



Paratiroid Görüntüleme Yöntemleri

Parathyroid Imaging Methods

© Ayşenur Erol¹, © Semra İnce²

¹Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Trabzon Kanuni Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Nükleer Tıp Kliniği, Trabzon, Türkiye

²Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

Öz

Hiperparatiroidizmde cerrahi tedavi temel yaklaşımı oluşturmaktadır ve günümüzde uygun hastalarda minimal invaziv paratiroidektomi, bilateral boyun eksplorasyonuna göre daha sık tercih edilmektedir. Bu cerrahi yaklaşımların uygulanabilmesi için hiperfonksiyone paratiroid bezlerinin preoperatif lokalizasyonu büyük önem taşımaktadır. Paratiroid görüntüleme yöntemleri tanı koydurucu olmayıp, cerrahi planlamayı yönlendiren ve cerrahi başarıyı artırmayı amaçlayan tamamlayıcı araçlar olarak kullanılmaktadır. Bu derlemenin amacı, hiperparatiroidizm tanısı biyokimyasal olarak doğrulanmış hastalarda paratiroid görüntülemenin klinik uygulamadaki yerini ortaya koymak, preoperatif lokalizasyonda kullanılan başlıca görüntüleme yöntemlerine genel bir bakış sunmak ve hasta odaklı, aşamalı bir yaklaşımın önemini vurgulamaktır.

Anahtar Kelimeler: Hiperparatiroidizm, paratiroid sintigrafisi, sestamibi, SPECT/CT, preoperatif lokalizasyon

Abstract

Surgical treatment is the primary approach in hyperparathyroidism, and today, minimally invasive parathyroidectomy is more frequently preferred over bilateral neck exploration in suitable patients. Preoperative localization of hyperfunctioning parathyroid glands is crucial for the application of these surgical approaches. Parathyroid imaging methods are not diagnostic but are used as complementary tools to guide surgical planning and aim to increase surgical success. The purpose of this review is to clarify the role of parathyroid imaging in the clinical practice of patients with biochemically confirmed hyperparathyroidism, to provide an overview of the main imaging methods used for preoperative localization, and to emphasize the importance of a patient-centered, step-by-step approach.

Keywords: Hyperparathyroidism, parathyroid scintigraphy, sestamibi, SPECT/CT, preoperative localization

Giriş

Paratiroid bezleri, kalsiyum-fosfor metabolizmasını düzenleyen ve parathormon (PTH) salgılayan küçük endokrin bezlerdir (1). Genellikle tiroid bezinin posteriorunda yerleşimli 4 adet bez bulunmakla birlikte sayı, boyut ve anatomik yerleşimleri değişken olup embriyolojik gelişime bağlı ektopik lokalizasyonlar gösterebilir. Normal bezler genellikle görüntüleme yöntemleriyle saptanamazlar (1,2,3). Histolojik olarak; esas, oksifil, transizyonel oksifil ve berrak hücrelerden oluşurlar. En sık esas hücreler görülür ve PTH sentezinden sorumludurlar. Oksifil hücrelerin mitokondri açısından zengin olması nedeniyle

hiperfonksiyone paratiroid dokusunda teknesyum-99m metoksi-izobutil izonitril (^{99m}Tc-sestamibi) ve ^{99m}Tc-tetrofosmin tutulumu artmıştır (1,4). PTH; kemik, böbrek ve gastrointestinal sistem üzerinde etkili olarak kalsiyum-fosfor dengesi ve D vitamini metabolizmasını düzenler. Kemik rezorpsiyonunu ve renal kalsiyum geri emilimini artırırken fosfat atılımını yükselterek serum kalsiyum düzeyinin fizyolojik sınırlar içinde tutulmasını sağlar (1,2). Hiperparatiroidizm, paratiroid bezlerinden aşırı PTH salgılanması ile karakterize olup primer, sekonder ve tersiyer olmak üzere üç gruba ayrılır.

Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Prof. Dr. Semra İnce, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: drsemra@gmail.com ORCID ID: orcid.org/0000-0001-9633-052X

Geliş Tarihi/Received: 01.02.2026 Kabul Tarihi/Accepted: 04.03.2026 Yayınlanma Tarihi/Publication Date: 31.03.2026

Cite this article as/Atıf: Erol A, İnce S. Parathyroid imaging methods. Nucl Med Semin. 2026;12:21-33



Copyright© 2026 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© 2026 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.

Primer Hiperparatiroidizm (pHPT): En sık görülen formdur ve genellikle hiperkalsemi ile birlikte yüksek PTH düzeyleriyle seyrederek (1,2,4). En yaygın etyoloji paratiroid adenomu (%85) olup daha nadiren multipl adenomlar (%15-20), hiperplazi (<%15) ve paratiroid karsinomu (%1) görülür (5). Adenomlar sıklıkla tek bezde ve %80-85 tiroit bezine komşu normal anatomik yerleşimde izlenir ve yaklaşık %5 oranında da ektopik yerleşim gösterebilir (1,5). Hastalık çoğu zaman asemptomatik olmakla birlikte, uzun dönemde çeşitli komplikasyonlara yol açabilir.

Sekonder Hiperparatiroidizm (sHPT): En sık kronik böbrek hastalığı ve D vitamini eksikliğine bağlı gelişen kompansatuvar PTH artışıdır. Daha nadiren ilaçlar, psödohipoparatiroidi ve metastatik prostat kanserine bağlı olarak da görülebilir. Tedavide temel hedef PTH düzeyleri ve mineral metabolizmasının kontrolüdür (1,2).

Tersiyer Hiperparatiroidizm (tHPT): Uzun süreli sHPT sonrası bezlerin otonom hale gelmesiyle ortaya çıkar ve sıklıkla diyaliz veya renal transplantasyon sonrası görülür; tedavide cerrahi ön plandadır (1,2).

Paratiroid Görüntüleme

Paratiroid görüntülemenin amacı, HPT tanısını koymak veya dışlamak değil, biyokimyasal tanısı kesinleşmiş olgularda cerrahi planlamaya rehberlik etmektir (6). Bu yönüyle diğer tanısal görüntüleme yöntemlerinden ayrılır (5). Primer hiperparatiroidizmin tek küratif tedavisi cerrahidir ve cerrahi başarısının temel belirleyicisi doğru preoperatif lokalizasyondur. Günümüzde bilateral boyun eksplorasyonu yerini giderek hedefe yönelik minimal invaziv paratiroidektomiye (MİP) bırakmıştır (1,2,3). Özellikle MİP planlanan olgularda preoperatif lokalizasyon hayati önem taşır (7,8). Doğru lokalizasyon ile minimal invaziv cerrahi; daha kısa operasyon süresi, düşük komplikasyon oranı ve maliyet avantajı sağlar (1,2,3,6,7,8). Günümüzde hiperfonksiyone paratiroid bezinin saptanmasında ve lokalizasyonunda kabul edilen ilk basamak strateji; ultrasonografi (USG) ve dual faz ^{99m}Tc-sestamibi sintigrafisinin tamamlayıcı olarak kullanılmasıdır (4). Kombine kullanım ile duyarlılığın %81-95'e ulaştığı bildirilmiştir (1,2,9). USG; kolay erişilebilir, non-invaziv ve tiroid bezinin eş zamanlı değerlendirilmesine olanak sağlaması nedeniyle ilk basamak yöntemidir; ancak küçük, posterior yerleşimli veya ektopik bezlerde ve multinodüler guatrli olgularda duyarlılığı azalabilir (1,10). Bu durumlarda, özellikle tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi/bilgisayarlı tomografi (SPECT/BT)

ile kombine edildiğinde yüksek pozitif prediktif değere sahip olan ^{99m}Tc-sestamibi sintigrafisi ön plana çıkar ve bazı merkezlerde ilk tercih olarak kullanılmaktadır (11). USG ve sintigrafi bulgularının uyumlu olduğu olgular MİP için idealdir. Bulguların uyumsuz olduğu, küçük, atipik yerleşimli veya multipl bez tutulumunun düşünüldüğü hastalarda SPECT/BT, dört boyutlu bilgisayarlı tomografi (4D-BT) veya pozitron emisyon tomografisi/BT (PET/BT) gibi ileri görüntüleme yöntemleri kullanılabilir (1,2,4,5). SPECT/BT üç boyutlu anatomik lokalizasyon sağlaması nedeniyle revizyon cerrahilerinde özellikle tercih edilir (12,13). Görüntüleme yöntemlerinin tanısal performansları Tablo 1'de özetlenmiştir. Paratiroid cerrahisi sonrası persistan HPT nedeniyle reoperasyon planlanan olgularda fibrozis ve anatomik değişiklikler nedeniyle komplikasyon riski artar. Bu nedenle kalıcı veya rekürren hiperparatiroidizmde net preoperatif lokalizasyon kritik öneme sahiptir (17). Lokalizasyon olmadan yapılan reoperasyonlarda cerrahi başarı yaklaşık %60 iken, pozitif lokalizasyon varlığında %95'in üzerine çıkmaktadır (18,19). Bu hastalarda mutlaka USG ve ^{99m}Tc-sestamibi sintigrafisi olan kombine görüntüleme önerilir. Bulguların uyumsuz olması halinde ileri görüntüleme yöntemleri veya invaziv teknikler uygulanabilir (20). Sekonder ve tersiyer hiperparatiroidizmde multipl bez tutulum olasılığı nedeniyle USG ve sintigrafinin duyarlılığı azalır. Yine ektopik bez şüphesi varsa sintigrafiye ek olarak mutlaka SPECT/BT tercih edilmelidir. Bu yöntemlerle lokalize edilemeyen bezlerde ve seçilmiş olgularda 4D-BT ve PET/BT alternatif bir yöntem olarak kullanılabilir (4).

