

	Sintigrafi	SPECT (SINGLE PHOTON EMISSION TOMOGRAPHY)	PET (Pozitron emisyon Tomografi)
Çalışma Prensibi	Radyoizotopun yaydığı gama ışınları iki boyutlu olarak gama kamerayla algılanır	Tek foton yayılımı gama kameralarıyla algılanarak üç boyutlu görüntü oluşturulur.	Pozitron yayılımı sonucu oluşan iki gama fotonunun algılanmasıyla üç boyutlu görüntü elde edilir.
Kullanılan Radyonüklid	Düşük enerjili gama yayıcılar (örneğin, Technetium-99m)	Tek foton yayıcılar (örneğin, Technetium-99m, İyot-123)	Pozitron yayıcılar (örneğin, Flor-18, Karbon-11)
Görüntü Türü	İki boyutlu fonksiyonel görüntü	Üç boyutlu fonksiyonel görüntü	Üç boyutlu fonksiyonel ve metabolik görüntü
Görüntü Kalitesi	Temel ve düşük çözünürlük	Orta düzeyde çözünürlük	Yüksek çözünürlük ve hassasiyet
Hassasiyet	Orta düzeyde fonksiyonel hassasiyet	Daha fazla fonksiyonel detay	Yüksek hassasiyet, özellikle metabolik aktivitelerde
Radyasyon Dozu	Genellikle düşük	Orta düzeyde	Genellikle daha yüksek
Temel Kullanım Alanları	- Kemik sintigrafisi - Kalp sintigrafisi - Tiroid sintigrafisi - Böbrek sintigrafisi	- Kalp perfüzyon görüntülemesi - Beyin fonksiyonları - Kemik sintigrafisi - Karaciğer/safra sistemi	- Kanser teşhisi - Alzheimer, epilepsi gibi nörolojik H. - Kalp metabolik aktivitesi
Avantajları	Basit, yaygın ve düşük maliyetli	Üç boyutlu ve fonksiyonel detay sağlar	Metabolik aktiviteleri yüksek hassasiyetle gösterir
Dezavantajları	İki boyutlu ve sınırlı çözünürlük	PET kadar hassas değildir	Daha pahalı, daha yüksek radyasyon

Beyin perfüzyon SPECT ve PET

- SPECT: **Teknesyum 99m** ile işaretli Heksa Metil Propilen Amin Oksim (**HMPAO**) veya **ECD** (Ethylene-Bicisate).
- PET: FDG (F18-Flordeoksiglukoz)
 - Endikasyonları: cerrahi öncesi **epileptik odakların gösterilmesi**, akut ve kronik serebrovasküler hastalıklarda (inmeler, geçici iskemik ataklar) tanı ve izlem, demans varlığından kuşkuyla hastaların değerlendirilmesi, beyin ölümünün saptanması, arterio-venöz malformasyonlar vb hastalıkların gösterilmesi (Moya-Moya gibi)
 - PET ayrıca beyin tümörlerinin tanısında da sıkça kullanılır özellikle , FDG PET ile nüks doku nekroz veya gliozisten ayırt edilir veya tümörün anaplastik transformasyonu gösterilebilir
- BOS akımını ve sızmasını 111 İn - DTPA ile değerlendirerek normal basınçlı hidrocefali ve beyin atrofiyi ayırımı yapılabilmekte olup günümüzde ise bu tetkikin yerini BOS akım MR almıştır. **BOS sızıntısı 99mTc ve 111 İn - DTPA** ile değerlendirilebilir.
- Kalbin MIBG ile adrenerejik görüntülemesi demanstaki otonomik disfonksiyonları saptamak suretiyle Lewy Body ve Parkinson'u tanımda ve demansın diğer fomlarından ayırt etmede faydalıdır. (Otonomik hasarlanma kalpte azalmış MIBG aktivitesiyle ilişkilidir.)

