

## Miyokardiyal Perfüzyon SPECT Uygulama Kılavuzu Myocardial Perfusion SPECT Procedure Guideline

✉ Fevziye Canbaz Tosun<sup>1</sup>, ✉ Semra Özdemir<sup>2</sup>, ✉ Feyza Şen<sup>3</sup>, ✉ Hakan Demir<sup>4</sup>, ✉ Elif Özdemir<sup>5</sup>, ✉ Gülay Durmuş Altun<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Samsun, Türkiye

<sup>2</sup>Onsekiz Mart Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Çanakkale, Türkiye

<sup>3</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi, Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi Hastanesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye

<sup>4</sup>Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Kocaeli, Türkiye

<sup>5</sup>Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

<sup>6</sup>Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Edirne, Türkiye

### Öz

Türkiye Nükleer Tıp Derneği, "Kardiyoloji Grubu"nun 2001 yılında oluşturduğu ilk "Nükleer Kardiyoloji Uygulama Kılavuzu'nun yayımlanmasından sonra, teknolojik gelişmelere paralel olarak, nükleer kardiyolojide de teknik donanım, yazılım ve protokollerde önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Nükleer kardiyolojide bir çok yeni klinik kullanım alanı ve gerek tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi gerekse pozitron emisyon tomografi sistemlerindeki, spesifik kardiyak görüntüleme ve kan akımı çalışmaları gibi ciddi gelişmeler yanında, günümüzde hala konvansiyonel gama kamera sistemi ile gerçekleştirilen miyokart perfüzyon sintigrafisi (MPS), bir çok nükleer tıp kliniğinde hem kardiyak hem de genel konvansiyonel görüntülemeler arasında ilk sırada yer almaktadır. Bu kılavuzun amacı nükleer tıp hekimlerine MPS çalışmalarında, endikasyonların belirlenmesi, uygulama, görüntüleme yöntemleri, değerlendirme ve raporlama aşamalarında yardımcı olmaktır. Bu kılavuzdaki öneriler MPS uygulamasının ülkemizdeki standardizasyonunu sağlamak üzere "Türkiye Nükleer Tıp Derneği Kardiyoloji Çalışma Grubu" tarafından uluslararası çalışma ve güncel kılavuzlar değerlendirilerek hazırlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Miyokart perfüzyon, SPECT, SPECT/CT

### Abstract

After Turkish Society of Nuclear Medicine "Cardiology Group" had first published "Nuclear Cardiology Practice Guidelines" in 2001, in line particular with the technological developments, significant changes both in the hardware, software and also in the protocols have occurred in the era of nuclear cardiology. Besides many new clinical uses in nuclear cardiology and specific developments in both single photon emission computerized tomography and positron emission tomography systems, such as specific cardiac gamma camera systems and blood flow studies, myocardial perfusion scintigraphy (MPS), which is still performed today mostly with conventional gamma camera systems, ranks first among both nuclear cardiology and also general conventional nuclear medicine procedures in almost all nuclear medicine clinics. The aim of this guideline is to assist nuclear medicine physicians in MPS studies, in terms of indications, application, imaging methods, evaluation and reporting stages. The recommendations in this guide has been prepared by "Turkish Society of Nuclear Medicine Cardiology Task Group" to ensure the standardization of the MPS applications in our country in the light of international studies and current guidelines.

**Keywords:** Myocardial perfusion, SPECT, SPECT/CT

### Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Dr. Fevziye Canbaz Tosun, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Samsun, Türkiye

**E-posta:** fcanbazt@gmail.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0002-7759-0788

©Telif Hakkı 2020 Türkiye Nükleer Tıp Derneği / Nükleer Tıp Seminerleri, Galenos Yayınevi tarafından yayınlanmıştır.

## I. Giriş

Türkiye Nükleer Tıp Derneği, “Kardiyoloji Grubu”nun 2001 yılında oluşturduğu ilk “Nükleer Kardiyoloji Uygulama Kılavuzu”nun yayınlanmasından sonra, tıbbın her alanında olduğu gibi, nükleer kardiyolojide de teknolojik gelişmeler etkisini göstermiş ve bu gelişmelere paralel olarak nükleer kardiyolojinin klinik kullanımı da artmıştır (1). Nükleer kardiyolojide görüntüleme alanları, temel olarak miyokart perfüzyon-canlılık ve bölgesel-global ventriküler fonksiyon değerlendirmelerini içerir.

Klinik pratikte, miyokart perfüzyon sintigrafisi (MPS) uygulamalarına 1990’lı yıllarda “gated-tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi (SPECT), 2000’li yılların başından itibaren de SPECT/bilgisayarlı tomografi (BT) sistemlerinin katılmasıyla MPS’nin tanı doğruluğu ve güvenilirliği artmıştır. Ek olarak, yeni nesil kardiyak kameralar ve pozitron emisyon tomografisi (PET)/BT ile mutlak miyokardiyal kan akımı (MKA) tayini, konvansiyonel MPS uygulamalarının klinik kullanım alanını anlamlı ölçüde genişletmiştir; ancak bu yeni uygulamalar henüz teknik donanımın yaygın olmaması nedeniyle rutin klinik uygulamalarda hak ettiği yeri alamamaktadır.

Son yıllarda genel nükleer tıp uygulamalarında onkolojik PET/BT incelemeleri çoğu zaman konvansiyonel uygulamaların önüne geçse de günümüzde birçok

nükleer tıp kliniğinde MPS, hala en sık uygulanan konvansiyonel görüntülemedir. O nedenle uygulama ve değerlendirmede standardizasyon sağlanması büyük önem taşımaktadır. Bu kılavuzda öncelikle klinik rutinde en sık kullanılan “elektrokardiyografi (EKG)-gated” (EKG-kapılı) MPS yöntemine ait uygulama, değerlendirme ve raporlama bilgilerine yer verilmiştir.

## II. Amaç

Bu kılavuzun amacı nükleer tıp hekimlerine MPS çalışmalarında, endikasyonların belirlenmesi, uygulama, görüntüleme yöntemleri, değerlendirme ve raporlama aşamalarında yardımcı olmaktır. Bu kılavuzdaki öneriler, MPS uygulamasının ülkemizdeki standardizasyonunu sağlamak üzere “Türkiye Nükleer Tıp Derneği Kardiyoloji Çalışma Grubu” tarafından uluslararası çalışma ve güncel kılavuzlar değerlendirilerek hazırlanmıştır.

## Genel Klinik Endikasyonlar

MPS aşağıdaki genel endikasyonlar dahilinde hastanın klinik durumuna göre stres ve rest birlikte veya tek başına stres ya da rest protokolü şeklinde uygulanabilir (2,3). Günümüzde kişiye özel protokol seçimi MPS uygulamalarında da yerini almıştır. Tablo 1’de stres protokolü seçiminde kişiye özel dikkat edilmesi

**Tablo 1. Kişiselleştirilmiş stres protokolü seçimi**

Özel hasta durumları	Anahtar konular/tercih
Yeterli egzersiz yapabilir	Egzersiz stres tercih edilmeli
Egzersiz yapamaz	Farmakolojik stres gerekli Vazodilatör stres - tercih Dobutamin stres - alternatif
Kararlı anjina	Egzersiz stres tercih Amaç, tedavi altında risk belirlemek/tedavi yanıtını göstermek ise anti-iskemik tedavi altında test yapılabilir.
Akut göğüs ağrısı	- Göğüs ağrısı sırasında rest görüntüleme → Eğer negatifse USAP düşünülmez; stres MPS yapılabilir → - KAH için orta-yüksek klinik risk taşıyan fakat AKS için düşük riskli hastalarda (normal EKG, normal biyobelirteçler ve klinik stabil), önce-stres MPS (egzersiz veya farmakolojik) güvenli olarak uygulanabilir.
Troponin artışı	- Klinik değerlendirme yapılır. - Yirmi dört saat içinde hemodinami ve klinik stabil ise vazodilatör stres yapılabilir.
Yeni ME (<30 gün)	- Hasta klinik ve hemodinamik olarak stabil ise → Taburcu öncesi fonksiyonel stress test isteniyorsa, görüntülemesiz modifiye Bruce Treadmil testi, - Reziüel KAH'nin hemodinamik anlamlılığı değerlendirilmek isteniyorsa, adenozin stres test yapılır. - Eğer vazodilatör stres kontrendike ise çalışma 4 hafta ertelenir.
KAG (<24 saat)	Farmakolojik/vazodilatör stres tercih (arteriyel girişim femoralse)
Daha önce revaskülarizasyon (stent, balon, “by-pass”)	Egzersiz stres test Önce stres MPS düşünülebilir (ME öyküsü yoksa) Daha önce parsiyel revaskülarizasyon yapılmış, KAG’de spesifik koroner lezyon belirlenmemişse iki gün protokolü uygun olabilir.

Tablo 1 Devamı

	Vazodilatör PET MP görüntüleme (+ akım kantitasyonu, mümkünse)
<b>Koroner anomali/dinamik koroner arter kompresyonu</b>	Egzersiz test tercih Dobutamin stres (egzersiz yapamıyorsa) Vazodilatör stres tercih edilmez.
<b>Koroner anevrizma</b>	Egzersiz testi tercih Vazodilatör stres (alternatif)
<b>Kalp yetmezliği</b>	Egzersiz testi tercih Vazodilatör stres (alternatif) Hastanın supin pozisyon alabileceğinden emin olmalı Dik duruşlu tarayıcılar tercih
<b>Medikasyon durumu</b>	
<b>Kafein alımı</b>	<12 saat alım → Adenozin, dipiridamol ve regadenoson kullanılmaz. -Egzersiz, dobutamin veya yeni randevu
<b>Oral dipiridamol kullanımı</b>	<48 saat kullanım + ise İV adenozin ve regadenoson kontraendike Egzersiz, dobutamin veya İV dipiridamol kullanılır.
<b>Ko-morbidite</b>	
<b>Son dönem böbrek yetmezliği</b>	Egzersiz testi tercih Vazodilatör stres (alternatif) Regadenoson güvenilir ve etkin (evre 3-4 SDBH) , (randomize prospektif çalışmadan)
<b>Diyaliz</b>	Egzersiz testi tercih Vazodilatör stres (alternatif) (adenozin, dipiridamol veya regadenoson)
<b>AC hastalığı/KOAH</b>	Farmakolojik stres (Dobutamin veya stabil hastalarda dikkatlice regadenoson)
<b>Epilepsi öyküsü</b>	Dipiridamol, adenozin ve regadenoson ile nöbet bildirilmiştir BTKA düşünülebilir
<b>Yakın tarihli inme veya GIA</b>	2 hafta vasodilatör stresden kaçınılır BTKA düşünülebilir
<b>Aort stenozu</b>	Ciddi semptomatik AS: Semptom sınırlı egzersiz mutlak kontraindike Ciddi AS (semptomsuz): Egzersiz stress düşünülebilir (Modifiye Bruce veya Naughton protokolleri) Vazodilatör stres rölatif kontrendike
<b>Abdominal aort anevrizması</b>	Vazodilatör stres tercih Egzersiz stres (yakın monitorizasyon ile) alternatif
<b>Periferik vasküler hastalık</b>	Vazodilatör stres tercih Vazodilatör (+ egzersiz) alternatif
<b>Organ transplantasyonu (KC, böbrek) öncesi</b>	Çoklu KAH risk faktörleri olan asemptomatik hastalarda stress uygun bir yöntemdir
<b>Preop hasta</b>	Egzersiz stress tercih Vazodilatör stres (egzersiz stres yeterli değilse)
<b>Atrial fibrilasyon</b>	Kalp hızını yavaşlatan ilaçlardan kaçınılır Vazodilatör stres tercih Sinüs ritmine kardiyo versiyonu takiben ilk bir hafta egzersiz testi göreceli kontraendike
<b>Sol dal bloğu/kalp pili/ventriküler preekzitasyon</b>	Tanısız test (bilinen KAH yokluğunda) Vazodilatör stres tercih Egzersiz stresten kaçının Egzersiz (+ vazodilatör ) stresten kaçının Prognostik test (bilinen KAH): Egzersiz stres alternatif
(Kaynak 2'de modifiye edilmiştir) MPS: Miyokart perfüzyon sintigrafisi, KAH: Koroner arter hastalığı, AKS: Akut koroner sendrom, ME: Miyokart enfarktüsü, KAG: Koroner anjiyografi, MP: Miyokart perfüzyon, SDBH: Son dönem böbrek hastalığı, AC: Akciğer, KOAH: Kronik obstrüktif akciğer hastalığı, GIA: Geçici iskemik atak, BTKA: Bilgisayarlı tomografi koroner anjiyografi, İV: İntravenöz	

gereken faktörler özetlenmiştir. Aşağıda MPS'nin genel endikasyonlarına yer verilmiştir:

1. Koroner arter hastalığı (KAH) tanısı (orta olasılıklı KAH hastalarında) Tablo 2'de Avrupa Kardiyoloji 2019 "Kronik Koroner Sendromlarının Tanı ve Yönetim Kılavuzu'ndan modifiye edilen hastanın yaşı, cinsi ve göğüs tipine veya sınıflandırmada yeni eklenen nefes darlığı varlığına göre test öncesi KAH risk olasılıkları verilmiştir (4).
2. Risk belirleme
  - a. Miyokart enfarktüsü sonrası
  - b. Kronik stabil KAH veya anjiyografide koroner stenozlu hastalar
  - c. Kardiyak dışı cerrahi
3. Miyokardiyal canlılık
4. Akut Göğüs Ağrısı sendromları
5. Yapısal kalp hastalıklarının değerlendirilmesi (Miyokardiyal köprü vb.)
6. Bilinen KAH hastalarında tedavi etkinliğinin değerlendirilmesi (anti-iskemik ilaç tedavisi veya revaskülarizasyon)

Ayrıca MPS'nin uygulanmasında uygunluk kriterleri ayrıntıları için ilgili kılavuz ve kaynaklara bakılabilir (Tablo 3) (5,6).

#### IV. Prosedür

MPS, miyokardı besleyen kan akımı dağılımının intravenöz (İV) olarak uygulanan bir radyofarmasötik aracılığı ile görüntülenmesi temeline dayanan bir tetkiktir. Miyokardiyal perfüzyon görüntülemesi, iskemi veya skar ile ilişkili olan göreceli veya mutlak azalmış MKA'ya sahip alanları belirlemede kullanılır. Miyokardiyal perfüzyonun göreceli dağılımı, dinlenme (rest) ve/veya kardiyovasküler stres sonrası (treadmil ya da farmakolojik stres) her iki durumda da hastanın klinik

durumu ve endikasyonu dahilinde çeşitli görüntüleme protokolleriyle incelenebilir. Miyokart perfüzyonunu maksimal stres altındayken görüntüleyebilmek MPS tetkikin en kritik noktalarından biridir. KAH'li olgularda koroner arter stenoz derecesi %90'a varıncaya kadar istirahatte miyokart kan akımında homojen dağılım izlenebilmektedir (7,8). Bu nedenle hastaya uygun stres testini seçmek ve bunu optimal kalitede gerçekleştirmek, varolan bir miyokardiyal iskemiye görüntüleyebilmek açısından oldukça önemlidir.

#### A. Stres Testi Öncesi Hasta Hazırlığı

1. Hastanın detaylı anamnezi alınarak fonksiyonel kapasitesi belirlenmelidir.
2. İstirahat EKG'si incelenerek, seçilecek stres testi tipine etki edecek faktörlerin [Sol dal bloğu (SDB), kalp pili] varlığı araştırılmalıdır.
3. Hastanın kullandığı ilaçlar sorgulanmalı ve kesilmesi gereken ilaçların gerektiği sürede kesilip kesilmediği kontrol edilmelidir (Tablo 4).
4. Periferik arter hastalıkları, ortopedik hastalıklar, akciğer hastalıkları gibi kardiyak dışı faktörler belirlenmelidir.
5. Tüm stres tipleri için kafein içeren yiyeceklerin (kahve, çay, kola) ve ilaçların testten 12 saat önce kesilmiş olması, vazodilatör stres ajanları için ise metilksantin içeren ilaçların 5 yarı-ömür süresince kesilmiş olması sağlanmış olmalıdır.
6. Hastanın mental durumu, seçilecek stres tipine oryantasyonu, motivasyonu sorgulanmalıdır.
7. Hastaya hangi testin nasıl uygulanacağı anlatılarak, yan etkiler konusunda bilgilendirilmelidir.
8. Gebe ve emziren kadınlar için enjeksiyon öncesi gerekli bilgiler edinilmeli, gebelik doğrulanırsa aşağıdaki önerilerden biri uygulanmalıdır (9).

Tablo 2. Yaş, cinsiyet ve yaşa göre test öncesi KAH riski (15.815 semptomatik hastadan elde edilmiştir)\*

Yaş	Tipik anjına		Atipik anjına		Anjına dışı GA		Dispne	
	Erkek	Kadın	Erkek	Kadın	Erkek	Kadın	Erkek	Kadın
30-39	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük
40-49	Orta	Düşük	Düşük	Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Düşük	Çok Düşük
50-59	Orta	Düşük	Orta	Düşük	Düşük	Çok Düşük	Orta	Düşük
60-69	Orta	Orta	Orta	Düşük	Orta	Düşük	Orta	Düşük
70+	Orta	Orta	Orta	Orta	Orta	Düşük	Orta	Düşük

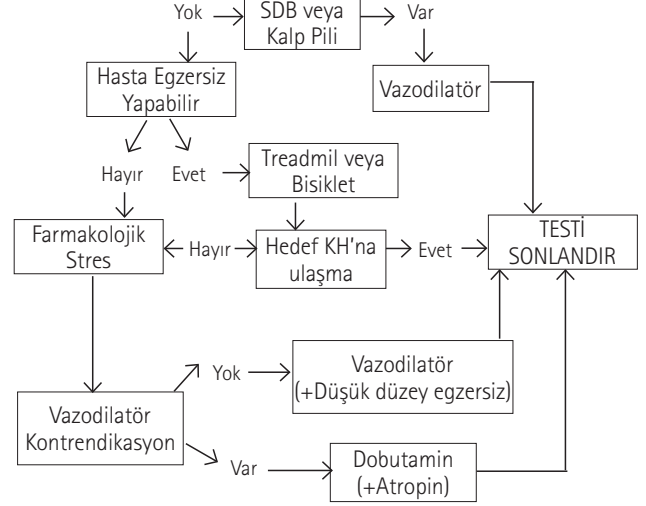
GA: Göğüs ağrısı, \*Avrupa Kardiyoloji Topluluğu 2019 Kronik Koroner sendromların tanı ve yönetim kılavuzundan modifiye edilmiştir (4). Test öncesi olasılık: Yüksek: > %90, Orta: %10-90, Düşük: %5-10, Çok düşük: <%5

- Başka tanısal metotların kullanımı
  - Klinik uygunsuzsa MPS'nin doğum sonuna bırakılması
  - Ertelemenin klinik olarak mümkün olmadığı olgularda optimum doz ayarlaması
9. Son olarak yazılı bilgilendirme-onam formunu okuması sağlanmalı ve gönüllü imzası alınmalıdır.

Tüm bunlar sorgulandıktan sonra Şekil 1'deki algoritmaya göre uygulanacak stres testi seçilmelidir (10,11).

### B. Stres Tipleri

Stres testleri egzersiz ya da farmakolojik olmak üzere temelde iki şekilde uygulanmaktadır. Ancak stres testine egzersiz testi şeklinde başlayıp, testi tamamlayamayan ya da maksimal kalp hızına ulaşamayan hastalarda diğer stres testine (farmakolojik stres) geçerek veya aynı anda farmakolojik stres testine ek olarak düşük düzey egzersiz testi şeklinde hibrit stres testi uygulamak da mümkündür.



Şekil 1. Seçilecek Stres testi algoritması

SDB: Sol dal bloğu, KH: Kalp hızı

Tablo 3. Koroner arter hastalığı tanısında, takibinde ve risk değerlendirmede miyokart perfüzyon sintigrafisine uygunluk kriterleri

Klinik Durum			MPS Endikasyonu Uygunluk Durumu
Koroner arter hastalığı tanısında ve risk değerlendirmede	Semptomatik	Test-öncesi düşük olasılıklı KAH hastası (EKG'si değerlendirilemeyen ve egzersiz yapamayan)	U
		Test-öncesi orta/yüksek olasılıklı KAH hastası (EKG'si değerlendirilebilen ve egzersiz yapabilen)	U
		Test-öncesi orta/yüksek olasılıklı KAH hastası (EKG'si değerlendirilemeyen ve egzersiz yapamayan)	U
		Test-öncesi düşük olasılıklı KAH hastası (EKG'si değerlendirilebilen ve egzersiz yapabilen)	N
	Asemptomatik ve iskemi tanımlanmayan	Orta/Yüksek riskli global KAH hastası (EKG'si değerlendirilemeyen veya egzersiz yapamayan)	O
		Yüksek riskli global KAH hastası (EKG'si değerlendirilebilen ve egzersiz yapabilen)	O
		Düşük riskli global KAH hastası (EKG ve egzersiz durumuna bakılmaksızın)	N
		Orta riskli global KAH hastası (EKG'si değerlendirilebilen ve egzersiz yapabilen)	N
	Diğer kardiyovasküler durumlar	Yeni tanı sistolik ve diastolik kalp yetmezliği	U
		Sürekli/sürekli olmayan VT veya Egzersiz kaynaklı VT	U
		Sürekli PVC veya VF	U

Tablo 3. devamı

Klinik Durum			MPS Endikasyonu Uygunluk Durumu
Koroner arter hastalığı tanısında ve risk değerlendirmede	Diğer kardiyovasküler durumlar	Yüksek riskli global KAH hastasında anti-aritmi tedavi başlamadan önce	U
		Orta/Yüksek riskli global KAH hastası (Non-iskemik senkop geçirmiş)	U
		Sürekli olmayan PVC veya Yeni başlangıçlı AF	0
		Düşük riskli global KAH hastası (Non-iskemik senkop geçirmiş)	0
Revaskülarizasyondan önceki değerlendirmede	Anormal test/çalışma bulunması (≤ 90 gün)	Anormal rest EKG bulgusu (SDB, T dalga negatifliği vb gibi iskemi lehine olabilecek bulgular) Düşük/orta/yüksek riskli global KAH hastası	U
		Egzersiz öncesi anormal EKG testi	U
		KBTA'da veya KAG'de obstruktif KAH bulunması	U
		Anormal koroner BT kalsiyum skoru (Agatston skor >100)	U
	Kesin olmayan test/çalışma bulunması (≤90 gün)	Egzersiz öncesi anormal stres görüntüleme (aynı tür stres görüntülemenin tekrarlanmadığını varsayan)	0
		Egzersiz EKG testi veya KBTA	U
		Önceki KBTA'de veya KAG'de koroner stenoz veya önemi belirsiz anatomik anormallik	U
	Takip testlerinde asemptomatik veya stabil semptomların bulunması (>90 gün)	Egzersiz öncesi EKG testi (aynı tür stres görüntülemenin tekrarlanmadığını varsayan)	0
		≥2 yıl önce yapılan son EKG'de anormal bulgu olması	0
		≥2 yıl önce yapılan son tetkikte anormal stres görüntüleme çalışması olması	0
		≥2 yıl önce yapılan KAG'de (invaziv veya noninvaziv) obstruktif KAH saptanması	0
		Düşük/orta/yüksek global KAH riski (koroner kalsiyum Agatston skoru 100-400)	0
		Öncesindeki koroner kalsiyum Agatston skoru >400	0
		≥2 yıl önce yapılan EKG'si normal orta/yüksek KAH riskli hasta	0
		≥2 yıl önce normal stres görüntüleme çalışması veya KAG'da (invaziv veya noninvaziv) nonobstruktif KAH bulunan asemptomatik orta/yüksek global KAH riskli hasta	0
	≥2 yıl önce normal stres görüntüleme çalışması bulunan stabil semptomlu orta/yüksek global KAH riskli hasta	0	
≥2 yıl önce normal stres görüntüleme çalışması veya KAG'de (invaziv veya noninvaziv) nonobstruktif KAH olan, stabil semptomlu, orta/yüksek global KAH riskli hasta	0		

Tablo 3. devamı

Klinik Durum		MPS Endikasyonu Uygunluk Durumu	
Revaskülarizasyondan önceki değerlendirilmede	Takip testlerinde asemptomatik veya stabil semptomların bulunması (> 90 gün)	<2 yıl önce yapılan son EKG'de anormal bulgu olması	N
		<2 yıl önce yapılan son tetkikte anormal stres görüntüleme çalışması olması	N
		<2 yıl önce yapılan KAG'de (invaziv veya noninvaziv) obstruktif KAH saptanması	N
		Koroner kalsiyum Agatston skoru <100 olması	N
		Normal egzersiz EKG testi bulunan düşük global KAH riskli hasta	N
		<2 yıl önce yapılan EKG'si normal orta/yüksek KAH riskli hasta	N
		Normal stres görüntüleme çalışması veya KAG'da (invaziv veya noninvaziv) nonobstruktif KAH bulunan asemptomatik düşük global KAH riskli hasta	N
		<2 yıl önce normal stres görüntüleme çalışması veya KAG'de (invaziv veya noninvaziv) nonobstruktif KAH bulunan asemptomatik orta/yüksek global KAH riskli hasta	N
		Normal egzersiz EKG testi bulunan stabil semptomlu düşük global KAH riskli hasta	N
		<2 yıl öncesinde normal stres görüntüleme çalışması bulunan stabil semptomlu orta/yüksek global KAH riskli hasta	N
	Normal stres görüntüleme çalışması veya KAG'da (invaziv veya noninvaziv) nonobstruktif KAH olan, stabil semptomlu, düşük global KAH riskli hasta	N	
	<2 yıl önce normal stres görüntüleme çalışması veya KA'da (invaziv veya noninvaziv) nonobstruktif KAH olan, stabil semptomlu, orta/yüksek global KAH riskli hasta	N	
	Takip testlerinde yeni gelişen veya kötüleşen semptomların bulunması	Normal/anormal egzersiz EKG testi	U
		KA'da (invaziv veya non-invaziv) non-obstruktif KAH veya normal stres görüntüleme çalışması	U
KBTA'da veya KAG'de obstruktif KAH		U	
Anormal KBTA kalsiyum düzeyi (Agatston skoru >100)		U	
Anormal stres görüntüleme çalışması		O	
Revaskülarizasyon sonrası (PKG veya KABG)	İskemi semptomlu	İskemi değerlendirmesi	U
		Tamamlanmamış revaskülarizasyon veya Ek revaskülarizasyona uygun	U
	İskemi semptomsuz	Sol ana koroner stent	O
		KABG sonrası ≥5 yıl veya PKG sonrası ≥ 2 yıl	O
		KABG sonrası <5 yıl veya PKG sonrası <2 yıl	N

Tablo 3. devamı

Klinik Durum			MPS Endikasyonu Uygunluk Durumu
Kardiyak dışı ameliyat için pre-operatif değerlendirilmede	Herhangi bir ameliyat	Orta-iyi fonksiyonel kapasite ( $\geq 4$ METs) veya klinik risk faktörü olmaması	N
	Herhangi bir ameliyat	Asemptomatik ve <1 yıllık normal takip tetkikleri (KBTA, KAG, KAH için normal stres test) veya revaskülarizasyon bulunması	N
	Zayıf veya bilinmeyen fonksiyonel kapasite (<4 METs)	Vasküler ameliyat $\geq 1$ klinik risk faktörü	U
		Böbrek veya karaciğer transplantı	U
		Orta riskli ameliyat veya $\geq 1$ klinik risk faktörü	O
		Düşük riskli ameliyat veya $\geq 1$ klinik risk faktörü	N
Egzersiz seviyesini belirlemede (başlangıç egzersiz yönergeleri veya kardiyak rehabilitasyona göre)	Egzersiz yönergesi	Önceden revaskülarizasyon yok	N
	Kardiyak rehabilitasyonun başlangıcı öncesinde egzersiz yapabilen	Kalp yetmezliği	O
		Post revaskülarizasyon (PKG veya KABG)	N

U: Uygun (appropriate), O: Uygun olabilir (may be appropriate), N: Nadiren uygun (rarely appropriate), MPS: Miyokart perfüzyon sintigrafisi, KAH: Koroner arter hastalığı, KBTA: Koroner bilgisayarlı tomografi angiyoğrafi, KAG: Koroner angiyoğrafi, KABG: Koroner arter by-pass greft, PKG: Perkütan koroner girişim, PVC: Prematür ventriküler kontraksiyon, SDB: Sol dal bloğu, AF: Atrial fibrilasyon, VF: Ventriküler fibrilasyon, VT: Ventriküler taşikardi

Tablo 4. Stres testi öncesi kesilmesi gereken ilaç ve gıdalar

İlaç/gıda	Stres tipi		
	Egzersiz	Vazodilatör	Dobutamin
Nitratlar	Kesilmeli (3-5 yarı ömür)	Kesilmeli (3-5 yarı ömür)	Kesilmeli (3-5 yarı ömür)
$\beta$ -blokerler	Kesilmeli (3-5 yarı ömür)	Kesilmesi önerilir (3-5 yarı ömür)	Kesilmeli (3-5 yarı ömür)
Kalsiyum antagonisti	Kesilmeli (3-5 yarı ömür)	Kesilmesi önerilir (3-5 yarı ömür)	Kesilmeli (3-5 yarı ömür)
Kafein içeren ilaç/gıda	Kesilmesi gerekmez (en az 12 saat önce)	Kesilmeli	Kesilmesi gerekmez
Metilsantin içeren ilaç/gıda	Kesilmesi gerekmez (en az 12 saat önce)	Kesilmeli	Kesilmesi gerekmez
Dipiridamol	Kesilmesi gerekmez (en az 24 saat önce)	Kesilmeli	Kesilmesi gerekmez



Amaç, stres görüntülemenin tanı doğruluğunu optimal düzeye taşımak için, hastayı semptom sınırlı maksimum stres kapasitesine ulaştırmaktır. Tablo 5’de stres test tipleri özetlenmiştir.