1. Paratiroid Sintigrafisi

Paratiroid sintigrafisi, hiperfonksiyone paratiroid bezlerinde artmış vaskülarite, hücresellik ve mitokondriyal yoğunluğa bağlı radyofarmasötik tutulumu esasına dayanır. Paratiroid bezlerine özgü bir radyofarmasötik henüz geliştirilmemiştir (2). Tiroid dokusu ile anatomik ve fonksiyonel yakınlık görüntülemeyi zorlaştıran temel faktör olup bu nedenle farklı radyofarmasötikler ve teknik yaklaşımlar geliştirilmiştir (21). 1979'da Fukunaga ve ark. (22) patolojik paratiroid bezlerinde ²⁰¹Tl tutulumunu göstermiş; ardından 1980'lerde Ferlin ve ark. (23) ²⁰¹Tl-^{99m}Tc perteknetat çıkarma sintigrafisi yöntemini tanımlamıştır. Ancak ²⁰¹Tl'nin fiziksel kısıtlılıkları ve çekim sırasındaki teknik güçlükler yöntemin yaygınlaşmasını engellemiştir (1,2). 1989 yılında Coakley ve ark. (24), miyokard perfüzyon ajanı olan ^{99m}Tc-sestamibi'nin hiperfonksiyone paratiroid dokusunda belirgin tutulumunu bildirmiş

Tablo 1. İlk paratiroid cerrahisinde preoperatif görüntüleme yöntemlerinin tanısal doğruluğu (2,4,5,14,15,16)

Görüntüleme yöntemi	Sensitivite (%)	Pozitif prediktif değer (%)
^{99m}Tc-sestamibi		
Dual faz planar	41-96	
SPECT veya SPECT/BT	67-86	91-96
Ultrasonografi	76-80	93
4D-BT	62-88	84-90
MRG (3T)	64-98	67-95
PET/BT		
¹⁸ F-florokolin	92-95	92-97
¹¹ C-metiyonin	77	98
SPECT: Tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi, BT: Bilgisayarlı tomografi, MRG: Manyetik rezonans görüntüleme, PET: Pozitron emisyon tomografi, 4D: 4 boyutlu		

ve bu ajan günümüzde paratiroid sintigrafisinin temel radyofarmasötikği haline gelmiştir. Sestamibi, tiroid dokusundan hızlı; patolojik paratiroid dokusundan daha yavaş klirens göstermesi, erken ve geç faz görüntülemeyi içeren dual-faz protokolünün geliştirilmesine olanak sağlamıştır (1,2,3,4,5). Güncel uygulamada paratiroid sintigrafisi; planar görüntüleme, SPECT ve SPECT/BT teknikleri ile yapılmaktadır. Özellikle SPECT/BT, anatomik korelasyon sağlayarak cerrahi planlamaya katkıyı artırmaktadır (1,2,3,4,5).

1.1. Radyofarmasötikler

a. ^{99m}Tc-MIBI (Sestamibi)

^{99m}Tc-sestamibi, lipofilik katyonik bir izonitril kompleksi olup hücre içine pasif diffüzyonla girerek mitokondride birikir. Tutulumu mitokondriyal yoğunluk ve membran potansiyeli ile ilişkilidir ve oksifil hücrelerden zengin hiperfonksiyone paratiroid dokusunda belirgindir. Tiroid dokusuna kıyasla gram başına daha fazla tutulum ve daha uzun retansiyon göstermesi, paratiroid adenomlarının görüntülenmesindeki temel avantajıdır (2,25,26). Erişkinlerde intravenöz uygulanan aktivite 740 MBq olup klinik pratikte 740-1100 MBq aralığında değişmektedir (2,26). Bununla birlikte, radyasyondan korunma ilkeleri çerçevesinde belirlenen tanısal referans doz 900 MBq olup; yaklaşık 8 mSv etkin doza ve uterus 7 mGy doza karşılık gelmektedir (2).

b. ^{99m}Tc-Tetrofosmin

^{99m}Tc-tetrofosmin lipofilik katyonik bir difosfin kompleksi olup hücre membranı ve mitokondriyal potansiyele bağlı tutulur (1). Tanısal performansı sestamibiye yakın olmakla

birlikte, tiroidden daha yavaş klirensi ve düşük adenom-tiroid kontrastı nedeniyle klinik pratikte dual izotop olarak çıkarma protokollerinde kullanımı önerilmektedir (2,26). Ortalama erişkin dozu 740-900 MBq'tır (etkin doz ~7 mSv) (2).

c. ²⁰¹Talyum

Talyum-201, Na⁺/K⁺-adenin trifosfataz (ATPaz) aracılığıyla hücre içine alınan katyonik bir potasyum analogudur. Hem tiroid hem de patolojik paratiroid dokusunda tutulur. Daha çok ²⁰¹Tl-^{99m}Tc-perteknetat çıkarma tekniklerinde kullanılmış olmakla birlikte, uzun yarı ömrü, suboptimal foton enerjisi, yüksek radyasyon dozu gibi fiziksel özelliklerine bağlı sınırlılıklar nedeniyle güncel klinik kullanımı azalmıştır (1,2,26).

d. ^{99m}Tc-Perteknetat

^{99m}Tc-perteknetat temel olarak tiroid görüntülemesinde kullanılır ve çıkarma protokollerinde tiroid aktivitesinin gösterilmesini sağlar (2,26). ^{99m}Tc-sestamibi veya ^{99m}Tc-tetrofosmin imajlarından çıkarılır. Standart tiroid görüntüleme için tanısal referans dozu 80 MBq (tiroid bezine verilen etkin doz yaklaşık 1 mSv) olmakla birlikte kullanılan diğer radyofarmasötikçe göre doz aralığı değişebilir (2).

e. İyot-123 (¹²³I)

¹²³I, fonksiyonel tiroid dokusunda tutulup organifiye edilen bir radyofarmasötik olup ^{99m}Tc-sestamibi ile yapılan çıkarma protokollerinde kullanılabilir. Oral yolla uygulanır ve doz genellikle 7,5-22 MBq aralığındadır. Yüksek maliyet, sınırlı erişilebilirlik ve uzun işlem süresi başlıca dezavantajlarıdır (2).

1.2. Hasta Hazırlığı ve Ön Bilgiler

Paratiroid radyonüklid görüntüleme öncesinde genellikle özel bir hasta hazırlığı gerekmez; ancak görüntüleme sırasında hareketsizlik tanısal doğruluk açısından önemlidir ve hastaya işlem öncesi açıklanmalıdır (4,26). Doğurganlık çağındaki kadınlarda gebelik durumu sorgulanmalıdır. Gebe hastalarda mümkünse sintigrafi gebelik sonrasına ertelenmeli, USG tercih edilmelidir. Emziren hastalarda ^{99m}Tc-sestamibi kullanırken emzirmeyi kesmek zorunlu değildir; ancak emzirmeye ara verilmesi gerekebilir (4). Görüntüleme öncesinde serum kalsiyum, PTH, fosfor ve 25-hidroksi D vitamini düzeyleri ile klinik öykü değerlendirilmelidir. Eşlik eden tiroid hastalığı, geçirilmiş boyun cerrahisi, kullanılan ilaçlar ve mevcut görüntüleme bulguları kaydedilmelidir (4,26). Kalsiyum kanal blokerleri ve kalsimimetikler ^{99m}Tc-sestamibi tutulumunu azaltabileceğinden, mümkünse sintigrafiden 1-2 hafta önce kesilmeleri önerilir. Dual izotop protokollerinde tiroid görüntülemesi iyot satürasyonu olmadan yapılmalı; tiroid

hormon replasmanı alan hastalarda ise tedavi kesilmeden dual-faz görüntüleme tercih edilmelidir (4).

1.3. Paratiroid Sintigrafisi Görüntüleme Protokolleri

a. Dual İzotop Çıkarma Paratiroid Sintigrafisi

Dual izotop çıkarma yöntemi, tiroid ve paratiroid dokusunda tutulan bir radyofarmasötik ile yalnızca tiroid dokusunda tutulan ikinci bir ajanın birlikte kullanılması ve tiroid aktivitesinin dijital olarak çıkarılması esasına dayanır. Genellikle ^{99m}Tc -sestamibi veya ^{201}Tl ile tiroid ve paratiroid dokuları, ^{99m}Tc -perteknetat veya ^{123}I ile yalnızca tiroid dokusu görüntülenir. Tiroid görüntülerinin normalize edilerek çıkarılmasıyla paratiroid aktivitesi belirginleştirilir (1,2,4). Günümüzde en sık ^{99m}Tc -sestamibi/perteknetat ve ^{99m}Tc -sestamibi/ ^{123}I protokolleri kullanılmaktadır. İki tetkik aynı gün veya tiroid sintigrafisi 2-3 gün sonra yapılacak şekilde planlanabilir. Herhangi bir ajan ilk olarak uygulanabilir. Dual izotop çıkarma tekniği tiroid kaynaklı yanlış pozitifliği azaltarak spesifiteyi artırmakla birlikte iki radyofarmasötik gereksinimi, daha uzun işlem süresi ve teknik zorluklar nedeniyle günümüzde kullanım sıklığı oldukça azalmıştır (1,2,3,4,5,26).

