenin tiroid sintigrafisinde görülmemesi. Bulgular paratiroid adenomu ile uyumludur.

MIBI, metoksi-izobutil-izonitril

transport sistemleri (norepinefrin taşıyıcıları) ile görüntüleme sağlayan  $[^{123}\text{I}]$  ve  $[^{131}\text{I}]$  metaiodobenzylguanidine (MIBG) ve SSTR'leri üzerinden görüntüleme sağlayan  $[^{68}\text{Ga}]$  DOTA bileşikler (en sık DOTATATE)'dir (Tablo 3). Ek olarak non-spesifik tümör görüntüleme ajanı olan  $[^{18}\text{F}]$  FDG PET/BT adrenal tümörlerin metabolik karakterizasyonu, evreleme ve yeniden evrelemesinde kullanılmaktadır [33]. Rutin pratikte kullanılan ajanlara ek olarak endokrin patolojilerde kullanılan PET radyofarmasötikleri Tablo 4'te verilmiştir.

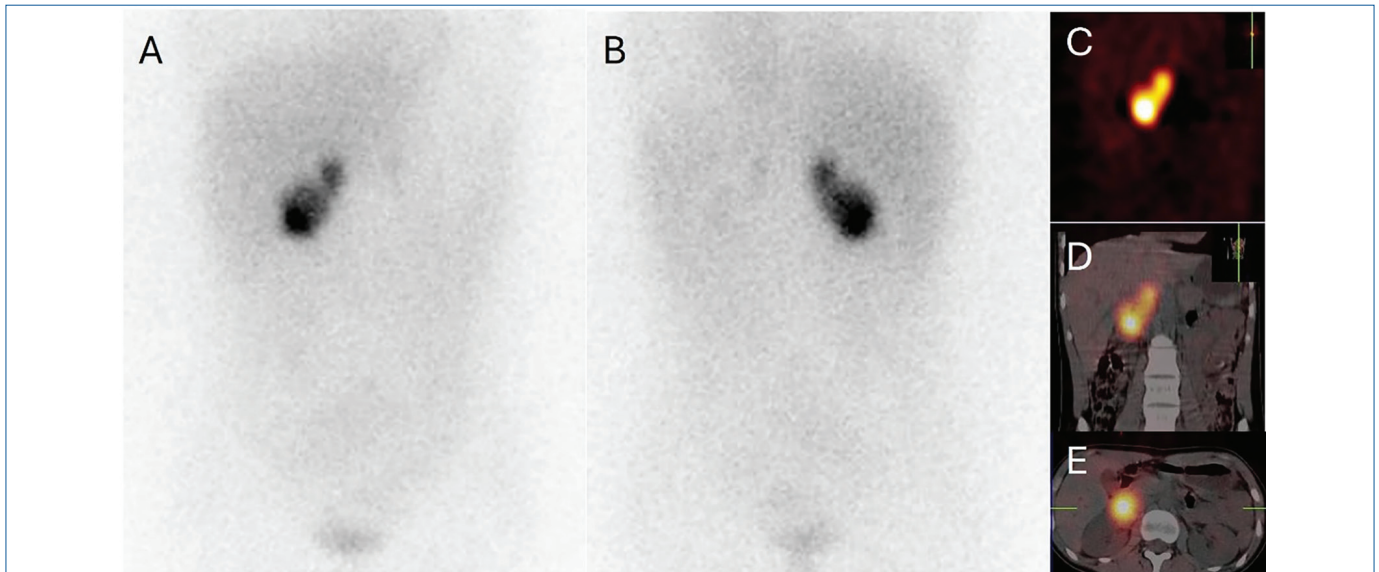
$[^{123}\text{I}]$  ve  $[^{131}\text{I}]$  MIBG sintigrafisinde kullanılan MIBG, bir guanetidin analogudur ve norepinefrin benzeri bir yapı gösterir. MIBG benzoik halka ile iyot izotoplarına bağlanır ve kromafin hücrelerine girer. Hücre içi depo katekolamin granüllerinde birikir ve sinaptik boşluğa salınır [34, 35]. Norepinefrinden farklı olarak post-sinaptik adrenerjik reseptörlere bağlanmaz ve metabolize edilmez. Genellikle rezolüsyonu daha iyi olduğu ve yarı ömrü kısa olduğu için  $[^{123}\text{I}]$  MIBG tercih edilir. Sintigrafinin duyarlılığı %80-90 özgülüğü ise %89-100 aralığındadır [36].

$[^{123}\text{I}]$  MIBG sintigrafisi yüksek özgülüğü nedeniyle spesifik bir görüntüleme yöntemidir. Görüntüleme ile tanı, evreleme, nüks araştırması ve tedaviye uygunluk değerlendirmesi yapılır. Görüntülemede anterior ve posterior tüm vücut ve statik batin görüntülemesine ek olarak SPECT-BT görüntüleri alınmaktadır (Resim 9). Her iki adrenal bezde düşük ve simetrik tutulum fizyolojik kabul edilirken asimetrik geç görüntülerde belirginleşen ve kitle ile uyumlu tutulum feokromositoma lehine yorumlanır. Paragangliomalarda görüntüleme yönteminin duyarlılığı daha düşük olup ekstra adrenal lezyonlarda daha çok  $[^{18}\text{F}]$  FDOPA ve SSTR PET (SSTR) ( $[^{68}\text{Ga}]$  DOTATATE,  $[^{68}\text{Ga}]$  DOTATOC ve  $[^{68}\text{Ga}]$  DOTANOC) görüntülemeler tercih edilmektedir [33]. EANM kılavuzunda hastalık bölge ve alt tipine göre seçilmesi gereken ilk görüntüleme yöntemleri belirtilmiş olup Tablo 5'te gösterilmiştir [33].  $[^{131}\text{I}]$  MIBG ise görüntülemeden ziyade inoperabl yaygın hastalıkta radyonüklid tedavi için kullanılmaktadır.

**Tablo 3. Adrenal medulla görüntülemede kullanılan radyofarmasötiklerin özellikleri**

| Özellik           | $[^{123}\text{I}]$ MIBG                           | $[^{131}\text{I}]$ MIBG | $[^{68}\text{Ga}]$ DOTATATE |
|-------------------|---------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Taşıyıcı          | NET                                               | NET                     | SSTR2                       |
| Sensitivite       | Orta                                              | Orta                    | Yüksek                      |
| Spesifite         | Yüksek                                            | Yüksek                  | Yüksek                      |
| Mutasyonla ilişki | SDHB'de düşük                                     | SDHB'de düşük           | SDHx'de yüksek duyarlılık   |
| Tedaviye katkı    | $[^{131}\text{I}]$ MIBG tedavisine aday belirleme | Evet                    | PRRT aday belirleme         |
| Görüntü kalitesi  | Orta                                              | Düşük                   | Yüksek (PET)                |

MIBG, metaiodobenzylguanidine; NET, norepinefrin taşıyıcısı; SSTR2, somatostatin reseptörü tip 2; SDHB, süksinat dehidrogenaz kompleks alt birimi B; SDHx, süksinat dehidrogenaz gen kompleksi;  $^{68}\text{Ga}$ , Galyum 68.