Adrenal medulla sintigrafisi (MIBIG sintigrafisi)

- **İyot-123 veya I 131 ile işaretli MIBIG** kullanılır (nörepinefrine benzer ve kromaffin hücrelerine girer)
- Endikasyonları: **Feokromositoma ve paraganglioma** ile diğer lezyonlar arasında ayırıcı tanı yapmak, malign feokromositomada ameliyat öncesi yaygınlığı göstermek ve ameliyat sonrası kalıntı doku aranması, takip sürecinde nüks ve metastazları araştırmak.
- Ayrıca, **yüksek doz İyot-131 MIBG ile radyonüklid tedavi** planlanan malign feokromositoma/paraganglioma hastalarında lezyonlardaki MIBG tutulumunu göstermek amacıyla yapılır.

Somatostatin reseptör sintigrafisi

- İyot-123 ile işaretli somatostatin analogları sintigrafi için, Galyum 68 ise PET görüntülemesinde somatostatin reseptör pozitif tümörlerin (Gastroenteropankreatik nöroendokrin tümörler gibi) ve metastazların tespiti, evrelemesi, tedavi seçimi (cerrahi radyo kemoterapi, somatostatin analogu ve radyonükleid tedavi) ve tedavi etkinliğinin gösterilmesinde kullanılır
- Indium-11 ve Teknesyum-99m de kullanılan diğer radyonükleidlerdir

TİROİD SINTİGRAFI ÇALIŞMALARI

- 1- Tiroid uptake testi,
- 2- Tiroid sintigrafisi,
- 3- Diferansiye tiroid kanserlerinin tanı ve takibi.
- 4- F-18 FDG PET/BT Görüntüleme

1-Tiroid uptake testi

- ♦ İyot-123, İyot-131, Teknesyum-99m kullanılır
- ♦ Bir görüntüleme yöntemi olmayıp sayısal sonuç veren bir testtir.
- ♦ Günümüzde sadece 2 endikasyonda kullanılır;
 - ▶ Radyoaktif iyot tedavisi uygulanacak hipertiroidi hastalarında verilecek iyot dozunun hesaplanmasında kullanılmaktadır.
 - ▶ Düşük ve yüksek uptake gösteren hipertiroidilerin ayırıcı tanısı tiroid uptake testinin diğer kullanım alanıdır.

2-Tiroid sintigrafisi

- ♦ İyot-123 (en ideali fakat pahalı), İyot-131 (ucuz fakat yüksek radyasyon), Teknesyum-99m kullanılır (ülkemizde temel kullanılan, ucuz yarı ömrü kısa ve radyasyon oranı az)

Tiroid Sintigrafisi Endikasyonları

- ♦ Tiroid nodüllerinde sintigrafi endikasyonu kabaca biyokimyasal olarak serum TSH düzeyi normalin altında (TSH süpresyonu) bulunan hastalar
- ♦ Tiroid nodüllerinin değerlendirilmesi: sıcak-soğuk nodüller
 - ▶ Soliter nodül veya multinodüler guatrı olan ötiroid hasta:
 - ▶ Multinodüler guatrda ince iğne aspirasyon biyopsisinden önce hipoaktifnodüllerin gösterilmesi,
 - ▶ Biyopsi sonucu foliküler tümör gelen hastalarda nodül fonksiyonunun belirlenmesi,
 - ▶ Biyopsi ile malignite ekarte edilen ve tiroksin tedavisi düşünülen hastalarda nodül fonksiyonunun gösterilmesi,
 - ▶ Tiroid ameliyatı düşünülen hastalarda fonksiyonel dokunun gösterilmesi
- ♦ Biyokimyasal veya klinik olarak hipertiroidizm bulguları olan hasta
 - ▶ Palpabl nodül veya nodüllerin tespit edilmesi,
 - ▶ Diffüz hiperfonksiyonlu tiroid bezinde gizli soğuk nodüllerin tespit edilmesi
 - ▶ Graves' hastalığı ile toksik nodüler guatr ve diğer tirotoksikoz sebeplerinin (tiroidit) ayırıcı tanısının yapılması
 - ▶ Radyoaktif iyot tedavisinden önce fonksiyone dokunun gösterilmesi
- ♦ Ektopik doku araştırması: Substernal
- ♦ Tiroid ameliyatı geçiren hastada bakiye tiroid dokusunun görüntülenmesi: ameliyat sonrası tiroid hormon replasmanı yapmadan görüntüleme yap
- ♦ Konjenital hipotiroidi etyolojisinin araştırılması (agenezi, hemiagenezi, ektopi, dishor-monogenezis, geçici hipotiroidi): 3 yasında replasmanı kes ve görüntüleme yap