### B.1. Egzersiz Testi

Klinik rutin uygulamada en sık treadmill ve bisiklet ergometre cihazları kullanılmakla birlikte kol ergometre ve “handgrip” egzersiz de hasta kliniği gerektirdiğinde kullanılabilir egzersiz testleridir. Ayrıca son zamanlarda yerçekimini %80 oranında azaltabilen yerçekimsiz (antigravite) treadmill cihazları ile egzersiz sırasında oluşan mekanik stresi büyük oranda azaltan ve obez, yaşlı veya romatolojik hastalıkları bulunan hastalarda konforlu bir yürüyüş sağlanmaktadır. NASA tarafından astronotların yürüyüş eğitimi için geliştirilen bu cihaz son zamanlarda nükleer tıp uygulamalarında da kullanılmaya başlanmıştır (12). Fiziksel ve mental kapasiteleri yeterli, sol dal bloğu (SDB “LBBB”) ve kalp pili bulunmayan hastalar için uygulanacak ideal stres testi egzersiz

stres testidir. Egzersiz testi sırasında, artan periferik O<sub>2</sub> ihtiyacını karşılamak için kalp hızı ve kontraktilitesi artar bu sırada kan basıncında (KB) da artış meydana gelerek sempatik aktivite artışı olur. Hemodinamik olarak önemli düzeydeki stenoz varlığında koroner akım rezervi etkilenir ve stres sırasında artan miyokardiyal oksijen ihtiyacı karşılanamaz. İskemik kaskad denilen bu durumda sol ventrikülde (SV) elektriksel ve mekanik birtakım değişiklikler ortaya çıkar (ST değişiklikleri, kontraktilite azalması, anjina pectoris kliniği, miyokardiyal perfüzyon azlığı vb.) (13,14). Vücuttaki kaslar için ulaşılabilen maksimum fizyolojik O<sub>2</sub> limiti 15-17 mL/100mL kan değeridir ve VO<sub>2max</sub> (maksimal O<sub>2</sub> volümü) veya “aerobik” (oksijenli) kapasite olarak adlandırılır. Kademeli artan egzersizde VO<sub>2max</sub> eğrisi egzersiz sonuna doğru plato değerine yani maksimum değerine ulaşır. Böylece maksimum O<sub>2</sub> kapasitesine ulaşıldığı anda maksimum kardiyak outputa ulaşılmış olur. VO<sub>2maks</sub>’nin birimi ml/kg/dakikadır ve dinlenme anında tüketilen oksijen miktarı olan 1metabolic equivalents-metabolik eşdeğer (METs) =3,5 mL/kg/dakikadır (15). Maksimal egzersiz kapasitesi ile kardiyak olay gelişimi arasında kuvvetli ilişki vardır. İdeal bir stres testi için >10 METs’ye ulaşılmış olması gerekmektedir ki bu hastaların, takipte prognozlarının mükemmel yakın olduğu bildirilmektedir (Tablo 6). Yedi METs egzersiz düzeyine ulaşamamış hastalarda kardiyak olay gelişimi riski yüksektir (Bruce evre 2, Modifiye Bruce evre 4,). Miyokart enfarktüsü (ME) sonrası hastalarda ise <5 METs egzersiz kötü prognoz işareti olarak değerlendirilir (Modifiye Bruce evre 3) (Tablo 7) (12).

Tablo 5. Stres test tipleri

Tablo 5. Stres test tipleri		
Egzersiz stres	Treadmil egzersiz	
	Bisiklet egzersiz	
Farmakolojik stres	Vazodilatatörler	Adenozin
		Dipiridamol
		Ragadenoson
Sempatomimetik	Dobutamin	
Hibrit stres	Vazodilatatör + Düşük düzey egzersiz	

Tablo 6. Maksimum efor kapasitesi metabolik eşdeğerlerinin (metabolic equivalents) yorumlanması

METS	Yorum
1 METs	İstirahat
2 METs	2 mil/saat hızla düz yolda yürüme (normal yürüyüşle düz yolda yürüme)
3-4 METs	4 mil/saat hızla düz yolda yürüme (koşar adım düz yolda yürüme)
<5 METs	Kötü prognoz; günlük aktivitelerin yapılabilmesi için gereken en düşük efor düzeyine ulaşamama (Akut miyokart enfarktüsü sonrası durum)
5-6 METs	Sınıf 2 (NHYA II) ile uyumlu efor kapasitesi
>7 METs	Sınıf 1 (NHYA I) ile uyumlu efor kapasitesi
10	Koroner arter hastaları için prognostik yönden medikal tedavinin cerrahi tedaviye eş değer olabileceğini gösteren efor düzeyi
13	Normal test
18	Atletik efor düzeyi
20	Rekortmen atlet efor düzeyi

NHYA: New York Heart Association, Fonksiyonel sınıflama (I: Asemptomatik, II: Orta egzersizle semptom var, III: Hafif egzersizle semptom var, IV: İstirahatta semptom var)

Tablo 7. Bruce ve Modifiye Bruce protokollerinde ulaşılan ortalama tahmini METs düzeyleri

A. Bruce protokolü				
Basamak	Süre (dk)	Hız (km/saat)	Derece (%)	Tahmini METs düzeyi
1	3	2,7	10	3
2	3	4,0	12	4-5
3	3	5,5	14	7
4	3	6,8	16	10
5	3	8,0	18	14
6	3	8,9	20	17
7	3	9,7	22	21
B. Modifiye Bruce protokolü				
Basamak düzeyi	Süre (dk)	Hız (km/saat)	Derece (%)	Tahmini METs
0	3	2,7	0	2
1	3	2,7	5	3
1/2	3	2,7	10	4
2	3	4,0	12	5-6
3	3	5,5	14	7
4	3	6,8	16	10
5	3	8,0	18	14
6	3	8,9	20	17
7	3	9,7	22	21

METs: Metabolic equivalents

### B.1.1. Egzersiz Testi Kontrendikasyonları

#### B.1.1.1. Mutlak Kontrendikasyonlar

1. Yüksek riskli kararsız angina (EKG'de iskemik bulgusu olmayan, miyokardiyal serum biyo-belirteçleri normal olan hastalar egzersiz testi yapabilirler)
2. Yeni geçirilmiş ME öyküsü (<4 gün)
3. Dekompanse veya kontrol edilemeyen kalp yetmezliği
4. Hemodinamik bozukluk yaratan semptomatik aritmi
5. Şiddetli pulmoner hipertansiyon
6. İstirahat halinde yüksek tansiyon (sistolik KB >200 mmHg, diastolik KB >110 mmHg)
7. Akut pulmoner emboli
8. Semptomatik şiddetli aort stenozu
9. Akut miyokardit/perikardit
10. Akut aort diseksiyonu

11. Akut semptomatik başka bir hastalık

12. Test güvenliği açısından engel teşkil eden fiziksel yetersizlik durumu

#### B.1.1.2. Göreceli Kontrendikasyonlar

1. Bilinen anlamlı sol ana koroner arter stenozu
2. Asemptomatik orta-şiddetli aort stenozu
3. Hipertrofik obstruktif kardiyomiyopati
4. Tam kalp bloğu
5. Yakın zamanlı inme veya geçici iskemik atak öyküsü
6. Ciddi taşikardi veya bradikardi
7. Mental ve fiziksel yetersizlikler
8. Ciddi anemi, elektrolit imbalansı, hipertiroidi gibi metabolik durumlar
9. SDB, Wolf Parkinson White (WPW) vb. preeksitasyon sendromları, kalıcı kalp pili (bu hastalarda kontrendikasyon yoksa vazodilatatör farmakolojik stres tercih edilmelidir, dobutamin uygun bir seçenek değildir).

### B.1.2. Egzersiz Erken Sonlandırma Kriterleri

1. Orta/şiddetli anjina
2. Belirgin dispne
3. Yorgunluk, ataksi, başdönmesi, senkop vb. genel durum bozuklukları
4. Perfüzyon bozukluk belirtileri (siyanoz, solukluk)
5. Hastanın sonlandırmak istemesi
6. ST segment çökmesi (>2 mm)
7. ST segment yükselmesi (>1 mm) tanısız Q dalgası olmayan derivasyonlarda (V1, aVL, aVR hariç)
8. Sebatsız eden supraventriküler veya ventriküler taşikardi (VT)
9. SDB veya VT'den ayırt edilmeyen intraventriküler iletim gecikmesi
10. Sistolik KB'de >10 mmHg düşme (diğer iskemi bulguları ile birlikte ise)
11. Hipertansif yanıt (sistolik >230mmHg ve/veya diastolik >115 mmHg)
12. EKG ve sistolik KB monitörizasyonunda teknik hata/eksiklikler
13. İntrakardiyak defibrilatörü bulunan hastada kalp hızının belirgin düşmesi durumunda (<20 olduğunda şok uygulaması başlatılabileceğinden)

### B.1.3. Egzersiz Stres Protokolü

- Hasta en az 3 saat aç olmalıdır, çok uzun açlık test performansını düşüreceğinden tercih edilmez.
- Egzersiz testi için kafein kesmek zorunlu olmamakla birlikte farmakolojik teste geçiş yapılabileceğinden en az 12 saat kafein alınmaması tercih edilir. Öğleden sonra tetkike alınacak hastalar hafif bir kahvaltı yapabilirler. İnsülin kullananların çekimi ise sabah saatlerine alınmalıdır.
- Stres testi öncesi kesilmesi gereken ilaçların kesilip kesilmediği sorgulanmalıdır (Tablo 4).
- Uygun damar yolu açılmalıdır (>24 gauge).
- Egzersiz testi; mutlaka kalp hızı, KB ve 12 derivasyonlu EKG monitörizasyonu eşliğinde yaptırılmalı ve test sonunda en az 4 dakika dinlenme ("recovery") fazı alınmalıdır. Test boyunca EKG ve kan basıncı, her 3 dakikalık evre sonunda, pik egzersiz düzeyinde ve dinlenme fazı sonunda kaydedilmelidir.
- Yaşa ayarlanmış hedef kalp hızının (220-yaş) %85'ine ulaşılması, testin duyarlılığı için hedef kritik düzeydir ancak semptomu olmayan hastalarda egzersiz testini sonlandırmayı gerektirmez ( $\pm 12$  kalp hızı olabilir). Semptom-limited (semptom sınırlı) egzersiz yapılmalı ve hastalar orta-şiddetli göğüs ağrısı, şiddetli nefes

darlığı, bitkinlik vb. şikayetler tanımlayana kadar egzersize kontrollü bir şekilde devam edilmelidir.

- KAH olduğu bilinen ve ilaçlarını alırken test yapılan hastalarda maksimum kalp hızına ulaşılmaya bile testin prognostik değeri geçerliliğini korur.
- Radyofarmasötik enjeksiyonu mümkün olan en yüksek egzersiz düzeyinde yapılmalı ve en az 1-2 dakika (TI 201'de 1, Tc-99m ajanlarında 2 dakika) stres testine aynı hızda devam edilmelidir. Sonrasında en az 4 dakikalık 0 eğimli yavaş dinlenme fazına geçilir (ideali test sonunda 6-8 dk monitorizasyona devam edilmesidir).
- Dinlenme fazında kalp hızının başlangıç seviyesine dönmesi beklenmeli, egzersize bağlı gelişen ST segment değişikliklerinin ve semptomların gerilediğinden emin olunmalıdır.
- Egzersiz sırasında gelişmeye bile "recovery" fazında gelişebilecek ST değişiklikleri ve egzersiz ilişkili hipotansiyon ya da hipertansiyon konusunda dikkatli olunmalıdır.
- Semptom (orta-şiddetli göğüs ağrısı, şiddetli nefes darlığı, bitkinlik vb.) tanımlayan hastaların testi erken sonlandırılmalıdır (bakınız ► B.1.2. Egzersiz Erken Sonlandırma Kriterleri).
- Yeterli egzersiz yapamayan (maksimum kalp hızına ve METs değerine ulaşamayan) hasta farmakolojik stres testine alınabilir (16).

### B.1.4. Egzersiz Testi Sırasında Gelişebilecek Komplikasyonlar;

- ME
- Konjestif kalp yetmezliği
- Hipotansiyon, senkop ve şok
- Ani ölüm (Ventriküler fibrilasyon/VT)
- Bradikardiler/Taşikardiler
- Kas-iskelet sistemine ait sorunlar
- Aşırı yorgunluk, halsizlik, hastalık hissi gibi yakınmalar (7).

### B.2. Farmakolojik Stres Testleri

Klinik pratikte kullanılan koroner vazodilatörler (adenozin, dipiradamol, regadenoson) ve sentetik katekolamin (dobutamin) olmak üzere iki ana gruptur. Adenozin A1, A2a, A2b, A3 reseptörleri üzerine, regadenoson selektif olarak A2a reseptörlerine etki ederek, dipiridamol ise adenozin gerilimini inhibe ederek koroner vazodilatasyona yol açar. Semptom-mimetik bir ajan olan dobutamin,  $\beta_1$  reseptörlerine etki ederek pozitif

inotropik ve kronotropik etkisiyle kardiyak strese yol açarlar. Hasta ağırlığına göre uygulanacak farmakolojik stres dozları Tablo 8'de verilmiştir (16).

### B.2.1. Adenozin

Adenozin, A2a reseptörleri üzerinden koroner vazodilatasyona yol açarak koroner kan akımını 3-5 kat artırır. Kalp hızında artış yaparken ( $14\pm 30$  atım), sistolik ( $10\pm 37$  mmHg) ve diastolik ( $8\pm 19$  mmHg) KB'de orta derecede azalmaya yol açar. Metilksantin türevleri (kafein, teofilin, teobromin) seçici olmayan adenozin reseptör antagonisti olduklarından kompetitif inhibisyon ile adenozinin etkinliğini azaltırlar, bu nedenle testten 12-24 saat önce kesilmelidirler. Adenozin aynı zamanda A1, A2b, A3 reseptörlerine etki ederek istenmeyen yan etkilere yol açabilir. A1 reseptörleri üzerinden atrioventriküler (AV) bloğa, A2b reseptörleriyle periferik vazodilatasyona ve A2b, A3 reseptörleriyle ise bronkospazma neden olabilir. Yarı ömrü kısa olup (10 sn) adenozin kinaz ile adenozin monofosfata ya da adenozin deaminaz ile inosine dönüştürülür.

#### B.2.1.1. Adenozin Endikasyonları

Egzersiz MPS ile aynı olup ayrıca aşağıdaki durumlarda kullanılması gerekir:

1. Ortopedik, periferik vasküler, mental veya kardiyopulmoner limitasyonlar nedeniyle egzersiz yapılamaması.
2. SDB, ventriküler pre-eksitasyon (WPW sendromu) ve sabit hızlı kalp pili varlığı (bu durumlarda egzersiz testi ile yanlış pozitiflik %50 iken, adenozin ile  $<10\%$ dur).
3. ME sonrası klinik olarak stabil hastada risk belirleme (16).

#### B.2.1.2. Adenozin Kesin Kontrendikasyonları

1. Bronkospazm, astım, aktif "wheezing" veya önemli reaktif hava yolu hastalığı öyküsü olan hastalar.

2. İkinci, üçüncü derece AV blok (kalp pili bulunmayan).
3. Hasta sinüs sendromu, semptomatik bradikardi gibi sinüs düğümü hastalıkları (kalp pili bulunmayan).
4. Sistolik KB  $<90$  mmHg olması (özellikle otonomik disfonksiyone hastalarda, hipovolemide, sol ana damar darlıklı olgularda, stenotik kalp kapak hastalarında, perikardit, perikardiyal efüzyon varlığında ve serebrovasküler hadisenin eşlik ettiği karotid arter stenozlu hastalarda, ciddi hipotansiyon gelişme riski yüksektir).
5. Kontrol altına alınmayan hipertansiyon (sistolik KB  $>200$  mmHg ya da diastolik KB  $>110$  mmHg).
6. Kırk sekiz saatten az süre içinde dipiridamol veya dipiridamol içerikli ilaç kullanımı.
7. Adenozine bilinen hipersensitivite.
8. Kararsız angina, akut koroner sendrom, yeni geçirilmiş (2-4 gün önce) ME (16).

#### B.2.1.3. Adenozin Göreceli Kontrendikasyonları

1. Ciddi sinüs bradikardisi  $<40$  atım/dakika.
2. Mobitz Tip 1. derece AV blok (Wenckebach).
3. Son 12 saat içerisinde kafeinli gıda tüketmek (kahve, çay, soda vb.).
4. Şiddetli aort stenozu.
5. Nöbet varlığı. Adenozin uygulamasına bağlı yeni gelişen ya da tekrarlayan konvulsif nöbet bildirilmektedir. Bu tür öyküsü bulunan hastalara metilksantin (aminofilin) uygulaması önerilmemektedir (16).

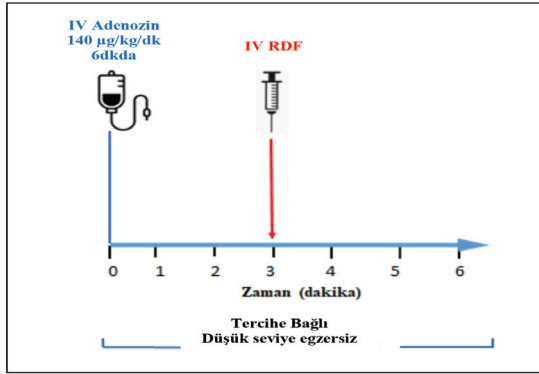
#### B.2.1.4. Adenozin Stres Protokolü (Şekil 2)

1. Hasta en az 3 saat aç olmalıdır.
2. Uygulamaya başlamadan önce kafein-teofilin içeren ilaç ve gıdaların, metilksantinlerin (12 saat önce) ve dipiridamolün (48 saat önce) kesildiğinden emin olunmalıdır (Tablo 4).

Tablo 8. Hasta ağırlığına göre farmakolojik stres ilaç dozları

Hasta ağırlığı (kg)	Adenozin (140 µg/kg/dk)	Dipiridamol (0,56 mg/kg)	Ragedenon (0,4 mg)	Dobutamin (5-40 µg/kg/dk)
25 kg	3,5 mg/dk	14 mg	0,4 mg	0,125-1 mg/dk
50 kg	7 mg/dk	28 mg	0,4 mg	0,25-2 mg/dk
75 kg	10,5 mg/dk	42 mg	0,4 mg	0,375-3 mg/dk
100 kg	14 mg/dk	56 mg	0,4 mg	0,5-4 mg/dk
125 kg	17,5 mg/dk	70 mg	0,4 mg	0,625-5 mg/dk

- Adenozinin sabit infüzyon hızı için infüzyon seti kullanılmalı ve infüzyon sırasında eş zamanlı radyofarmasötik enjeksiyonu için iki yollu Y-branül ile damar yolu açılmalıdır.
- Tıpkı egzersiz testi gibi EKG monitörizasyonu yapılmalıdır. Adenozin infüzyonu süresince her dakika için 12 derivasyonlu EKG kaydı alınmalıdır.
- Adenozin infüzyonu sırasında, sonrasındaki 3-5 dakikalık dinlenme sürecinde veya hasta stabilleşene kadar her dakika KB kaydedilmelidir.
- Adenozin 140 µg/kg/dk dozunda 6 dakika süren devamlı infüzyon (100 mL serum fizyolojik içerisinde) olarak verilir. İnfüzyonun 3. dakikasinda radyofarmasötik enjeksiyonu yapılır sonrasında 3 dakika daha devam edilerek 6 dakikalık infüzyon tamamlanır.
- Kontrol altındaki astım hastaları ya da sınırda hipotansif hastalar gibi riskli olduğu düşünölen hastalarda adenozin infüzyonu daha düşük dozda (70-110 µg/kg/dk) başlanabilir, eğer hasta ilk 1 dakikada uygulamayı tolere ederse infüzyon hızı 140µg/kg/dk'ya yükseltilek 4 dakikada



**Şekil 2.** Adenozin uygulama protokolü

RDF: Radyofarmasötik, µg: Mikrogram, IV: İntravenöz

tamamlanır (radyofarmasötik enjeksiyonu 2. dakikada yapılır).

- Yan etki gelişimi gözlemlenmeli, tolere edilemeyen yan etki geliştiğinde infüzyon stoplanmalıdır. Adenozinin yarı ömrü 10 sn gibi kısa bir süre olduğundan, adenozin infüzyonuna son verilmesi çok kısa süre içinde yan etkilerin gerilemesine neden olacağından genellikle ek bir uygulamaya gerek kalmayacaktır (16).

#### B.2.1.5. Adenozin ve Düşük Seviye Egzersiz Kombinasyonu (Adeno-Walk)

Adenozin infüzyonu sırasında fiziksel olarak uygun hastalarda düşük seviye egzersiz (2,7 km/saat, %0 eğim treadmill gibi) uygulamak hem adenozinin yan etkilerinin görülme sıklığını azaltmakta hem de hepatik ve gastrointestinal tutulumunu azaltarak görüntü kalitesinin artmasına neden olmaktadır. Ancak düşük seviye egzersiz SDB, WPW ve ventriküler kalp pili bulunan olgularda önerilmemektedir (16).

#### B.2.1.6. Adenozin İnfüzyonunun Erken Sonlandırılması Gereken Durumlar

- Şiddetli hipotansiyon gelişmesi (sistolik KB <80mmHg)
- Semptomatik, sürekli 2° veya tam AV kalp bloğu
- Diğer anlamlı kardiyak aritmiler
- “Wheezing”
- Ciddi göğüs ağrısı (≥2 mm ST depresyonu eşlik eden).
- Perfüzyonda bozulma belirtileri görülmesi (solukluk, siyanoz, deride soğuma vb.)
- Teknik problemler (monitorizasyon vb.)
- Hastanın sonlandırma isteği (16).

#### B.2.1.7. Adenozinin Yan Etkisi ve Komplikasyonu Yönetimi

Adenozinin yarı ömrü ( $T_{1/2}$ : 10 sn) kısa olduğundan adenozin infüzyonu sona erdikten saniyeler sonrasında yan etkiler hafiflemekte ve sona ermektedir (Tablo 9).

**Tablo 9.** Adenozin yan etkiler

Minör yan etkiler (%80)	Majör yan etkiler (daha seyrek)
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Flushing (%35-40)</li> <li>-Göğüs ağrısı (%25-30)*</li> <li>-Dispne (%20)</li> <li>-Baş dönmesi (%7)</li> <li>-Bulantı (%5)</li> <li>-Semptomatik hipotansiyon (%5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-AV Blok %8**</li> <li>-EKG'de &gt;1 mm ST depresyonu %5-7***</li> <li>-Miyokart enfarktüsü (&lt;1/1000)</li> <li>-AF, konvülsif nöbet,</li> <li>-Hemorajik ya da iskemik SVO</li> </ul>
<p>AF: Atrial fibrilasyon, AV: Atrioventriküler blok, KAH: Koroner arter hastalığı, EKG: Elektrokardiyografi, *: Gelişen göğüs ağrısı non-spesifik olup KAH varlığı açısından bir semptom olarak değerlendirilmemelidir, **Gelişen AV blokların %95'i "self-limiting" tarzındadır ve infüzyonu durdurmayı gerektirmez, ***EKG'de &gt;1 mm ST depresyonu gelişmesi iskemi varlığı açısından anlamlı bir göstergedir, SVO: Serebro vasküler olay</p>	

Ancak nadiren de olsa yan etkiler geçmediğinde ve aşağıda sıralanan durumlar geliştiğinde, radyofarmasötik enjeksiyonundan 1 dakika sonra İV 50-250 mg aminofilin yavaş infüzyon (genellikle 50-100 mg, 30-60 saniyede) şeklinde uygulanabilir:

- Şiddetli hipotansiyon gelişmesi (sistolik KB <80 mmHg)
- Semptomatik, sürekli 2° veya tam kalp bloğu
- Diğer anlamlı kardiyak aritmiler
- “Wheezing”
- Ciddi göğüs ağrısı ( $\geq 2$  mm ST depresyonu eşlik eden)
- Perfüzyonda bozulma belirtileri görülmesi (solukluk, siyanoz, deride soğuma vb.) (16).