**Resim 9.** Hipertansiyon ve katekolamin yüksekliği olan hastada, planar (A) ve (B), koronal SPECT (C) koronal füzyon (D) ve aksiyel füzyonda (E) sağ adrenal glandda yerleşimli heterojen  $[^{123}\text{I}]$  MIBG tutulumu gösteren feokromositoma ile uyumlu lezyon.

MIBG, metaiodobenzylguanidine; SPECT, tek foton emisyon bilgisayarlı tomografisi

Doğal somatostatinlerin yeterli stabilitede olmaması ve kısa yarı ömrü nedeniyle sentetik analoglar tedavi ve görüntüleme için kullanılmaktadır. SSTR'leri ise başta gastro-entero-pankreatik (GEP)-NET'lerde olmak üzere, ön hipofiz tümörlerinde, feokromositoma, paraganglioma (Resim 10), nöroblastoma, medüller tiroid kanseri (Resim 7), küçük hücreli akciğer kanseri ve menengioma gibi tümörlerde çeşitli oranlarda bulunur. Ayrıca seçilmiş olgularda ve peptid reseptör radyonüklid tedavi düşünülen hastalarda reseptör yoğunluğunu değerlendirmek

için yapılabilir. SSTR'lerin 5 alt tipi mevcuttur. Bu analoglar da bazı alt tip reseptörlere daha fazla afinite göstermektedir. SSTR tip 2 ekspresyonu, özellikle baş-boyun paragangliomları ve süksinat dehidrogenaz gen kompleksi mutasyonu taşıyan tümörlerde belirgindir [33, 37, 38]. Rutin pratikte en sık kullanılan  $^{68}\text{Ga}$  DOTATATE SSTR reseptör tip 2'ye kuvvetli ve tip 5'e zayıf afinite göstermektedir. Kullanılan diğer ajanlar arasında  $^{68}\text{Ga}$  DOTATOC ve  $^{68}\text{Ga}$  DOTANOC yer alır [33].

**Tablo 4. Endokrin hastalıklarda kullanılan başlıca PET radyofarmasötikleri ve klinik uygulama alanları**

| Radyonüklid                               | Yarı ömür | Üretim yolu     | Hedeflenen yolak                             | Klinik kullanım alanları                                                                                       | Teranostik potansiyel |
|-------------------------------------------|-----------|-----------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| $^{18}\text{F}$ FDG                       | 109.8 dk  | Siklotron       | Glukoz metabolizması (GLUT)                  | Anaplastik tiroid kanseri, farklılaşmamış DTC, MTC, paratiroid karsinomu, adrenal maligniteler (ACC, metastaz) | Hayır                 |
| $^{18}\text{F}$ DOPA                      | 109.8 dk  | Siklotron       | Dopamin sentezi (LAT1)                       | MTC, feokromositoma, paraganglioma, insulinoma                                                                 | Hayır                 |
| $^{11}\text{C}$ Metiyonin                 | 20 dk     | Siklotron       | Amino asit transportu, protein metabolizması | Beyin tümörleri, hipofiz neoplazileri                                                                          | Hayır                 |
| $^{124}\text{I}$ Na                       | 4.2 gün   | Nükleer reaktör | İyot metabolizması (NIS)                     | DTC                                                                                                            | Evet                  |
| $^{18}\text{F}$ TFB                       | 109.8 dk  | Siklotron       | İyot metabolizması (NIS)                     | Preklinik uygulama - DTC                                                                                       | Hayır                 |
| $^{18}\text{F}$ FSO <sub>3</sub>          | 109.8 dk  | Siklotron       | İyot metabolizması (NIS)                     | Preklinik uygulama - DTC                                                                                       | Hayır                 |
| $^{18}\text{F}$ Florokolin                | 109.8 dk  | Siklotron       | Hücre membranı metabolizması                 | Hiperparatiroidizm                                                                                             | Hayır                 |
| $^{11}\text{C}$ Kolin                     | 20 dk     | Siklotron       | Hücre membranı metabolizması                 | Hiperparatiroidizm                                                                                             | Hayır                 |
| $^{68}\text{Ga}$ SST reseptör agonistleri | 67.7 dk   | Jeneratör       | Somatostatin reseptör ekspresyonu            | NET ve hipofiz neoplazileri                                                                                    | Evet                  |
| FAP-hedefli ajanlar                       | 67.7 dk   | Jeneratör       | Aktif fibroblast metabolizması               | Klinik araştırmalar                                                                                            | Evet                  |
| $^{68}\text{Ga}$ PSMA                     | 67.7 dk   | Jeneratör       | PSMA reseptör ekspresyonu                    | Klinik araştırmalar                                                                                            | Evet                  |
| $^{68}\text{Ga}$ Pentixafor               | 67.7 dk   | Jeneratör       | CXCR4 reseptörü                              | Primer aldosteronizm                                                                                           | Evet                  |
| $^{11}\text{C}$ Metomidat                 | 20 dk     | Siklotron       | CYP11B enzimi                                | Primer aldosteronizm                                                                                           | Hayır                 |

$^{18}\text{F}$  FDG, flor-18 florodeoksiglukoz; GLUT, glukoz taşıyıcıları; DTC, diferansiye tiroid kanseri; MTC, medüller tiroid kanseri; ACC, adrenokortikal karsinom; DOPA, dihidroksifenilalanin; LAT1, L-tip amino asit taşıyıcısı 1; Na, sodyum iyodür; NIS, sodyum-iyot simporteri; TFB, tetrafluoroborat; FSO<sub>3</sub>, florosülfonat;  $^{68}\text{Ga}$  SST, Galyum-68 işaretli somatostatin reseptörü agonistleri; NET, nöroendokrin tümör; FAP, fibroblast aktivasyon proteini; PSMA, prostata özgü membran antijen.