3-Diferansiye tiroid kanserlerinin tanı ve takibi: İyot-131 kullanılır (aynı zamanda tiroid ablasyon tedavisi için de kullanılır)

- ♦ Yüksek doz sonrası İyot-131 sintigrafisi
- ♦ Düşük doz (2-10 mCi) İyot-131 sintigrafisi: Diferansiye tiroid kanserli hastaların takibinde kullanılan bir yöntemdir.

4-Diferansiye tiroid kanserlerinin tanı ve takibi:

- ♦ Diferansiye tiroid kanserli hastaların takipleri sırasında tiroglobulinin yüksek bulunması- na rağmen, İyot-131 sintigrafisi negatif olan vakalar görülmektedir.
- ♦ Bu hastalarda uygun tedavinin yapılabilmesi ve mümkünse cerrahi tedavi uygulanabilme- si, hastalık yaygınlığının belirlenmesi için nüks ve metastatik dokunun lokalize edilmesi
- ♦ Duyarlılığı %70-94 arası yani sintigrafiden daha yüksek

Tiroid kanserlerinde I-131 tedavisi

- ♦ Diferansiye (papiller ve foliküler) kanserleri için standart tedavi protokolu total tiroidektomi- yi takiben yüksek doz I-131 ile bakiye dokunun ablasyonu ve levotiroksin (T4) ile TSH süpresyonundan oluşmaktadır
- ♦ Ablasyon uygulanan bir hastada nükseden tiroid kanserini saptamak için serum tiroglob- ulin düzeyi bakılır
- ♦ Radyoiyot tedavisinin akut yan etkileri : bulantı, mide ağrısı,yüksek dozlarda siyaladenit
- ♦ Kronik yan etkiler: özellikle çocuklarda önem taşıyor ve sex hormonları ile üreme fonksiyon- ları üzerinde geçici etkiler

İyot uptake testi ve tiroid sintigrafisinde iyot tutulumunu azaltan faktörler:

- ♦ **Gıdalar:** İyotlu tuz Deniz ürünleri, işlen- miş et ürünleri Cips, kraker gibi tuzlu gıdalar
- ♦ **İyot içeren çözeltiler:** Betadin Tentürdi- yot Bazı öksürük şurupları İyotlu intravenöz kontrast maddeler (örneğin, kontrastlı toraks BT)
- ♦ **İlaçlar:** L-tiroksin, Propiltiourasil, Perk- lorat, Tiosiyanat, Amiodaron

Artmış RAIA-Sıcak (aşırı fonksiyone) lezyonlar

- ♦ Toksik multinodüler guatr
- ♦ Toksik adenom
- ♦ Graves hastalığı
- ♦ kanser olasılığı düşük (<%1) - İİA'a genellikle gerek yok

Azalmış RAIA- Soğuk (hipofonksiyonel) lezyonlar

- ♦ Subakut tiroidit
- ♦ Geç Hashimoto hastalığı
- ♦ Ekzojen tiroid hormonu veya iyot alımı
- ♦ Yakın zamanda yapılan radyografik kon- trast çalışmaları olan hastalarda yanlış

- ♦ İzointens yani "sıcak" lezyonlar: kanser izointens bir lezyon olarak kabul edil- melidir, ancak normal doku üzerine su- perimpose olmuş soğuk nodüller olarak da görülebilir; kist şüphesi varsa, U/S ile korele edilmelidir

- ♦ Perteknetat tiroid taraması tiroid agene- zisi, hemiagenezi, lingular tiroid, organi- zasyon bozukluğunu ayırt edebilir, ancak **yenidoğanda tiroid hormon replas- manına başlamak için tanı beklenme- melidir; derhal başla!**