### B.2.2. Regadenoson

Regadenoson Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) (The Food and Drug Administration) onaylı bir selektif A2a reseptör agonistidir. Binodenoson, CGS21680 ve ATL-146e (apadenoson) preparatları ise prelinik çalışma aşamasında olan selektif A2a reseptör agonistleridir. Regadenosonun A2a reseptörlerine afinitesi adenzinden 10 kat daha fazla olup oldukça yüksektir, A1 reseptörlerine zayıf, A2b ve A3 reseptörlerine ise oldukça zayıf afinitelidir. A2a reseptörleri aracılığıyla koroner vazodilatasyon yaparak koroner kan akımını artırır. Biyolojik yarı ömrü 2-4 dakikadır. Maksimal plazma konsantrasyonuna 1-4 dakikada ulaştığında farmakodinamik etkileri görülmeye başlar ve bu etkiler yaklaşık 30-120 dakikada sonlanır. Çoğunlukla kalp hızında artış, KB’de düşüş etkisi yaratmaktadır. Kalp hızında  $25 \pm 11$  atım/dk artış, sistolik KB  $13 \pm 14$  mm Hg düşüş, diastolik KB  $10 \pm 8$  mm Hg düşüş yapmaktadır.

Endikasyonlar, kontrendikasyonlar adenzin ile aynıdır (Bakınız ► B.2.1.1 - B.2.1.3).

#### B.2.2.1. Regadenoson Stres Protokolü (Şekil 3)

1. Uygulamaya başlamadan önce kafein-teofilin içeren ilaç ve gıdaların, metilksantinlerin 12 saat önceden, dipiridamolün 48 saat önceden kesilmiş olduğundan emin olunmalıdır. Ayrıca hasta en az 3 saat aç olmalıdır.
2. Uygulamanın başından sonuna kadar tıpkı egzersiz stres testinde olduğu gibi rutin 12 derivasyonlu EKG alınmalı ve dakikalık KB takibi yapılmalıdır. Hasta stabil hale gelene kadar 3-5 dk daha takip edilmelidir.
3. Regadenoson enjektörde tek kullanımlık doz halindedir ve her hastaya sabit doz uygulanır.

Böbrek yetmezliğinde doz ayarlamasına ihtiyaç yoktur. Uygulama infüzyon pompası gerektirmez.

4. 0,4 mg (5 mL) regadenoson periferik venden uygun bir damar yoluyla (>24 gauge) hızlı (10 sn) İV enjeksiyon şeklinde uygulanır. Ardından 5 mL SF ile yıkama yapıldıktan 10-20 sn sonra aynı kateterden radyofarmasötik enjeksiyonu yapılır.
5. Radyofarmasötik enjeksiyonundan 90 sn sonra rutin 75 mg aminofilin uygulaması yan etki sıklığını ve şiddetini azaltır (özellikle GIS yan etkileri) (16).

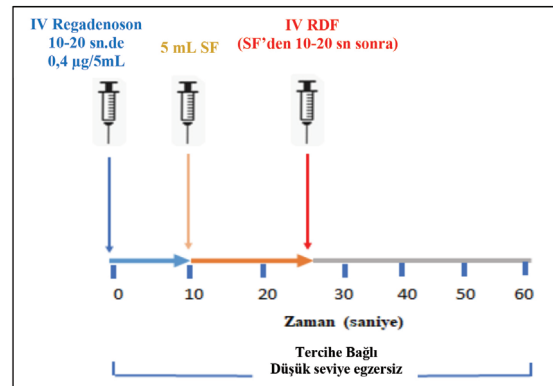
#### B.2.2.2. Regadenoson ve Düşük Seviye Egzersiz Kombinasyonu (Regade-Walk)

Fiziksel olarak uygun hastalarda 1,5 dk düşük seviye egzersiz (2.7 km/saat, %0 derece treadmill gibi) uyguladıktan sonra regadenoson ve RF uygulamasını yapıp 2 dk daha düşük seviye egzersize devam edilmelidir. Regadenoson ve düşük seviye egzersiz kombinasyonu hem regadenosonun yan etkilerinin görülme sıklığını azaltmakta hem de görüntü kalitesinin artmasına neden olmaktadır. Ancak düşük seviye egzersiz SDB, WPW ve ventriküler kalp pili bulunan olgularda kalp hızı artışına bağlı gelişen artefaktlar nedeniyle önerilmemektedir (16).

#### B.2.2.3. Regadenosonun Yan Etki (Tablo 10) ve Komplikasyonu Geliştiğinde Hasta Yönetimi

Aşağıda sıralanan durumlar geliştiğinde radyofarmasötik enjeksiyonundan 1 dk sonra İV 50-250 mg aminofilin yavaş infüzyon (genellikle 50-100 mg, 30-60 sn’de) şeklinde uygulanabilir:

- Şiddetli hipotansiyon gelişmesi (sistolik KB <80 mmHg)



Şekil 3. Regadenoson uygulama protokolü

IV: İntravenöz, RDF: Radyofarmasötik, µg: Mikrogram, mL: Mililitre, SF: Serum fizyolojik

- Semptomatik, sürekli 2° veya tam kalp bloğu
- Diğer anlamlı kardiyak aritmiler
- “Wheezing”
- Ciddi göğüs ağrısı ( $\geq 2$  mm ST depresyonu eşlik eden)
- Perfüzyonda bozulma belirtileri görülmesi (solukluk, siyanoz, deride soğuma vb.) (16).

### B.2.3. Dipiridamol

Dipiridamol vasküler endotelde adenosin geri alımını ve adenosin deaminazı inhibe ederek adenosin yıkımını engeller. Böylece dolaşımdaki adenosinin miktarını artırarak indirekt koroner vazodilatasyona neden olur. Bu indirekt etkiden dolayı koroner hiperemik etkisi adenosin kadar iyi predikte edilemez. Yarı ömrü yaklaşık 30-45 dk'dır. Pik vazodilatasyon etkisi infüzyondan ortalama 6,5 dk sonra görülür ve koroner hiperemi etkisi 50 dk'dan uzun sürer. Metabolizması karaciğerde gerçekleştiğinden karaciğer yetmezliği durumlarında farmakolojik aktivitesi uzamaktadır.

Endikasyonlar ve kontrendikasyonlar adenosin ile aynıdır (Bakınız ► B.2.1.1 - B.2.1.3).

#### B.2.3.1. Dipiridamol Stres Protokolü (Şekil 4)

1. Uygulamaya başlamadan önce kafein-teofilin içeren ilaç ve gıdaların, metilksantinlerin 12 saat önceden kesilmiş olduğundan emin olunmalıdır. Oral dipiridamol kullanımının kesilmesine gerek yoktur. Hasta en az 3 saat aç olmalıdır.
2. Dipiridamol 0,56 mg/kg dozunda 4 dk boyunca infüzyon şeklinde (infüzyon pompası veya damla hesabıyla) uygulanır. Infüzyon bitiminden 3-5 dk sonra radyofarmasötik enjeksiyonu yapılabilir.
3. Infüzyon uygulaması sırasında ve infüzyon bitiminden sonra 3-5 dk daha rutin 12 derivasyonlu

**Tablo 10. Regadenoson yan etkiler**

Minör yan etkiler	Majör yan etkiler
- Baş ağrısı %29*	- Ritim-ileti problemleri %26
- Dispne %25	Birinci derece AV blok %3
- Flushing %17	İkinci derece AV blok %0,1
- Göğüste ağrı/rahatsızlık hissi %11	- Asistoli, geçici QT uzaması
- Angina %8	- Miyokardiyal iskemi/enfarkt
- Baş dönmesi %7	- Epileptik atak
- Bulantı, abdominal rahatsızlık %6	- İskemik/hemorajik SVO

\*: Çoğu yan etki ilk 15 dk'de gerilerken baş ağrısı 30 dakikada gerileyebilmektedir, AV: Atrioventriküler blok

EKG alınmalı ve dakikalık KB takibi yapılmalıdır. Yan etki gelişimi gözlemlenmelidir. Dipiridamol uygulaması sistolik ve diastolik kan basıncında ılımlı bir düşüğe ( $14 \pm 15$  mmHg) ve kalp hızında artışa ( $17 \pm 11$  atım) neden olabilmektedir (16).

#### B.2.3.2. Dipiridamol ve Düşük Seviye Egzersiz Kombinasyonu (Dipirida-Walk)

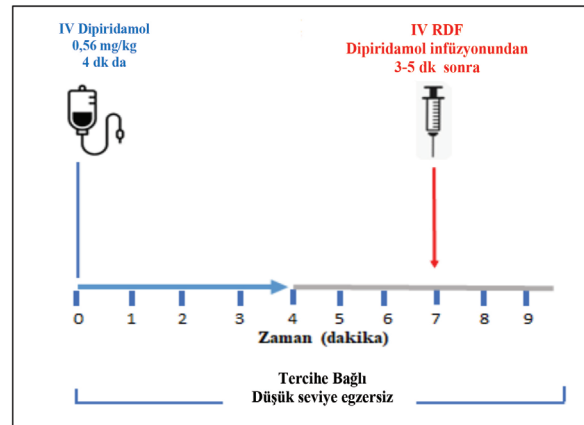
Fiziksel olarak uygun hastalarda dipiridamol infüzyonunun tamamlanmasından hemen sonra 4-6 dk'lık düşük seviye egzersiz (2,7 km/saat, %0 grade treadmill gibi) yapılabilir. Radyofarmasötik uygulamasından sonra düşük seviye egzersize 2 dk daha devam etmek miyokardiyal tutulumun stres altındayken gerçekleşmesini sağlayacaktır. Dipiridamol ve düşük seviye egzersiz kombinasyonu hem dipiridamolün yan etkilerinin görülme sıklığını azaltmakta hem de hepatik ve GİS uptake'sini azaltarak görüntü kalitesinin artmasına neden olmaktadır. Ancak düşük seviye egzersiz SDB, WPW ve ventriküler kalp pili bulunan olgularda önerilmemektedir (16).

Dipiridamol infüzyonunu erken sonlandırması gereken durumlar adenosin ile aynıdır (Bakınız ► B.2.1.6).

#### B.2.3.3. Dipiridamolün Yan Etki (Tablo 11) ve Komplikasyonu Geliştiğinde Hasta Yönetimi

Aşağıda sıralanan durumlar geliştiğinde radyofarmasötik enjeksiyonundan 1 dk sonra İV 50-250 mg aminofilin yavaş infüzyon (genellikle 50-100 mg, 30-60 sn'de) şeklinde uygulanabilir:

- Şiddetli hipotansiyon gelişmesi (sistolik KB  $< 80$  mmHg)



**Şekil 4. Dipiridamol uygulama protokolü**

IV: İntravenöz, RDF: Radyofarmasötik, mg: Miligram, kg: Kilogram

- Semptomatik, sürekli 2° veya tam kalp bloğu
- Diğer anlamlı kardiyak aritmiler
- “Wheezing”
- Ciddi göğüs ağrısı ( $\geq 2$  mm ST depresyonu eşlik eden).
- Perfüzyonda bozulma belirtileri görülmesi (solukluk, siyanoz, deride soğuma vb.)
- Daha az şiddette herhangi bir yan etki geliştiğinde RF enjeksiyonundan 1 dk geçtikten sonra aminofilin enjeksiyonu düşünülebilir (16).

#### B.2.4. Dobutamin

Dobutamin, FDA onaylı semptomimetik bir ajan olup potent B1, zayıf B2 ve  $\alpha$  reseptör agonistidir. Kalp hızı, KB ve kontraktileti artırarak egzersize yakın düzeyde MKA'yı artırmaktadır. Dobutaminin plazma yarı ömrü 2 dk'dır. Uygulama sonrası etkisi 1-2 dk içinde başlayıp maksimum etkiye 10 dk civarında ulaşmaktadır.

##### B.2.4.1. Endikasyonlar

Egzersiz yapamayan ve vazodilatör stres için kontrendikasyonu olan hastalarda (bronkospazm vb.) tercih edilecek bir stres tipidir.

##### B.2.4.2. Kontrendikasyonlar

1. Kararsız anjina, akut koroner sendrom, yakın zamanlı geçirilmiş ME (<4 gün) öyküsü bulunması.
2. Hemodinamik olarak anlamlı SV çıkış darlığı.
3. Atrial taşiaritmiler, VT öyküsü.
4. Kontrolsüz HT (sistolik KB >200 mmHg ya da diastolik KB >110 mmHg).
5. Aort diseksiyonu.
6. Bilinen dobutamin alerjisi.

##### B.2.4.3. Göreceli Kontrendikasyonlar

1. Beta bloker almış olmak.
2. Şiddetli aort stenozu.

Tablo 11. Dipiridamol yan etkiler

Minör yan etkiler (%50)	Majör yan etkiler
-Göğüs ağrısı %20 (non-spesifiktir)	-AV Blok %2
-Baş ağrısı %7	-ST segment veya T dalga değişiklikleri %8 (iskemi açısından anlamlı)
-Baş dönmesi %12	-Fatal/non-fatal miyokart enfarktüsü <1/1000
-Ventriküler ekstrasistoller %5	
-Bulantı %5	
-Hipotansiyon %5	
-Flushing %3	

AV: Atrioventriküler blok

3. Semptomatik ve geniş boyutlu Aort anevrizması varlığı.
4. SDB, ventriküler kalp pili ritim varlığı (16).

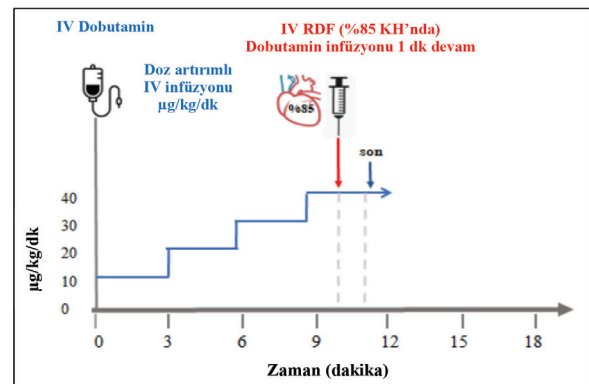
#### B.2.4.4. Dobutamin Stres Protokolü (Şekil 5)

- Hasta en az 3 saat aç olmalıdır.
- Stres testi öncesi kesilmesi gereken ilaçların kesilip kesilmediği sorgulanmalıdır (Tablo 4).
- EKG monitorizasyonu ve KB takibi yapılmalıdır.
- İnfüzyon seti kullanılmalı ve infüzyon sırasında RDF enjeksiyonu için iki yollu Y-branül ile damar yolu açılmalıdır.
- Dobutamin infüzyonu 5-10  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{dk}$  dozunda başlanmalı, 3 dk sonra 20  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{dk}$ , 3 dk sonra 30  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{dk}$  ve 3 dk sonra maksimum doz olan 40  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{dk}$  dozuna geçilmelidir.
- Yaşa ayarlanmış hedef kalp hızının (220-yaş) %85'ine ulaşıldığında RDF enjeksiyonu yapıp 1 dk daha infüzyona devam edilmelidir.
- Hedef kalp hızına ulaşamadığı durumda bölünmüş 0,25-0,50 mg atropin uygulanabilir (max. 1-2 mg) (16).

Dobutamin İnfüzyonunu Erken Sonlandırma Kriterleri Egzersiz Stres Testleri ile Aynıdır (Bakınız ► B.1.2).

#### Dobutamin Yan Etkiler

- İskemik ST depresyonu %33
- Göğüs ağrısı %31
- Çarpıntı %29
- Baş ağrısı %14
- Flushing %14
- Dispne %14
- Supraventriküler taşikardi, VT %8-10



Şekil 5. Dobutamin uygulama protokolü

IV: İntravenöz, RDF: Radyofarmasötik,  $\mu\text{g}$ : Mikrogram, kg: Kilogram, dk: Dakika, KH: Kalp hızı



#### B.2.4.5. Dobutaminin Yan Etki ve Komplasyonu Geliştiğinde

Aşağıda sıralanan durumlar geliştiğinde kısa etkili beta bloker uygulanır (iV esmolol, 0,5 mg/kg 1 dakikanın üzerinde) veya (iV metoprolol 5 mg).

- Ciddi hipertansiyon gelişmesi (sistolik KB >220 mmHg, diastolik KB >110 mmHg)
- Ciddi kardiyak aritmi
- Diğer anlamlı kardiyak aritmiler
- Ciddi göğüs ağrısı ( $\geq 2$  mm ST depresyonu eşlik eden) (16).

### C. Çekim Protokolleri

#### C.1. Radyofarmasötikler

MPS'de Tc-99m ile işaretli katyonik kompleksler, Tl-201 veya pozitron yayan radyofarmasötikler kullanılabilir. Obstrüktif veya anormal koroner vazoreaktiviteye bağlı ciddi koroner arter darlığı olan hastalarda perfüzyonun azalmasına bağlı olarak radyofarmasötik konsantrasyonu düşer. Miyokardın stres ve istirahat perfüzyon durumuna

göre iskemi ve skar yorumu yapılabilir. Stres sonrası görülen ve istirahatta düzelen perfüzyon anomalileri iskemiye gösterirken, hem stres ve hem restte kararlı perfüzyon defektleri skar ya da hiberne miyokarda bağlı olabilir; ayırımında miyokardiyal canlılığı değerlendirmek için günümüzde altın standart özelliğini koruyan F-18 florodeoksiglukoz (F-18 FDG) PET/BT miyokardiyal inceleme yapılması gerekebilir.

Miyokardiyal perfüzyon SPECT görüntülemeye radyofarmasötik olarak Tl-201 kullanıldığında, geç görüntüleme ve/veya radyofarmasötüğün yeniden enjeksiyonu sonrasında yapılan görüntüleme bu lezyonların skardan ayırt edilmesinde faydalıdır. Radyofarmasötik olarak Tc-99m-MIBI kullanıldığında istirahat enjeksiyonundan önce nitroglicerine verilmesi bu ayırımının yapılmasında yardımcı olabilir. Verilerin EKG-gated ile kaydedilmesi atenüasyon artefaktlarının tanınmasında yardımcı olmasının yanında perfüzyonun bölgesel fonksiyon ile olan ilişkisinin incelenmesini de sağlayarak görüntülemenin özgüllük ve tanı doğruluğunu artırır (17). Tablo 12'de MPS'de rutinde kullanılan

**Tablo 12. Miyokart perfüzyon tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi radyofarmasötikleri**

	Tl-201	Tc-99m MIBI	Tc-99m TF
	K+ analogu Monovalan katyon	Lipofilik, katyonik	Lipofilik, katyonik
Fiziksel T1/2 (saat)	73	6	6
Enerji (keV)	69-83 (%88) (X) 135 (%3) (Gama) 167 (%10) (Gama)	140	140
Birikim mekanizması	Aktif transport Pasif difüzyon (/ko-transport)	Pasif difüzyon (membran elektrik potansiyeli) İntramitokondrial	Pasif difüzyon
% Kalpte ilk geçiş ekstraksiyonu (% Miyokart tutulumu)	85 (4)	65 (%1-2, rest)	54 (%-1,5)
Biyolojik T <sub>1/2</sub>	11 gün	11 saat	5 saat
Biyolojik T <sub>1/2</sub> (kalp)	%30 3 saatte %30 4 saatte	680 +/- 45 dk.	278 +/- 32 dk.
Birincil atılım	Üriner/ gastrointestinal	Bilier (%80)	%50 bilier ve %50 renal
Kritik organ	Böbrekler	Üst kalın barsak Safra kesesi	Safra kesesi
Efektif doz mSv/MBq	0,102	0,0066* (0,0070)**	0,0058* (0,0063)**
<b>Klinik kullanım</b>			
KAH tanısı (doğruluk)	+++	+++	+++
Viabilite	+++	+	+
SoV fonksiyon	+	+++	+++
Prognoz	+++	++	++
Tl-201: Talyum 201, Tc-99m: Tc MIBI: Tc-99m-sestamibi (2-metoksiizobutyliso-nitrat) Tc-99m:Tc TF: Tc-99m-tetrofosmin, KAH: Koroner arter hastalığı, SoV: Sol ventrikül, *: Stres, **: Rest, dk: Dakika			

radıofarmasötiklerin özellikleri Tablo 13'de birbirlerine olan avantaj ve dezavantajları da özetlenmiştir (9,18).

### C.2.2. Görüntüleme ve Veri İşleme Parametreleri

Görüntüleme protokolüne karar verirken hasta bazlı düşünüp, hastanın klinik sorununa cevap vermek

için hastanın fiziksel/fizyolojik ve hastalık özelliklerine göre en uygun protokolü seçmek önemlidir (Tablo 1). Standart MPS çekim protokol parametreleri Anger kamera teknolojisi için (Tablo 14,15,16) ve çinko tellurit (CZT) sistemleri için (Tablo 17,18,19) verilmiştir (2).

**Tablo 13. Miyokart perfüzyon SPECT ajanlarının avantaj ve dezavantajları**

	Avantaj	Dezavantaj
Tl-201	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redistribüsyon (+) → İskemi değerlendirmesi için 2. enjeksiyona gerek olmayabilir</li> <li>- Viabilite değerlendirmesini mümkün kılar</li> <li>- Düşük subdiafragmatik aktivite → Erken görüntüleme yüksek hedef/ zemin aktivite</li> <li>- Egzersiz sonrası akciğer tutulumu → KAH göstergesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Düşük enerji → Düşük rezolüsyon, saçılma, atenuasyon sorunu (özellikle obeslerde)</li> <li>- Uzun <math>T_{1/2}</math> → Doz sınırlaması (böbrekler)</li> <li>- Siklotron ürünü → Elde edilebilirlik problemi</li> <li>- Redistribüsyon(+) → stres görüntülemeye hemen başlamalı</li> <li>- Düşük sayım → Gated EKG zor olabilir</li> </ul>
Tc-99m MIBI Tc-99m TF	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Gama kamera için ideal enerji</li> <li>-Kısa <math>T_{1/2}</math> → Yüksek doz kullanılabilir</li> <li>-Jeneratör ve kit → Kolay elde edilebilirlik</li> <li>-Redistribüsyon(-) → Gecikmiş görüntü (post enj 30-120. dk.) alınabilir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Redistribüsyon (-) → İskemi değerlendirmesi için 2. enjeksiyona ihtiyaç vardır.</li> <li>- İyi sayım → Gated EKG için uygun</li> <li>- Yüksek subdiafragmatik aktivite → erken görüntüleme alt duvar değerlendirme sorunu</li> <li>- Miyokardiyal skar abartılabilir</li> </ul>

Tl-201:Talyum, Tc-99m MIBI: Tc-99m Sestamibi (2-metoksiizobutiliso-nitrat), Tc-99m TF: Tc-99m-Tetrofosmin, EKG: Elektrokardiyografi

**Tablo 14. Aynı gün stres-rest veya rest/stres (teknesyum bileşikleri) (anger kamera)**

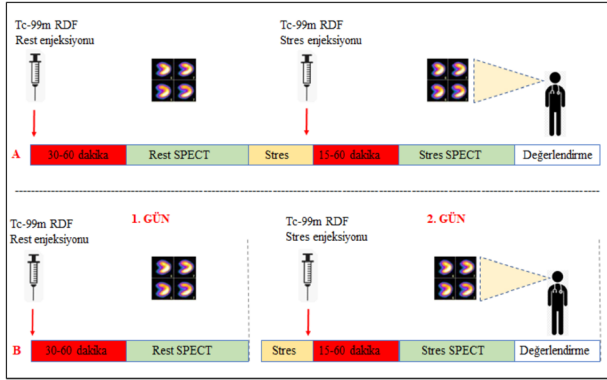
Parametre	İlk çekim (rest veya stres)	İkinci çekim (stres veya rest)	Seçim
Uygulanan aktivite	8-12 mCi	24-36 mCi	Standart
Pozisyon	Supin Pron	Supin Pron	Standart Tercihe bağlı
Enjeksiyon sonrası görüntüleme zamanı	30-60 dk (rest) 15-60 dk (stres)	15-60 dk (stres) 30-60 dk (rest)	Standart
<b>Çekim protokolü 1. çalışma → 2. çalışma</b>			
Enerji penceresi	140 keV (%15-20 simetrik)	140 keV (%15-20 simetrik)	Standart
Kolimatör	LEHR	LEHR	Öncelikli
Yörünge	180° (45° SAO to 45° SoPO)	180° (45° SAO to 45° SoPO)	Öncelikli
Yörünge tipi	Dairesel Dairesel olmayan	Dairesel Dairesel olmayan	Standart Öncelikli
Piksel boyutu	3-6 mm	3-6 mm	Standart
Çekim tipi	Dur ve çek Devamlı	Dur ve çek Devamlı	Standart Tercihli
Projeksiyon sayısı	60-64	60-64	Standart
Matriks	64x64 128x128	64x64 128x128	En az Öncelikli
Projeksiyon süresi	25 sn	20 sn	Standart
EKG- kapılı	Standart	Standart	Öncelikli
Görüntü karesi/kardiyak siklus	8 16	8 16	Standart Öncelikli
R-R penceersi	%20-100	%20-100	%20 önerilen, reddedilen sayımlar için ekstra görüntü sağlanabileceğe eğer

LEHR: Low energy high resolution, SAO: Sağ antero oblik, SoPO: Sol posteroblik, EKG: Elektrokardiyografi, mm: Milimetre

Şekil 6,7,8,9,10'da Tc-99m radyofarmasötikleri ile tek gün ve çift gün rest-stres veya stres-rest; Tl-201 stres-rest, dual izotop Tl-201, Tc-99m radyofarmasötikleri ve Tl-201 rest- redistribüsyon görüntüleme protokolleri şematize edilmiştir.