**Tablo 5. Feokromositoma (FEO) ve paragangliomalarda önerilen nükleer görüntüleme algoritması**

| Klinik Durum                                                                           | 1. Tercih                                        | 2. Tercih                                       | 3. Tercih (eğer $^{18}\text{F}$ FDOPA veya $^{68}\text{Ga}$ SSA mevcut değilse)                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sporadik Feokromositoma (PHEO)                                                         | $^{18}\text{F}$ FDOPA veya $^{123}\text{I}$ MIBG | $^{68}\text{Ga}$ SSA                            | $^{18}\text{F}$ FDG                                                                                                          |
| Kalıtsal Feokromositoma (SDHx dışı): NF1/RET/VHL/MAX                                   | $^{18}\text{F}$ FDOPA                            | $^{123}\text{I}$ MIBG veya $^{68}\text{Ga}$ SSA | $^{18}\text{F}$ FDG                                                                                                          |
| Baş-boyun paragangliomasi (HNPG)- sporadik                                             | $^{68}\text{Ga}$ SSA                             | $^{18}\text{F}$ FDOPA                           | $^{111}\text{In}$ SSA / $^{99\text{m}}\text{Tc}$ SSA                                                                         |
| Ekstra-adrenal sempatik, çok odaklı, metastatik ve/veya SDHx mutasyonu taşıyan olgular | $^{68}\text{Ga}$ SSA                             | $^{18}\text{F}$ FDG ve $^{18}\text{F}$ FDOPA    | $^{18}\text{F}$ FDG ve $^{123}\text{I}$ MIBG veya $^{18}\text{F}$ FDG ve $^{111}\text{In}$ SSA/ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ SSA |

RET/VHL/MAX, nörofibromin 1/transfeksiyon sırasında yeniden düzenlenmiş proto-onkogen/von Hippel-Lindau/myc ile ilişkili faktör X; SSA, somatostatin analogları; NF1, nörofibromatozis tip 1; FEO/PHEO, feokromositoma; HNPG, baş-boyun paragangliomasi; SDHx, süksinat dehidrogenaz gen kompleksi mutasyonları;  $^{18}\text{F}$  FDG, Flor-18 işaretli dihidroksifenilalanin; MIBG, metaiodobenzylguanidine;  $^{68}\text{Ga}$  SSA, Galyum-68 işaretli somatostatin analogları; FDG, florodeoksiglukoz; SSA, somatostatin analogları.

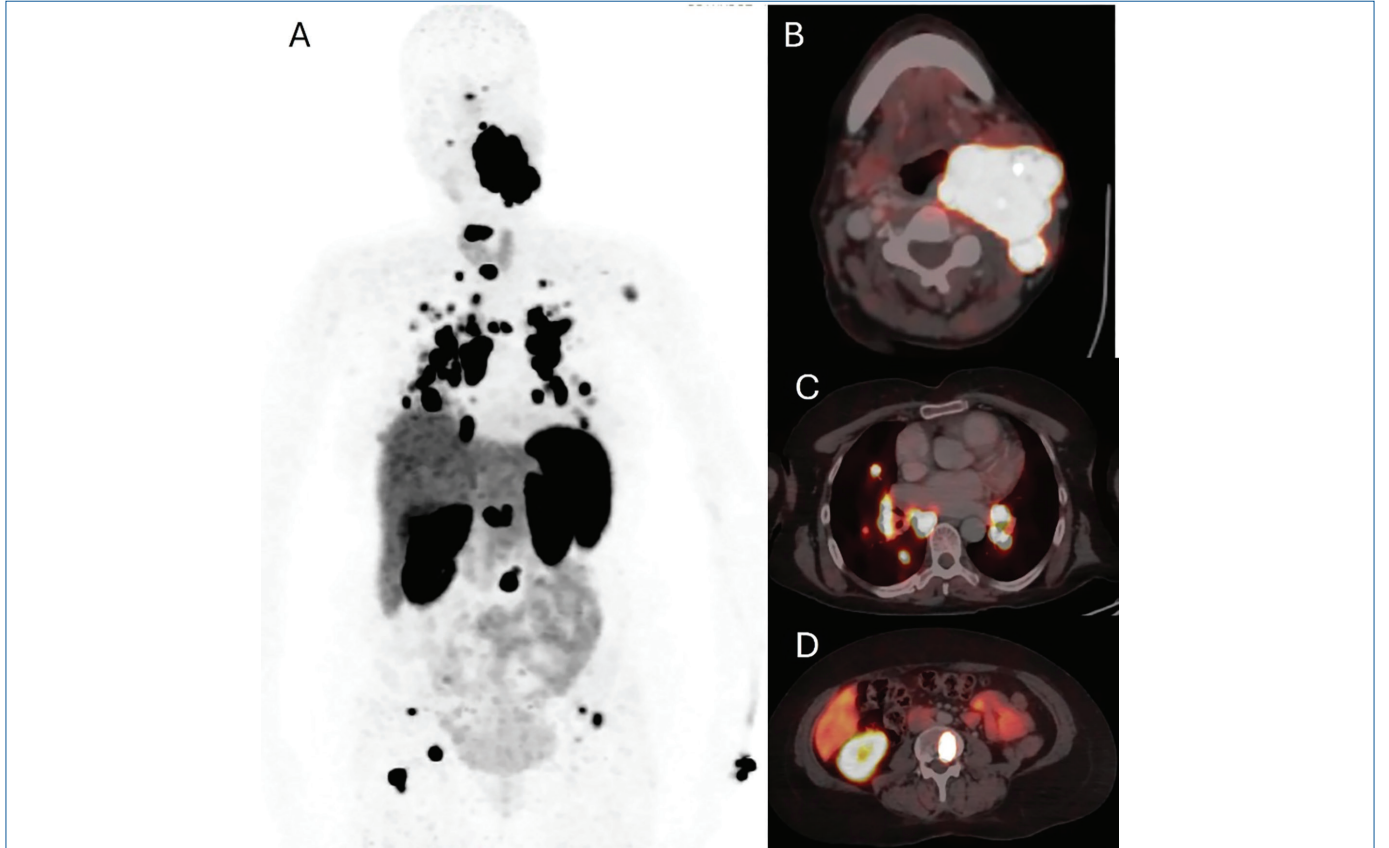
[<sup>18</sup>F] FDG, GLUT'ler aracılığıyla hücre içine giren bir glukoz analogudur. Tümör hücrelerinde artmış glukoz metabolizmasını görüntülemekte kullanılır. [<sup>18</sup>F] FDG, damar içine verildikten sonra hızla vücut sıvılarına dağılır ve GLUT'ler üzerinden hücre içine alınır. İçeri girdikten sonra HK enzimi tarafından fosforile edilerek hücre içinde tutulur [39]. Özellikle GLUT-1 taşıyıcılarının aşırı ekspresyonu, tümör dokularında [<sup>18</sup>F] FDG tutulumu ile yakından ilişkilidir. GLUT-1 ekspresyonu aynı zamanda hipoksi ile de ilişkilidir çünkü tümörlerdeki anormal damarlanma, lokal metabolik ihtiyacı karşılamakta yetersiz kalır. Bu durum, hücrelerin anaerobik metabolizmaya geçmesine ve daha fazla [<sup>18</sup>F] FDG alımına neden olur. Dolayısıyla, yüksek GLUT-1 ekspresyonu hem artmış [<sup>18</sup>F] FDG tutulumu hem de hipoksinin bir göstergesi olarak değerlendirilebilir [40]. [<sup>18</sup>F] FDG PET/BT'nin tanısallı duyarlılığı değişkendir; malign feokromositomalarda benign olanlara kıyasla daha yüksektir (%82'ye karşı %58) [28]. Bu nedenle feokromositoma tanısında standart bir protokolün parçası olarak kabul edilmemektedir [28].