b. Dual Faz Paratiroid Sintigrafisi

Paratiroid sintigrafisinde en yüksek duyarlılık ve özgüllük ile günümüzde en sık kullanılan yöntem ^{99m}Tc -sestamibi dual faz görüntülemesidir. Tek radyofarmasötik (^{99m}Tc -sestamibi) kullanılarak patolojik paratiroid dokusu ile tiroid dokusu arasındaki farklı klirens hızlarına dayanan bir yöntemdir (1,2,3,4). Mitokondriden zengin oksifil hücreler nedeniyle sestamibi'nin patolojik paratiroid dokusunda daha uzun süre tutulması prensibine dayanır (1,2,3,4). Uygulanan doz hastanın vücut kitlesine göre genellikle 400-900 MBq olup rutinde ortalama 740 MBq'dır. Radyofarmasötik enjeksiyonu takiben 10-15. dakikada erken faz ve 90-150. dakikada geç faz görüntüleme yapılır. Erken ve geç fazlarda anterior planar görüntüler; olası ektopik lezyonları değerlendirebilmek amacıyla submandibuler bezlerden kalp girimine kadar boyun ve üst mediasteni kapsayacak şekilde alınmalı; gerekli durumlarda oblik projeksiyonlar eklenmelidir (2,26). Görüntüleme düşük enerjili yüksek çözünürlüklü kolimatör ile yapılır; küçük lezyonlarda pinhol kolimatör ek katkı sağlayabilir. Enerji penceresi 140 ± 10 keV, matris boyutu 128×128 veya 256×256 olarak ayarlanır (1,4).

Dual faz yaklaşım tek paratiroid adenomlarının saptanmasında yüksek duyarlılığa, ayrıca tek radyofarmasötik kullanımı, kısa çekim süresi ve düşük maliyet avantajlarına sahiptir; ancak multiglandüler hastalık, küçük veya kistik lezyonlar ve tiroid nodüllerine komşu tutulumlar tanısal zorluk oluşturabilir. Ayrıca eşlik eden tiroid patolojilerinde yanlış pozitiflik riski taşır. Bu nedenle planar görüntülemeye

SPECT veya SPECT/BT eklenmesi tanısal doğruluğu ve anatomik lokalizasyonu artırır (1,2,3,4,5,11,26).

1.4. SPECT ve SPECT/BT Görüntüleme

MİP'in yaygınlaşmasıyla, pHPT'de hiperfonksiyone paratiroid bezinin doğru preoperatif lokalizasyonu kritik hale gelmiştir. Bu doğrultuda, ^{99m}Tc -sestamibi planar sintigrafisinin tanısal performansını artırmak için SPECT ve özellikle SPECT/BT kullanımı giderek daha fazla önem taşımaktadır (1,2,4,5,11,17,26).

Sestamibi SPECT, planar görüntülemeye kıyasla üç boyutlu değerlendirme, daha yüksek uzaysal çözünürlük ve derinlik bilgisi sağlayarak özellikle ektopik yerleşimli bezler, küçük lezyonlar ve mediastinal adenomların saptanmasında üstünlük gösterir. Geçirilmiş boyun cerrahisi öyküsü bulunan hastalarda duyarlılığı artırmaktadır (1,2,4,26,27). Cerrahi geçirmemiş pHPT olgularında dual faz SPECT veya SPECT/BT için bildirilen duyarlılık %67-86, pozitif prediktif değer ise %91-96 arasındadır (28,29,30).

SPECT görüntüleme genellikle 128×128 matris, 360° rotasyon ve 60-128 projeksiyon ile gerçekleştirilir; rekonstrüksiyon zayıflama düzeltmesi sonrası *ordered subsets expectation maximization* iteratif teknik kullanılarak yapılır (26). Yüksek çözünürlüklü düşük enerjili kolimatör tercih edilir (2,26,27).

SPECT/BT'de BT bileşeni, fonksiyonel bulguların anatomik yapılarla korelasyonunu sağlayarak paratiroid adenomlarının tiroid nodları, lenf nodları ve vasküler yapılardan ayırımı kolaylaştırır ve cerrahi planlamaya katkı sağlar (1,2,4,27). BT bileşeni genellikle kontrastsız düşük doz protokolle uygulanır (26). Seçilmiş olgularda kontrastlı BT tanısal katkı sağlayabilse de, artan radyasyon dozu, kontrast riski ve maliyet nedeniyle bu yaklaşım klinik gereksinime göre bireyselleştirilmelidir (1,26).

Meta-analizlerde SPECT/BT'nin planar sintigrafi ve tek başına SPECT'e kıyasla daha yüksek duyarlılık ve pozitif prediktif değere sahip olduğu gösterilmiş; hasta bazında duyarlılık %84-88 olarak bildirilmiştir (30,31). SPECT/BT'nin SPECT'e kıyasla daha yüksek duyarlılığa sahip olduğu, cerrahi süreyi kısalttığı ve maliyeti azalttığı çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (32,33).

Her planar görüntüleme sonrası kafa tabanını ve kalbin basisini içeren en az bir SPECT/BT görüntüleme yapılması günümüzde artık güncel rehberlerde önerilmektedir (4). Sadece SPECT görüntüleme yapılacaksa erken, geç veya her iki fazda da yapılabilir. SPECT/BT görüntüler ise ek radyasyon yükü nedeniyle çoğu merkezde tek zaman noktasında uygulanır (1,2,26). Geç faz paratiroid-tiroid kontrastının en yüksek olduğu dönem olmakla birlikte, özellikle erken boşaltım yapan adenomlar ve paratiroid hiperplazisi olasılığı

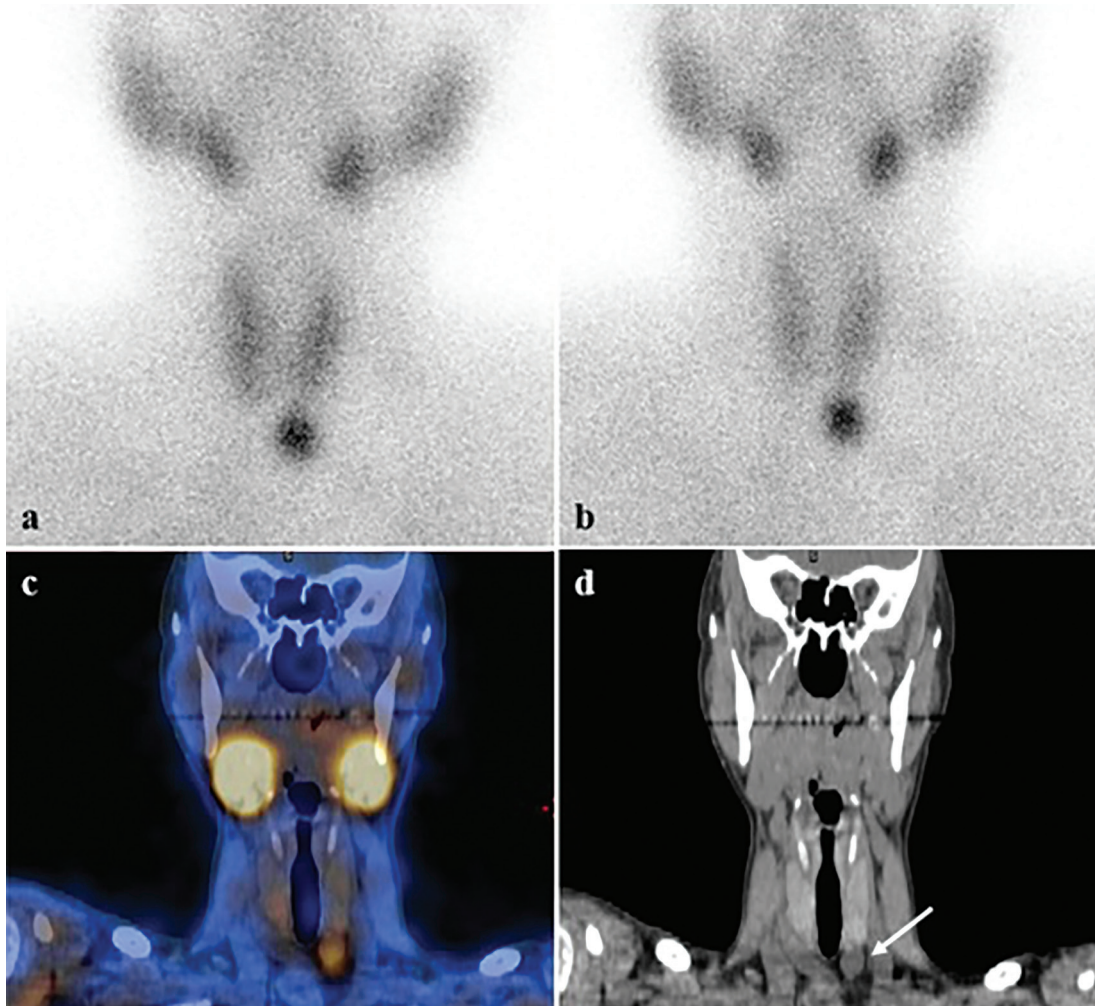
için SPECT/BT'nin erken fazda yapılmasının duyarlılığı artırdığı bildirilmiştir (34,35,36).