Paratiroid sintigrafisi

- ♦ **Endikasyonlar:** primer ve sekonder hiperparatiroidi tanısı konulmuş hastalarda adenom ve hiperplazik dokunun görüntülenmesidir.
- ♦ Paratiroid sintigrafisi büyümüş paratiroid bezlerini saptamaya yönelik bir lokalizasyon yöntemidir, bir tanı metodu değildir
- ♦ Sestamibi ve tetrofosmin sintigrafide kullanılan ajanlar
- ♦ Yanlış pozitiflik oranını azaltmak ve tiroidin arkasında lokalize olan küçük paratiroid lezyonlarını yakalamak için ilave olarak SPECT
- ♦ Hiperplazide duyarlılığının düşük olması ve küçük, kistik veya nekrotik lezyonların tespit edilememesi

Avantajları:

- ♦ Noninvazif ve kontrast madde enjeksiyonu gerekmez. Mediasten bölgesini rutin olarak görüntülediği için ektopik lezyonların tespitinde avantaj sağlar. Geçirilmiş cerrahi operasyonlar anatomiyi bozsa da sintigrafiyi etkilemez; ikinci ameliyat gerektiren hastalarda tercih edilir

Miyokard Perfüzyon sintigrafisi

1. Tanı

- Koroner arter hastalığı şüphesinde
- Koroner arter hastalığı bilinen veya şüphe edilen kimsede prognozu belirlemek
- Klinik olarak yüksek riskli ve istirahat EKG'si bozuk olanlarda
- Preoperatif risk değerlendirmesinde
- Rest ağrısı ve nondiagnostik EKG olanlarda

2. Miyokard revaskülarizasyon değerlendirmesi

3. Disfonksiyonel miyokardda canlılık

- ♦ PET perfüzyon ajanları: rubidyum-82, amonyum N¹³, Oksijen O15
- ♦ En Yaygın olarak 99mTc-sestamibi (MIBI) (bu yöntem ayrıca **renal skarları** göstermede en iyi sintigrafik yöntemdir) veya 99mTc-tetrofosmin kullanılır. Talyum 201 daha önce kullanılmış, ancak olumsuz görüntüleme nedeniyle bırakılmıştır. Talyum sadece viabilite değerlendirme için verilebilir.
- ♦ Sistolik kan basıncı <90 ise farmakolojik stres kontrendikedir; astımı alevlendirir, bu nedenle astımı olan ve egzersiz yapamayan hastalara dobutamin infüzyonu ile verilir
- ♦ Kalıcı defekt (istirahatte ve streste mevcutsa) enfarktüs veya miyokardiyal skar düşündürür; geri dönüşümden (sadece stres sırasında bulunan) iskemi düşündürür

Kardiyolojide PET endikasyonları:

- ♦ Unstabil aterosklerotik plakları görüntüleme
- ♦ Sempatik innervasyonu gösterme
- ♦ Kalp kan akımını tespit
- ♦ Miyokard metabolizması

Radyonüklid Ventrikülografi

- ♦ 99mTc ile işaretlenmiş eritrositler veya albumin kullanılır
- ♦ LV fonksiyonunun ve bölgesel duvar hareketinin, ejeksiyon fraksiyonunun değerlendirilmesi
- ♦ Diyastolik disfonksiyonu değerlendirme
- ♦ En Yaygın olarak kemoterapinin (**trastuzumab**) kardiyak toksisitesini değerlendirmek için kullanılır. Defibrilatör çalışmalarında ejeksiyon fraksiyonu değerlendirmede altın standarttır