**Flor-18 ([<sup>18</sup>F]) FDG düşük dereceli, iyi diferansiye pNET'lerde sınırlı duyarlılığa sahip olsa da yüksek dereceli (G3) veya dediferansiye tümörlerde önemli prognostik bilgiler sunar. [<sup>18</sup>F] FDG tutulumunun varlığı, hızlı proliferasyon, agresif biyolojik**

**davranış ve kötü prognoz ile ilişkilidir [39]. Bu nedenle [<sup>18</sup>F] FDG PET/BT özellikle heterojen tümörlerde biyolojik çeşitliliği saptamada ve tedavi yanıtını değerlendirmede tamamlayıcı rol oynar.**

### Adrenal Korteksin Fonksiyonel Görüntüleme

Adrenal korteksin hastalıkları genellikle hiper fonksiyonel durumlarla karakterizedir ve tanıda biyokimyasal testler temel alınsa da etkilenen bezin fonksiyonel durumu ve lateralizasyonunun belirlenmesi, özellikle cerrahi planlama açısından büyük önem taşır [28, 41, 42]. Primer aldosteronizm (PA) ise adrenal korteksin aşırı aldosteron üretimine bağlı olarak gelişen bir endokrin hipertansiyon formudur. En sık nedenleri bilateral adrenal hiperplazi ve aldosteron üreten adenomlardır [42]. PA, sekonder hipertansiyon nedenleri arasında en sık rastlananlardan biri olup hipokalemi ile seyredebilir ancak normokalemik formları da oldukça yaygındır. Tanıda temel olarak plazma aldosteron düzeyi ve plazma renin aktivitesine dayalı biyokimyasal testler kullanılır [28, 42]. Biyokimyasal doğrulamanın ardından, hastaların alt tipi belirlenerek tedavi planlaması yapılır. Bu aşamada görüntüleme yöntemleri önem kazanır. Anatomik görüntüleme ile morfolojik yapı saptanabilirken, fonksiyonel görüntüleme, lezyonun hormon



**Resim 10.** Metastatik paraganglioma hastasında PRRT öncesi evrelemede MIP (A), ve aksiyel füzyon (B,C,D) görüntülerde sol boyunda yerleşimli primer lezyon, akciğer ve kemik metastazları izlenmekte.

PRRT, peptid reseptör radyonüklid tedavisi; MIP, maksimum yoğunluk projeksiyonu

üretim kapasitesini değerlendirme konusunda benzersiz avantajlar sunar.

Adrenal korteks görüntülemesinde şu anda resmi EANM kılavuzu bulunmamaktadır. Bununla birlikte bu görüntüleme için geçmişte en sık kullanılan ajan [<sup>131</sup>I] 6β-iodomethyl-19-norcholesterol ([<sup>131</sup>I] norcholesterol)'dür [29]. Bu kolesterol türevi bileşik, steroid sentezi yapan hücreler içine alınır ve metabolize edilmeden adrenal kortekste tutulur. Radyofarmasötik uygulamasını takiben [<sup>131</sup>I]'un yapısı gereği geç görüntülemeler gereklidir. Genellikle planar imajlar yeterli olup doğruluk oranı %47-94 arasında değişmektedir [29]. Bununla birlikte, SPECT/BT ile anatomik korelasyon sağlanarak tanısal doğruluk artırılabilir. Özellikle kortizol, aldosteron veya androjen üreten hücrelerin görüntülenmesinde tercih edilir. Cushing sendromunda adenom ile bilateral hiperplazinin ayrımı, primer hiperaldosteronizmde aldosteronom ve hiperplazi ayrımı, hiperandrojenik durumlarda sekresyon yapan lezyonun lokalizasyonu ve adrenalectomi sonrası rezidüel doku değerlendirmesi en sık endikasyonlarıdır. Uygulanan 20 MBq/lık dozla etkin radyasyon dozu yaklaşık 36 mSv olup, nispeten yüksektir. En yüksek doz tiroid tarafından alınır (29 mGy/MBq), bu nedenle tiroid blokajı kritik öneme sahiptir [29]. Görüntülemenin öncesinde tiroid blokajı gerektirmesi, deksametazon supresyonu gerektirebilmesi ve görüntülemenin geç ve uzun sürmesi nedeniyle hızlı tanı gerektiren durumlar için uygun değildir ve günümüzde kısmen terkedilen bir görüntüleme yöntemidir [41]. Görüntülemeye; simetrik artmış tutulum bilateral hiperplaziyi düşündürürken (Cushing veya hiperaldosteronizm), tek taraflı artmış tutulum genellikle adenom lehine yorumlanır. Bilateral tutulum olmaması adrenal korteks karsinomu, yoğun lipid içerikli adenomlar ya da hormonal baskılanma (hormon tedavisi) durumlarını düşündürmelidir [29].

Bu yöntem yerine özellikle PA ve adrenokortikal karsinom gibi hormon üretim kapasitesi yüksek tümörlerde, kemokin reseptörü 4(CXCR4) yüksek düzeyde eksprese edilmesi nedeniyle [<sup>68</sup>Ga] Pentixafor PET/BT görüntülemesi, CXCR4 pozitif adrenal korteks lezyonlarının invaziv olmayan olarak saptanmasında umut vadeden bir yöntem olarak öne çıkmaktadır [43]. PA tanısında birincil görüntüleme yöntemi kontrastlı adrenal BT'dir [44]. BT, adrenal nodüllerin saptanmasında ve anatomik ayırıcı tanıda yardımcı olur ancak tek başına lateralizasyon (tek taraflı veya bilateral tutulum ayrımı) için yeterli değildir. Bu nedenle alt tip ayırımında altın standart yöntem adrenal ven örneklemesidir (AVS) [44]. Ancak AVS invazif, teknik olarak zor ve sınırlı merkezlerde yapılabilen bir yöntemdir. Bu nedenle AVS'ye alternatif, invazif yöntemler üzerinde çalışmalar sürmektedir. Son yıllarda, özellikle CXCR4 ekspresyonunu hedefleyen [<sup>68</sup>Ga] Pentixafor PET/BT gibi yeni moleküler görüntüleme teknikleri

umut verici sonuçlar vermiştir. [<sup>68</sup>Ga] Pentixafor, unilateral aldosteron üreten nodüllerin saptanmasında potansiyel göstermekte ve AVS'nin uygulanamadığı durumlarda faydalı bir alternatif olarak değerlendirilmektedir [43].

## PANKREAS BEZİNİN FONKSİYONEL GÖRÜNTÜLEMESİ

Pankreasın nöroendokrin tümörleri (PNET), fonksiyonel veya fonksiyonel olmayan, şeklinde ve klinik davranışları değişkenlik gösteren heterojen neoplazmlardır [45-47]. Fonksiyonel tümörler insülinoma, gastrinoma, VIPoma, glukagonoma ve somatostatinoma gibi hormon üreten tiplerden oluşur ve klinik olarak hiperfonksiyon bulguları ile seyreder [48]. Fonksiyonel olmayan tümörler ise genellikle geç tanı alır ve metastatik yayılım ile saptanır. Moleküler görüntüleme, bu tümörlerin tanı, evreleme ve tedavi yanıt takibinde önemli rol oynamaktadır. Bu yöntemle primer tümör odakları saptanabildiği gibi lenf nodu ve uzak metastazlar da etkin biçimde görüntülenebilir. Sıklıkla başvuru yöntemleri arasında [<sup>68</sup>Ga]-DOTA-peptidler (TOC, -NOC veya -TATE) ve [<sup>18</sup>F] FDG PET/BT çalışmaları yer alır [45, 49].