1.5. Dual Faz Paratiroid Sintigrafisi Değerlendirme

^{99m}Tc-sestamibi ile yapılan dual faz paratiroid sintigrafisi, tiroid ve paratiroid dokuları arasındaki farklı yıkanma kinetiğine dayanır. Erken fazda her iki dokuda tutulum izlenirken, tiroid dokusunda hızlı klirens gelişir; hiperfonksiyone paratiroid dokusunda ise tutulum geç fazda sebat eder. Paratiroid adenomunun tipik bulgusu, erken fazda izlenen fokal tutulumun geç fazda devam etmesidir

(Şekil 1). Bu özellik, mitokondriden zengin oksifil hücreler nedeniyle sestamibinin paratiroid dokusunda daha uzun süre tutulmasına bağlıdır (1,2,3,4,5)

^{99m}Tc-sestamibi tutulumu biyolojik ve teknik birçok faktörden etkilenmekte olup yanlış negatif veya yanlış pozitif sonuçlar görülebilmektedir (1,2,3,4,5). Sintigrafinin duyarlılığı özellikle tek bez hastalığında ve büyük adenomlarda daha yüksektir. Yüksek serum PTH ve kalsiyum düzeyleri ile yeterli D vitamini düzeyi, görüntüleme başarısını artırma eğilimindedir (Tablo 2). Negatif sestamibi sonucu primer



Şekil 1. Dual faz ^{99m}Tc-sestamibi paratiroid sintigrafisi ve SPECT/BT ile lokalize edilen paratiroid adenomu örneği. (a) Erken ve (b) geç faz anterior planar ^{99m}Tc-sestamibi görüntülerinde tiroid glandındaki fizyolojik tutulumla birlikte, sol tiroid lobu alt pol inferior komşuluğunda tiroid dokusuna kıyasla persistan ve fokal artmış aktivite tutulumu gözlenmektedir. (c) SPECT/BT füzyon görüntüsünde bu artmış aktivite tutan odağın sol inferior paratiroid lojunda yer alan iyi sınırlı nodüler lezyon ile uyumlu olduğu görülmekte olup paratiroid adenomu ile uyumlu olarak değerlendirilmiştir. (d) Eşlik eden BT kesitlerinde, sol inferior paratiroid bezi lokalizasyonundaki lezyonun anatomik korelasyonu net olarak izlenmekte olup lezyon beyaz ok ile işaretlenmiştir

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

Tablo 2. Pozitif veya negatif paratiroid taraması sonucu olasılığını etkileyen biyokimyasal faktörler (2)

	Pozitif görüntüleme	Negatif görüntüleme
Kalsiyum düzeyi	>11,3 mg/dL	<11,3 mg/dL
PTH seviyesi	>160 pg/mL	<160 pg/mL
25-hidroksi vitamin D	<25 ng/dL	>25 ng/dL
Kalsiyum kanal blokörü	-	+
PTH: Paratiroid hormonu		

hiperparatiroidizm tanısını dışlamaz; olguların yaklaşık %12-25'inde negatif sonuçlar bildirilmektedir (37,38). Multiglandüler hastalık, paratiroid hiperplazisi ve eşlik eden tiroid patolojileri tanısal doğruluğu azaltan başlıca nedenlerdir (9,26,39).

Hiperfonksiyone paratiroid bezlerinin sintigrafik saptanabilirliği; adenomun boyutu ve ağırlığı, hücresel kompozisyon ve metabolik aktivitesi ile ilişkilidir. Oksifil hücre baskınlığı, sestamibi pozitifliği ile en sık ilişkilendirilen histopatolojik özelliktir. Sestamibinin mitokondri iç membranında birikimi, hücresel metabolizma ve ATP üretimi ile ilişkili olup, metabolik aktivite arttıkça tutulum da artmaktadır. Bu nedenle sestamibi, paratiroid bezlerini doğrudan değil, hücresel proliferasyon ve metabolik aktivite üzerinden dolaylı olarak görüntüler (2). Ayrıca bazı hastalarda biyolojik aktivitenin zamanla artmasına bağlı olarak başlangıçta negatif olan sintigrafik bulguların daha sonraki incelemelerde pozitif hale gelebildiği bildirilmiştir (2). Benzer şekilde esas hücre veya berrak hücre baskın adenomlarda sestamibi tutulumunun daha düşük olabileceği bildirilmiştir (9,40). Literatürde oksifil hücre oranının %20'nin üzerinde olması durumunda pozitif sonuç olasılığının belirgin arttığı bildirilmiştir (9,41).

Adenom ağırlığı tanısal doğruluğu etkileyen bir diğer faktördür. Ortalama ağırlığı yaklaşık 1,4 g'ın üzerinde olan adenomlarda pozitiflik daha sık görülürken, 500 mg'dan küçük adenomlarda yanlış negatiflik olasılığı artmaktadır (41). Bununla birlikte, büyük adenomlarda da nadiren yanlış negatif sonuçlar bildirilmektedir (42).

Yanlış negatif sestamibi sonuçlarında P-glikoprotein ve çoklu ilaç direnciyle ilişkili protein-1 ekspresyonu da rol oynayabilir. Bu transmembran proteinler sestamibinin hücre dışına aktif taşınmasını artırarak hücre içi birikimi azaltabilir (2,42). Ayrıca son çalışmalarda vasküler endotelial büyüme faktörü reseptör-2 ekspresyonunun düşük olduğu adenomlarda sestamibi tutulumunun da daha az olabileceği bildirilmiş (43) fakat vasküler faktörlerin rolü henüz netlik kazanmamıştır (5).

Farmakolojik tedaviler de sintigrafik duyarlılığı etkileyebilir. Özellikle kalsiyum kanal blokerleri kullanan hastalarda ^{99m}Tc-sestamibi SPECT ile lokalizasyon başarısının azaldığı ve negatif sonuç riskinin üç kat arttığı gösterilmiştir (44).

Sestamibi negatif olgularda, ²⁰¹Tl SPECT/BT ile adenomların saptanabildiği bildirilmiştir. Bu durum, ²⁰¹Tl'nin perfüzyon ve hücre yoğunluğu ile ilişkili tutulumu sayesinde oksifil hücre içeriğinden daha bağımsız biyolojik özellikler yansıtmalarına bağlanmaktadır (2).

Hiperfonksiyone paratiroid dokusunda sestamibi ve tetrofosmin tutulumunu etkileyen faktörler Tablo 3'te, yanlış pozitif ve yanlış negatif nedenler ise Tablo 4'te özetlenmiştir. Dual faz sintigrafi değerlendirilirken bu biyolojik varyasyonlar göz önünde bulundurulmalı; gerekli durumlarda tiroid sintigrafisi veya tamamlayıcı görüntüleme yöntemleri kullanılmalıdır (1,2,4).

2. Ultrasonografi

USG, paratiroid lezyonlarının preoperatif lokalizasyonunda en sık kullanılan ve genellikle ilk basamak görüntüleme yöntemidir. Radyasyon içermemesi, düşük maliyetli, kolay uygulanabilir ve noninvaziv olması temel avantajlarıdır. Aynı seansta tiroid bezinin değerlendirilmesine olanak tanınması, eşlik eden tiroid patolojilerinin saptanması ve girişimsel işlemlere kılavuzluk etmesi cerrahi planlamaya katkı sağlaması açısından önemlidir. Ancak operatör bağımlılığı ve obez hastalarda azalan görüntü kalitesi başlıca sınırlılıklardır. USG tanı amacıyla değil, biyokimyasal olarak doğrulanmış HPT olgularında cerrahi öncesi lokalizasyon için kullanılmalıdır (1,2,4,5,26).

İnceleme hasta supin pozisyonunda, boyun hiperekstansiyonda iken yüksek frekanslı lineer prob (≥7-15 MHz) ile gerçekleştirilir. Karotis bifurkasyonundan sternal çentiğe kadar anterior boyun aksiyel ve longitudinal düzlemlerde değerlendirilmelidir (1,2,4).

Normal paratiroid bezleri küçük boyutlarından dolayı genellikle USG ile görüntülenemez. Hiperfonksiyone bezler ise sıklıkla tiroid bezine komşu oval/yuvarlak, hipoeoik ve iyi sınırlı lezyonlar şeklinde izlenir (Şekil 2). En sık tiroid bezinin posteriorunda yer alırlar. Renkli Doppler USG'de saptanan polar kanlanma lenf nodları ile ayırıcı tanıda yardımcıdır (1,2,4,45).

Meta-analizlerde USG'nin büyümüş paratiroid bezlerini saptamadaki duyarlılığı %76-80, pozitif prediktif değeri yaklaşık %93 olarak bildirilmiştir (28,46). Tecrübeli ellerde özellikle duyarlılık yüksektir. Performans tek bez hastalığında yüksek iken multiglandüler hastalıkta belirgin şekilde düşmekte; duyarlılık sırasıyla %66-79 ve %16-35 aralığında

rapor edilmektedir (47). Bu farklılıklar büyük ölçüde operatör deneyimi ve eşlik eden tiroid patolojileri ile ilişkilidir (2,4). Tiroid patolojisi olmayanlarda duyarlılık %75 iken, tiroid hastalığı olanlarda %46,7'ye düşmektedir (46). Paratiroid sintigrafisi sonrası yapılan USG'nin tanısallı doğruluğunun daha yüksek olduğu bildirilmiştir (48).

USG preoperatif değerlendirmede birinci basamak yöntem olarak önerilmekle birlikte ektopik bezlerin (özellikle mediastinal) saptanmasında sınırlı performansa sahiptir. USG ve sintigrafinin birlikte kullanılması, mümkünse SPECT/BT'nin de eklenmesi tanısallı doğruluğu ve duyarlılığı artırır. Posterior yerleşimli tiroid nodülleri ve özellikle kronik

tiroiditli hastalarda santral kompartman lenf nodları yanlış pozitifliğe yol açabilir (10).