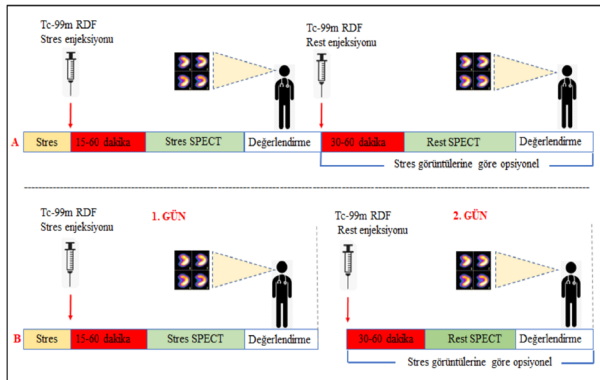
### Pratik Öneriler

- Miyokart perfüzyon SPECT protokollerinin çoğunda spesifik kamera sistemleri için mümkün olan en düşük aktivite kullanılır.
- Tl-201 miyokardiyal canlılık değerlendirme, bazı durumlarda (örneğin: Tc-99m radyofarmasötikleri ile ciddi GIS aktivitesi olduğunda) ya da Tc-99m yükluğunda kullanılır.
- Rest Tl-201-stres Tc-99m dual izotop protokolü yüksek hasta radyasyon dozu ve iki



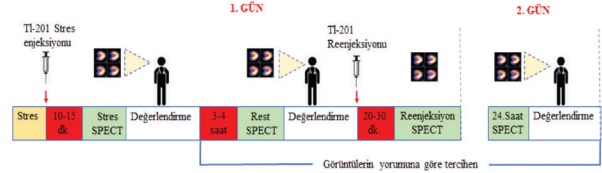
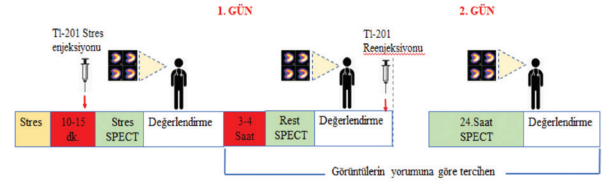
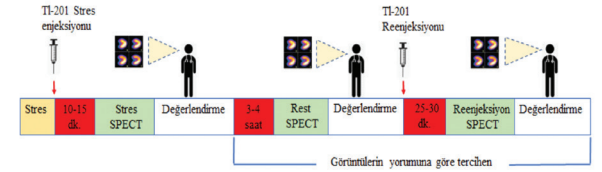
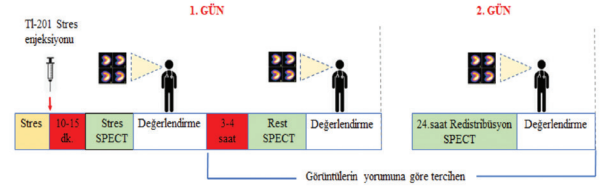
Şekil 6. Tc-99m RDF ile , tek gün rest-stres (A) ve iki gün rest-stres (B) görüntüleme protokolleri

RDF: Radyofarmasötik, SPECT: Tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi



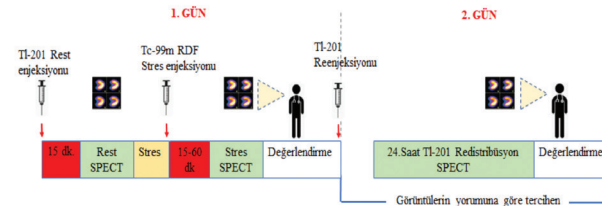
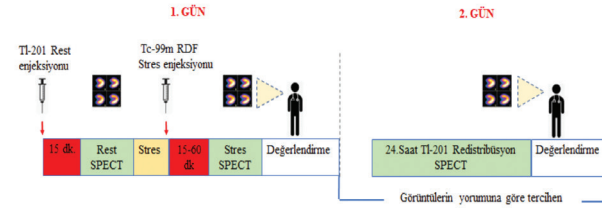
Şekil 7. Tc-99m RDF ile tek gün stres-rest (A) ve iki gün rest-stres (B) görüntüleme protokolleri

RDF: Radyofarmasötik, SPECT: Tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi



Şekil 8. Tl-201 stres-rest görüntüleme protokolleri

SPECT: Tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi

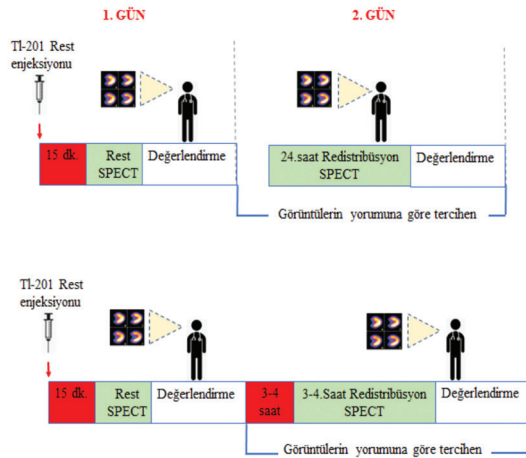


Şekil 9. Dual izotop görüntüleme protokolleri

RDF: Radyofarmasötik, SPECT: Tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi

radıyofarmasötüğün farklı uzaysal rezolüsyonu nedeniyle tercih edilmez.

- Klinik duruma göre radyasyon dozunu düşürmek için tek-stres MPS protokolü tercih edilebilir (Tablo 1).



Şekil 10. Rest TI-201 görüntüleme protokolleri

SPECT: Tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi

- Atenüasyon düzeltmesi (AD) için kullanılan BT çekimi, serbest solunumda ve "EKG-gated"siz yapılır.
- MKA kantifikasyonu uygun yazılım varlığında konvansiyonel SPECT kameraları ile yapılabilir ancak hızlı çekime olanak veren yüksek verimli sistemlerde daha kısa sürede gerçekleştirilebilir.

#### C.2.2.1. Aktivite

Kullanılacak radyofarmasötik aktivitesi hastanın vücut tipi, ağırlığı, görüntüleme protokolü, tarayıcı tipi ve yazılım programı gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Tek gün protokolünde ilk çekimde düşük, ikinci çekimde yüksek doz (ikinci görüntülemenin zamanına göre yaklaşık x3 aktivite birimi olacak şekilde) kullanılır. İki gün protokolünde stres MPS ile başlanır; tümüyle normale rest MPS'ye gerek kalmayabilir, aynı aktivite dozu kullanılır (Tablo 14,15,16,17,18).

#### C.2.2.2. Pozisyon

Sırtüstü (supin) görüntüleme MPS'de rutin ve standart görüntülemedir. Yüzüstü (pron) görüntülemeye daha az hareket ve daha az SV alt duvar atenüasyon artefaktı (hatta meme atenüasyonunda da faydalı olabilir) izlenir. Supin ve

Tablo 15. İki gün stres-rest (teknesyum bileşikleri) (anger kamera)

Parametre	Stres	Rest	Seçim
Uygulanan aktivite	18-30 mCi	18-30 mCi	VKI >35 kg/m <sup>2</sup>
	8-12	8-12	VKI <35 kg/m <sup>2</sup>
Pozisyon	Supine Pron	Supine Pron	Standart Tercihe bağlı
Enjeksiyon sonrası görüntüleme zamanı	15-60 dk	30-60 dk	Standart
Çekim protokolü 1. çalışma --> 2. çalışma			
Enerji penceresi	140 keV (%15-20 simetrik)	140 keV (%15-20 simetrik)	Standart
Kolimatör	LEHR	LEHR	Öncelikli
Yörünge	180° (45° SAO to 45° SoPO)	180° (45° SAO to 45° SoPO)	Öncelikli
Yörünge tipi	Dairesel Dairesel olmayan	Dairesel Dairesel olmayan	Standart Öncelikli
Piksel boyutu	3-6 mm	3-6 mm	Standart
Çekim tipi	Dur ve çek Devamlı	Dur ve çek Devamlı	Standart Tercihe bağlı
Projeksiyon sayısı	60-64	60-64	Standart
Matriks	64x64	64x64	En az
	128x128	128x128	Öncelikli
Projeksiyon süresi	25 sn	20 sn	Öncelikli
EKG - kapılı	Standart	Standart	Öncelikli
Görüntü karesi/kardiyak siklus	8	8	Öncelikli
	16	16	Öncelikli
R-R penceresi	%100	%100	Öncelikli

LEHR: Low energy high resolution, SAO: Sağ antero oblik, SoPO: Sol posterooblik, VKI: Vücut Kitle indeksi, EKG: Elektrokardiyografi, mm: Milimetre, sn: Saniye

ardından pron görüntüleme uygulanması BT AD olmayan sistemlerde değerlendirmede güven ve doğruluğu artırır. Pron görüntüleme, özellikle SV anterior duvarında perfüzyon defekti artefaktına yol açabileceğinden, supin görüntüleme ile birlikte değerlendirilmede kullanılmalıdır, tek görüntüleme pozisyonu olmamalıdır. İkinci görüntüleme (pron), görüntüleme zamanı %20-40 azaltılabilir. Dik pozisyonda görüntülemenin mümkün olduğu sistemlerde de iki pozisyonda görüntüleme (dik+supin) önerilmektedir (dik pozisyon sonrası şüpheli olgularda iki pozisyonda değerlendirme sonrası %62 olgu normal %11 olgu ise anormal olarak sınıflandırılmıştır) (19). Görüntüleme kalbin, görüntüleme alanının tam merkezine yerleştirilmesi özellikle görüntü alanı küçük kardiosentrik tarayıcılar için (budama artefaktına dikkat!) son derece önemlidir. Stres ve rest görüntüleme hasta pozisyonunun farklı olması değişen derecelerde iskemiye taklit eden perfüzyon defekti artefaktlarına yol açabilir. Dekstrokaridili hastalarda “feet-first” pozisyonu ile

(Anger Kamera için), diğer parametreleri değiştirmeden görüntüleme yapılabilir.

### C.2.2.3. Görüntüleme Zamanı

TI-201 görüntüleme radyonüklidin redistribüsyon özelliği nedeniyle stres MPS, enjeksiyon sonrası en geç 10-15 dk'da başlamalıdır. Post enjeksiyon hemen (<5 dk) görüntüleme dispnesi devam eden hastalarda “upward creep” fenomeni nedeni ile alt duvar sorunu yaratabileceğinden alt duvar iskemisini taklit edebilir. Geç görüntüleme ise (>15 dk) iskemiye bağlı gerçek perfüzyon defektlerinin kaçırılmasına neden olabilir; stres sonrası görüntülemenin tekrarı mümkün değildir. Teknesyum ajanları ile görüntüleme ise geç görüntüleme yapılabilir. Hareket ve/veya ekstrakardiyak aktivite nedeniyle artefakt düşünüldüğünde stres MPS tekrarlanabilir; radyofarmasötik enjeksiyonu sonrası görüntüleme zamanları Tablo 14,15,16,17,18,19'da verilmiştir.

**Tablo 16. Stres/reenjeksiyon/redistribüsyon TI-201 görüntüleme (anger kamera)**

Parametre	Stres	Rest/reenjeksiyon	Seçim
Uygulanan aktivite	2.5-3.5 mCi	Yok (redistribüsyon)	Standart
Reenjeksiyon rest	--	1 mCi	Tercihe bağlı
Pozisyon	Supin Pron Dik/rekumbent	Supin Pron Dik/rekumbent	Standart Tercihe bağlı Tercihe bağlı
<b>Görüntüleme Zamanı</b>			
Enjeksiyon→Stres	10-15 dk	---	Standart
Stres → Rest		3-4 saat	Standart
Reenjeksiyon →Rest		20-30 dk	Tercihe bağlı
Çekim protokolü			
Enerji penceresi	70 keV (%30 simetrik)	70 keV (%30 simetrik)	Standart
Kolimatör	LEGP	LEGP	Öncelikli
Yörünge	180° (45° SAO to 45° SoPO)	180° (45° SAO to 45° SoPO)	Öncelikli
Yörünge tipi	Dairesel Dairesel olmayan	Dairesel Dairesel olmayan	Standart Standart
Piksel boyutu	6,4±0,4 mm	6,4±0,4 mm	Standart
Çekim tipi	Dur ve çek Devamlı	Dur ve çek Devamlı	Standart Tercihli
Projeksiyon sayısı	32-64	32-64	Standart
Matriks	64x64	64x64	Standart
	128x128	128x128	Öncelikli
Projeksiyon süresi	40 sn (x32 gk) 25 sn (x64 gk)	40 sn (x32 gk) 25 sn (x64 gk)	Standart
EKG- kapılı	Standart	Tercihe bağlı	Öncelikli
Görüntü karesi/kardiyak siklus	8	8	Standart
	16	16	Standart
R-R penceresi	%100	%100	Öncelikli

LEGP: Low energy general purpose, SAO: Sağ antero oblik, SoPO: Sol posterooblik , gk: görüntü karesi, sn: Saniye, mm: Milimetre

Tablo 17. Aynı gün stres-rest veya rest/stres (CZT kamera)

Parametre	İlk çekim (rest veya stres)	İkinci çekim (stres veya rest)	Seçim
Uygulanan aktivite	4-6 mCi	12-18 mCi	Standart
Pozisyon	Supin/dik Pron	Supin/dik Pron	Standart Tercihe bağlı
Enjeksiyon sonrası görüntüleme zamanı	30-60 dk (rest) 15-60 dk (stres)	15-60 dk (stres) 30-60 dk (rest)	Standart
1. çalışma → 2. çalışma	30 dk- 4 saat	30 dk- 4 saat	
Çekim protokolü			
Enerji penceresi	140 keV (%15-20 simetrik)	140 keV (%15-20 simetrik)	Standart
Kolimatör	Geniş açılı/multi pinhole	Geniş açılı/multi pinhole	Öncelikli
Piksel boyutu	2-3 mm	2-3 mm	Standart
Çekim tipi	Devamlı	Devamlı	Standart
Projeksiyon sayısı	Firmaya özel tasarım	Firmaya özel tasarım	Standart
Matriks	64x64 (minimum) 128x128	64x64 (minimum) 128x128	Standart Tercih edilen
Çekim süresi	5-14 dk (1 milyon sayım)	3-6 dk (1 milyon sayım)	Standart
EKG- kapılı	Tercihli (rest), Standart (stres)	Tercihli (rest), Standart (stres)	Öncelikli
Görüntü karesi/kardiyak siklus	8	8	Standart
	16	16	Standart
R-R penceresi	%100	%100	Öncelikli

CZT: Kadmiyum çinko tellür, mm: Milimetre, dk: Dakika

Tablo 18. İki gün stres-rest Tc-99m radyofarmasötik (CZT kamera)

Parametre	İlk çekim (rest veya stres)	İkinci çekim (stres veya rest)	
Uygulanan aktivite	4-6 mCi	4-6 mCi	VKİ <35 kg/m <sup>2</sup>
	9-15 mCi	9-15 mCi	VKİ ≥35 kg/m <sup>2</sup>
Pozisyon*	Supin/rekübent Pron	Supin/rekübent Pron	Standart Tercihe bağlı
Enjeksiyon sonrası görüntüleme zamanı	15-60 dk (stres)	30-60 dk (rest)	Standart
Çekim protokolü			
Enerji penceresi	140 keV (%15-20 simetrik)	140 keV (%15-20 simetrik)	Standart
Kolimatör*	Geniş açılı/multi pinhole	Geniş açılı/multi pinhole	Öncelikli
Piksel boyutu	2,5 mm	2,5 mm	Standart
Çekim tipi	Devamlı	Devamlı	Standart
Projeksiyon sayısı	Firmaya özel tasarım	Firmaya özel tasarım	Standart
Matriks	64x64	64x64	Standart
	128x128	128x128	Tercihe bağlı
Çekim süresi	5-14 dk (1 milyon sayım)	5-14 dk (1 milyon sayım)	Standart
EKG - kapılı	Standart	Tercihe bağlı	Öncelikli
Görüntü karesi/kardiyak siklus	8	8	Standart
	16	16	Standart
R-R penceresi	%100	%100	Öncelikli

\*Spesifik firma tasarımı, CZT: Cadmiyum-zinc-telluride (Kadmiyum çinko tellürit), VKİ: Vücut Kitle indeksi, m: Metre, dk: Dakika, mm: Milimetre, EKG: Elektrokardiyografi

Tablo 19. Stres/reenjeksiyon\*/redistribüsyon TI-201 görüntüleme (CZT kamera)

Parametre	Stres /redistribüsyon	Rest/reenjeksiyon	
Uygulanan aktivite	1,3-1,8 mCi	-	Standart
Reenjeksiyon	-	0,5 mCi*	Tercihe bağlı
Pozisyon*	Supin/rekumbent Pron	Supin/rekumbent Pron	Standart Tercihe bağlı
Enjeksiyon sonrası görüntüleme zamanı			
Postenj stres Stres → Rest Reenjeksiyon → Rest	10-15 dk	3-4 saat 20-30 dk	Standart Standart Tercihe bağlı
Çekim protokolü			
Enerji penceresi	70 keV (%30 simetrik)	70 keV (%30 simetrik)	Standart
Kolimatör*	Geniş açılı/multi pinhole	Geniş açılı/multi pinhole	Tercih edilen
Piksel boyutu	2,5 mm	2,5 mm	Standart
Çekim tipi	Devamlı	Devamlı	Standart
Projeksiyon sayısı *	19/120	19/120	Standart
Matriks	64x64	64x64	En az
	128x128	128x128	Tercih edilen
Çekim süresi	5-8 dk	5-8 dk	Standart
EKG- kapılı	Standart	Tercihe bağlı	Öncelikli
Görüntü karesi/kardiyak siklus	8	8	Standart
	16	16	Standart
R-R penceresi	%100	%100	Öncelikli

\*Spesifik firma tasarımı, EKG: Elektrokardiyografi, dk: Dakika, mm: Milimetre

#### C.2.2.4. Enerji Penceresi

Uygun olan sistemlerde TI-201 için, 70 keV'nin yanında daha yüksek enerji pikleri de (135 ve 167 keV) kullanılabilir. Katı hal Kadmiyum (CZT) sistemlerinin enerji rezolüsyonu daha yüksek olduğundan enerji pencere aralığı daraltılabilir (saçılmayı azaltarak daha iyi görüntü rezolüsyonu sağlanabilir); aynı zamanda dual izotop görüntülemeye olanak verir (Tc-99m, TI-201 veya I-123-b-methyl-iodophenyl-pentadecanoic acid vb.). Hasta çekimlerinde, rutin günlük kalite kontrollerinde kullanılan enerji pencerelerinin ayarlarını kullanmak önemlidir.

#### C.2.2.5. Projeksiyon Sayısı

Optimal projeksiyon sayısı sistemin rezolüsyonuna bağlıdır. Düşük Enerjili Genel Amaçlı ("LEAP" "LEGP") kolimatör ile TI-201 SPECT görüntüleme için, 180°'lik 32 projeksiyon yeterlidir. Teknesyum ajanları ile yapılan daha yüksek rezolüsyonlu çalışmada rezolüsyon kaybını önlemek için 180°'de en az 60-64 projeksiyon gerekir.

Ticari olarak mevcut iki farklı CZT sisteminde projeksiyon sayıları değişmektedir [D-SPECT sistem (Spectrum Dynamics)]: Simultane dar bir açıda dönen 9 detektör →120 projeksiyon; Discovery 530c (General Electric) sistemi: Sabit pozisyonda 19 detektör →19 projeksiyon) (Tablo 17,18,19).

#### C.2.2.6. Yörünge Tipi

Uzaysal rezolüsyon, dairesel olmayan yörünge tipinin kullanıldığı görüntülemelerde, sabit yarı çapta dönmenin olduğu dairesel yörüngeli çekime oranla artar.

#### C.2.2.7. Piksel ve Matriks

Bugünkü "Anger" kamera teknolojisi için 6,4±0,4 mm piksel boyutu, 64x64 imaj matriksi için, standart rekonstrüksiyon yöntemleri kullanıldığında hem TI-201 hem de Tc-99m ajanlarında iyi bir imaj rezolüsyonu sağlar. Yeni çalışmalarda 3,2 mm ve 128 matriksin yeni rekonstrüksiyon metodları ile rezolüsyonda iyileşme ve potansiyel üstünlüğü gösterilmiştir (20). Yeni nesil CZT

kamera sistemlerinde olağan piksel boyutu 2,5 mm ve matrisi de 128x128'dir. Konvansiyonel Anger kameralar için pratik olan (hasta toleransı dikkate alındığında) maksimum görüntüleme süresi 20 dakikadır. Mümkün olduğunca MPS hem stres hem de rest görüntülemeye "EKG-gated" uygulanmalıdır (özellikle geçici SV disfonksiyonu değerlendirmek için).

#### C.2.2.8. Atenüasyon Düzeltmesi

AD ile görsel ve kantitatif MPS değerlendirmede özgüllük ve normalite oranları artar. AD'de serbest tidal solunum ile 80-140 kV voltajda, 10-20 mA akımda 10-30 sn'lik çekim geleneksel parametrelerdir.

Özetle MPS görüntülemeye:

- EKG-gated,
- Kişiye, tarayıcıya ve klinik soruya özel ve uyumlu,
- İmaj kalitesinden ödün vermeden, mümkün olan en düşük dozla,
- Radyofarmasötik aktivitesine bağlı en uygun zaman ile,
- Kamerada mümkün maksimum piksel sayımı ile,
- BT AD ile veya 2 pozisyonlu görüntüleme ve
- Uygun olduğunda "tek stres" görüntüleme önerilmektedir.

#### C.2.2.8. Veri İşleme

##### C.2.2.8.1. Filtreleme

Göreceli olarak sinyalin gücünü gösteren ve sinyal/gürültü oranı olarak tanımlanabilen SPECT imaj kalitesi, gürültünün azaltılarak imajın güçlendirilmesiyle artar (20,21). Sinyal/gürültü oranı, düşük uzaysal frekanslarda daha yüksek olup; yüksek uzaysal frekanslarda azalır. Genel olarak sayım istatistiği ne kadar yüksek ise sinyal/gürültü oranı da o kadar yüksektir. Gürültüyü azaltmak için genellikle düşük geçişli filtreler kullanılır; çünkü düşük uzaysal frekansların geçmesine izin verir ve gürültünün baskın olduğu yüksek frekansları azaltır. Düşük geçişli filtreler olan "Hanning" ve "Butterworth" filtreleri görüntüyü etkiledikleri eşik/kesme frekansa sahiptirler. Eşik frekans, sinyal/gürültü oranına göre sinyali artırmak ve gürültüyü azaltmak için ayarlanabilir (22). Eğer eşik yüksekse, görüntüde anlamlı gürültü vardır; çok düşük ise, sinyalde önemli bilgiler bastırıldığı için görüntü çok düzgün (yumuşak hale gelir) hale gelir. Nükleer kardiyoloji görüntüleri göreceli olarak düşük sayım istatistiğine sahip olduklarından, daha fazla miktarda görüntü gürültüsüne sahip olma eğilimindedir ve filtrelenmiş geri yansıtma (filtered backprojection,

FBP) metodu "ramp filtre"ye bağımlılığı nedeniyle, gürültüyü artırma eğilimindedir.

Belirli bir görüntü için en uygun filtre, bu görüntünün sinyal/gürültü oranına bağlıdır; yetersiz filtreleme, görüntüde önemli bir gürültü bırakırken; aşırı filtreleme ise görüntü detayını gereksiz yere bulanıklaştırılarak, her ikisi de görüntü doğruluğunu azaltabilir.

Yazılım onarım paketlerinde varsayılan filtre seçimi ve eşik değerler ortalama hasta için optimize edilmiştir. Eşik değer ayarlanması zayıf sayım istatistiği olan hastalarda (özellikle obezlerde) yapılabilir; ancak potansiyel olumsuz etkileri nedeniyle (örneğin; defekt kantifikasyonu, SV volüm ve EF'de kontur seçiminde meydana gelebilecek) konuya hakim kişiler dışında uygulanması önerilmez.

##### C.2.2.8.1.1. Filtrelenmiş Geri Yansıtma (Filtered Back Projection, FBP)

Basit ve göreceli olarak hızlı olan geleneksel görüntü rekonstrüksiyon metodu FBP tekniğidir (23). Bu yöntem atenüasyon ve saçılma olmadan, sonsuz projeksiyon sayısı ile birlikte mükemmel bir integral sayım profilini kabul eden matematiksel kanıta dayanır. Geri projeksiyon öncesi görüntü bulanıklaşmasını azaltmak için Fourier alanında kullanılan "ramp filtresi", düşük frekanslı 1/r bulanıklığı suprese ederken, yüksek frekanslı gürültülü içeriğini de amplifiye eder. Aynı zamanda MPS'de subdiyafragmatik aktivite varlığında (örneğin; mide, karaciğer veya barsak) "ramp filtresi" artefaktı sıklıkla SV miyokardının alt duvarında perfüzyon defekti oluşturur.

##### C.2.2.8.1.2. İteratif Rekonstrüksiyon

İteratif tekniklere dayanan farklı sınıfta rekonstrüksiyon algoritmaları vardır. Bu algoritmalar radyofarmasötik dağılımının kaba bir tahmini ile başlar, oluşturduğu tahmini projeksiyonlar, orijinal verilerle karşılaştırılarak, tekrarlayan işlemlerle (genelde sabit bir sayıda tekrar ile) düzeltilir. Bu algoritmaların ana avantajı, projeksiyon üretme sürecinin istenildiği gibi tahminden sofistike hale getirilebilmesi ve atenüasyon, saçılma ve kolimatör spesifik, derinliğe bağlı bulanıklaşma düzeltme gibi işlemlere dahil edilebilmesidir.

Geri projeksiyon ile rekonstrüksiyonda gürültü ve foton azalımı etkileri görüntüye yansırken, iteratif tekniklerde gürültü algoritma içinde direkt olarak modellenir. Aynı zamanda iteratif tekniklerde pozisyona bağlı azalım katsayıları ve mesafeye bağlı ayırma gücü gibi karmaşık emisyon ve deteksiyon sorunlarını çözebilmekte ve böylece daha kaliteli görüntü vermektedir.



Avantajları nedeniyle hem EKG-gated hem de EKG'siz güncel MPS uygulamalarında iteratif rekonstrüksiyon FBP'ye tercih edilir.

#### **C.2.2.8.1.3. Azaltılmış Sayım Yoğunluğu Rekonstrüksiyon Teknikleri**

Daha az sayım istatistiğine rağmen imaj kalitesinin daha iyileştiği yeni SPECT rekonstrüksiyon teknikleri ile çekim zamanı ( $x1/2,1/4$ ) kısaltılabilir, alternatif olarak enjekte edilen radyofarmasötik aktivitesi azaltılabilir. Bu metodların hepsi yeni kardiyak kameralarda mevcutken, konvansiyonel Anger kameralarda da yer alabilir. Bu rekonstrüksiyon tekniklerinde iteratif rekonstrüksiyon kullanılır.