**Somatostatin reseptörü ekspresyonu, özellikle iyi diferansiye NET'lerde sık gözlenir ve bu reseptörleri hedefleyen [<sup>68</sup>Ga]-DOTA-peptidler ile yapılan PET/BT çalışmaları yüksek sensitivite ve spesifite ile tanısal avantaj sağlar [45, 50].**

Galyum 68 ([<sup>68</sup>Ga])-DOTA-peptid PET/BT, PNET'lerde sensitivite açısından daha önce NET tanı ve takibinde kullanılan ve In111 ile işaretli [<sup>111</sup>In]-pentetreotid'e (octreoscan) göre belirgin üstünlük sağlamış olup küçük lezyonların saptanmasında ve radyonüklid tedaviye uygunluk değerlendirmesinde özellikle önerilmektedir [49, 51]. Ayrıca theranostik yaklaşımlar için de temel oluşturan bu görüntüleme yöntemi olup, [<sup>177</sup>Lu] veya [<sup>90</sup>Y] DOTATATE tedavisinin endikasyonunu belirlemede yol göstericidir [52].

**Yüksek dereceli, düşük diferansiyasyonlu ve hızlı proliferasyon gösteren PNET'lerde ise glukoz metabolizması daha baskındır ve bu nedenle [<sup>18</sup>F] FDG PET/BT daha faydalı olmaktadır. Hücre proliferasyon indeksi (Ki-67) yüksek tümörlerde [18F] FDG tutulumu artmakta ve bu durum prognozla korele görülmektedir [53].**

Yeni çalışmalarda CXCR4 kemokin reseptörüne yönelik [<sup>68</sup>Ga] Pentixafor PET/BT ile yüksek dereceli PNET'lerin görüntülenmesi araştırılmakta olup bu ajanın agresif tümör alt tiplerinin saptanmasında [<sup>18</sup>F] FDG ile benzer performans gösterdiği bildirilmiştir [54]. Özellikle SSTR negatif olan ama biyolojik aktivitesi yüksek tümörlerde alternatif olarak değerlendirilebilir [54].

Son zamanlarda geliştirilen [ $^{64}\text{Cu}$ ]-DOTATATE, uzun yarı ömrü ve yüksek çözünürlük kapasitesi sayesinde merkezler arası nakil gereksinimi olan hastalarda da avantaj sağlamaktadır [45, 55]. Ayrıca bazı merkezlerde kullanılmaya başlanan [ $^{18}\text{F}$ ]-AIF-NOTA-octreotid gibi ajanlar da daha geniş dağıtım ağı ve görüntü kalitesi ile umut vadetmektedir [56, 57].

Ayrıca glukagon benzeri peptid-1 (GLP-1) reseptörlerini hedefleyen radyofarmasötikler ile yapılan görüntüleme, özellikle insülinomalarda selektif tutulum göstermekte ve cerrahi öncesi lokalizasyon için değerli bilgiler sunmaktadır. Bu amaçla geliştirilen [ $^{68}\text{Ga}$ ]-NODAGA-exendin-4 PET/BT, insülinoma tanısı ve lokalizasyonunda oldukça yüksek doğrulukla bazı kliniklerde kullanılmaktadır [58].

Sonuç olarak, PNET'lerin değerlendirilmesinde moleküler görüntüleme, tümör diferansiyasyonuna, reseptör ekspresyonuna ve biyolojik davranışına göre seçilen uygun radyofarmasötikler ile kişiselleştirilmiş bir yaklaşımın temelini oluşturmaktadır. Hem tanı koydurucu hem de tedavi yönlendirici işleviyle NET'lerin yönetiminde son yıllarda vazgeçilmez hale gelmiştir. PNET'lerde kullanılan fonksiyonel görüntüleme yöntemleri ve klinik endikasyonları Tablo 6' da verilmiştir.

## SONUÇ

Fonksiyonel görüntüleme, endokrin hastalıkların tanısında ve yönetiminde anatomik incelemeleri tamamlayan temel bir bileşen haline gelmiştir. Tiroid, paratiroid, adrenal ve pankreas dokularının özgün biyokimyasal süreçlerini hedefleyen radyofarmasötikler; hastalığın kaynağını, fonksiyonel aktivitesini ve olası yayılımını yüksek doğrulukla ortaya koymaktadır. Hibrit SPECT/BT ve PET/BT teknikleri, anatomik korelasyonla birlikte lokalizasyon doğruluğunu artırarak minimal invaziv cerrahi planlaması, nüks değerlendirmesi ve teranostik uygulamalara önemli katkı sağlamaktadır. Güncel literatür, özellikle DOTA-türevli PET ajanları, FDG ve kolin ile seçilmiş yeni hedefler (örneğin CXCR4, GLP-1, FAP) sayesinde fonksiyonel görüntülemenin kişiselleştirilmiş tedavi stratejilerinde belirleyici bir rol üstlendiğini göstermektedir. Bu nedenle, radyoloji pratiğinde fonksiyonel görüntülemenin doğru endikasyon ve yorumlama ilkeleriyle entegrasyonu, multidisipliner klinik karar süreçlerini güçlendirmeye devam edecektir.

**Tablo 6. Pankreatik nöroendokrin tümörlerde kullanılan fonksiyonel görüntüleme yöntemleri ve klinik endikasyonları**

| Görüntüleme yöntemi          | Kullanılan radyofarmasötik                                                                                         | Endikasyon/tümör özelliği                             | Yorum/avantaj                                   |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Somatostatin reseptör PET/BT | [ $^{68}\text{Ga}$ ] DOTA-TATE /TOC/NOC<br>[ $^{64}\text{Cu}$ ] DOTATATE<br>[ $^{18}\text{F}$ ]-AIF-NOTA-octreotid | İyi diferansiye, düşük Ki-67; reseptör (+) tümörler   | Yüksek sensitivite, teranostik kılavuz          |
| FDG PET/BT                   | [ $^{18}\text{F}$ ] FDG                                                                                            | Yüksek Ki-67, düşük diferansiyasyon; agresif tümörler | Prognoz belirleyici, biyolojik davranış         |
| GLP-1 PET/BT                 | [ $^{68}\text{Ga}$ ] NODAGA-exendin-4                                                                              | İnsülinoma tanısı ve preoperatif lokalizasyon         | Yüksek hedef seçicilik, cerrahi planlama        |
| CXCR4 PET/BT                 | [ $^{68}\text{Ga}$ ] PentixaFor                                                                                    | SSTR-negatif, yüksek dereceli tümörler                | Alternatif hedef, klinik araştırma aşamasında   |
| SPECT/BT                     | [ $^{111}\text{In}$ ] pentetreotid (Octreoscan)                                                                    | SSTR (+) tümörler                                     | PET'e göre düşük rezolüsyon, sınırlı duyarlılık |

PET/BT, pozitron emisyon tomografisi/bilgisayarlı tomografi; SPECT/BT, tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi;  $^{68}\text{Ga}$ , Galyum 68; Ki-67, hücre proliferasyon indeksi; SSTR, somatostatin reseptörü; [ $^{18}\text{F}$ ] FDG, flor-18 işaretli florodeoksiglukoz; GLP-1, glukagon benzeri peptid-1.