Solunum sistemi nükleer tıp uygulamaları

- ♦ Perfüzyon sintigrafisi: yatar pozisyonda **Teknesyum-99m** ile bağlanmış Makro Agregat Albümin damardan verilir
- ♦ Perfüzyon sintigrafisi endikasyonları: pulmoner emboli (venöz trombus veya yağ embolisi), post operatif akciğer volümünün hesaplanması, sağdan sola şantların araştırılması sayılabilir
- ♦ Ventilasyon sintigrafisi: **Xenon-133 (ülkemizde yok)** radyoaktif gaz, **Tc-99m aerosol** hastaya burnu kapalı şekilde inhale ettirilir
- ♦ **Ventilasyon defekti;** hava yolu obstrüksiyonu, kronik akciğer hastalığı, bronkospazm, tümör kitle.
- ♦ **Perfüzyon defekti;** akciğerlerdeki kan dolaşımındaki sorunu gösterir
- ♦ **Pulmoner emboli:** Akciğerin iyi havalandığı ancak yeterince perfüze olmadığı alanlar akut enfarkt için şüphelidir.
 - Eşleşme defekti kama şeklindedir, çevreye uzanır, genellikle iki taraflı ve çokludur
 - Modifiye PLOPED II kriterlerine göre yüksek olasılıklı (**>2 büyük, yani segmental uyumsuz perfüzyon kusurları**), orta, düşük, çok düşük veya normal olarak belirlenir
- ♦ Endikasyonlar: **hamilelik (CT'den daha düşük radyasyon dozu)** veya CT kontrastının kontrendike olduğu durumlar (örn. kontrast alerjisi, böbrek yetmezliği) tercih edilir.
- ♦ Solunum problemleri (örn. KOAH) olanlarda PE etkinliği sınırlı olduğundan yeterince güvenilir değildir
- ♦ PET Akciğer kanserinde evreleme, tedaviye yanıtın değerlendirilmesi ve yeniden evrelemede kullanılır → Beyin normaldede FDG tuttuğundan akciğerin beyin metastazlarında önerilmez

İskelet sistemi nükleer tıp uygulamaları

- ♦ Kemik sintigrafisi endikasyonları (**99mTc-metil difosfonat-99mTc-MDP**): **Kemik metastazları**, enfeksiyonlar, ağırlı protezler, vasküler hastalıklar, kemik tümörleri, travmalar ve metabolik kemik hastalıkları (Paget gibi)
 - **Hot Spots** (radyonükleotit tutulumu **artmış**): enfeksiyon, kırık, Bazı Tümör ve artrit, Artmış kemik turnover'ı (paget hastalığı ve fibrozis displazi gibi)
 - **Cold spots** (radyonükleotit tutulumu **azalmış**): avasküler nekroz, kırık iyileşmesi, Bazı Tümörler, Radyasyon terapisi, Multipl myeloma.
- ♦ **Kemik metastazları PET ile gösterilebilen primer TM ler:** Böbrek (%100 duyarlılık) Meme, Akciğer, Böbrek, Multipl Miyelom, nöroendokrin TM ler (karsinoid TM gibi)
- ♦ Dual enerji x-ray absorbsiyometresi (**DEXA**) (lombar bölgede ölçüm): kemik yoğunluğu değerlendirmede. T-skoru ≥ -1.0: Normal kemik yoğunluğu T-skoru -1.0 ile -2.5 arasında: Osteopeni T-skoru ≤ -2.5: Osteoporoz

**GIS sistemi
nükleer tıp
uygulamaları**

- ♦ Akut parotit ve bazı tümörlerde artmış aktivite izlenirken, Sjögren sendromu ve süpüratif parotit gibi durumlarda bilateral aktivite azalması, radyoterapi ve obstrüksiyon gibi nedenlerde ise tek taraflı aktivite azalması saptanır. Apse, metastaz, kist gibi hastalıklarda ise fokal hipoaktif alanlar ortaya çıkar.
- ♦ Özefagus transit, mide ve GÖR sintigrafisi (**Tc-99m**) → özellikle çocuklarda radyasyon az olması nedeniyle BT, endoskopi ve manometre ile tanı konulamayan vakalarda özefagus ve motilitesini değerlendirmek için kullanılır
- ♦ Safra yolları sintigrafisi (Kolesintigrafi-**HIDA Taraması**) → **99mTc-disofenin (DISIDA)** veya **99mTc-mebrofenin** kullanılır. Biliyer Atrezi (duyarlılık %90-100), Neonatal Hepatit ayırımı ve **kolesistit (duyarlılık %95-100 ile en değerli tanı yöntemi)**
- ♦ GIS kanamaları (RBC Taraması): **99mTc RBC'ler** kullanılır. <0.5 mL/dk akut kanama yerini gösterir (anjyografiden daha hassas). >0.5 mL/dk'da akut kanama varsa, anjiyografi kullanılır (hem teşhis hem de tedavi)
- ♦ **Meckel's Scan**: 99mTc perteknetat kullanır; hastaya ranitidin premedikasyonu verilir.
- ♦ FDG PET/BT → Mide kanseri, kolanjiokarsinom, hepatosellüler karsinom ve pankreas kanserinde uzak metastaz araştırmasında kullanılır