Yanlış negatif USG sonuçları; küçük bez boyutu, ektopik veya intratiroidal yerleşim, üst pol adenomları, önceki cerrahiye bağlı skar dokusu, obezite ve nodüler guatr ile ilişkilidir (2). Özellikle intratiroidal yerleşimli paratiroid bezleri, tiroid nodülleriyle karışabildiğinden ayırıcı tanı güçleşir (Şekil 3). Bu olgularda ince iğne aspirasyonu (İİA) ve aspiratta PTH ölçümü (İİA-PTH ölçümü) tanıya yardımcı olabilir (49,50). İİA-PTH ölçümünün duyarlılığı %70-100, özgüllüğü %75-100 arasında bildirilmiştir (51). Ancak standardizasyon eksikliği ve invaziv olması nedeniyle yalnızca USG-sintigrafi uyumsuzluğu olan olgularda önerilmektedir (4).

Sonuç olarak servikal USG, paratiroid bezlerinin preoperatif lokalizasyonunda güvenilir ve pratik bir yöntemdir; ancak operatör bağımlılığı, ektopik bezlerde düşük duyarlılık ve eşlik eden tiroid patolojileri nedeniyle paratiroid sintigrafisi ile birlikte kullanılması önerilmektedir (52).

3. PET/BT

PET/BT, paratiroid bezlerinin preoperatif lokalizasyonunda yüksek uzaysal çözünürlük ve duyarlılık sunan ileri bir moleküler görüntüleme yöntemidir. Fonksiyonel ve anatomik bilgiyi eş zamanlı sağlaması sayesinde, özellikle konvansiyonel yöntemlerle lokalize edilemeyen küçük, ektopik veya multiglandüler hiperfonksiyone paratiroid bezlerinin saptanmasında etkilidir (1,2,4).

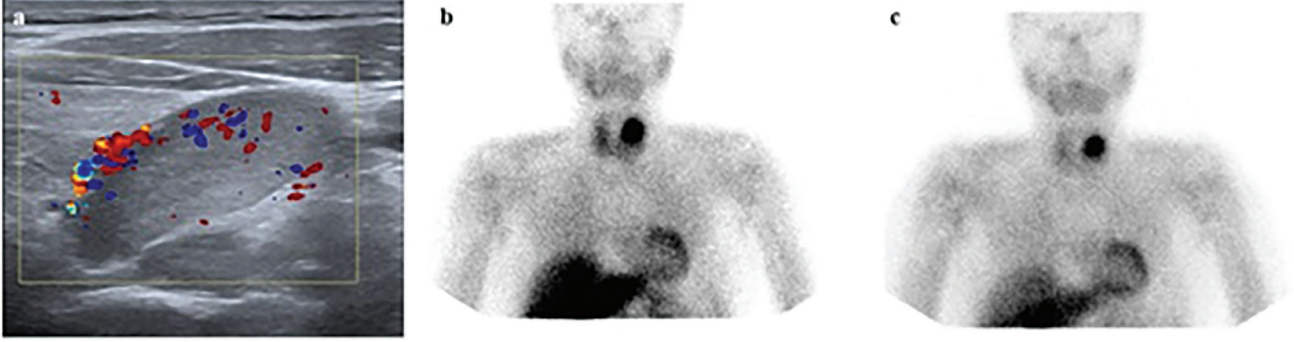
Özellikle persistan veya rekürren hiperparatiroidide, reoperasyon öncesi doğru lokalizasyonun cerrahi başarı açısından kritik olduğu hasta grubunda PET/BT'nin konvansiyonel yöntemlere üstün olduğu bildirilmektedir (2,4). Bu bağlamda, Flor 18 (¹⁸F)-florokolin PET/BT'nin gereksiz cerrahi girişimleri azaltma potansiyeli dikkat çekmektedir (2).

Tablo 3. Hiperfonksiyonel paratiroid dokusunda ^{99m}Tc-sestamibi ve ^{99m}Tc-tetrofosmin birikimini ve tutulumunu etkileyen faktörler (2)

Hiperfonksiyonel paratiroid bezlerinin boyutu
Perfüzyon
Hücre içeriği
Nodüler veya diffüz hiperplazi
Metabolik aktivite
Sekretuar aktivite
Hücre membran potansiyelleri
Mitokondriyal membran potansiyelleri ve hacimleri
Hücre döngüsünün evresi (proliferatif aktivite)
P-gp/MRP1 ekspresyonu
Anjiyogenez, lenfanjiyogenez
Paratiroid kanaması/nekrozu
Kalsiyum sensitif reseptör ekspresyonu
P-gp: P-glikoprotein, MRP1: Çoklu ilaç direnciyle ilişkili protein-1

Tablo 4. ^{99m}Tc-sestamibi paratiroid sintigrafisi-yanlış pozitiflik ve yanlış negatiflik nedenleri (2)

Yanlış negatiflik nedenleri	Yanlış pozitiflik nedenleri
Küçük boyutlu adenomlar	Tiroid adenomları
Lezyon lokalizasyonu	Tiroid karsinomu
Hüresel fonksiyonel durum	Metastatik tiroid karsinomu
Berrak hücre predominansı	Enflamatuvar tiroid hastalıkları
Yüksek P-glikoprotein düzeyi	Hipofonksiyone tiroid nodülleri
Multidrug rezistans protein ekspresyonu	Hiperfonksiyone tiroid nodülleri
Kanama/nekroz	Kolloidal tiroid nodülleri
Kistik lezyonlar	Kahverengi yağ dokusu
Multiglandüler hastalık	Sarkoidoz
Diffüz hiperplazi	Servikal lenf nodları (malign veya enflamatuvar)
Tiroid bezi hiperplazisi	



Şekil 2. USG ve dual faz ^{99m}Tc -sestamibi paratiroid sintigrafisi ile lokalize edilen paratiroid adenomu örneği. (a) USG'de sol tiroid lobu üst-orta pol komşuluğunda, tiroid bezi dışında yerleşimli ve paratiroid adenomu lehine değerlendirilen lezyon izlenmektedir. Renkli Doppler incelemede polar artere uyan artmış vaskülarite mevcuttur. (b) Erken ve (c) geç faz anterior planar ^{99m}Tc -sestamibi görüntülerinde tiroid glandındaki fizyolojik tutulumla birlikte, USG'de tanımlanan lezyon lokalizasyonuna uyan alanda tiroid dokusuna kıyasla persistan ve fokal aktivite tutulumu saptanmaktadır. Bulgular paratiroid adenomu ile uyumlu olarak değerlendirilmiştir

USG: Ultrasonografi

3.1. Radyofarmasötikler

Paratiroid PET/BT görüntülemenin temeli, hiperfonksiyone paratiroid dokusunda artmış metabolik aktivite ve hücre membranı sentezine dayanır (1,2,3,4,5). Bu amaçla en sık kullanılan ajanlar ^{11}C -metiyonin ve kolin türevleridir; güncel pratikte ^{18}F -florokolin en yaygın kullanılan ajan haline gelmiştir (2,4,5).

Kolin, fosfatidilkolin sentezinin öncüsü olup hiperfonksiyone paratiroid dokusunda artmış fosfolipid sentezi ve kolin kinaz aktivitesi nedeniyle tutulum artışı gösterir (4,53,54). ^{11}C -kolinin kısa yarı ömrü ve siklotron gereksinimi kullanımını kısıtlarken, daha uzun yarı ömrü nedeniyle ^{18}F -florokolin klinik uygulamada avantaj sağlamaktadır (2,4,5).