## Dipnotlar

## Çıkar Çatışması

Yazarlar bu makale ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması bildirmemiştir.

## KAYNAKLAR

- Intenzo C, Miller J, Gulati A, Colarossi D, Parekh M. The role of nuclear medicine in benign thyroid disease. *Semin Nucl Med.* 2023; 53: 469-74. [\[CrossRef\]](#)
- Giovanella L, Avram AM, Iakovou I, Kwak J, Lawson SA, Lulaj E, et al. EANM practice guideline/SNMMI procedure standard for RAIU and thyroid scintigraphy. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2019; 46: 2514-25. [\[CrossRef\]](#)
- Baker CH, Morris JC. The sodium-iodide symporter. *Curr Drug Targets Immune Endocr Metabol Disord.* 2004; 4: 167-74. [\[CrossRef\]](#)
- Bongiovanni M, Paone G, Ceriani L, Pusztaszeri M. Cellular and molecular basis for thyroid cancer imaging in nuclear medicine. *Clinical and Translational Imaging.* 2013;1(3):149-61. [\[CrossRef\]](#)
- Bertagna F, Treglia G, Piccardo A, Giubbini R. Diagnostic and clinical significance of F-18-FDG-PET/CT thyroid incidentalomas. *J Clin Endocrinol Metab.* 2012; 97: 3866-75. [\[CrossRef\]](#)
- Familiar C, Merino S, Valhondo R, López C, Pérez X, De Los Monteros PE, et al. Prevalence and clinical significance in our setting of incidental uptake in the thyroid gland found on 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography-computed tomography (PET-CT). *Endocrinol Diabetes Nutr (Engl Ed).* 2023; 70: 171-8. [\[CrossRef\]](#)
- Grewal RK, Lubberink M, Pentlow KS, Larson SM. The role of iodine-124-positron emission tomography imaging in the management of patients with thyroid cancer. *PET Clin.* 2007; 2: 313-20. [\[CrossRef\]](#)
- Rault E, Vandenberghe S, Van Hohen R, De Beenhouwer J, Staelens S, Lemahieu I. Comparison of image quality of different iodine isotopes (I-123, I-124, and I-131). *Cancer Biother Radiopharm.* 2007; 22: 423-30. [\[CrossRef\]](#)
- Surks MI, Ortiz E, Daniels GH, Sawin CT, Col NF, Cobin RH, et al. Subclinical thyroid disease: scientific review and guidelines for diagnosis and management. *JAMA.* 2004; 291: 228-38. [\[CrossRef\]](#)
- Saltiki K, Simeakis G, Karapanou O, Alevizaki M. MANAGEMENT OF ENDOCRINE DISEASE: Medullary thyroid cancer: from molecular biology and therapeutic pitfalls to future targeted treatment perspectives. *Eur J Endocrinol.* 2022; 187: R53-63. [\[CrossRef\]](#)
- Treglia G, Villani MF, Giordano A, Rufini V. Detection rate of recurrent medullary thyroid carcinoma using fluorine-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography: a meta-analysis. *Endocrine.* 2012; 42: 535-45. [\[CrossRef\]](#)
- Trimboli P, Mian C, Piccardo A, Treglia G. Diagnostic tests for medullary thyroid carcinoma: an umbrella review. *Endocrine.* 2023; 81: 183-93. [\[CrossRef\]](#)
- Jayasinghe R, Basnayake O, Jayarajah U, Seneviratne S. Management of medullary carcinoma of the thyroid: a review. *J Int Med Res.* 2022; 50: 3000605221110698. [\[CrossRef\]](#)
- Treglia G, Castaldi P, Villani MF, Perotti G, de Waure C, Filice A, et al. Comparison of 18F-DOPA, 18F-FDG and 68Ga-somatostatin analogue PET/CT in patients with recurrent medullary thyroid carcinoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2012; 39: 569-80. [\[CrossRef\]](#)
- Kaliszewski K, Ludwig M, Ludwig B, Mikuła A, Greniuk M, Rudnicki J. Update on the diagnosis and management of medullary thyroid cancer: what has changed in recent years? *Cancers (Basel).* 2022; 14: 3643. [\[CrossRef\]](#)
- Giovanella L, Treglia G, Iakovou I, Mihailovic J, Verburg FA, Luster M. EANM practice guideline for PET/CT imaging in medullary thyroid carcinoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2020; 47: 61-77. [\[CrossRef\]](#)
- Treglia G, Rufini V, Piccardo A, Imperiale A. Update on management of medullary thyroid carcinoma: focus on nuclear medicine. *Semin Nucl Med.* 2023; 53: 481-9. [\[CrossRef\]](#)
- Petranović O, Čariček P, Giovanella L, Carrió Gasset I, Hindié E, Huellner MW, Luster M, et al. The EANM practice guidelines for parathyroid imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2021; 48: 2801-22. [\[CrossRef\]](#)
- Lalonde MN, Correia RD, Syktiotis GP, Schaefer N, Matter M, Prior JO. Parathyroid imaging. *Semin Nucl Med.* 2023; 53: 490-502. [\[CrossRef\]](#)
- Yeh MW, Iuarte PH, Zhou HC, Nishimoto S, Liu IL, Harari A, et al. Incidence and prevalence of primary hyperparathyroidism in a racially mixed population. *J Clin Endocrinol Metab.* 2013; 98: 1122-9. [\[CrossRef\]](#)
- Taterra D, Wong LM, Vikse J, Sanna B, Pękala P, Walocha J, et al. The prevalence and anatomy of parathyroid glands: a meta-analysis with implications for parathyroid surgery. *Langenbecks Arch Surg.* 2019; 404: 63-70. [\[CrossRef\]](#)
- Treglia G, Trimboli P, Huellner M, Giovanella L. Imaging in primary hyperparathyroidism: focus on the evidence-based diagnostic performance of different methods. *Minerva Endocrinol.* 2018; 43: 133-43. [\[CrossRef\]](#)
- Treglia G, Sadeghi R, Schalin-Jäntti C, Caldarella C, Ceriani L, Giovanella L, et al. Detection rate of (99m) Tc-MIBI single photon emission computed tomography (SPECT)/CT in preoperative planning for patients with primary hyperparathyroidism: a meta-analysis. *Head Neck.* 2016; 38: E2159-72. [\[CrossRef\]](#)
- Treglia G, Piccardo A, Imperiale A, Strobel K, Kaufmann PA, Prior JO, et al. Diagnostic performance of choline PET for detection of hyperfunctioning parathyroid glands in hyperparathyroidism: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2019; 46: 751-65. [\[CrossRef\]](#)
- Saha S, Vierkant RA, Johnson GB, Parvinian A, Wermers RA, Foster T, et al. C<sup>11</sup> choline PET/CT succeeds when conventional imaging for primary hyperparathyroidism fails. *Surgery.* 2023; 173: 117-23. [\[CrossRef\]](#)
- Weber T, Smaxwil C, Hermann M, Lenschow C, Lorenz K, Steinmüller T, et al. Results of <sup>18</sup>F-choline and <sup>11</sup>C-methionine positron emission tomography/computed tomography for the preoperative localization of hyperfunctional parathyroid glands in primary hyperparathyroidism. *Surgery.* 2025; 180: 109056. [\[CrossRef\]](#)
- Kuyumcu S, Denizmen D, Has-Simsek D, Poyanli A, Uzum AK, Buyukkaya F, et al. <sup>68</sup>Ga-Trivehexin PET/CT: a promising novel tracer for primary hyperparathyroidism. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2024; 51: 3912-23. [\[CrossRef\]](#)
- Werner RA, Schirbel A, Buck AK, Fassnacht M, Hahner S. Adrenal functional imaging. *Presse Med.* 2022; 51: 104114. [\[CrossRef\]](#)
- Avram AM, Fig LM, Gross MD. Adrenal gland scintigraphy. *Semin Nucl Med.* 2006; 36: 212-27. [\[CrossRef\]](#)
- Lenders JWM, Kerstens MN, Amar L, Prejbisz A, Robledo M, Taieb D, et al. Genetics, diagnosis, management and future directions of research of pheochromocytoma and paraganglioma: a position statement and consensus of the Working Group on Endocrine Hypertension of the European Society of Hypertension. *J Hypertens.* 2020; 38: 1443-56. [\[CrossRef\]](#)
- Ebbehoj A, Stochholm K, Jacobsen SF, Trolle C, Jepsen P, Robaczky MG, et al. Incidence and clinical presentation of pheochromocytoma and sympathetic paraganglioma: a population-based study. *J Clin Endocrinol Metab.* 2021; 106: e2251-61. [\[CrossRef\]](#)
- Zhang X, Wakabayashi H, Hiromasa T, Kayano D, Kinuya S. Recent advances in radiopharmaceutical theranostics of pheochromocytoma and paraganglioma. *Semin Nucl Med.* 2023; 53: 503-16. [\[CrossRef\]](#)
- Taieb D, Hicks RJ, Hindié E, Guillet BA, Avram A, Ghedini P, et al. European Association of Nuclear Medicine Practice Guideline/Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging Procedure Standard 2019 for radionuclide imaging of pheochromocytoma and paraganglioma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2019; 46: 2112-37. [\[CrossRef\]](#)