**Üregital sistem
nükleer tıp
uygulamaları**

- ♦ Dinamik böbrek sintigrafisi en sık neonatal hidronefroz, obstrüktif üropatiler, renal transplantasyon ve renovasküler hipertansiyonun tanı ve izleminde kullanılır (**99mTc DTPA veya 99mTc MAG3**)
- ♦ Renovasküler hipertansiyonlu hastalarda **Kaptoprilli böbrek sintigrafisi**: işlem öncesi kaptopril (25-50 mg) verilir, Anjiotensin II ↓ → glomerüler filtrat basıncının stenoza bağlı olarak düşmesi → Glomerüler filtrat ve idrar yapımı durur veya azalır → renal arter stenozu tanısında kullanılabilir
- ♦ Piyelonefritte **Tc-99m DMSA** (özellikle çocuklarda) erken dönemde pyelonefrit, kronik dönemde skarlar gösterir
- ♦ **Tc-99m** ile Akut testis torsiyonunda ağırlı skrotal bölgede hipoaktif alan, epididimite ise artmış aktivite tutulumu tespit edilir

**Onkolojide
nükleer tıp
uygulamaları**

- ♦ Tümör tarayıcı ajanlar: **I-131, Talyum-201 (TI 201), Tc-99m MIBI, Tc-99m Tetrafosmin** kullanılarak tüm vücut tarama
- ♦ Reseptör sintigrafisi: **Indium-111** bağlı ocreotid karsinoid TM ve pankreatik endokrin
- ♦ Monoklonal antikör sintigrafisi → **Tc-99m-Arcitumab** kolorektal karsinom, **In-111** kolorektal ve over TM
- ♦ PET FDG: FDG hücre membranından geçer hücre içinde heksokinat enzimi ile fosforilze olur FDG-6 dönüşür ve daha ileri metabolize olmaz.
- ♦ PET özellikle tanı evreleme, tedaviye yanıtı değerlendirilmesi ve kemoresistivitenin belirlenmesinde kullanılır
- ♦ **Prostat ve hepatosellüler karsinomlarda, meme, bas-boyun kanserleri melanoma, özegagus, kolorektal kanserlerinde primer tanı amaçlı PET kullanılmaz**
- ♦ Beyin metastazlarının gösterilmesinde PET duyarlılığı düşüktür

Çeşitli radyonükleitlerin tedavi amaçlı kullanıldıkları hastalıklar

- ♦ **Benign hastalıklar**
 - ▶ Hipertiroidi (İyot-131) → toksik adenom ve Graves hastalığının ilk basamak tedavisi
 - ▶ Sinovit ile seyreden eklem hastalıklarında radyosinovektomi amaçlı (Romatoid Artrit, Hemofiliksinovit gibi) (Yitrium-90, Renyum-186, Erbiyum-164)
- ♦ **Malign hastalıklar**
 - ▶ Tiroid kanserleri (İyot-131) → Papiller tiroid kanseri ve foliküler tiroid kanseri
 - ▶ Nöroendokrin tümörler (nöroblastoma, karsinoid tm, parpanglioma ve medüller tiroid karisonomu): İyot-131 MIBG, Yitrium-90 ve Lutesyum-177 peptidler)
 - ▶ Kemik metastazlarında ağrı palyasyonu (Stronsiyum-89, Samaryum-153, Renyum-186)
 - ▶ Non-Hodgkin Lenfoma → CD20 reseptörü pozitif (Yitrium-90 Ibritumomab tiuexetan, İyot-131 tositumomab)
 - ▶ Primer ve metastatik karaciğer tümörlerinin tedavisi (Yitrium-90 mikroküre, İyot-131 lipiodol)