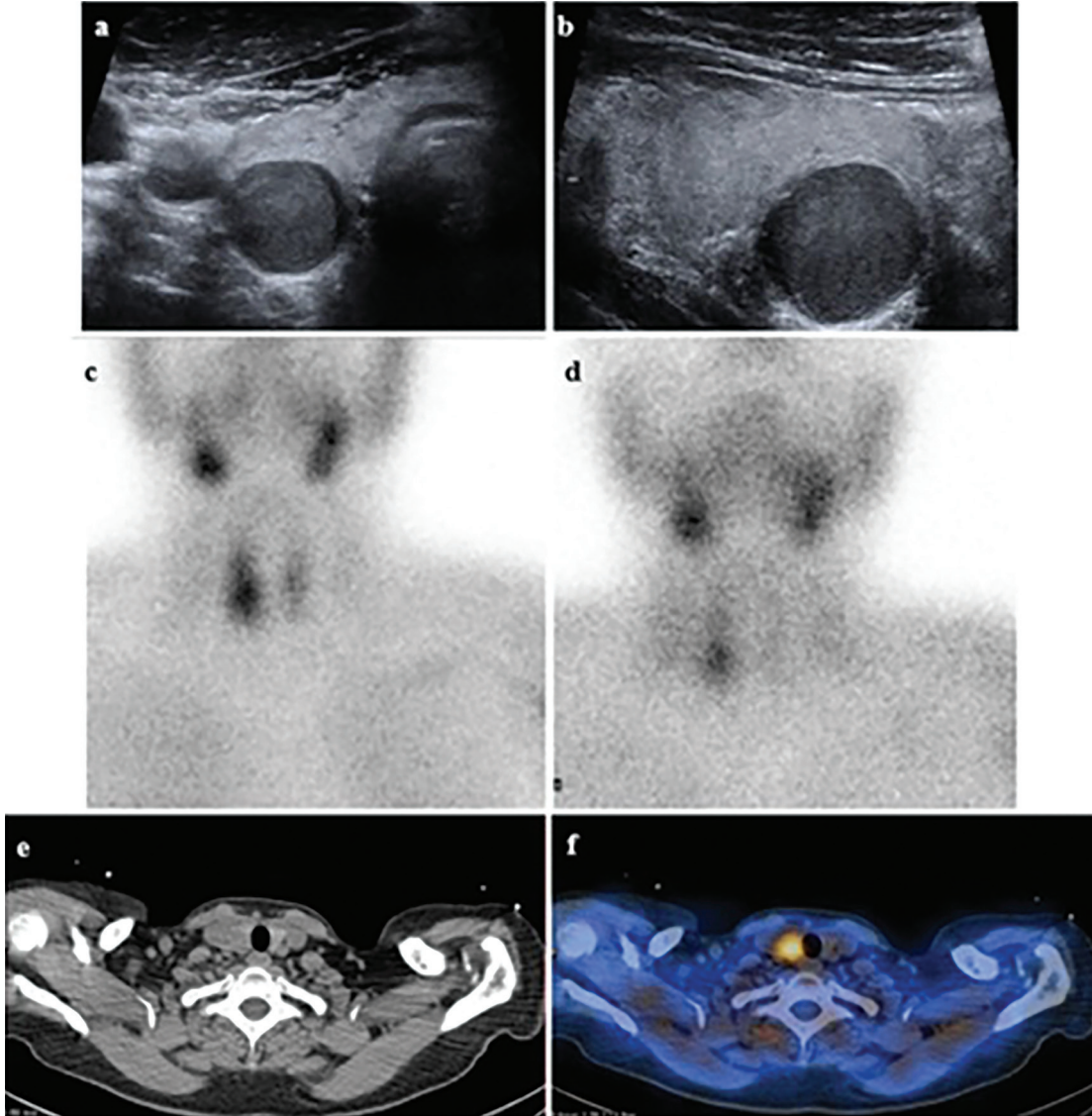
^{18}F -florokolin PET/BT'nin tanısal performansı birçok çalışmada gösterilmiş olup duyarlılık %94-100 arasında bildirilmiştir (55,56). Treglia ve ark. (54) 14 çalışmayı içeren meta-analizinde, hasta bazlı sensitivite %95, pozitif prediktif değer %97 ve saptama oranı %91 olarak rapor edilmiştir. Bu yüksek performans özellikle küçük, multiglandüler ve atipik lokalizasyonlu lezyonlarda belirgindir (2,4). ^{18}F -fluorodeoksiglukoz (FDG), değişken ve genellikle düşük duyarlılığı (%0-94) ve tutulum mekanizmasındaki farklılık nedeniyle paratiroid görüntülemeye rutin olarak önerilmemektedir (1,2). Ancak başka endikasyonlarla yapılan FDG PET/BT incelemelerinde insidental paratiroid lezyonları saptanabilir (4,57). Mitokondri hedefli yeni PET ajanları (^{18}F -flurpiridaz ve ^{18}F -trifenilfosfonyum türevleri), yüksek mitokondriyal membran potansiyeline sahip hücrelerde birikmeleri nedeniyle gelecekte potansiyel adaylar arasında yer almaktadır (5).

3.2. Görüntüleme Protokolü ve Analiz

Kolin bazlı ajanlarda enjeksiyondan yaklaşık 60 dakika sonra görüntüleme önerilir; seçilmiş olgularda dinamik veya çift zamanlı görüntüleme tanısal katkı sağlayabilir (4,5). Tiroid parankimine komşu fokal artmış tutulumlar hiperfonksiyone paratiroid lehine değerlendirilir. BT'de hipodens görünüm ve PET'te tiroid dokusundan yüksek SUV_{maks} tanımı destekler; ancak evrensel bir eşik değeri bulunmadığından görsel değerlendirme esastır (4). Yorumlamada en sık karşılaşılan tuzaklar tiroid patolojileri ve reaktif lenf nodlarıdır. Tiroiditlerde ve Graves hastalığında diffüz kolin tutulumu izlenebilirken, mediastinal lenf nodları ektopik paratiroid ile karışabilir. Bu nedenle BT komponenti dikkatle değerlendirilmeli ve gerektiğinde diğer görüntüleme yöntemleriyle korelasyon yapılmalıdır (4,5,58). Yanlış negatif sonuçlar multiglandüler hastalık, düşük biyokimyasal aktivite ve yetersiz görüntüleme alanı ile ilişkili olabilir. PET/BT bulguları mutlaka klinik ve laboratuvar verileriyle birlikte değerlendirilmelidir (2,4).

4. Bilgisayarlı Tomografi

BT, paratiroid lezyonlarının tanısında tek başına kullanılmaz; ancak günümüzde SPECT/BT ve PET/BT gibi hibrit görüntüleme sistemlerinin temel bileşeni haline gelmiştir. Kontrastsız düşük doz BT'nin temel işlevi atenüasyon düzeltilmesi ve anatomik korelasyon sağlamak olup, multimodal görüntülemenin tanısal doğruluğunu artırır (2). Paratiroid adenomları BT'de genellikle iyi sınırlı ve tiroid dokusuna göre daha düşük dansiteye (<80 HU) sahiptir; ancak kas dokusu ve lenf nodları ile benzer dansite gösterebilmeleri ayırıcı tanıyı zorlaştırabilir (2). Standart



Şekil 3. İntratiroidal paratiroid adenomu örneği USG’de (a) aksiyel ve (b) longitudinal kesitlerde sağ tiroid lobu orta-alt kesimde intratiroidal yerleşimli hipoeoik nodüler lezyon izlenmekte olup tiroid nodülü ile ayırt edilememektedir. (c) Erken ve geç (d) faz anterior planar ^{99m}Tc-sestamibi görüntülerinde tiroid glandındaki fizyolojik tutulumla birlikte, sağ tiroid lobu orta-alt kesimine uyan alanda persistan ve fokal artmış aktivite tutulumu saptanmaktadır. (e) SPECT/BT incelemesinin BT komponentine ait aksiyel kesitte, sağ tiroid lobu içinde intratiroidal yerleşimli nodüler lezyon izlenmektedir. (f) SPECT/BT füzyon görüntülerinin aksiyel kesitinde, geç fazda izlenen aktivite tutulumu odağının BT’de tanımlanan intratiroidal nodüler lezyon ile örtüştüğü gösterilmekte olup bulgular intratiroidal paratiroid adenomu ile uyumlu olarak değerlendirilmiştir. Akabinde bu lezyondan yapılan İİA-PTH yıkama sonucu >5000 pg/mL olup tanıyı doğrulamıştır

SPECT: Tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi, BT: Bilgisayarlı tomografi, USG: Ultrasonografi, İİA: İnce iğne aspirasyonu, PTH: Parathormon

tek faz BT’nin bildirilen duyarlılığı %46-87 arasında olup, USG ve radyonüklid yöntemlere kıyasla daha düşüktür (59). Son yıllarda geliştirilen 4D-BT, paratiroid adenomlarının kontrastlanma paternlerinin zamansal değişimini değerlendirilerek anatomik ve fonksiyonel bilgiyi birlikte sunan ileri bir yöntemdir (2,4). Standart 4D-BT protokolleri genellikle

kontrastsız görüntülemeyi takiben kontrast enjeksiyonu sonrası arteriyel ve venöz fazlar ile zaman içerisindeki kontrast artışını değerlendiren dördüncü boyutu içerir (2,4). Kontrastsız fazda, adenom iyot açısından zengin tiroid dokusuna göre daha düşük dansitede izlenirken; arteriyel fazda adenomların hipervasküler yapısı belirginleşerek

erken kontrast tutulumu ile venöz fazda hızlı boşaltım paterni tipiktir (60). 4D-BT'nin en önemli dezavantajı yüksek radyasyon dozudur (61). Mahajan ve ark. (62), 4D-BT'de tiroid dozunun ^{99m}Tc -sestamibi SPECT'e kıyasla yaklaşık 57 kat fazla olduğunu bildirmiştir. Bu nedenle önceki görüntülemelerle lokalize edilemeyen, boyun anatomisinin bozulduğu, ilk cerrahinin başarısız olduğu ve persistan/rekürren HPT gibi zor ve seçilmiş olgularda kullanımı tercih edilmelidir. Karşılaştırmalı çalışmalarda 4D-BT'nin ^{99m}Tc -sestamibi SPECT/BT'ye üstünlüğü net olarak gösterilememiştir (63). Bununla birlikte, USG ve sestamibi sintigrafisinin negatif veya non-lokalize olduğu olgularda ve küçük adenomları saptamada yararlı bir yöntemdir (29). Retrospektif çalışmalarda, bu hasta grubunun yaklaşık %75'inde patolojik bezin 4D-BT ile lokalize edilebildiği bildirilmiştir (64). Avrupa Nükleer Tıp Birliği 2021 kılavuzu, 4D-BT'nin tanısal performansının ^{99m}Tc -sestamibi SPECT/BT ile benzer olduğunu; ancak birinci basamakta USG ve ^{99m}Tc -sestamibi SPECT/SPECT-BT'nin tercih edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (4,11).

5. Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG)

MRG, paratiroid adenomlarının yumuşak doku özelliklerini değerlendirmede kullanılan non-invaziv bir kesitsel görüntüleme yöntemidir. Özellikle reoperatif cerrahi planlanan hastalarda anormal paratiroid dokusunun lokalizasyonunda tercih edilmektedir. İyonizan radyasyon içermemesi ve iyotlu kontrast gerektirmemesi temel avantajlarıdır (2,4,5,59).