“Rezolüsyon iyileştirme” tekniklerinde, konvansiyonel tekniklere oranla uzaysal rezolüsyonun arttığı ve daha az sayım yoğunluklu klinik görüntülerin, azalmış çekim zamanı veya radyofarmasötik dozuna rağmen, konvansiyonel SPECT görüntülerine eşit ya da daha üstün olduğu gösterilmiştir (24).

#### **C.2.2.8.1.4. Gürültü Telifisi/Azalma**

Gürültü azaltma yöntemleri azaltılmış sayım yoğunluğu teknikleriyle aynı zamanda birleştirilmiştir. Uygulamalar firmalara göre değişir. Nükleer görüntüleme verileri nispeten zayıf sayım istatistikleri nedeniyle doğal olarak gürültülüdür. Daha önceden de belirtildiği gibi FBP, yüksek frekanslı veriyi elimine ederek görüntüde yumuşama (bulanıklaşma) sağlar. Bu tarz filtreleme, görüntü kontrastının ve uzaysal rezolüsyonun azalmasına neden olarak, potansiyel olarak perfüzyon defektleri ve duvar hareket anomalilerinin deteksiyonunda tanısallık duyarlılığı azaltır. Aksine gürültü azaltan metodlarda görüntünün yüksek frekanslı bileşenleri azaltılır, çözünürlük kaybı en aza indirilir. Tipik olarak sinyal/gürültü oranı artar (25).

#### **C.2.2.8.2. Atenüasyon Düzeltmesi**

AD'de hasta doku yoğunluğunun haritalanması radyoizotopik transmisyona görüntüleme veya BT ile yapılabilir. FBP yöntemi ile AD toraksta doğru sonuçlar vermez ve o nedenle önerilmez. AD sadece iteratif rekonstrüksiyon algoritması ile birlikte uygulanmalıdır.

Tc-99m'nin 140 keV gamma ışınları için yumuşak dokunun her cm'inde %12'lik zayıflama olur. Toraksta kalp çevresinde farklı yoğunlukta dokular olduğu için heterojen atenüasyon dağılımı mevcuttur. Atenüasyon haritası elde etmede radyonüklid kaynak (Gd-153; 97 ve 103 keV gama enerjisi) ya da BT'nin X ışınları kullanılır. BT parametreleri çok düşük doz verecek şekilde ayarlanmalıdır. Mümkünse AD için BT transmisyona

görüntüleme kesit kalınlığı emisyon datasına yakın ayarlanmalıdır. İnce kesit BT datasının atenüasyon haritası hazırlamada avantajı yoktur. SPECT görüntüleme her zaman BT görüntülemeden önce yapılmalıdır (SPECT kalite kontrolü için, hasta hareketi ve ekstrakardiyak aktivite kontrolü nedeniyle). SPECT görüntüleme tanısallık değilse hastanın gereksiz yere radyasyon alması önlenir.

#### **C.2.2.8.2.1. Hata Kaynakları**

AD sonrası iki ana tuzak mevcuttur; ilki atenüasyon haritasının budanması diğeri ise emisyon ve transmisyona datası arasında füzyon hatasıdır. Ayrıca AD sonrası meydana gelebilecek apikal sayım azalması/inceleme ve inferior duvarın aktivitesinin güçlenmesi ile oluşabilecek anterior duvar perfüzyon defekti artefaktları konusunda da değerlendirilmede de dikkatli olunmalıdır.

#### **C.2.2.8.2.1.1. Budama Hatası**

Hem radyonüklid hem de BT transmisyona taramalarında görülebilir. Görüntüleme alanının küçüklüğü nedeniyle özellikle kardiyak özel SPECT sistemlerinde radyonüklid transmisyona atenüasyon haritalarında ortaya çıkar. BT kaynaklı atenüasyon haritasında budama iki faktöre bağlı olarak izlenebilir; BT datasının budanması ki BT'de transaksiyel görüntüleme alanı çapı 50 cm'dir. İkincisi ise BT ile oluşturulan atenüasyon haritasına uygulanan (SPECT görüntüsü ile aynı) büyütme faktörüdür. Hastanın sol tarafını içine alan budama artefaktlarında perfüzyon defektini taklit eden ciddi artefaktlar oluşabilir. Stres ve rest görüntüleme arasında farklı derecelerde görüntü budamasının olması yanlış değerlendirmelere yol açabilir, dikkat edilmelidir.

#### **C.2.2.8.2.1.2. Füzyon Hatası/Kayması**

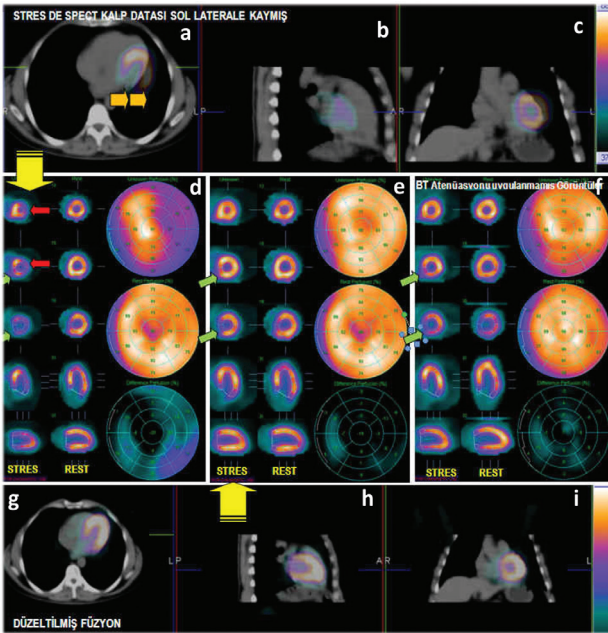
Ardışık olarak elde edilen SPECT ve BT görüntülerinin herhangi birinde hareket olması uzaysal olarak SPECT/BT füzyon kaymasına neden olabilir. Yüz kırk keV'lik gama ışını için akciğerin atenüasyon katsayısı yumuşak dokunun  $\frac{1}{4}$ 'ü kadardır. SV miyokardının akciğer dokusu üzerine kayması AD görüntülerinde atenüasyon ölçümlerinin yanlış hesaplanması nedeniyle hatalı olarak perfüzyon defektlerine yol açacaktır (Şekil 11). SPECT projeksiyona datasında herhangi bir hareket düzeltmesi yapıldıysa SPECT/BT füzyon datasında da düzeltme yapılmalıdır. BT görüntüleme sırasında fiziksel hareket sonrası imaj degradasyonu olduysa görüntülerin kurtarılması sonradan yazılım programlarıyla yapılan düzeltmelerde mümkün olmayabilir.

Kardiyak özel yeni gama kamera sistemleri genelde AD donanımına sahip değildirler ve bu yeni sistem kullanıcıları genelde AD kullanmazlar. Üstelik sınırlı

görüntüleme alanları nedeniyle özellikle obez hastalarda budama artefaktı izlenebilir. Ek olarak benzersiz kolimatör/gama kamera geometrisi nedeniyle 3 boyutlu duyarlılık değişimine neden olabilir. O nedenle fotonların atenüasyon problemi ve diğer görüntüleme artefakt kaynakları kullanıcılar tarafından tanınmalıdır. AD donanımı olmayan sistemlerde gerçek perfüzyon defektlerini artefaktan ayırt etmek için iki hasta pozisyonunda (tarayıcının durumuna göre supin/dik veya supin/pron) görüntüleme gibi yeni protokoller ve analiz şemaları geliştirilmiştir.

### C.2.2.8.3. Doğru Aks Seçimi

Veri işleme sırasında ventrikül akslarının doğru şekilde ve stres ve rest görüntüleme aynı olması görüntülerin doğru yorumlanması için son derece önemlidir.



**Şekil 11.** SPECT/BT füzyon kayması

Şekil a, b, c'de ( a: aksiyel, b: sagittal ve c: koronal füzyon SPECT/ BT) , füzyon sırasında SPECT datasının, BT'de akciğer parankimi üzerine kayması sonucu lateral duvarda artefakta bağlı gelişen perfüzyon defekti gösteriliyor (sarı aşağı ok d: streste füzyon kayması ). (d, e, f: 17 segment modeline göre toplatılmış stres-rest ve polar harita görüntüleri). Alt panelde ise manuel olarak füzyonun düzeltilmesiyle (g, h, i: sırasıyla aksiyel, vertikal ve koronal füzyon SPECT/BT) perfüzyonun normale döndüğü izleniyor (e) (füzyon düzeltimi sonrası g: aksiyel, h: sagittal ve i: koronal füzyon SPECT /BT. **Şekil 11** f'de ise BT AD yapılmamış standart rekonstrükte perfüzyon kesitleri mevcut

SPECT: Tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi, BT: Bilgisayarlı tomografi, AD: Atenüasyon düzeltmesi

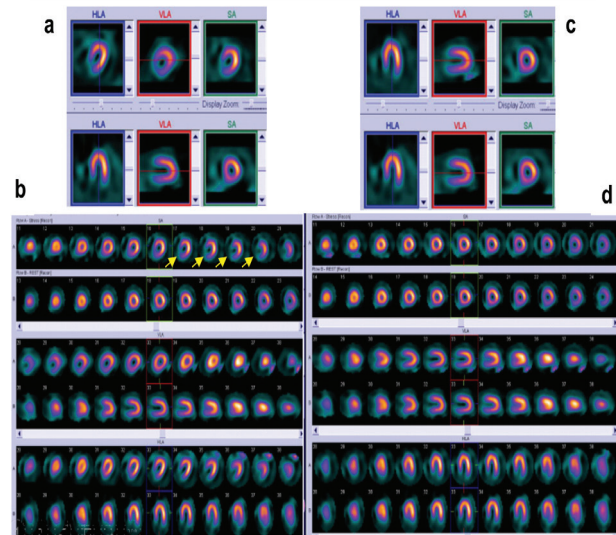
Yanlış aks seçimleri yalnızca perfüzyon defektlerine yol açabileceğinden (Şekil 12 a,b) değerlendirmeye geçmeden kontrolü gerekir. Vertikal ve horizontal aks seçiminde apeksden bazale, ön ve alt duvara eşit uzaklıkta orantılı şekilde kesit alınması önemlidir (Şekil 12 c,d).

### C.2.2.8.4. Doğru Apeks-bazal Seçimi

Veri işleme sırasında SV apeks ve bazal planlarının doğru seçimi ve aks seçiminde olduğu gibi stres ve rest görüntüleme aynı olması görüntülerin doğru yorumlanması için son derece önemlidir. Yanlış apeks/bazal plan seçimleri polar haritada yalnızca perfüzyon defektlerine yol açabileceğinden değerlendirmeye geçmeden kontrolü gerekir. Polar haritalar mutlaka rekonstrükte iki boyutlu görüntülerle birlikte değerlendirilmeli ve ekstrakardiyak aktivitenin dahil olup olmadığı mutlaka kontrol edilmelidir. AD sonrası alt duvara komşu ekstrakardiyak aktivitenin güçlenmesiyle özellikle alt duvar perfüzyon değerlendirilmesinde sorunlar çıkabilir (Şekil 13). Doğru değerlendirme için manuel düzeltme yapmak gerekir.

### C.2.2.8.5. Sine Değerlendirmesi

Çekim sonrası en önemli kalite kontrolü, ham veri görüntülerinin devamlı döngü halinde izlenmesidir. Prosedür sırasında iki zamanda yapılır. İlki, çekim bitimi sonrası teknisyen tarafından (hareket, subdiafragmatik



**Şekil 12.** Doğru aks seçimi

a. Veri işleme sırasında yanlış aks seçimi (a üst sıra) sonucu stres görüntüleme inferoseptal ve septal (sarı oklar, b) ciddi artefakta bağlı gelişen perfüzyon defektleri izleniyor. Doğru aks seçimi ile veri işleme tekrarlandığında ise (c, üst sıra) perfüzyonun tümüyle normal olduğu izleniyor (d, üst sıra)

aktivite vb. nedeniyle çekim tekrarı gerekebileceğinden), ikincisi ise hekim tarafından değerlendirme öncesi (artefakt tanınması için) yapılır. Sine ham verinin incelenmesi ile aşağıdaki artefaktlar tanınabilir.

- Hasta ve/veya kalbin hareketi
- Meme atenüasyonu
- Diyafram elevasyonu/atenüasyon artefaktı
- Abdominal viseral aktivite
- Ekstrakardiyak aktivite (meme, akciğer vb. malign odak) ve anomaliler
- Hepatosplenomegali, böbrek kistleri vb.
- Kontaminasyon
- EKG-gated hataları ("flashing" sinde parlama şeklinde farkedilir) (beraberinde kalp atımı histogramının incelenmesi).

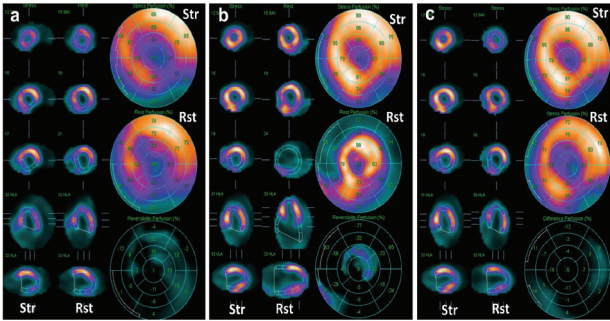
## D. Değerlendirme

### D.1. Genel Prensipler

Değerlendirmeye geçmeden önce teknisyen/doktor tarafından tüm kamera kalite kontrol parametrelerinin (homojenite, doğrusalılık, "COR" vb.) kabul edilebilirliği kontrol edilmelidir.

**Değerlendirme sistematik bir düzende gerçekleştirilmelidir:**

1. Ham sine verileri (CZT kameralar için rekonstrükte maksimum yoğunluk projeksiyon görüntüsü)



**Şekil 13.** Doğru Apeks- bazal seçimi

a: Standart MPS'de doğru apeks - bazal plan seçimi sonrası oluşturulan stres ve rest polar harita ham veri toplatılmış seri ve polar harita segmental görüntüleri. b: BT atenüasyon düzeltmesi sonrası rest görüntülerde otomatik olarak yanlış bazal plan seçimiyle oluşan polar haritada bazalde inferoseptal duvar dışında yaygın artefakta bağlı gelişen perfüzyon defektleri. c: Manuel olarak rest görüntülemeye bazal planın doğru konumlandırılmasıyla elde edilen polar harita görüntüleri izleniyor

MPS: Miyokart perfüzyon sintigrafisi, BT: Bilgisayarlı tomografi

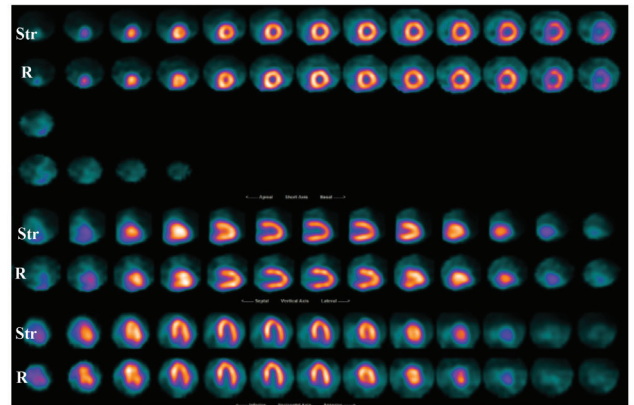
2. Sinogram ve linogram görüntüleri
3. Ventriküler kavite boyutu
4. Pulmoner aktivite varlığı
5. Perfüzyon defektlerinin yeri, boyutu, ciddiyeti ve stres rest reverzibilitesi
6. Kantitatif perfüzyon analiz sonuçlarının değerlendirilmesi
7. Fonksiyonel datanın [EF, duvar hareketi (DH), duvar kalınlaşması (DK)] değerlendirilmesi
8. Raporlama öncesi bulguların klinik veri, EKG ve varsa diğer kardiyak görüntüleme bulgularıyla sistematik olarak karşılaştırılması ve değerlendirilmesi.

### D.1.1. Değerlendirme Görüntüleri

Film ya da kağıt üzerine basılı materyaldeki görüntüler, değerlendirme için yeterli değildir. Bilgisayar ortamında ticari özel kardiyak yazılım programları kullanarak değerlendirme önerilir. Okuyan kişinin alışkanlığına göre gri ya da renkli skala kullanılabilir (önerilen, devamlılığı olan renkli skaladır) (26). Konvansiyonel SPECT görüntüleri stres ve rest; stres supin-stres pron-rest ya da stres redistribüsyon vb. alt alta ve kesitler apeksden bazale denk gelecek şekilde ekranda görüntülenir.

1. Kısa aks (koronal) (apeksden- > bazale),
2. Vertikal uzun aks (septum → lateral duvar),
3. Horizontal uzun aks (inferior → anterior) şeklinde görüntülenir (Şekil 14).

Yaygın olarak kullanılan iki çeşit görüntü normalizasyonu bulunmaktadır:



**Şekil 14.** Rekonstrükte seri perfüzyon görüntüleri (seri normalizasyonu ile) Stres (Str) - Rest (R), Koronal, vertikal ve horizontal kesitler (yukarıdan aşağıya sırasıyla)

1. İlk yaklaşım “seri normalizasyonu”: her bir seri (vertikal, horizontal ve kısa aks) en parlak piksele göre normalize edilir. Perfüzyon defeklerinin yayılım ve ciddiyetinin değerlendirilmesinde önerilen metottur. Dezavantajları, sıcak noktalara duyarlılığı, SV'nin apeks ve bazalindeki normal yapıların zayıf görüntülenmesi, her bir kesitin tek başına ideal görüntülenememesidir.

2. Diğeri ise görüntü karesi normalizasyonudur. Her bir kesit kendi içinde diğer kesitlerden bağımsız olarak normalize edilir. Bu yaklaşım özellikle mid ve bazal miyokardiyal segmentlerdeki atenüasyon artefaktlarını önler ve KAH deteksiyonunda hem duyarlılık hem de özgüllüğün artmasına neden olur.

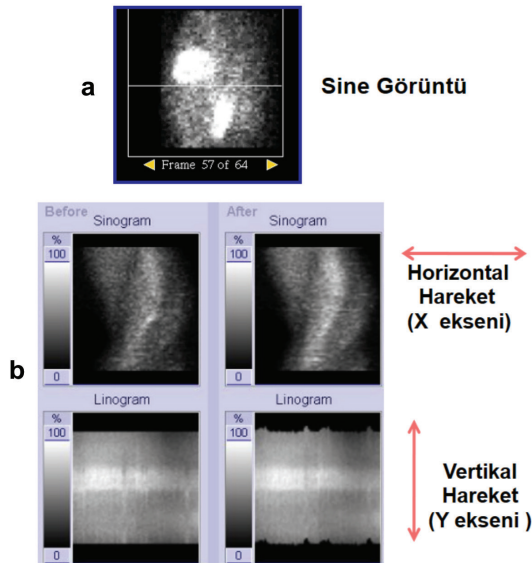
#### D.1.1.1. Üç Boyutlu Görüntüler

Daha az tecrübeli okuyucular için perfüzyon defektlerini koroner dağılımla ilişkilendirmek için yardımcı olabilir; fakat üç boyutlu görüntüler konvansiyonel iki boyutlu görüntülerin yerine değil onlara yardımcı olarak kullanılmalıdır.

### D.2. Görüntülerin Teknik Hata Kaynakları Yönünden Değerlendirilmesi

#### D.2.1. Hasta Hareketi

Ham planar görüntüler sine formatta hareket ve atenüasyon artefaktı yönünden değerlendirilmelidir. Sinogram ve linogram görüntüleri de hasta hareketini değerlendirmek için sine görüntülerine ek olarak kullanılabilir (Şekil 15 a,b,c). Vertikal (y düzlemi) hareket linogram görüntülerinde kolayca tespit



Şekil 15. Sine (a), Sinogram ve Linogram görüntüleri (b)

edilebilir. Horizontal hareket ise (x düzleminde) sıklıkla sine görüntülerinde gözden kaçabilir; sinogram görüntülerinde kolaylıkla saptanabilir. Yeni kamera modellerinde (çoklu detektörlü yüksek duyarlıklı CZT kameralar vb.) planar projeksiyonlar olmayabilir, sinogram ve kısa süreli SPECT görüntü karelerinden elde edilen 3 boyutlu hareket incelenebilir. Her ne kadar hareket düzeltme yazılımları olsa da ciddi hareket durumlarında, tam düzeltme olmadığında Tc-99m ajanları MPS'de kullanıldığında çekim tekrarına gidilmelidir. Tekrar çekimlerde hasta hareketini azaltmak için pron görüntüleme yapılabilir. Hasta hareketinin son rekonstrükte görüntüleri üzerindeki etkileri karışıktır. Genelde vertikal (kranio-kaudal) hareketin etkisi (özellikle kalp başlangıçtaki konumuna geri döndüğünde) horizontal hareketten daha azdır. Vertikal hareketin düzeltilmesi manuel ya da yarı-otomatik yazılım ile daha kolaydır. Rotasyonel hareketler hem manuel hem de hareket düzeltmesi yazılımı ile optimal düzeltilemeyebilir. Bazen hareket düzeltmesi sonrası da hareket artefaktı oluşabileceğinden düzeltilmiş ham planar görüntüler düzeltmenin yeterliliği yönünden tekrar değerlendirilmelidir.

#### D.2.2. Atenüasyon Artefaktları ve Atenüasyon Düzeltmesi

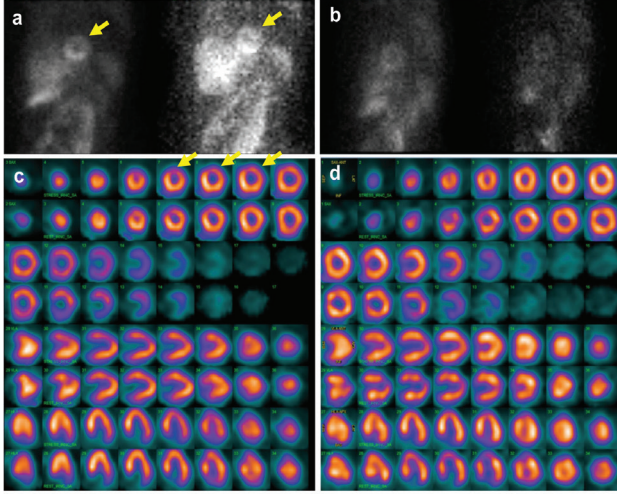
Atenüasyon artefaktlarının tanınmasında (kadınlarda en sık meme, erkeklerde diafragma) sine görüntüleme önemlidir. Meme atenüasyonunu sine görüntüleme tanımak daha kolaydır. Diafram atenüasyonu genelde SV'nin alt duvarında sabit perfüzyon defekti şeklinde izlenirken, meme atenüasyonu ise memenin stres ve rest görüntüleme pozisyonuna göre, özellikle kalbin ön duvarında, sabit, “ters redistribüsyon paterni” ya da iskemiye taklit edecek şekilde perfüzyon anomalileri ile karşımıza çıkabilir. Diafram atenüasyonu sonucu izlenen alt duvar hipoaktivitesi pron görüntüleme ile genelde normale döner. Meme atenüasyonunda meme pozisyonun değiştirilmesi ya da pron görüntüleme sorunu çözebilir (Şekil 16). Atenüasyon ve saçılım düzeltme programları ile sık görülen bu artefaktlar ortadan kaldırılabılır ya da azaltılabilir (Şekil 17). Yorumlamada kullanılan AD'nin spesifik olarak özelliklerinin bilinmesi önemlidir; AD sonrası oluşabilecek potansiyel artefaktların farkında olunmalı ve standart ve düzeltilmiş görüntüler mutlaka birlikte değerlendirilmelidir.

#### D.2.3. Rekonstrüksiyon Artefaktları

Yukarıda bahsedilen aks ve apeks-bazal plan seçimi gibi veri işleme artefaktları dışında, kalbe yakın

ekstrakardiyak aktivite perfüzyon değerlendirmesini iki şekilde etkiler:

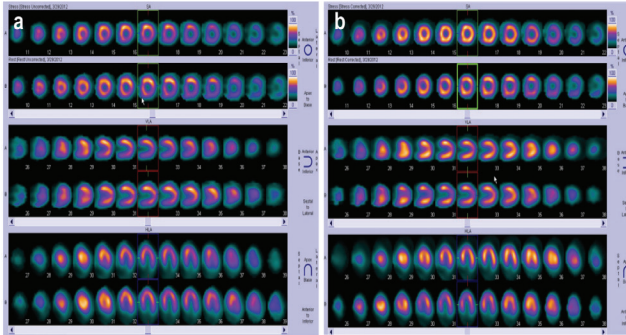
1. Kalp ile süperpoze aktivite (karaciğer ya da barsak anısı) bitişiğindeki miyokartta artefaksiyel olarak artmış aktiviteye yol açarak perfüzyon defektini



**Şekil 16.** Meme atenüasyonu

Elli beş yaşında kadın hastada KAH tanı amacıyla yapılan MPS (a: Sine görüntüde meme atenüasyonuna bağlı gölgelenme b: Sine görüntüde pron görüntüleme sonrası göreceli homojen hale gelen atenüasyon, c: standart görüntüleme sonrası anterior duvarda meme atenüasyonuna bağlı hipoperfüzyon d: pron görüntüleme sonrası normal perfüzyon

KAH: Koroner arter hastalığı, MPS: Miyokart perfüzyon sintigrafisi



**Şekil 17.** Diafragma Atenüasyonu

Altmış yedi yaşında erkek hastada KAH tanı amacıyla yapılan MPS'de seri stres- rest koronal, vertikal ve horizontal rekonstrükte kesitler (sırasıyla yukarıdan aşağıya) (a: Standart görüntüleme b: BT atenüasyon düzeltme sonrası)

BT atenüasyon düzeltilmesi sonrası normale dönen fiks karakterde alt duvar hipoaktivitesi

KAH: Koroner arter hastalığı, MPS: Miyokart perfüzyon sintigrafisi, BT: Bilgisayarlı tomografi

gizleyebilir veya imaj normalizasyonu nedeniyle uzağındaki miyokardiyumda azalmış perfüzyon dağılımına neden olabilir (ikinci durum özellikle BT AD sonrası inferior duvarın güçlenmesiyle anterior duvar defektine neden olabilir).

2. Süperpoze olmayan ancak yakın ekstrakardiyak aktivite ise FBP imaj rekonstrüksiyonu sırasında "ramp filtreleme" nedeniyle negatif rekonstrüksiyon artefaktına neden olarak komşuluğundaki miyokardiyumda artefaksiyel perfüzyon defekti oluşturabilir.