34. Bomanji J, Levison DA, Flatman WD, Horne T, Bouloux PM, Ross G, et al. Uptake of iodine-123 MIBG by pheochromocytomas, paragangliomas, and neuroblastomas: a histopathological comparison. *J Nucl Med.* 1987; 28: 973-8. [\[CrossRef\]](#)
35. Jaques S Jr, Tobes MC, Sisson JC. Sodium dependency of uptake of norepinephrine and m-iodobenzylguanidine into cultured human pheochromocytoma cells: evidence for uptake-one. *Cancer Res.* 1987; 47: 3920-8. [\[CrossRef\]](#)
36. Berglund AS, Hulthén UL, Manhem P, Thorsson O, Wollmer P, Törnquist C. Metaiodobenzylguanidine (MIBG) scintigraphy and computed tomography (CT) in clinical practice. Primary and secondary evaluation for localization of pheochromocytomas. *J Intern Med.* 2001; 249: 247-51. [\[CrossRef\]](#)
37. Kan Y, Zhang S, Wang W, Liu J, Yang J, Wang Z. <sup>68</sup>Ga-somatostatin receptor analogs and <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in the localization of metastatic pheochromocytomas and paragangliomas with germline mutations: a meta-analysis. *Acta Radiol.* 2018; 59: 1466-74. [\[CrossRef\]](#)
38. Naji M, Zhao C, Welsh SJ, Meades R, Win Z, Ferrarese A, et al. <sup>68</sup>Ga-DOTA-TATE PET vs. <sup>123</sup>I-MIBG in identifying malignant neural crest tumours. *Mol Imaging Biol.* 2011; 13: 769-75. [\[CrossRef\]](#)
39. Boellaard R, Delgado-Bolton R, Oyen WJ, Giammarile F, Tatsch K, Eschner W, et al. FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2015; 42: 328-54. [\[CrossRef\]](#)
40. Cao L, Zhang D, Yang H, Xu W, Liu Y. <sup>18</sup>F-FDG-PET/CT-based machine learning model evaluates indeterminate adrenal nodules in patients with extra-adrenal malignancies. *World J Surg Oncol.* 2023; 21: 305. [\[CrossRef\]](#)
41. Werner RA, Hartrampf PE, Schirbel A, Hahner S. Adrenal functional imaging - which marker for which indication? *Curr Opin Urol.* 2022; 32: 585-93. [\[CrossRef\]](#)
42. Terzolo M, Bovio S, Pia A, Osella G, Borretta G, Angeli A, et al. Subclinical Cushing's syndrome. *Arq Bras Endocrinol Metabol.* 2007; 51: 1272-9. [\[CrossRef\]](#)
43. Hu J, Xu T, Shen H, Song Y, Yang J, Zhang A, et al. Accuracy of Gallium-68 pentixafor positron emission tomography-computed tomography for subtyping diagnosis of primary aldosteronism. *JAMA Netw Open.* 2023; 6: e2255609. [\[CrossRef\]](#)
44. Fassnacht M, Arlt W, Bancos I, Dralle H, Newell-Price J, Sahdev A, et al. Management of adrenal incidentalomas: European Society of Endocrinology Clinical Practice Guideline in collaboration with the European Network for the Study of Adrenal Tumors. *Eur J Endocrinol.* 2016; 175: G1-34. [\[CrossRef\]](#)
45. Bozkurt MF, Virgolini I, Balogova S, Beheshti M, Rubello D, Decristoforo C, et al. Guideline for PET/CT imaging of neuroendocrine neoplasms with <sup>68</sup>Ga-DOTA-conjugated somatostatin receptor targeting peptides and <sup>18</sup>F-DOPA. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2017; 44: 1588-1601. [\[CrossRef\]](#) Erratum in: *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2017; 44: 2150-1. [\[CrossRef\]](#)
46. Seregni E, Chiti A, Bombardieri E. Radionuclide imaging of neuroendocrine tumours: biological basis and diagnostic results. *Eur J Nucl Med.* 1998; 25: 639-58. [\[CrossRef\]](#)
47. Bombardieri E, Maccauro M, De Deckere E, Savelli G, Chiti A. Nuclear medicine imaging of neuroendocrine tumours. *Ann Oncol.* 2001; 12: S51-61. [\[CrossRef\]](#)
48. Kayani I, Bomanji JB, Groves A, Conway G, Gacinovic S, Win T, et al. Functional imaging of neuroendocrine tumors with combined PET/CT using <sup>68</sup>Ga-DOTATATE (DOTA-DPhe1,Tyr3-octreotate) and <sup>18</sup>F-FDG. *Cancer.* 2008; 112: 2447-55. [\[CrossRef\]](#)
49. Virgolini I, Ambrosini V, Bomanji JB, Baum RP, Fanti S, Gabriel M, et al. Procedure guidelines for PET/CT tumour imaging with <sup>68</sup>Ga-DOTA-conjugated peptides: <sup>68</sup>Ga-DOTA-TOC, <sup>68</sup>Ga-DOTA-NOC, <sup>68</sup>Ga-DOTA-TATE. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2010; 37: 2004-10. [\[CrossRef\]](#)
50. Prasad V, Ambrosini V, Hommann M, Hoersch D, Fanti S, Baum RP. Detection of unknown primary neuroendocrine tumours (CUP-NET) using (<sup>68</sup>Ga)-DOTA-NOC receptor PET/CT. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2010; 37: 67-77. [\[CrossRef\]](#)
51. Kowalski J, Henze M, Schuhmacher J, Mäcke HR, Hofmann M, Haberkorn U. Evaluation of positron emission tomography imaging using [<sup>68</sup>Ga]-DOTA-D Phe(1)-Tyr(3)-Octreotide in comparison to [<sup>111</sup>In]-DTPAOC SPECT. First results in patients with neuroendocrine tumors. *Mol Imaging Biol.* 2003; 5: 42-8. [\[CrossRef\]](#)
52. Öksüz MÖ, Winter L, Pfannenberger C, Reischl G, Müssig K, Bares R, et al. Peptide receptor radionuclide therapy of neuroendocrine tumors with (<sup>90</sup>Y)-DOTATOC: is treatment response predictable by pre-therapeutic uptake of (<sup>68</sup>Ga)-DOTATOC? *Diagn Interv Imaging.* 2014; 95: 289-300. [\[CrossRef\]](#)
53. Binderup T, Knigge U, Loft A, Federspiel B, Kjaer A. <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography predicts survival of patients with neuroendocrine tumors. *Clin Cancer Res.* 2010; 16: 978-85. [\[CrossRef\]](#)
54. Werner RA, Weich A, Higuchi T, Schmid JS, Schirbel A, Lassmann M, et al. Imaging of chemokine receptor 4 expression in neuroendocrine tumors - a triple tracer comparative approach. *Theranostics.* 2017; 7: 1489-98. [\[CrossRef\]](#)
55. Pfeifer A, Knigge U, Mortensen J, Oturai P, Berthelsen AK, Loft A, et al. Clinical PET of neuroendocrine tumors using <sup>64</sup>Cu-DOTATATE: first-in-humans study. *J Nucl Med.* 2012; 53: 1207-15. [\[CrossRef\]](#)
56. Hou G, Cheng X, Yang Y, Zhao D, Wang G, Zhao H, et al. Diagnostic performance and clinical impact of <sup>18</sup>F-AIF-NOTA-octreotide in a large cohort of patients with neuroendocrine neoplasms: A prospective single-center study. *Theranostics.* 2024; 14: 3213-20. [\[CrossRef\]](#)
57. Long T, Yang N, Zhou M, Chen D, Li Y, Li J, et al. Clinical application of <sup>18</sup>F-AIF-NOTA-octreotide PET/CT in combination with <sup>18</sup>F-FDG PET/CT for imaging neuroendocrine neoplasms. *Clin Nucl Med.* 2019; 44: 452-8. [\[CrossRef\]](#)
58. Christ E, Wild D, Forrer F, Brändle M, Sahli R, Clerici T, et al. Glucagon-like peptide-1 receptor imaging for localization of insulinomas. *J Clin Endocrinol Metab.* 2009; 94: 4398-405. [\[CrossRef\]](#)