6. İnvaziv Tanısal Yöntemler

Paratiroid bezlerinin genellikle ipsilateral ve inferior venöz drenaj göstermesi prensibine dayanarak, boyun ve mediastendeki farklı venlerden yapılan selektif transvenöz PTH örneklemeleri ile paratiroid lezyonlarının lateralizasyonu ve bölgesel lokalizasyonu sağlanabilir (15). Selektif venöz örnekleme ve selektif arteriyografi gibi invaziv yöntemler; önceki boyun cerrahisi öyküsü bulunan, reoperatif cerrahi planlanan ve non-invaziv görüntüleme ile lokalizasyon sağlanamayan hastalarda kullanılabilir (15,65). Ancak non-invaziv görüntüleme tekniklerindeki ilerlemelerle birlikte bu yöntemlere duyulan gereksinim belirgin şekilde azalmıştır (4,5). Hematoma, kontrast nefropatisine, serebrovasküler komplikasyonlara ve anafilaktik reaksiyonlara yol açabilmeleri nedeniyle (52), invaziv tanısal yöntemler yalnızca seçilmiş hastalarda ve deneyimli merkezlerde uygulanmalıdır (2,4,5).

Paratiroid Görüntülemenin Kısıtlılıkları

Mevcut görüntüleme yöntemlerinin temel sınırlılığı, paratiroid dokusuna özgü biyolojik hedefler içermemeleridir. Bu durum, özellikle ^{99m}Tc -sestamibi ile tiroid nodüllerine bağlı yalancı pozitifliklere neden olmakta ve yeni özgül ajanlara gereksinimi sürdürmektedir (5). Tek adenom tespit edilen pozitif görüntüleme multiglandüler hastalığı dışlamaz (66). Sekonder ve tersiyer HPT'de veya paratiroid hiperplazisinde multiglandüler hastalık oranı tipik pHPT olgularına göre daha yüksektir (%20-38; tipik ~%15) (44,67). Bu olgularda intraoperatif PTH monitörizasyonu önerilir. Biyokimyasal olarak pHPT tanısı kesin olan ve cerrahi kriterleri karşılayan hastalarda, görüntüleme negatifse bilateral eksplorasyonu hasta bazında değerlendirilmelidir (6,68). Normokalsemik pHPT'de lokalizasyon başarısı daha düşüktür; bu durum küçük adenomlar ve artmış multiglandüler hastalık sıklığı ile ilişkilidir (69). Görüntüleme negatifliği durumunda, yüksek hacimli ve deneyimli merkezlere yönlendirme tanısal duyarlılığı artırabilmektedir (70).

Sonuç

- Primer hiperparatiroidizm tanısı biyokimyasal olarak konur; görüntüleme cerrahi planlamayı yönlendirmek amacıyla kullanılır.
- Tek adenom, multiglandüler hastalık veya ektopik adenom cerrahi yaklaşımı değiştireceğinden tüm olgularda rutin preoperatif görüntüleme çok önemlidir.
- İlk basamakta planar, SPECT, SPECT/BT tekniklerinin kullanıldığı dual faz ^{99m}Tc -sestamibi sintigrafisinin USG ile kombinasyonu oldukça iyi sonuçlar vermektedir. SPECT, SPECT/BT kullanımı yöntemin duyarlılığını artırır fakat planar sintigrafinin yerini tamamen alamaz, planar görüntülere tamamlayıcı rol üstlenmelidir.
- USG-sintigrafi uyumsuzluğu olan olgularda USG'deki şüpheli lezyonda İİA-PTH ölçümü MİP'ye yol göstermede oldukça yüksek doğruluğa sahiptir.
- Lokalizasyon çalışması negatif olgular 4D-BT, ^{18}F -florokolin PET/BT ve MRG gibi daha ileri görüntüleme metotlarına yönlendirilmeli ve yöntem seçimi merkez deneyimine göre yapılmalıdır.