Günümüzde bu tür artefaktları düzeltebilecek tam güvenilir bir yöntem mevcut değildir. AD sonrasında ekstrakardiyak aktivite daha da güçleneceğinden artefaktlar standart görüntülerden daha da abartılı hale gelebilir. Bu artefaktlar iteratif rekonstrüksiyon sonrası ve yüksek uzaysal rezolüsyona sahip kamera sistemlerinde daha az problemlili gözükmemektedir. Ekstrakardiyak aktiviteyi uzaklaştırmak için çekim tekrarlanabilir. Daha geç supin ya da pron çekimi; yeme, su, soda veya süt vb. ile sıvı alımı gibi girişimler ek çekimde kullanılabilir.

#### D.2.4. Miyokardiyal Sayım İstatistikleri

Perfüzyon görüntülerinin sayım istatistiğinde hastanın vücut şekli, ulaşılan egzersiz düzeyi, uygulanan aktivite, çekim zamanı, enerji penceresi ve kolimasyon gibi faktörler etkilidir. Düşük imaj sayım istatistiği nedeniyle özellikle ultra düşük radyasyon doz içerikli görüntü protokollerinde belirgin perfüzyon defektleri oluşabilir. Değerlendirme yapacak hekim, planar projeksiyondan sayım istatistiğini kontrol etmelidir. Optimal sayımlar, konvansiyonel NaI kristalli gama kameralar için tam tanımlanmamakla birlikte yeni CZT detektörlü kameralar için 1,000,000 sayım/SV yeterli sayılmaktadır.

#### D.3. Başlangıç İmaj Analizi ve Yorumlama

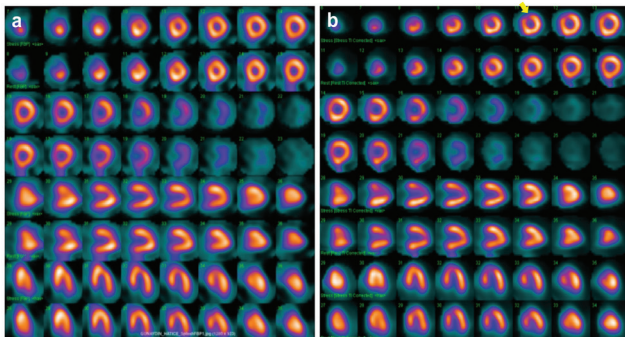
##### D.3.1. Ventriküler Dilatasyon [Geçici İskemik Dilatasyon (GİD), Transient Ischemic Dilation (TID)]

Segmental analize geçmeden önce rest veya stres sonrası SV büyümesi/dilatasyonu olup olmadığı değerlendirilir. Hem stres hem de restte SV dilatasyonu, genelde SV disfonksiyonunu gösterse de volüm yüklenmesi durumunda (örneğin; ciddi mitral ya da aort regurjitasyon vb.) normal ventriküler sistolik fonksiyonu ile birlikte izlenebilir. Stres/rest SV kavite oranının artması [geçici iskemik dilatasyon (GİD); geçici kavite dilatasyonu] yüksek riskli koroner hastalığının bir bulgusu olmakla birlikte duyarlılığı düşüktür, diğer parametrelerle birlikte kullanılmalıdır (27,28,29) (Şekil 18). Stres sonrası subendokardiyal

iskemi veya epikardiyal KAH yokluğunda mikrovasküler hastalık bulgusu olabilir (30,31). GİD tipik olarak statik görüntülerde değerlendirilir; kalitatif değerlendirmede GİD belirginse GİD oranı kantifiye edilebilir (32,33). Sayısal normal eşik değerler perfüzyon görüntüleme protokolüne, normal popülasyon tanımına, görüntü veri işleme parametrelerine ve kullanılan yazılım programına bağlıdır. SV volümlerinin ve GİD oranının doğru olarak ölçümü için endokardiyal sınırların ve valv düzleminin doğru olarak seçimi ve aynı zamanda değerlendirirken stres ve rest kesit uyumu kritiktir. Yanlış valv düzeyi seçimi yanlış GİD değeri ölçümünün sık bir nedenidir. En sık kullanılan MPS protokollerinden tek gün Tc-99m-MIBI egzersiz rest-stres çalışmasında GİD için eşik değeri 1,16, adenozin ile stres yapılmışsa 1,22 olarak bildirilmektedir (Cedars Sinai, Quantitative Perfusion SPECT). Kullanılan yazılım ve kardiyak kameralardaki protokollerde de benzer değerler saptandığı gösterilmiştir (34).

### D.3.2. Akciğer Tutulumu

TI-201 perfüzyon görüntüleme, akciğer tutulumunun olması kötü prognoz göstergesidir ve dikkate alınmalıdır (21,30,35). Ciddi aritmi nedeniyle gated-SPECT yapılamayan hastalarda rest SV sistolik disfonksiyonu için bir gösterge olabilse de Tc-99m ajanları ile yapılan MPS'de artmış akciğer radyofarmasötik tutulumunun anlamlılığı konusunda görüş birliği yoktur. Miyokart perfüzyon RDF'sinin akciğer tutulumu ham projeksiyon görüntülerinden görsel olarak



**Şekil 18. Stres sonrası sol ventrikül geçici dilatasyon**

Yetmiş altı yaşında tipik göğüs ağrısı ve efor testi pozitif olan hastada standart MPS stres-rest görüntüleme (a) stres sonrası sol ventrikül dilatasyonunun, BT atenüasyon düzeltmesi sonrası rekonstrükte perfüzyon görüntülerinde (b) daha da belirgin hale geldiği ve streste özellikle anteroseptalde bölgesel olarak hipoperfüzyonun belirginleştiği izleniyor. Koroner anjiyografi sonrası hastada dengeli üç damar hastalığı tespit edildi (sol ventrikül EF, stres: %67; REST: %65, GİD indeksi: 1,36)

BT: Bilgisayarlı tomografi, MPS: Miyokart perfüzyon sintigrafisi, EF: Ejeksiyon fraksiyonu, REST: Perfüzyonun göreceli miyokardiyal dağılımı dinlenme

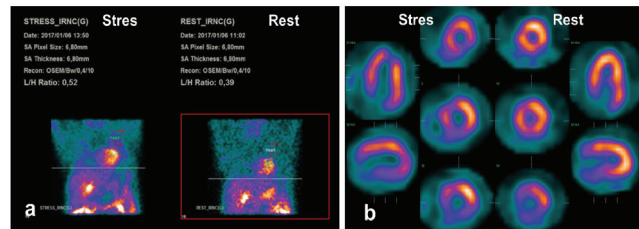
değerlendirilmelidir (0: akciğer tutulumu yok, 1: hafif akciğer tutulumu ve muhtemelen anlamlı değil, 2: orta derecede akciğer tutulumu; belirgin fakat < kalp aktivitesi, 3: ciddi akciğer tutulumu ; ≥ kalp aktivitesi. Ek olarak akciğer/kalp oranı otomatik veya manuel olarak hesaplanabilir (sol ön oblik projeksiyondan, SV'nin normal perfüze alanı ve akciğeri temsil eden bir alandan ilgi alanı çizilerek elde edilen ortalama pixel sayımları oranlanarak hesaplama yapılabilir. TI-201 için üst normal sınır değeri 0,54, Tc-99m sestamibi ve tetrofosmin için ise 0,44 olarak bildirilmiştir.

Genelde akciğer aktivitesi ile akciğer kapiller uç basıncı arasında güçlü lineer ilişki vardır (36).

Şekil 19'da revaskülarizasyon kararı için MPS istenen ve rest-stres Tc-99m-MIBI MPS'de ciddi iskemi saptanan hastada eşlik eden stres sonrası akciğerlerde diffüz artmış radyofarmasötik akümüasyonu izleniyor.

### D.3.3. Sağ Ventrikül Perfüzyon Aktivitesi

Sağ ventrikül aktivitesi ham projeksiyon datası üzerinde kalitatif ve kantitatif olarak değerlendirilebilir. Sağ ventrikül aktivitesi için tam belirlenmiş bir değer yoktur; fakat genelde pik SV aktivitesinin %50'si kadardır (2). Kantitatif değerlendirme için kullanılan kriterler şunlardır; egzersiz sağ ventrikül sayımı/SV sayımı oranının 0,42'den büyük olması (normal değer 0,24-0,36'dır) ya da egzersiz sağ ventrikül sayımı/rest sağ ventrikül sayımı oranının 1,20'den büyük olması patolojik olarak değerlendirilir (37). Sağ ventrikül aktivitesi, en fazla ventrikül hipertrofisi durumunda ve tipik olarak da pulmoner hipertansiyonda artar (38). Ancak sağ ventrikül aktivite artışının, SV aktivitesinin global olarak azaldığı durumlarda görülebileceği de akılda tutulmalıdır (39). Sağ ventrikül aktivitesindeki bölgesel anomoliler iskemi ya da infarkt bulgusu olabilir. Sağ ventrikül boyutu da kalitatif olarak not edilmelidir; sağ kalp volüm



**Şekil 19. Stres sonrası artmış akciğer radyofarmasötik dağılımı**

a. Stres ve rest sine görüntüleri b. Stres ve rest 17 segment modeline göre toplatılmış rekonstrükte perfüzyon görüntülerinde, stres sonrası kavite dilatasyonu, beraberinde inferior, inferolateral duvarda apeks - bazal arası ve anteroseptalde midventriküler bazal arası ciddi iskemi izleniyor

yüklenmesi (atrial septal defekt ya da ciddi triküspit yetmezliği) bulgusu olabilir.

#### D.3.4. Kalp Dışı Fizyolojik ve Patolojik Bulgular

Rest MPS ile karşılaştırıldığında farmakolojik stres sonrası (dipiridamol, adenozin, regadenozon veya dobutamin) splanknik hiperemiye bağlı splanknik radyofarmasötik aktivitesi artar; yeterli egzersizde ise (> %85 maksimum kalp hızı) azalır.

Hem Tl-201, hem de Tc-99m bazlı ajanlar tümörlerde konsantrasyon olurlar, tesadüfi olarak saptanabilirler; ham data görüntüleri dikkatlice izlenmelidir.

Perikardiyal effüzyonlar da ham datada perikardiyak çevresel radyolüsen alan şeklinde görülebilirler.

#### D.4. Perfüzyonun Tanımlanması

Değerlendirmede perfüzyon defekti saptandıysa, defekti tanımlarken temel üç sorunun cevabını vermek ve rapora net bir şekilde yansıtmak gerekir.

##### Perfüzyon Defekti

1. Nerede? (hangi segmentte, nereden nereye)
2. Ne kadar? (şiddeti ve yayılımı)
3. Nasıl? (geri dönüşümlü mü, fiks mi vb.)

##### D.4.1. Perfüzyon Defekti Nerede?

Miyokardiyal perfüzyon defektlerinin SV'deki (görüntü rezolüsyonu, değerlendirme için yeterliyse sağ ventrikül defektleri de tanımlanabilir) konumları rekonstrükte görüntülerden görsel analiz ile değerlendirilir. Defektlerin yeri (hangi segment ya da segmentler; defektler çok yaygınsa duvar da kullanılabilir) ve yayılımı (apeks-bazal arası lokalizasyonu; örneğin; apeks-midventriküler arası vb.) görsel olarak 17 segment kalp modeline göre tanımlanır (Şekil 20). Miyokardiyal perfüzyon defektleri kabaca koroner arterlerin sulama alanları ile ilişkilendirilebilir; ancak koroner anatomide kişisel varyasyonların olabileceği değerlendirilmede mutlaka dikkate alınmalıdır.

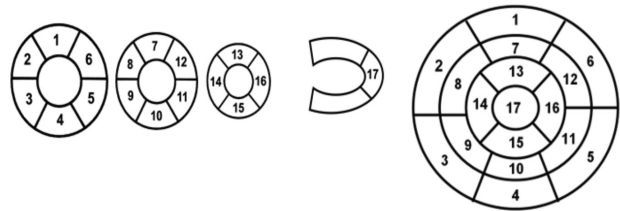
##### D.4.2. Perfüzyon Defekti Ne Kadar?

Perfüzyon defektlerinin değerlendirilmesinde en zorlanılan durum, defekt büyüklüğünün tanımlanmasıdır. Miyokardiyal perfüzyon dağılımında normal varyasyonları bilmek, değerlendirme öncesinde perfüzyon defektine yol açabilecek artefaktları tespit etme ve doğru yorumlama için son derece önemlidir. Değerlendirmede "defektin şiddeti", bölgesel olarak bakıldığında segment içindeki perfüzyonun aktivite yoğunluğunu gösterir; "yayılım" ise SV genelinde düşündüğümüzde perfüzyon defektinin ne kadar bir

alanı kapladığını ifade eder. Kalitatif, semikantitatif ya da kantitatif olarak ifade edilebilirler. Defekt ciddiyeti kalitatif olarak hafif/minimal, orta ve ciddi; defekt yayılımı ise küçük orta veya büyük olarak tanımlanabilirse bu tür değerlendirmede standardizasyon güçtür. Kantitatif olarak defekt şiddeti [segmentte % aktivite veya cinsiyete göre normal veritabanı üzerinden standart sapma ( $\pm$  SS) şeklinde] ve yayılımı otomatik olarak (% defekt şeklinde) gama kamera sistemlerindeki yazılım programları ile elde edebilir. Kantitatif yöntemlerin kullanımı oldukça pratik ve günümüzde teknolojinin gelişmesiyle büyük oranda doğru sonuçlar verebilse de olası fizyolojik varyasyonlar ve artefaktlar yönünden doğruluğu raporlara yansıtmadan önce kontrol edilmelidir. Görsel analizin esas olduğu semikantitatif skorlama yöntemi perfüzyon değerlendirilmede standardizasyonu sağlanmak ve özellikle karşılaşılabilecek fizyolojik varyasyon ve artefaktların tanınması açısından özellikle önerilmektedir (Tablo 20).

##### D.4.2.1. Semikantitatif Değerlendirme:

SV miyokardının tüm segmentlerinin, "17 segment modeli" ni kullanarak "5'li skorlama" sistemine göre perfüzyonunun skorlandırılması, perfüzyon defektlerinin hem şiddeti hem de yayınlığının aynı skorlamaya yansıtılması açısından klinik pratikte önemlidir ve önerilen semikantitatif değerlendirme yöntemidir (40,41). Görsel değerlendirilmede standardizasyon sağlanması, anlamlı defektlerin gözden kaçırma olasılığını azaltması, tanıs ve prognostik değerlendirme ve tedavi yönetimi için kılavuz olması gibi önemli avantajları vardır. Bu değerlendirmede stres ve rest görüntülerinde miyokardiyal perfüzyon ciddiyeti 17 segment modeline



Segment No	Segment Adları	Segment No	Segment Adları
1	Bazal anterior	10	Mid inferior
2	Bazal anteroseptal	11	Mid inferolateral
3	Bazal inferoseptal	12	Mid anterolateral
4	Bazal inferior	13	Apikal anterior
5	Bazal inferolateral	14	Apikal septal
6	Bazal anterolateral	15	Apikal inferior
7	Mid anterior	16	Apikal lateral
8	Mid anteroseptal	17	Apeks
9	Mid inferoseptal		

Şekil 20. Sol ventrikül "17 segment" modeli

**Tablo 20. Miyokardiyal perfüzyon tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi: Stres ve rest görüntülerinin değerlendirilmesi**

	Öneri
<b>Değerlendirme ortamı</b>	
Bilgisayar/dijital ortam	Gerekli
Film/ basılı materyal	Kabul edilemez
<b>Format</b>	
Konvansiyonel kesit	Gerekli
Seri normalizasyonu	Gerekli
Görüntü karesi normalizasyonu	Tercihe bağlı
3 boyutlu gösterim	Tercihe bağlı
<b>Teknik hataların gözden geçirilmesi</b>	
Hareket	Gerekli
Atenüasyon	Gerekli
Rekonstrüksiyon hataları	Gerekli
Miyokart sayım istatistikleri	Gerekli
Başlangıç görüntü değerlendirmesi	
<b>Ventriküler dilatasyon</b>	
Kalitatif	Gerekli
Kantitatif	Gerekli
<b>GID*</b>	
Kalitatif	Gerekli
Kantitatif	Önerilir
<b>AC** tutulumu (stres ve rest), özellikle 201 Tl için</b>	
Kalitatif	Önerilir
Kantitatif	Tercihe bağlı
Ekstrakardiyak aktivite	Önerilir
<b>Perfüzyon defekt değerlendirmesi</b>	
Yeri (17 segment)	Gerekli
Yayılm	Gerekli
Kalitatif (küçük, orta, büyük)	Tercihe bağlı
Semikantitatif (küçük, 1-2 segment; orta 3-4 segment, geniş >4 segment)	Gerekli
Kantitatif ( küçük: < %10; orta %10-20; geniş ≥ %20)	Gerekli
<b>Ciddiyet</b>	
Kalitatif (hafif, orta, ciddi, defekt)	Tercihe bağlı
<b>Semikantitatif</b>	
Kantitatif (otomatik)	Önerilmekte
Reverzibilite (fiks, minimal reverzibl, orta derecede reverzibl, ağırlıklı olarak reverzibl, ağırlıklı olarak fiks)	Gerekli
Kantitatif (TSS, TRS, TFS)	Önerilmekte
Kantitatif ( %miyokardiyum iskemik, skarlı)	Önerilmekte
<b>Gated SPECT</b>	
Kalite kontrol	Gerekli
Duvar hareketi	Gerekli

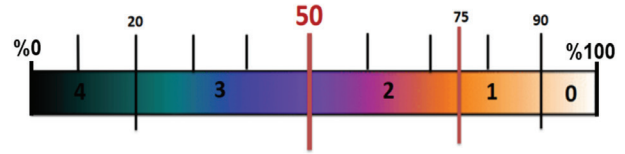


Tablo 20. devamı

Duvar kalınlaşması	Gerekli
<b>SV*** EF&amp; ( stres veya rest)</b>	
Kalitatif	Gerekli
Kantitatif (% EF)	Gerekli
<b>SV Volüm</b>	
Kalitatif	Tercihe bağlı
Kantitatif (mL)	Gerekli
<b>Perfüzyon+ fonksiyon yorumu</b>	
Normal, muhtemelen normal, şüpheli, muhtemelen anormal ve anormal	
<b>Klinik bulguların perfüzyon ve fonksiyon ile birlikte yorumu</b>	
Enfarkt, iskemi, peri-enfarkt iskemi, değerlendirilemez	Gerekli
*: Geçici iskemik dilatasyon, **AC: Akciğer, ***SV: Sol ventrikül, &EF: Ejeksiyon fraksiyon, SPECT: Tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi, TSS: Tüm skorların toplamı ile toplam stres, TRS: Toplam rest, TFS: Toplam fark skoru	

göre maksimal miyokardiyal sayım bölgesi ve devamlılığı olan renk skalası dikkate alınarak 0 ile 4 arası (0: normal, 1: hafif hipoperfüzyon, 2: orta derecede hipoperfüzyon, 3: ciddi hipoperfüzyon, 4: perfüzyon defekti), Şekil 21 ve Tablo 21'deki gibi görsel olarak skorlanır. Tüm segmentler skorlandıktan sonra, stres ve rest görüntüleri için ayrı ayrı, 17 segmentten elde edilen tüm skorların toplamı ile toplam stres skoru (TSS), toplam rest skoru (TRS) ve TSS'nin TRS'den çıkarılmasıyla da iskemiye gösteren toplam fark skoru (TFS) hesaplanır. TRS ile de skar ya da hiberne miyokartı temsil edebilecek sabit defekt skoru bulunur. Perfüzyon defektlerinin SV'de kapladıkları % alan ise toplam SV alanı olan 68'e (4x17) bölünüp 100 ile çarpılmasıyla hesaplanır (Tablo 22). Burada skorlamayı yaparken özellikle dikkat edilmesi gereken nokta, perfüzyon defektine yol açabilecek artefakt (atenüasyon vb.) veya normal fizyolojik varyasyonların varlığı durumunda (apikal incelleme vb.) değerlendirme yaparken skor azaltmamaktır (örneğin; meme atenüasyonundan emin olunan segmentlere skor: 0; artefaksiyel olarak ters redistribüsyon bulgusunun olduğu olgularda ise rest perfüzyonda ilgili segmentlere derecesine göre stres ile aynı perfüzyon skorunun verilmesi vb.).

Günümüzde yazılım programları da otomatik olarak TSS, TRS ve TFS ve SV yayılımlarını % olarak vermektedirler; ancak doğruluğu mutlaka görsel olarak kontrol edilmelidir; eğer otomatik veriler kullanılacaksa gerektiğinde skorlama vizüel değerlendirmeye uygun bir biçimde manuel olarak değiştirilebilir. Revaskülarizasyona karar vermede semikantitatif değerlendirme



Şekil 21. Semikantitatif skorlamada yararlanılabilecek skorlara uyarlanmış perfüzyon aktivitesini gösteren devamlı renk skalası (0: normal, 1: hafif hipoperfüzyon, 2: orta derecede hipoperfüzyon 3: ciddi hipoperfüzyon 4: perfüzyon defekti)

Tablo 21. Miyokardiyal perfüzyon semikantitatif 5'li skorlama

Kategori	Perfüzyon	Skor
Normal	%100-90	0
Hafif hipoperfüzyon	%90-75	1
Orta derecede hipoperfüzyon	%75-50	2
Ciddi hipoperfüzyon	≤ %50	3
Perfüzyon defekti	Zemin aktivite	4

Tablo 22. On yedi segment ve 5'li skorlama modeline göre semikantitatif perfüzyon skoru hesaplama

TSS: $\sum 17$ Segmentin skoru
TRS: $\sum 17$ Segmentin skoru
TFS: TSS-TRS
%TFS: % İskemi: $\% (TFS/68^*) \times 100$
%TRS: % Sabit defekt**: $\% (TRS/68) \times 100$
İskeminin sol ventriküle olan oranını bulmak için TFS 4 (maksimum skor) x 17 (segment sayısı)'nin sonucu olan 68'e bölünür (27), **: Skar ve veya hiberne miyokart, TSS: Toplam stres skoru, TRS: Toplam rest skoru, TFS: Toplam fark skoru

önerildiğinden, klinik pratikte kullanımı açısından MPS raporlarında bu bilgiyi vermek özellikle kritik önem taşır. Semikantitatif skorlama ile raporlamanın rutin kullanımı aynı zamanda standardizasyonu sağlama açısından da son derecede önemlidir.

#### D.4.2.2. Kantitatif Perfüzyon Analizi

Statik perfüzyon imajlarının kantitatif analizi görsel değerlendirmeye yardımcı olarak kullanılabilir (42). Yeni çalışmalarda bu yaklaşımın, semikantitatif değerlendirmeye yakın tanısal doğruluğa sahip olduğu gösterilmiştir (43). Defekt ciddiyeti, hastanın bölgesel miyokardiyal radyofarmasötik aktivitesinin görüntüleme yapılan kameraya spesifik normal veritabanındaki ortalama bölgesel aktivitelerle karşılaştırılarak (% veya  $\pm$  SS şeklinde) tanımlanır (44). Kantitatif analiz tipik olarak polar haritada gösterilir.

##### D.4.2.2.1. Kantitatif Analiz Avantajları

- Objektif değerlendirme.
- Tekrarlanabilir özelliği görsel analizden daha iyi.
- Farklı ortamlarda değerlendirme ve farklı çalışmalarda karşılaştırma daha kolaydır (45,46,47,48).
- Tecrübesi az, normal varyasyonlara hakim olmayan değerlendiriciler için yol göstericidir.
- Defekt yayılımı % SV ya da her bir vasküler dağılımın %'si şeklinde verilebilir; ancak bireysel koroner dağılım farklılıkları nedeniyle daha az güvenilirdir.
- Defekt ciddiyeti segment bazında normalden SS şeklinde verilebilir.
- Semikantitatif görsel skorlamadaki gibi segmental skorlama otomatik olarak verilebilir.
- Defekt reverzibilitesi (iskemi yüzdesi) SV'nin ya da vasküler bölgenin %'si olarak verilebilir.
- Defekt yayılım ve ciddiyetinin entegrasyonu (total perfüzyon defisiti) tanısal ve prognostik bilgi sağlayabilir (49).

##### D.4.2.2.2. Kantitatif Analiz Dezavantajları

- Yeterli miyokardiyal kontur belirlenmesi gerektirir (ciddi perfüzyon defekti ve/veya subdiafragmatik aktivite fazlalığında problemlili olabilir).
- Tüm olgularda gerçek perfüzyon defektlerini artefaktlardan ayırtmada yeterli değildir.
- Görüntüleme artefaktları ve günümüzde kullanılan SPECT perfüzyon ajanlarının iskemiye kaçırabilme özellikleri nedeniyle her zaman

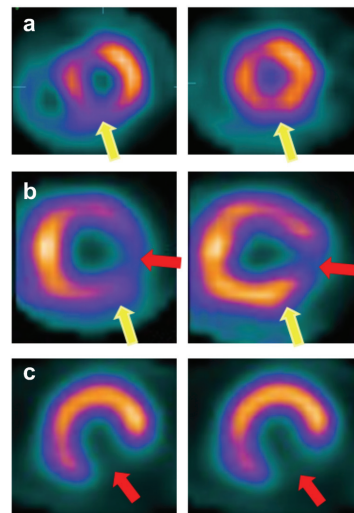
normal olgularla minimal iskemiye sahip olguları ayırtmeleri zordur.

O nedenle kantitatif analiz, görsel analizin yerine değil, ona yardımcı olarak kullanılmalıdır.

#### D.4.1. Perfüzyon Defekti Nasıl?

Stres ve restde ciddiyeti ve yayılımı değişmeyen defektler sabit (fiks), stresde daha ciddi ve yaygın, restte düzelen defektler ise geri dönüşlü (reverzibl) defektler olarak tanımlanır. Perfüzyon defekti reverzibilitesi parsiyel (kısmi) ya da komplet (tam) olarak sınıflandırılabilir (Şekil 22). Semikantitatif skorlama kullanıldığında perfüzyonda  $\geq 2$  skor düzelme ya da restde perfüzyon defekti alanının skor 1 düzeyinde olması durumunda reverzibiliteden bahsedilir. Kantitatif polar haritadaki reverzibilite ise spesifik yazılım programı ve programın kullandığı normal veri tabanı referanslarına bağlıdır. Genelde rest veritabanı veya normal referanstan  $< 2,5$  SS piksel yoğunluğunda perfüzyon aktivitesi olması düzelme olarak tanımlanır. Normal veritabanı olmadan da reverzibilite kantifikasyonu mümkündür (50).