1. Aşağıdakilerden hangisi, tiroid nodüllerinin benign ya da malign ayrımında kullanılan [ $^{99m}\text{Tc}$ ]sestamibi sintigrafisinin avantajlarından biri değildir?
  - a. Yüksek özgüllük.
  - b. Benign nodüllerde hızlı yıkılım göstermesi.
  - c. Multinodüler guatrda her nodülün fonksiyonunu ayrı ayrı değerlendirebilmesi.
  - d. Radyasyon maruziyetinin çok düşük olması.
  - e. Hızlı ve kolay uygulanabilir olması.
2. Aşağıdakilerden hangisi paratiroid adenomunun preoperatif lokalizasyonunda en yaygın kullanılan iki yöntemdir?
  - a. MRI ve ultrasonografi
  - b. [ $^{99m}\text{Tc}$ ] estamibi sintigrafisi ve ultrasonografi
  - c. PET/CT ve MR
  - d. SPECT ve PET
  - e. DSA ve CT
3. Aşağıdaki radyonüklid ajanlardan hangisi özellikle nöroendokrin tümörlerin görüntülenmesinde tercih edilmez?
  - a. [ $^{18}\text{F}$ ] FDG
  - b. [ $^{123}\text{I}$ ] MIBG
  - c. [ $^{68}\text{Ga}$ ] DOTATATE
  - d. [ $^{11}\text{C}$ ] methionine
  - e. [ $^{99m}\text{Tc}$ ] perteknetat
4. Aşağıdaki PET ajanlarından hangisi ACTH-bağımlı ve bağımsız Cushing hastalıklarını ayırt etmede kullanılabilecek yeni bir görüntüleme ajanıdır?
  - a. [ $^{68}\text{Ga}$ ] Pentixafor
  - b. [ $^{18}\text{F}$ ] FDG
  - c. [ $^{124}\text{I}$ ] NaI
  - d. [ $^{18}\text{F}$ ] FET
  - e. [ $^{68}\text{Ga}$ ] DOTATATE
5. [ $^{123}\text{I}$ ] MIBG sintigrafisinin kullanım alanıyla ilgili aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?
  - a. Norepinefrin taşıyıcısını kullanan tümörlerin görüntülenmesinde etkilidir.
  - b. Feokromositoma ve paraganglioma tanısında kullanılır.
  - c. Kalp tutulumu nedeniyle paratiroid görüntülemeye tercih edilir.
  - d. Kemik iliği infiltrasyonunu göstermede sınırlıdır.
  - e. Terapötik dozlarda [ $^{131}\text{I}$ ]MIBG formu kullanılır.