Dipnotlar

Çıkar Çatışması: Yazarlar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar

- Çakır B, editor. Paratiroid hastalıkları. Ankara: Akademisyen Kitabevi; 2023. Available from: <https://file.temd.org.tr/Uploads/publications/books/documents/PARATIROIDHASTALIKLARI.pdf>
- Siraj QH, editor. Radionuclide Parathyroid Imaging: Book and Atlas. Cham, Switzerland: Springer US; 2019.
- Mallick R, Chen H. Diagnosis and management of hyperparathyroidism. *Adv Surg*. 2018;52:137-153.
- Petranović Ovčariček P, Giovanella L, Carrió Gasset I, et al. The EANM practice guidelines for parathyroid imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2021;48:2801-2822.
- Morris MA, Saboury B, Ahlman M, et al. Parathyroid imaging: past, present, and future. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2022;12:760419.
- Wilhelm SM, Wang TS, Ruan DT, et al. The American Association of Endocrine Surgeons Guidelines for definitive management of primary hyperparathyroidism. *JAMA Surg*. 2016;151:959-968.
- Westerdahl J, Bergenfelz A. Unilateral versus bilateral neck exploration for primary hyperparathyroidism: five-year follow-up of a randomized controlled trial. *Ann Surg*. 2007;246:976-980; discussion 980-981.
- Udelsman R, Lin Z, Donovan P. The superiority of minimally invasive parathyroidectomy based on 1650 consecutive patients with primary hyperparathyroidism. *Ann Surg*. 2011;253:585-591.
- Ince S, Emer O, Deveci S, et al. Complementary role of parathormone washout test to ^{99m}Tc-MIBI parathyroid scintigraphy and histopathologic analysis of cell types in parathyroid adenomas. *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol (Engl Ed)*. 2018;37:205-210. English, Spanish.
- Barbaros U, Erbil Y, Salmashoğlu A, et al. The characteristics of concomitant thyroid nodules cause false-positive ultrasonography results in primary hyperparathyroidism. *Am J Otolaryngol*. 2009;30:239-243.
- 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;43:133-143.
- Frey S, Couët C, Trésallet C, et al. Utility of a second ^{99m}Tc-MIBI scintigraphy before reoperation for patients with persistent sporadic primary hyperparathyroidism: results of a retrospective multicenter study. *Ann Surg Oncol*. 2020;27:3831-3839.
- Patel SG, Saunders ND, Jamshed S, Weber CJ, Sharma J. Multimodal preoperative localization improves outcomes in reoperative parathyroidectomy: a 25-year surgical experience. *Am Surg*. 2019;85:939-943.
- Parikh AM, Grogan RH, Morón FE. Localization of parathyroid disease in reoperative patients with primary hyperparathyroidism. *Int J Endocrinol*. 2020;2020:9649564.
- Zander D, Bunch PM, Trout AT, et al. ACR appropriateness criteria[®] parathyroid adenoma. *J Am Coll Radiol*. 2021;18:S406-S422.
- Amadou C, Bera G, Ezziene M, et al. ¹⁸F-fluorocholine PET/CT and parathyroid 4D computed tomography for primary hyperparathyroidism: the challenge of reoperative patients. *World J Surg*. 2019;43:1232-1242.
- Zafereo M, Yu J, Angelos P, et al. American Head and Neck Society Endocrine Surgery Section update on parathyroid imaging for surgical candidates with primary hyperparathyroidism. *Head Neck*. 2019;41:2398-2409.
- Karakas E, Müller HH, Schlosshauer T, Rothmund M, Bartsch DK. Reoperations for primary hyperparathyroidism--improvement of outcome over two decades. *Langenbecks Arch Surg*. 2013;398:99-106.
- Camenzuli C, DiMarco AN, Isaacs KE, et al. The changing face of reoperative parathyroidectomy: a single-centre comparison of 147 parathyroid reoperations. *Ann R Coll Surg Engl*. 2021;103:29-34.
- Amjad W, Trerotola SO, Fraker DL, Wachtel H. Tricks of the trade: techniques for preoperative localization in reoperative parathyroidectomy. *Am J Surg*. 2023;226:207-212.
- Mariani G, Gulec SA, Rubello D, et al. Preoperative localization and radioguided parathyroid surgery. *J Nucl Med*. 2003;44:1443-1458.
- Fukunaga M, Morita R, Yonekura Y, et al. Accumulation of ²⁰¹Tl-chloride in a parathyroid adenoma. *Clin Nucl Med*. 1979;4:229-230.
- Ferlin G, Borsato N, Camerani M, Conte N, Zotti D. New perspectives in localizing enlarged parathyroids by technetium-thallium subtraction scan. *J Nucl Med*. 1983;24:438-441.
- Coakley AJ, Kettle AG, Wells CP, O'Doherty MJ, Collins RE. ^{99m}Tc sestamibi--a new agent for parathyroid imaging. *Nucl Med Commun*. 1989;10:791-794.
- Palestro CJ, Tomas MB, Tronco GG. Radionuclide imaging of the parathyroid glands. *Semin Nucl Med*. 2005;35:266-276.
- Greenspan BS, Dillehay G, Intenzo C, et al. SNM practice guideline for parathyroid scintigraphy 4.0. *J Nucl Med Technol*. 2012;40:111-118.
- Erdil TY, Beşli LU. Clinical value of single photon emission computed tomography/computed tomography in the evaluation of Tc-^{99m} MIBI parathyroid scintigraphy. *Nucl Med Semin*. 2016;1:49-56.
- Cheung K, Wang TS, Farrokhyar F, Roman SA, Sosa JA. A meta-analysis of preoperative localization techniques for patients with primary hyperparathyroidism. *Ann Surg Oncol*. 2012;19:577-583.
- Yeh R, Tay YD, Tabacco G, et al. Diagnostic performance of 4D CT and sestamibi SPECT/CT in localizing parathyroid adenomas in primary hyperparathyroidism. *Radiology*. 2019;291:469-476.
- Wong KK, Fig LM, Gross MD, Dwamena BA. Parathyroid adenoma localization with ^{99m}Tc-sestamibi SPECT/CT: a meta-analysis. *Nucl Med Commun*. 2015;36:363-375.
- Treglia G, Sadeghi R, Schalin-Jäntti C, 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(Suppl 1):E2159-E2172.
32. McCoy KL, Ghodadra AG, Hiremath TG, et al. Sestamibi SPECT/CT versus SPECT only for preoperative localization in primary hyperparathyroidism: a single institution 8-year analysis. *Surgery*. 2018;163:643-647.
 33. Pata G, Casella C, Magri GC, et al. Financial and clinical implications of low-energy CT combined with 99m technetium-sestamibi SPECT for primary hyperparathyroidism. *Ann Surg Oncol*. 2011;18:2555-2563.
 34. Perez-Monte JE, Brown ML, Shah AN, et al. Parathyroid adenomas: accurate detection and localization with Tc-99m sestamibi SPECT. *Radiology*. 1996;201:85-91.
 35. Lorberboym M, Minski I, Macadziob S, Nikolov G, Schachter P. Incremental diagnostic value of preoperative ^{99m}Tc-MIBI SPECT in patients with a parathyroid adenoma. *J Nucl Med*. 2003;44:904-908.
 36. García-Talavera San Miguel P, Gómez-Camínero López F, Villanueva Curto JG, Tamayo Alonso MP, Martín Gómez ME. Update of the role of Nuclear Medicine techniques in the pre-surgical localization of primary hyperparathyroidism. *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol (Engl Ed)*. 2019;38:123-135. English, Spanish.
 37. Lal A, Chen H. The negative sestamibi scan: is a minimally invasive parathyroidectomy still possible? *Ann Surg Oncol*. 2007;14:2363-2366.
 38. Chiu B, Sturgeon C, Angelos P. What is the link between nonlocalizing sestamibi scans, multigland disease, and persistent hypercalcemia? A study of 401 consecutive patients undergoing parathyroidectomy. *Surgery*. 2006;140:418-422.
 39. Cho NL, Gawande AA, Sheu EG, Moore FD Jr, Ruan DT. Critical role of identification of the second gland during unilateral parathyroid surgery: a prospective review of 119 patients with concordant localization. *Arch Surg*. 2011;146:512-516.
 40. Westreich RW, Brandwein M, Mechanick JI, Bergman DA, Urken ML. Preoperative parathyroid localization: correlating false-negative technetium 99m sestamibi scans with parathyroid disease. *Laryngoscope*. 2003;113:567-572.
 41. Erbil Y, Kapran Y, İşsever H, et al. The positive effect of adenoma weight and oxyphil cell content on preoperative localization with ^{99m}Tc-sestamibi scanning for primary hyperparathyroidism. *Am J Surg*. 2008;195:34-39.
 42. Pons F, Torregrosa JV, Fuster D. Biological factors influencing parathyroid localization. *Nucl Med Commun*. 2003;24:121-124.
 43. Erovic BM, Goldstein DP, Asa SL, Janik S, Mete O, Irish JC. VEGFR-2 is downregulated in sestamibi-negative parathyroid adenomas. *Head Neck*. 2019;41:3564-3569.
 44. Friedman K, Somervell H, Patel P, et al. Effect of calcium channel blockers on the sensitivity of preoperative ^{99m}Tc-MIBI SPECT for hyperparathyroidism. *Surgery*. 2004;136:1199-1204.
 45. Sung JY. Parathyroid ultrasonography: the evolving role of the radiologist. *Ultrasonography*. 2015;34:268-274.
 46. Nafisi Moghadam R, Amlshahbaz AP, Namiranian N, et al. Comparative diagnostic performance of ultrasonography and ^{99m}Tc-sestamibi scintigraphy for parathyroid adenoma in primary hyperparathyroidism; systematic review and meta-analysis. *Asian Pac J Cancer Prev*. 2017;18:3195-3200.
 47. Ruda JM, Hollenbeak CS, Stack BC Jr. A systematic review of the diagnosis and treatment of primary hyperparathyroidism from 1995 to 2003. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2005;132:359-372.
 48. Kluijfhout WP, Vorselaars WM, Vriens MR, Borel Rinkes IH, Valk GD, de Keizer B. Enabling minimal invasive parathyroidectomy for patients with primary hyperparathyroidism using Tc-99m-sestamibi SPECT-CT, ultrasound and first results of (18) F-fluorocholine PET-CT. *Eur J Radiol*. 2015;84:1745-1751.
 49. Ilgan S, Ozbas S, Bilezikci B, et al. Radioguided occult lesion localization for minimally invasive parathyroidectomy: technical consideration and feasibility. *Nucl Med Commun*. 2014;35:1167-1174.
 50. Li W, Zhu Q, Lai X, et al. Value of preoperative ultrasound-guided fine-needle aspiration for localization in Tc-99m MIBI-negative primary hyperparathyroidism patients. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96:e9051.
 51. Trimboli P, D'Aurizio F, Tozzoli R, Giovanella L. Measurement of thyroglobulin, calcitonin, and PTH in FNA washout fluids. *Clin Chem Lab Med*. 2017;55:914-925.
 52. Kunstman JW, Kirsch JD, Mahajan A, Udelsman R. Clinical review: parathyroid localization and implications for clinical management. *J Clin Endocrinol Metab*. 2013;98:902-912.
 53. Treglia G, Giovannini E, Di Franco D, et al. The role of positron emission tomography using carbon-11 and fluorine-18 choline in tumors other than prostate cancer: a systematic review. *Ann Nucl Med*. 2012;26:451-461.
 54. Treglia G, Piccardo A, Imperiale A, 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;46:751-765.
 55. Quak E, Blanchard D, Houdu B, et al. F18-choline PET/CT guided surgery in primary hyperparathyroidism when ultrasound and MIBI SPECT/CT are negative or inconclusive: the APACH1 study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2018;45:658-666.
 56. Lezaic L, Rep S, Sever MJ, Kocjan T, Hocevar M, Fettich J. ¹⁸F-fluorocholine PET/CT for localization of hyperfunctioning parathyroid tissue in primary hyperparathyroidism: a pilot study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2014;41:2083-2089.
 57. Kluijfhout WP, Pasternak JD, Surg. 2016;401:925-935.
 58. Imperiale A, Taïeb D, Hindié E. ¹⁸F-fluorocholine PET/CT as a second line nuclear imaging technique before surgery for primary hyperparathyroidism. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2018;45:654-657.
 59. Gotway MB, Higgins CB. MR imaging of the thyroid and parathyroid glands. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2000;8:163-182.
 60. Beland MD, Mayo-Smith WW, Grand DJ, Machan JT, Monchik JM. Dynamic MDCT for localization of occult parathyroid

- adenomas in 26 patients with primary hyperparathyroidism. *AJR Am J Roentgenol.* 2011;196:61-65.
61. Welling RD, Olson JA Jr, Kranz PG, Eastwood JD, Hoang JK. Bilateral retropharyngeal parathyroid hyperplasia detected with 4D multidetector row CT. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2011;32:E80-E82.
 62. Mahajan A, Starker LF, Ghita M, Udelsman R, Brink JA, Carling T. Parathyroid four-dimensional computed tomography: evaluation of radiation dose exposure during preoperative localization of parathyroid tumors in primary hyperparathyroidism. *World J Surg.* 2012;36:1335-1339.
 63. Kedarisetty S, Fundakowski C, Ramakrishnan K, Dadparvar S. Clinical value of Tc99m-MIBI SPECT/CT versus 4D-CT or US in management of patients with hyperparathyroidism. *Ear Nose Throat J.* 2019;98:149-157.
 64. Yanar C, Kostek M, Unlu MT, et al. The role of 4D-CT for pre-operative localization in patients with primary hyperparathyroidism with negative ultrasonography and/or sestamibi SPECT/CT. *Sisli Etfal Hastan Tip Bul.* 2023;57:238-244.
 65. Bunch PM, Kelly HR. Preoperative imaging techniques in primary hyperparathyroidism: a review. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg.* 2018;144:929-937.
 66. Yip L, Pryma DA, Yim JH, Virji MA, Carty SE, Ogilvie JB. Can a lightbulb sestamibi SPECT accurately predict single-gland disease in sporadic primary hyperparathyroidism? *World J Surg.* 2008;32:784-792; discussion 793-794.
 67. Mehta NY, Ruda JM, Kapadia S, Boyer PJ, Hollenbeak CS, Stack BC Jr. Relationship of technetium Tc 99m sestamibi scans to histopathological features of hyperfunctioning parathyroid tissue. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 2005;131:493-498.
 68. Bilezikian JP, Khan AA, Silverberg SJ, et al.; International Workshop on Primary Hyperparathyroidism. Evaluation and management of primary hyperparathyroidism: summary statement and guidelines from the fifth international workshop. *J Bone Miner Res.* 2022;37:2293-2314.
 69. Bilezikian JP, Silverberg SJ, Bandeira F, et al. Management of primary hyperparathyroidism. *J Bone Miner Res.* 2022;37:2391-2403.
 70. Rodgers SE, Hunter GJ, Hamberg LM, et al. Improved preoperative planning for directed parathyroidectomy with 4-dimensional computed tomography. *Surgery.* 2006;140:932-940; discussion 940-941.