Değerlendirmede izlenebilecek diğer patern de "ters redistribüsyon" dur. TI-201 ya da Tc ajanlarıyla uygulanan stress-rest MPS de izlenir. Stres perfüzyon normal-rest perfüzyonda bölgesel defekt veya stres perfüzyon anomalisinin restte daha belirgin hale gelmesi şeklinde izlenebilir. Klinik anlamı, tartışmalıdır. Teknesyum ajanları ile yapılan tek gün protokolünde teorik olarak



**Şekil 22.** Perfüzyon reverzibilite tipleri. Soldan sağa stres ve rest koronal kesitler a: reverzibl defekt (inferior duvar, iskemi), b: kısmi reverzibl (Lateral duvar, enfarkt + perienfarkt iskemi), c: fiks/sabit defekt (inferior/inferolateral duvar, enfarkt ve/veya hiberne miyokart)

radyofarmasötiklerin redistribüsyonu beklenmediğinden artefakt olabilir (özellikle “düşük doz rest-yüksek doz stress” MPS protokollerinde); o nedenle TI-201 protokollerinde “ters redistribüsyon” tanımlamasının, Tc-99m ile işaretli RF ile yapılan protokollerde ise “ters redistribüsyon paterni” tanımlamasının kullanılması daha doğrudur. Bu patern patent enfarkte koroner arter durumunda canlı ve skarlı doku birlikteliğini de gösterebilir. Hastanın klinik verileriyle birlikte değerlendirmek gerekir.

#### D.5. Gated MPS

Ventriküler fonksiyonunun değerlendirildiği gated perfüzyon SPECT, kalp ritmi ve görüntü sayım yoğunluğu uygun ve yeterli olan tüm hastalarda MPS'nin bir parçası olarak uygulanmalıdır (3,51). Optimal inceleme için kalp ritminin düzenli olması gerekir, o nedenle atriyal fibrilasyon, sinüs aritmisi ya da sık ventriküler prematür ritimlerde EKG-gating verileri güvenilir olmayacağından değerlendirmeye katılmaz. Derivasyonlar R dalgasının diastol sonunu temsil edecek şekilde yerleştirildiğine dikkat etmek gerekir. EKG-gating yapılacak derivasyonda R dalgası pozitif olmalıdır (ideali P ve T dalgasının x 3 yüksekliğinde). Gated görüntüleme R-R tolerans kabul pencere aralığında tam bir görüş birliği mevcut değildir. Dar pencere aralığı daha fizyolojik veri eldesini sağlarken düşük sayım istatistiğine sebep olup, yetersiz görüntü oluşumuna neden olabilir. Klasik olarak ortalama kalp hızından %30-40 sapmaların fonksiyonel değerlendirmenin dışında bırakılması önerilmektedir; ancak bu veriler perfüzyon değerlendirmesi için kullanılabilir.

Gated SPECT'de SV ejeksiyon fraksiyonu (SVEF) ölçüm doğruluğunu etkileyen faktörler aşağıda özetlenmiştir (35). Aritmi-gating hataları; doğru ve güvenilir EF ölçümü için kabul edilen düzenli kalp atım sayısı en az %80 olmalıdır.

##### 1. Gating interval sayısı (8 vs 16)

8-görüntü kareli “gating” de 16'lı gating” e oranla EF %3-4 daha düşük ölçülür (diastolik fonksiyonların değerlendirilmesinde 16 görüntü kareli gating gerekir).

##### 2. Sayım istatistikleri ve radyonüklid seçimi

Düşük doz ve yüksek doz uygulamaları arasında valv düzeyi belirlemedeki değişikliklerden dolayı ufak farklar olabilir.

##### 3. Kolimatör, filtre “cut off” ve rekonstrüksiyon teknikleri

Etkinin yok ya da çok az olduğu bildirilmiştir.

##### 4. Perfüzyon defektleri

Perfüzyon defektlerinin ciddi etkisinin olmayacağı bildirilmiştir (apikal anevrizmalarda sistol sonu volümün

düşük hesaplanmasına bağlı EF değerleri yüksek çıkabilir).

##### 5. Küçük SV ve miyokardiyal hipertrofi

Otomatik yazılım hesaplarında yanlış endokardiyal sınır belirlenmesi nedeniyle küçük kalplerde EF değerleri olduğundan yüksek; miyokardiyal hipertrofilere ise yüksek çıkabilir.

##### 6. Hareket

Diastol sonu volüm (EDV) değerine göre etkilenme olabilir (EDV >60 mL ise etkinin olmadığı; EDV <50 mL ise EF değeri yüksek çıkabilir (EDV ve ESV'nin düşük ölçümü ile).

##### 7. Atenüasyon, saçılma ve rezolüsyon düzeltilmesi

Klinik anlamlı olmayan (< %5'lik EF farkı) değişikliklere neden olabileceği bildirilmiştir.

Gated EKG SPECT ile ventriküler fonksiyonun görüntülenmesi ve yorumunda sistematik bir yaklaşım önemlidir.

#### D.5.1. Gated MPS Görüntü Seçimi

Duvar hareketi (DH) ve duvar kalınlaşmasını (DK) görsel olarak değerlendirmek için çoklu ventriküler kesit (asgari olarak apikal, mid ve bazal kısa aks; midventriküler horizontal uzun aks ve midventriküler vertikal uzun aks) görüntülenmelidir. Perfüzyon ile uyumu ve karşılaştırılabilirliği yönünden 17 segment modelinin kullanılması kolaylık sağlar. Değerlendirmede duvar hareketleri için iki boyutlu hareketli; kalınlaşmada ise sistol ve diastol sonu görüntüler esas alınsa da, endokardiyal konturların doğru olarak seçildiği olgularda üç boyutlu görüntülerde değerlendirmeye yardımcı ve tamamlayıcıdır. Miyokardiyal kalınlaşma için seri normalizasyonu yapılmış sistol ve diastol sonu görüntüler değerlendirilir. Epikardiyal ve endokardiyal sınırları otomatik olarak belirleyen ve ventriküler volüm ve EF hesaplayan yazılım algoritmaları kullanılmalıdır. Bölgesel duvar hareketleri tercihen gri skalada değerlendirilmelidir. Endokardiyal ve epikardiyal sınırlar volüm ve EF ölçümü doğruluğu için kontrol edilmelidir; bu sınırlar duvar hareketi analizinde kullanılabilir ancak değerlendirme için kontursuz duvar hareketi görüntüleri kullanılmalıdır. Duvar kalınlaşması gri ya da renkli skaladan değerlendirilebilmekle birlikte, sayım yoğunluğu renkli skaladan daha iyi değerlendirilir. Duvar hareketi ve kalınlaşması için elde edilen polar harita görüntülerinin değerlendirilmesinde doğru yorumlamak için segmentler ve düzeyler (apeks-bazal) arası normal varyasyonların farkında olmak gerekir.

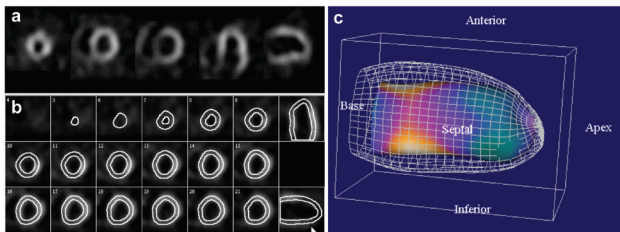
### D.5.2. Gated SPECT Kalite Kontrolü

Tüm rutin SPECT kalite kontrolleri EKG-gated SPECT'ye de uygulanabilir. SV bazaline dikkat edilmelidir; yanlış kapak düzlemi seçimi SVEF ve volüm ölçümlerinin hatalı olmasına neden olur. EKG gating yeterliliği kontrol edilmelidir (25). Gating yetersizliği son projeksiyonlarda sayım yetersizliği nedeniyle "flashing"/parlama şeklinde sine ham görüntüde izlenebilir. Atım homojenite ve pikini kontrol için kalp hızı histogramı aynı zamanda kontrol edilmelidir. Zaman-volüm eğrisi gating hataları eğrisinin şeklini bozabilir. Her bir görüntü karesindeki sayımın fonksiyon değerlendirmesi için yeterli olup olmadığı görsel veya kantitatif olarak değerlendirilmelidir.

### D.5.3. Gated SPECT: Bölgesel Duvar Hareketi ve Kalınlaşması Değerlendirmesi

Bölgesel duvar hareketi standart bir terminoloji ile analiz edilmelidir (normal, hipokinezi, akinezi, diskinezi şeklinde). Hipokinezi de hafif, orta ve ciddi olarak üçe ayrılır. Değerlendirmede semikantitatif skorlama sistemi önerilir (0 =normal, 1 =hafif hipokinezi, 2 =orta hipokinezi, 3 =ciddi hipokinezi, 4 =akinezi ve 5 =diskinezi; ventrikülografi ve radyonüklid ventrikülografi ile karşılaştırılabilir) (Şekil 23a). Duvar kinetiklerinin değerlendirilmesinde bölgesel normal farklılık ve varyasyonlardan haberdar olmak gerekir (örneğin: duvar hareketi: bazal < apeks; bazal lateral > bazal septum).

Normal miyokardiyal duvar kalınlığı günümüz SPECT sistemlerinin uzaysal rezolüsyonu altındadır. Parsiyel volüm etkisi nedeniyle, bölgesel DK diastol sonu ve sistol sonu sayım artışı şeklinde değerlendirilebilir. DK'yı görsel olarak değerlendirmek DH değerlendirmesinden



**Şekil 23a.** Gated SPECT, duvar hareketi değerlendirmesinde kullanılan

a: 17 segment modeline göre sırasıyla apikal, midventriküler bazal aksiyel, horizontal ve vertikal midventriküler toplatılmış (normalde hareketli) kesitler

b: Endokardiyal ve epikardiyal konturu aksiyel seri ve horizontal (sağ üst) ve vertikal (sağ alt) midventriküler kesitler

c: Üç boyutlu rekonstrükte sol ventrikül end sistol ve end diastol görüntüsü

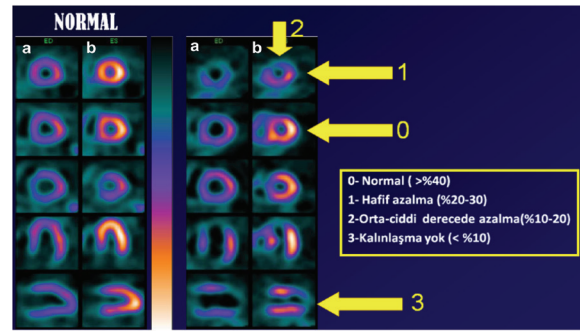
SPECT: Tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi

daha zordur; ancak kantitatif değerlendirmeye katkı sağlar. Şekil 23b'de duvar kalınlaşması için semikantitatif skorlama örneği verilmiştir. DH ve DK çoğunlukla birbirleriyle uyumludur ve genelde birlikte tek skorlama şeklinde değerlendirilir; ancak uyumsuz olduğu durumları (örneğin; uyumsuz olarak DK normal, DH anormal durumlar: SDB, perikardiotomi sonrası, sağ ventrikül pili, kardiyak cerrahi vb.) bilmek gerekir. Polar harita DH ve DK görüntülerinden de değerlendirmede, duvarlar arası fizyolojik dinamik farklarını dikkate alarak yararlanılabilir (Şekil 23 c).

### Sol Ventrikül EF ve Volümleri:

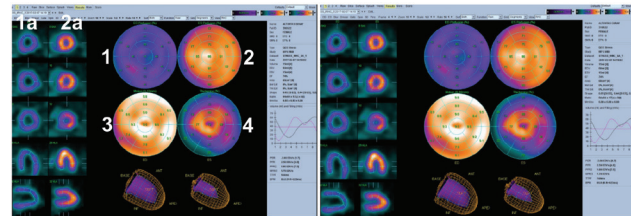
SVEF ve kavitesi hem kalitatif hem de kantitatif olarak değerlendirilmelidir (52). SVEF (%) değerleri:

- Hiperdinamik >70,
- Normal: >55- <70,



**Şekil 23b.** Gated SPECT, duvar kalınlaşması değerlendirmesinde kullanılan, 17 segment modeline göre semikantitatif skorlama a sütunu: Diastol sonu, b sütunu: Sistol sonu, yukarıdan aşağıya sırasıyla apikal, midventriküler ve bazal aksiyel, midventriküler düzeyde horizontal ve vertikal kesitler (Solda normal duvar kalınlaşması, sağdaki iki sütunda ise skorlama örneği verilmiştir

SPECT: Tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi



**Şekil 23c.** Normal gated DH ve DK polar harita örneği. a: On yedi segment modeline göre; a: Stres ve b: Rest EKG-gated diastol sonu (1a) ve sistol sonu (2a) toplatılmış aksiyel (apikal, midventriküler, bazal), horizontal ve vertikal (midventriküler) kesitler (yukarıdan aşağıya) ve ham polar harita görüntüleri (1: Diastol sonu, 2: Sistol sonu, 3: Polar harita DH, 4: DK

DH: Duvar hareketi, DK: Duvar kalınlaşması

- Düşük normal: 50-55,
- Hafif düşük: 45-50,
- Orta derecede düşük: 35-45,
- Ciddi düşük: <35 şeklinde değerlendirilip, raporlanabilir

SVEF değerlerinde, kullanılan ticari yazılım programları arasında ciddi farklar olabilir; o nedenle özellikle hasta takiplerinde aynı yazılım programından elde edilen değerleri kullanmak ve karşılaştırmak son derece önemlidir. Normal SVEF değerleri cinsiyet ile anlamlı derecede değişirken, yaş ve vücut ağırlığı değişimde daha az etkilidir. Gated MPS'de kullanılan yazılım programlarında kadınların SVEF değerleri özellikle küçük kalp/volüm nedeniyle anlamlı olarak yüksektir. Sistol sonu volümün tam olarak doğru ölçülemediği küçük kalplerde EF değeri otomatik olarak çok yüksek hesaplandığından rapora yansıtırken EF'nin > %60'ın üzerinde olduğunu ifade etmek doğru ve önerilen bir yaklaşımdır. Volümler normal, hafif/orta/ciddi artmış olarak kategorize edilebilir. Genelde yüksek doz ile yapılan gated MPS'den elde edilen değerlerin raporlanması önerilse de kalitenin yeterli olduğu görüntülemelerde her iki değer de (stres ve rest EF) raporlanabilir. Miyokart perfüzyonu normal sınırlarda olan olgularda stres EF değerinde ılımlı bir yükselme olması beklenir [ortalama %8 (range 3-15), erkeklerde (%10,5), kadınlarda (%5,3)]. Ayrıca EF değerleri yaş ile zayıf negatif bir korelasyon göstermekle birlikte değerlendirme yaparken normal değerlerde herhangi bir düzeltme yapılmasına gerek yoktur (53). EF ölçümlerinin güvenilir olduğu olgularda stres ve rest arası EF değişimlerinin yorumlanması da tanı ve prognoza katkı sağlar. Stres EF değerinde rest EF değerine göre %10 dan fazla bir azalma olması durumunda miyokardiyal bir perfüzyon problemi olup olmadığı, akciğerde yüksek RF tutulumu olup olmadığı dengeli 3 damar hastalığı açısından tekrar gözden geçirilmelidir (54,55).

#### **D.5.4. Gated SPECT: Perfüzyon ve Fonksiyon Sonuçlarının Birleştirilmesi**

Son değerlendirmede perfüzyon ve fonksiyon bulguları birlikte yorumlanır. DH, özellikle ME'ye bağlı fiks defektleri atenüasyon artefaktlarından ayırtmada faydalıdır (DH ve DK anomalisi göstermeyen defektler, özellikle de klinik veriler desteklemiyorsa daha çok artefaktır) (56,57). Normal DH ve DK iskemiye ekarte edemez. Stres sonrası görüntüleme 30 dakika ya da daha geç yapıldığından ciddi iskemi/veya SV "stunning"/sersemlemesi olan olgular dışında, strese bağlı bölgesel disfonksiyon çözülmüş olabilir. İskemi sonrası bölgesel

ya da global "stunning" yüksek riskli KAH bulgusu olup, MPS'de yüksek özgülüğe sahip bir bulgudur. Rest ve stres EF arasında anlamlı fark olduğunda, özellikle başka yüksek risk bulgusu yoksa, yorumlarken çalışmanın teknik yeterlilik ve doğruluğu kontrol edilmelidir (farklı dozlarda yapılan gated MPS'den elde edilen EF değerlerini karşılaştırmak tartışmalıdır).

#### **D.5.5. Sol Ventrikül Desenkronizasyonu**

Son yıllarda gated MPS'de faz analizine olanak veren, SV desenkronizasyonunu radyonüklid ventrikülografideki gibi değerlendirmek için yeni yazılımlar geliştirilmiştir (58). Ventriküler sistol sırasında miyokardiyal sayımın artması bölgesel SV DK ile koreledir ve sistolik kontraksiyon paterninin değerlendirilmesinde kullanılabilir. Tüm miyokardiyumdan elde edilen veriler faz dağılım haritası oluşturulmasında (histogram ya da polar harita şeklinde) kullanılır. Kardiyak resenkronizasyon tedavisine cevap verecek hastaları seçmede faydalı olduğu bildirilmiştir (59). Paralel olarak ekokardiyografi, manyetik rezonans görüntüleme (MR) ve kardiyak BT'de de benzer gelişmeler mevcuttur (60).

#### **D.5.6. Atenüasyon Düzeltmesi Görüntülerinin Klinik Değerlendirmesi**

AD sonrası normal perfüzyon dağılımı farklılıklar gösterir. Genelde anterior, septal, inferior ve lateral duvarda uniform bir görüntü; apikal ve distal anteriorda genelde hafif aktivitede azalma (PET/BT miyokart perfüzyon görüntüleme gibi) görülür. Bu bulgu daha çok büyük kalp, erkek cinsiyet, rezolüsyon ve saçılma düzeltmesi sonrası görülür. Her bir çalışma için kalite güvencesi gereklidir. SPECT/BT sistemlerinden elde edilen transmisyon görüntülerinin kalitesi radyonüklid kaynaklı imajların üzerindedir. BT transmisyon görüntülerindeki yüksek rezolüsyon emisyon-transmisyon füzyon kayması potansiyel olasılığını artırır. Artefaktlar, füzyon kayması veya yoğun ekstrakardiyak aktivite nedeniyle (iteratif rekonstrüksiyon sonrası daha da şiddetlenir) olabilir. Solunum artefaktına bağlı füzyon kayması yazılım metotlarıyla düzeltilebilirken hasta hareketine bağlı kayıt hatalarının düzeltilmesi daha zor olabilir ve çekimin tekrarı gerekebilir. Kalite kontrol sonrası (sine görüntülerinin ekstrakardiyak aktivite, hasta hareketi, füzyon kayması), standart ve AD yapılmış görüntüler karşılaştırılır ve AD sonrası ortaya çıkabilecek artefaktlar da gözönünde bulundurularak nihai sonuca varılır. Sadece AD sonrası görülen perfüzyon defektleri olduğunda AD'ye bağlı oluşabilecek artefaktlar dışlanmalıdır. Yoğun ekstrakardiyak aktivite alt duvarda saçılma yapabilir ve alt duvar perfüzyon defektini AD

sonrası maskeleyebilir veya fazladan düzeltme olabilir ve anterior duvar defektine yol açabilir. Apikal inceleme normal bir varyasyondur; AD sonrası daha belirgin hale gelebilir; ciddi perfüzyon defekti ile birlikte DH anomalisinde (+DK anomalisi) olduğunda anormal kabul edilebilir. AD sonrası özellikle anterior/anterolateral duvarda perfüzyon defekti görüldüğünde SPECT/BT füzyon kayması olasılığı ekarte edilmeli, problem yoksa anormal kabul edilebilir. Artefaktlar ekarte edildikten sonra, defektler koroner dağılıma uyuyorsa anormal kabul edilebilir.

#### D.6. Klinik ve Stres Verileriyle MPS'nin Son Yorumu

Sistemik imaj değerlendirme sonrası MPS normal, muhtemelen normal, şüpheli, muhtemelen anormal ve anormal şeklinde raporlanabilse de Amerikan Nükleer Kardiyoloji Grubu (ASNC) ara grubu en aza indirerek kesin sonuç vermeyi önermektedir. Şüpheli kategori zor ya da sorunlu olgular için (örneğin değişken meme atenüasyonunun ekarte edilemediği reverzibl anterior duvar defektleri gibi) saklanmalıdır. Okuyucunun ön yargılı olmaması için, başlangıç değerlendirmesi, ideal olarak hastanın cinsiyeti, boyu ve kilosu dışında herhangi bir klinik bilgi olmadan yapılmalıdır. İlk değerlendirme yapıldıktan sonra klinik bulgular gözden geçirilmeli ve görüntüler, bulgular (klinik veri, EKG) ışığında tekrar yorumlanmalıdır (tipik olarak değerlendirme bir dereceden fazla değişmemelidir). Uyumsuzluğun olduğu seçilmiş olgularda (normal MPS-yüksek riskli stres testi bulguları: patolojik Q dalgası olmayan derivasyonlarda egzersize bağlı >1 mm ST yükselmesi, egzersize bağlı >10 mm Hg sistolik KB'de düşme, ≥3 mm horizontal veya "downsloping" ST çökmesi, ısrarlı ventriküler taşikardi), koroner arter anatomisinin değerlendirilmesi önerilir. Raporlamada yer alması önerilen parametreler Tablo 20'de özetlense de ilgili ayrıntılı bilgiye Türkiye Nükleer Tıp Derneği Nükleer Kardiyoloji Grubu'nun hazırladığı "MPS Raporlama Kılavuzu"ndan ulaşılabilir.

#### D.7. Miyokart Canlılığı

Ciddi SV fonksiyon bozukluğu olan KAH'de miyokart canlılığının değerlendirilmesi klinik açıdan önem taşımaktadır. Fonksiyon bozukluğu olan ama canlı miyokartta iki fizyopatolojik olay tanımlanmıştır. Birisi ağır akut iskemi sonrası iskemik hasarın ve/veya reperfüzyon hasarının neden olduğu "stunning" (sersemleme) olup bu durumda post-iskemik geçici kontraksiyon bozukluğu söz konusudur. Diğeri "hiberne miyokart" (kıç uykusunda) olup azalmış kronik kan akımına ve hipoksik koşullara miyokardın bir çeşit metabolik adaptasyonudur. Miyokart

fonksiyon bozukluğunda miyokardın perfüzyonu normal (iskemik olmayan kardiyomiyopati veya stunning) ya da anormal (hiberne miyokart veya skar) şeklinde olabilir. Normal perfüzyona sahip miyokart segmentleri canlıdır ve ileri canlılık araştırması gerektirmez. Hiberne miyokart hücresel düzeyde metabolik olarak aktiftir ve revaskülarizasyonla düzelve potansiyeline sahiptir. Skar metabolik olarak inaktiftir.

Canlılık araştırması kalp yetmezliği ve KAH'nin yanı sıra KAH'ye bağlı kalp yetmezliğinde revaskülarizasyon öncesi endikedir (Klas IIA) (61). Miyokart canlılığının araştırılmasında; SPECT radyofarmasotikleri (TI-201 ve Tc-99m-MIBI), F-18 FDG PET/BT görüntüleme, düşük-doz dobutamin ekokardiyografi (inotropik kontraktıl rezervin varlığı) ve geç gadolinyum kontrastlanması ile skarı gösteren kardiyak MR kullanılan yöntemlerdir. Gerek TI-201, gerekse Tc-99m-MIBI'nin miyokartta tutulumu koroner kan akımı ile orantılıdır; perfüzyon ve hücre membran bütünlüğü her iki RDF için, intakt mitokondri ise Tc-99m-MIBI için canlılık belirteçidir. Miyokardiyal F-18 FDG tutulumu ise miyokart glukoz metabolik aktivitesini yansıtır (62) (Tablo 23).

#### D.7.1. Protokol

##### TI-201 SPECT

Mevcut TI-201 görüntüleme protokolleri arasında canlılık amacıyla en sık kullanılan iki temel protokol stres-redistribüsyon-reenjeksiyon ve rest-redistribüsyondur. Miyokart canlılığı tanısında kullanılan TI-201 ile duyarlılığı artırmaya yönelik protokoller Şekil 10'da gösterilmiştir (16). Efor kapasitesi uygun olan her hastada stres MPS görüntülemesi ve stres/rest görüntülerinin birlikte değerlendirilmesi önemlidir çünkü iskemi aslında canlılığın göstergesidir. Rest-redistribüsyon protokolünde direkt miyokardın canlılığı değerlendirilir ve egzersiz iskemisi ortaya konulamaz. Bölgesel perfüzyonu yansıtan ilk ve miyokart canlılığını saptayan 3. ve 4. saat redistribüsyon olmak üzere iki görüntülemeyi kapsar. Ayrıca reenjeksiyondan önce nitrat ile artırılan perfüzyon ve İV düşük doz dobutamin ile inotropik kontraktıl rezervin bölgesel ve global fonksiyon değişikliklerinin gösterilmesi canlılık saptanmasına yönelik önemli yardımcı faktörler olarak değerlendirilmektedir.

##### Tc-99m MIBI/Tetrofosmin SPECT

Tc-99m MIBI enjeksiyonundan önce nitrogliserin uygulaması ile canlı doku araştırmasının duyarlılığı artırılabilir. Nitrogliserin uygulaması sonrası yan etki olarak hipotansiyona dikkat edilmelidir. Nitrat

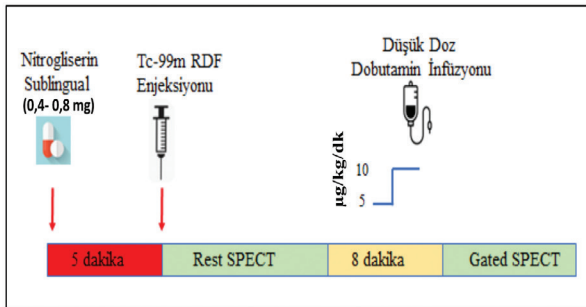
bileşikleri koroner arterlerin stenotik segmentlerinde vazodilatatör etki sonucu, koroner kollateral kan akımını artırarak stenotik damarlar tarafından beslenen miyokart alanlarında perfüzyon ajanlarının dağılımını artırmakta ve böylece canlı miyokart-skar ayırıcı tanısında rol almaktadır. Dobutamin infüzyonu sırasındaki duvar hareketleri ile istirahatteki duvar hareketleri karşılaştırılabilir. Böylelikle hem nitrat hem dobutamin birlikteliği (Şekil 24) perfüzyon ve kontraktıl rezervdeki iyileşmeyi eş zamanlı gösterebilir; düzelme saptanırsa canlılık göstergesi olarak kabul edilmektedir (63). Miyokart canlılığı için tanımlanan üç temel gösterge; SV DH, DK ve bölgesel kan akımı olup tümü Tc-99m MIBI Gated SPECT ile yüksek doğrulukla değerlendirilebilmektedir. Kayda değer olmasa da Tc-99m MIBI bir miktar redistribüsyona uğradığı için istirahat görüntülemesini normalden daha da geç yapmak canlılık açısından hassasiyeti artırabilir.

#### Dual İzotop Protokol

TI-201 ve Tc-99m MIBI'nın birlikte daha kısa süre içerisinde değerlendirme olanağı sağlaması açısından ilgi çekmiş olsa da iskemi açısından farklı ajanların kullanımına bağlı yalancı pozitif sonuçların olabileceği ve efektif radyasyon dozunun artacağı dikkate alınmalıdır (Şekil 9). Bu kılavuzun önceki bölümlerinde daha önce bahsedildiği şekilde uygulanabilir. Diğer protokollere göre daha kısa sürer.

#### D.7.2. Değerlendirme

Görüntülerin değerlendirilmesi kalitatif, semikantitatif ve kantitatif olarak yapılabilir (2).



**Şekil 24.** Tc-99m RDF SPECT viabilite görüntülemesinde nitrat ve dobutamin kullanımı

\* İV dobutamin infüzyonu: 5 mcg/kg/dk 5 dk, takiben 10 mcg/kg/dk 3 dk süreyle verilir

SPECT: Tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi, RDF: Radyofarmasötik, dk: Dakika, İV: İntravenöz

#### D.7.2.1. Kalitatif Değerlendirme

Normal miyokardiyal TI-201 veya Tc-99m MIBI dağılımının olması canlılığı gösterir. Stres ile indüklenen iskemi ve geri dönen perfüzyon defekti varlığı canlılık göstergesidir. Rest-redistribüsyon protokolünde rest görüntülerinde ileri derecede azalmış TI-201 tutulumunun 4. ve 24. saat redistribüsyon görüntülerinde düzelmesi canlılık belirtir. Geri dönüşsüz sabit defekt şeklinde perfüzyon anormallikleri skarı veya hiberne miyokardı temsil eder. Rest görüntülerinden önce nitroglişerin uygulanması sonrası azalmış perfüzyon alanlarında aktivite dağılımının normale dönmesi ve düşük doz İV dobutamin infüzyonu sonrası gated SPECT görüntülerinin rest-gated SPECT görüntüleri ile karşılaştırılarak kontraktıl fonksiyonda iyileşmenin saptanması canlılığı gösterir.

#### D.7.2.2. Semikantitatif Değerlendirme

Rest, reenjeksiyon veya redistribüsyon görüntülerinde myokart segmentlerinde semikantitatif skorlama (Tablo 21) sonucunda:

1. Normal ya da hafif azalmış perfüzyon (perfüzyon skor 0 ve skor 1): canlı miyokartı
2. Orta derecede azalmış perfüzyon (perfüzyon skor 2): canlı ve canlı olmayan miyokardiyal doku birlikteliğini
3. İleri derecede perfüzyon kaybı (perfüzyon skor  $\geq 3$ ): skar/infarktı temsil eder

#### D.7.2.3. Kantitatif Değerlendirme

Rest Tc-99m MIBI veya TI-201 rest-redistribüsyon-reenjeksiyon görüntüleri kantitatif olarak polar haritadan değerlendirilebilir.

1. Miyokardiyal sayımların iskemik/normal doku oranı (% maksimum aktivite)
2. Defekt yaygınlığı ve derecesinin cinsiyet uyumlu normal veri tabanı ile karşılaştırılması (64).

Polar haritada miyokardiyal segmentlerde aktivite düzeyi normal segmentteki maksimal aktivitenin  $\leq 50$ 'si ise skar/infarkt, aktivite düzeyi  $> 50$ 'nin üzerindeyse canlı doku olarak tanımlanır. Cinsiyet uyumlu normal veritabanı ile karşılaştırıldığında perfüzyon defekt sayım pikseli 2 SS üzerindeyse skar/infarkt olarak değerlendirilir (65). Canlılığın yaygınlığının (hiberne miyokart)  $> 10$  olarak tespiti, SV fonksiyonlarının revaskülarizasyon sonrası düzeleceğini öngören önemli bir bulgudur (66) (Tablo 23).

#### SPECT MPS Değerlendirme için Öneriler:

- ASNC sistematik ve kapsamlı bir değerlendirme yaklaşımı önerir.

Tablo 23. SPECT miyokart perfüzyon sintigrafisinde ve PET/BT'de miyokart canlılığı değerlendirme kriterleri

RDF	Karakteristik	Canlılık belirteci
TI-201	Perfüzyon, hücre zarı bütünlüğü	RDF aktivitesi > %50 Redistribüsyon > %10
Tc-99m MIBI	Perfüzyon, hücre zarı bütünlüğü, intakt mitokondri	RDF aktivitesi > %50 Uyarılabilen iskemi
F-18 FDG	Glukoz kullanımı	Perfüzyon metabolizma uyumsuzluğu RDF aktivitesi > %50

F-18 FDG: Flor-18-florodeoksiglukoz; Tc-99m MIBI: Teknesyum-99m metoksi izobutilizonitril, TI-201: Talyum-201, RDF: Radyofarmasötik (Kaynak 33'ten uyarlandı)

- Perfüzyon görüntülerinin semikantitatif ve kantitatif değerlendirilmesi önerilir.
- SVEF sayısal olarak verilmelidir.
- Perfüzyon görüntüleri klinik ve stres verileri ile birleştirilmeli daha önceki MPS görüntüleri ile karşılaştırılmalıdır.
- Uyumsuz bulgular dikkatlice gözden geçirilmeli ve gerekli yönetim yapılmalıdır.
- Doğru ve tekrarlanabilir değerlendirme için sistematik yaklaşım kritiktir.

## D.8. Önce Stres/Tek Stres MPS

### D.8.1. Avantajları

Miyokart perfüzyon SPECT uygulamalarında sadece stres görüntüleme yapmak hasta radyasyon dozunu %25-80; radyasyon çalışanı dozunu %40-50 oranında azaltır, hasta konforunu artırır ve maliyeti düşürür. Yeni nesil CZT kameralar ile efektif doz 1 mSv'ye kadar iner. Rest-stres protokolünde rest görüntülemeyen gelecek "shine through" etkisini dışlamış olur (67). Normal olgulardaki emniyeti, sadece stres veya stres/rest çalışmaları ile karşılaştırıldığında, düşük kardiyak olay oranlarının olması farklı klinik çalışmalarla gösterilmiştir (68). Yakın tarihli bir randomize çalışmada, akut göğüs ağrısı olan düşük-orta riskli hastalarda sadece stres görüntülemenin algoritmaya katılması hastanın tanı, hastanede kalma süresi, maliyet açısından BT koroner anjiyografi ile sonuçlarının karşılaştırılabilir olduğu gösterilmiştir (69). Stres-rest çalışmasının rest-stres çalışması yerine adaptasyon mantığı, şüpheli ya da daha önce ME geçirmemiş, bilinen KAH'yi olan, MPS için refere edilen hastaların çoğunun normal stres MPS'ye sahip olmalarıdır (70,71). Tek stres görüntüleme ASNC tarafından desteklenmektedir (72). AD kullanılan bir çok seride, düşük doz tek-stres SPECT görüntülemenin etkinliği gösterilmiştir; AD'nin kullanılması, dik/supin veya supin/pron görüntüleme, ileri veri işleme

teknikleri veya ileri kamera tasarımları tek-stres protokolü ile görüntülenecek hasta sayısını artırmaktadır (73,74).

### D.8.2. Dezavantajları/Sınırlamaları

Tek gün protokolünü uygulamak için stres görüntülerini zamanında hemen değerlendirmek gerekir. Düşük doz tekniği en iyi gelişmiş SPECT sistemlerinde en başarılıdır ve konvansiyonel sistemlerde uzun çekim zamanı gerektirdiğinden hasta hareket artefakt oranını ve tekrar çekim sayısını artırır. Yumuşak doku atenüasyonu, sıcak nokta artefaktı (SV hipertrofisi vb.) olduğunda rest olmadan güvenli bir şekilde değerlendirme mümkün olmayabilir; bu gibi durumlarda tam tanısal çalışma öncelik taşır ve gerektiğinde rest görüntüleme yapılmalıdır.

### D.8.3. Hasta Seçimi

Uygun aday bulmak için çeşitli skorlama sistemleri önerilmiştir (75,76). Görüş birliği olmamakla birlikte 16,000 hastayı içeren geniş bir çalışmada, ME öyküsü olan ve 2 gün çalışmasının pratik olmadığı hasta grubu dışındaki kişilerde uygun olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada vücut ağırlığının seçimde belirleyici bir faktör olmadığı belirtilmiştir. Yakın tarihli başka bir çalışmada ise (>18,000 hastalı), grad 2 [Vücut Kitle indeksi (VKİ): 35-39,9 kg/m<sup>2</sup>] ve özellikle grad 3 (VKİ >40 kg/m<sup>2</sup>) obezlerde düşük doz ve ultra düşük doz tek stres MPS'den kaçınmak gerektiği vurgulanmıştır. Bu hastalarda iki gün yüksek doz görüntüleme protokolü idealdir; yine de stres MPS önce uygulanabilir, tümüyle normalse rest dozu yapılmayabilir önerilerinde bulunan çalışmalar mevcuttur (77).

Yeni teknoloji yazılım ve AD'ye sahip klinikler tek gün önce -stres MPS seçebilirler. Konvansiyonel tarayıcıya sahip olanlar ise (yeni yazılım veya AD olmayan) iki gün stress önce protokolü seçmeleri optimal uygulama sonuçları verebilir. ASNC'nin hedefi MPS için 9 mSv median dozu başarmaktır (tek stress MPS uygulaması da bu hedef için iyi bir araçtır).



#### D.8.4. Tek-stres MPS Kriterleri Normal Değerlendirme Kriterleri:

- Tüm miyokartta homojen perfüzyon
- Normal SV kavite boyutu
- Normal SVEF (> %50)
- Normal bölgesel DH, DK
- Normal sağ ventrikül aktivitesi

Güvenli değerlendirme için olası atenüasyon artefaktına karşı AD ya da iki pozisyonlu çekim yapılabilir (78,79). Bazı olgularda normal stres MPS'ye ciddi iskemi bulguları olan egzersiz treadmill testi eşlik edebilir; bu olgularda, BT anjiyografi (iskemik EKG değişiklikleri için) veya invazif anjiyografi (ST elevasyonu, egzersize bağlı hipotansiyon, ventriküler taşikardi vb. yüksek riskli stres test bulguları olduğunda) önerilir. Normal stres MPS'ye sahip, fakat kardiak etiyojisi belirsiz, göğüs ağrısı semptomları devam eden hastalarda da BT anjiyografi düşünülebilir.

#### V. Kalite Kontrol

##### A. SPECT ve SPECT/BT Kalite Kontrolü

Genel SPECT görüntü kalitesi detektör performansı, kolimatör boyutları, sistem tasarımı ve görüntü işleme algoritmalarına bağlıdır. Yüksek kalitede güvenilir

görüntü alabilmek için, uygun kalite kontrol testlerinin düzenli ve sürekli olarak uygulanması gerekliliği son derecede önemlidir. Tablo 24 ve Tablo 25'te Anger SPECT ve SPECT/BT kamera sistemleri için önerilen kalite kontrol testleri ve sıklıkları özetlenmiştir. Anger kamera teknolojisi dışında geliştirilen yeni kamera sistemleri kalite kontrollerinde bazı farklılıklar olabilmekle birlikte, klinik kullanımda en iyi güvenilir sonucu sağlayabilmek amacıyla konvansiyonel kamera sistemlerinde olması gereken minimum kalite standartlarını sağlamaları gerektiği belirtilmekte ve üretici firmalardan benzer kalite kontrol protokollerini sağlamaları beklenmektedir (2).

#### VI. Radyasyon Güvenliği

Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesinin (ICRP), absorbe edilen doz hesabı, yeni ağırlık faktörleri ve yeni bio-kinetik modellemesi için kullandıkları yeni fantom modellerinde, normal sağlıklı erişkin bir insanda MPS'de kullanılan Tc-99m MIBI, tetrofosmin ve Tl-201 klorid için efektif dozların daha önceki hesaplamalara oranla %20 daha düşük olduğu gösterilmiştir (8,9). Tablo 12'de son fantom modellemesine göre MPS'de kullanılan radyofarmasötiklere göre alınan efektif radyasyon dozları verilmiştir (8,9). Veriler ICRP'den elde edilmiştir

Tablo 24. Tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi sistemleri için kalite kontrol prosedürleri

Test	Öncelik	Sıklık
NEMA kabul testi	Önerilmekte	-Teslimat sırasında -Ana donanım yükseltmesinde
Enerji kalibrasyon kontrolü	Zorunlu	-Günlük
Homojenite testi	Zorunlu	-Günlük
Rezölüsyon ve doğrusalılık	Önerilmekte	-Üretici firma önerisi ile
COR ve multidetektör kaydı	Zorunlu	-Üretici firma önerisi ile/haftalık -Kamera servisi sonrası -Güç dalgalanma ve kesintisi sonrası -Donanım ve yazılım yükseltmelerinde
Homojenite Kalibrasyonu	Zorunlu	-Üretici firma önerisi ile
Total performans	Önerilmekte	-3 ayda bir

NEMA: National electrical manufacturers association, COR: Center-of-rotation

Tablo 25. Tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi/bilgisayarlı tomografi hibrit sistemler için kalite kontrol prosedürleri

Test	Gereklilik
Kayıt/füzyon	TBT sisteminde X-ray için zorunlu (<1-3 mm)
AD doğruluğu	Zorunlu

AD: Atenüasyon düzeltmesi, TBT: Transmisyon bilgisayarlı tomografi, mm: Milimetre

(80,81,82,83). Pediatrik hastalar için, birim aktivite başına absorbe edilen ek değerler ICRP raporlarında bulunmaktadır. Pediatrik hastalar için uygulanacak aktivitelerin "EANM Pediatrik Çalışma Grubu" önerileri doğrultusunda modifiye edilmesi önerilir (84).

### VI.A. Radyasyon Dozunu En Aza İndirme

Uygun hasta ve teknik seçim ile radyasyon dozu azaltılabilir (1- Tek stress MPS uygulamak, 2- Ağırlığa göre doz ayarlamak, 3- Düşük doz ile görüntüleme). Radyofarmasötik dozunu azaltmak tüm hastalarda arzu edilen bir durum olmakla birlikte, bazı hastalarda daha mümkündür. Uyumlu hastalarda doz azaltılıp süre uzatılabilir (bazılarında rahatsızlık yaratabilir ve hareket artefaktına yol açabilir). Ağırlık bazlı doz seçimi fiks doz metoduna göre radyasyon dozunu azaltır (85). Yeni kamera sistemlerinde (yüksek etkinlikli CZT ve artmış sensitif ve ileri veri işleme sonrası çözüme sahip-iteratif rekonstrüksiyon, rezolüsyon iyileştirme, saçılım azaltma-imag kalitesi konularak doz azaltılabilir. Genç ve düşük-orta test öncesi KAH riskli hastalarda tek stres MPS ve yeni donanım ve yazılıma sahip sistemlerle de düşük dozlu görüntüleme yapılabilir. Sırt problemi olan ya da uzun süre yatamayan hastalarda ise tam doz ve hızlı görüntüleme protokolü akıllıca bir seçim olabilir (86).

### Kaynaklar

1. Akincioglu C, Atasever T CB et al. Nükleer Kardiyoloji Uygulama Kılavuzu. Turk J Nucl Med 2001;10 Suppl:S41-56.
2. Dorbala S, Ananthasubramaniam K, Armstrong IS, et al. Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) Myocardial Perfusion Imaging Guidelines: Instrumentation, Acquisition, Processing, and Interpretation. J Nucl Cardiol [Internet] Springer US 2018;25:1784-1846.
3. Corbett JR, Friedman JD, Goldstein RA, et al. American Society of IMAGING GUIDELINES FOR NUCLEAR CARDIOLOGY PROCEDURES A Report of The American Society of Nuclear Cardiology Quality Assurance Committee Editor Writing Group Chairs. J Nucl Cardiol 2006;21-171.
4. Knuuti J, Wijns W, Saraste A. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes: The Task Force for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes of the European Society of Cardiology 2019;00:1-71.
5. Ronan G. ACCF/AHA/ASE/ASNC/HFSA/HRS/SCAI/SCCT/SCMR/STS 2013 Multi- modality Appropriate Use Criteria for the Detection and Risk Assessment of Stable Ischemic Heart Disease. J Nucl Cardiol 2014; 63:380-406.
6. Yalçın H, Canbaz Tosun F, Koroner Arter Hastalığı Tanı ve Yönetiminde Nükleer Kardiyoloji, Nükleer Tıp Seminerleri 2019;4:80-95.
7. Seitun S, De Lorenzi C, Cademartiri F, et al. CT myocardial perfusion imaging: A new frontier in cardiac imaging. Biomed Res Int 2018;7295460.
8. Duncker DJ, Koller A, Merkus D, et al. Regulation of coronary blood flow in health and ischemic heart disease. Prog Cardiovasc Dis 2015; 57:409-422.
9. Hesse B, Tägil K, Cuocolo A, et al. EANM/ESC procedural guidelines for myocardial perfusion imaging in nuclear cardiology. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2005;32:855-897.
10. Verberne HJ, Acampa W, Anagnostopoulos C, et al. EANM procedural guidelines for radionuclide myocardial perfusion imaging with SPECT and SPECT/CT: 2015 revision. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2015;42:1929-1940.
11. Acar E KG. No Title. Acar E, Kaya GÇ. Kardiyak Stres Testleri, Yeni Ajanlar. J Nucl Med-Special Topics 2015:57-63.
12. Daly P, Kayse R, Rudick S, et al. Feasibility and safety of exercise stress testing using an anti-gravity treadmill with Tc-99m tetrofosmin single-photon emission computed tomography (SPECT) myocardial perfusion imaging: A pilot non-randomized controlled study. J Nucl Cardiol 2018;25:1092-1097.
13. Garner KK, Pomeroy W AJ. No Titl Exercise Stress Testing: Indications and Common Questions.e. Am Fam Physician 2017;96:293-299.
14. Dilsizian V, Gewirtz H, Paivanas N, et al. Serious and potentially life threatening complications of cardiac stress testing: Physiological mechanisms and management strategies. J Nucl Cardiol 2015;22:1198-1213.
15. Pagnanelli RA, Camposano HL. Pharmacologic stress testing with myocardial perfusion imaging. J Nucl Med Technol 2017;45:249-252.
16. Henzlova MJ, Duvall WL, Einstein AJ, et al. ASNC imaging guidelines for SPECT nuclear cardiology procedures: Stress, protocols, and tracers. J Nucl Cardiol 2016;23:606-639.
17. Prvulovich E. Myocardial perfusion scintigraphy. Clin Med J R Coll Physicians London 2006;6:263-266.
18. Mettler FGM, Guiberteau MJ. Cardiovascular System In: Essentials of Nuclear Medicine, 7th Edition. Elsevier - Health Sciences Division 2019;116-129.
19. Ben-Haim S, Almukhailed O, Neill J, et al. Clinical value of supine and upright myocardial perfusion imaging in obese patients using the D-SPECT camera. J Nucl Cardiol 2014;21:478-485.
20. Blaire T, Bailliez A, Bouallegue F Ben, et al. Left ventricular function assessment using 123I/99mTc dual-isotope acquisition with two semi-conductor cadmium-zinc-telluride (CZT) cameras: a gated cardiac phantom study. EJNMMI Phys 2016;3:27
21. Hansen CL. Digital image processing for clinicians, part I: Basics of image formation. J Nucl Cardiol 2002;9:343-349.
22. King MA, Glick SJ, Penney BC, et al. Interactive visual optimization of SPECT prereconstruction filtering. J Nucl Med 1987;28:1192-1198.

23. Hansen CL. Digital image processing for clinicians, part II: Filtering. *J Nucl Cardiol* 2002;9:429-437.
24. DePuey EG. Advances in SPECT camera software and hardware: Currently available and new on the horizon. *J Nucl Cardiol* 2012;19:551-581.
25. DePuey EG, Gadiraju R, Clark J, et al. Ordered subset expectation maximization and wide beam reconstruction "half-time" gated myocardial perfusion SPECT functional imaging: A comparison to "full-time" filtered backprojection. *J Nucl Cardiol* 2008;15:547-563.
26. Hansen CL. The role of the translation table in cardiac image display. *J Nucl Cardiol* 2006;13:571-575.
27. Weiss AT, Berman DS, Lew AS, et al. Transient ischemic dilation of the left ventricle on stress thallium-201 scintigraphy: A marker of severe and extensive coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1987;9:752-759.
28. McLaughlin MG, Danias PG. Transient ischemic dilation: A powerful diagnostic and prognostic finding of stress myocardial perfusion imaging. *J Nucl Cardiol* 2002;9:663-667.
29. Xu Y, Arsanjani R, Clond M, et al. Transient ischemic dilation for coronary artery disease in quantitative analysis of same-day sestamibi myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 2012;19:465-473.
30. Hansen CL, Sangrigoli R, Nkadi E, et al. Comparison of pulmonary uptake with transient cavity dilation after exercise thallium-201 perfusion imaging. *J Am Coll Cardiol* 1999;33:1323-1327.
31. Hansen CL, Cen P, Sanchez B, et al. Comparison of pulmonary uptake with transient cavity dilation after dipyridamole Tl-201 perfusion imaging. *J Nucl Cardiol* 2002;9:47-51.
32. Chouraqui P, Rodrigues EA, Berman DS, et al. Significance of dipyridamole-induced transient dilation of the left ventricle during thallium-201 scintigraphy in suspected coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1990;9:265-271.
33. Abidov A, Bax JJ, Hayes SW, et al. Integration of automatically measured transient ischemic dilation ratio into interpretation of adenosine stress myocardial perfusion SPECT for detection of severe and extensive CAD. *J Nucl Med* 2004;45:1999-2007.
34. Slomka PJ, Berman DS, Germano G. Normal limits for transient ischemic dilation with 99mTc myocardial perfusion SPECT protocols. *J Nucl Cardiol* 2017;24:1709-1711.
35. Germano G, Berman DS. *Clinical Gated Cardiac SPECT*. Wiley-Blackwell; 2 edition 2006.
36. Gill JB, Ruddy TD, Newell JB, et al. Prognostic importance of thallium uptake by the lungs during exercise in coronary artery disease. *N Engl J Med* 1987;317:1485-1489.
37. Higgins JP, Phil M. Increased right ventricular uptake on stress SPECT myocardial perfusion images in a patient with severe coronary artery disease. *J Nucl Cardiol* 2006;13:725-727.
38. Wackers FJT. On the bright right side. *J Nucl Cardiol* 2005;12:378-380.
39. Williams KA, Schneider CM. Increased stress right ventricular activity on dual isotope perfusion SPECT: A sign of multivessel and/or left main coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1999; 34:420-427.
40. Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart: A statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. *J Nucl Cardiol* 2002;29:105:539-542.
41. Tilkemeier PL, Bourque J, Doukky R, et al. ASNC imaging guidelines for nuclear cardiology procedures: Standardized reporting of nuclear cardiology procedures. *J Nucl Cardiol* 2017;24:2064-2128.
42. Berman DS, Kang X, Van Train KF, et al. Comparative prognostic value of automatic quantitative analysis versus semiquantitative visual analysis of exercise myocardial perfusion single-photon emission computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 1998; 32:1987-1995.
43. Arsanjani R, Xu Y, Hayes SW, et al. Comparison of fully automated computer analysis and visual scoring for detection of coronary artery disease from myocardial perfusion SPECT in a large population. *J Nucl Med* 2013;54:221-228.
44. Rubeaux M, Xu Y, Germano G, et al. Normal Databases for the Relative Quantification of Myocardial Perfusion. *Curr Cardiovasc Imaging Rep* 2016;9:22.
45. Xu Y, Hayes S, Ali I, et al. Automatic and visual reproducibility of perfusion and function measures for myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 2010;17:1050-1057.
46. Berman DS, Kang X, Gransar H, et al. Quantitative assessment of myocardial perfusion abnormality on SPECT myocardial perfusion imaging is more reproducible than expert visual analysis. *J Nucl Cardiol* 2009;16:45-53.
47. Iskandrian AE, Garcia EV, Faber T, et al. Automated assessment of serial SPECT myocardial perfusion images. *J Nucl Cardiol* 2009;16:6-9.
48. Mahmarian JJ, Cerqueira MD, Iskandrian AE, et al. Regadenoson Induces Comparable Left Ventricular Perfusion Defects as Adenosine. A Quantitative Analysis From the ADVANCE MPI 2 Trial. *JACC Cardiovasc Imaging* 2009;2:959-968.
49. Nakazato R, Berman DS, Gransar H, et al. Prognostic value of quantitative high-speed myocardial perfusion imaging. *J Nucl Cardiol* 2012;19:1113-1123.
50. Slomka PJ, Nishina H, Berman DS, et al. Automatic quantification of myocardial perfusion stress-rest change: A new measure of ischemia. *J Nucl Med* 2004;45:183-191.
51. Cullom SJ, Case JA, Bateman TM. Electrocardiographically gated myocardial perfusion SPECT: Technical principles and quality control considerations. *J Nucl Cardiol* 1998;5:418-425.
52. Sharir T, Kang X, Germano G, et al. Prognostic value of poststress left ventricular volume and ejection fraction

- by gated myocardial perfusion SPECT in women and men: Gender-related differences in normal limits and outcomes. *J Nucl Cardiol* 2006;13:495-506.
53. Hesse B, Lindhardt TB, Acampa W, et al. EANM/ESC guidelines for radionuclide imaging of cardiac function. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2008;35:851-885.
  54. Carvalho PA, Aguiar PM, Grossman GB, et al. Prognostic implications of the difference between left ventricular ejection fractions after stress and at rest in addition to the quantification of myocardial perfusion abnormalities obtained with gated SPECT. *Clin Nucl Med* 2012;37:748-754.
  55. Sharma A, Sampath S, Sood A, Bhattacharya A, Mittal B. Post stress fall in LVEF as a predictor of reversibility of perfusion defects on myocardial perfusion scintigraphy. *J Nucl Med* 2013;54(Suppl 2):1725.
  56. Choi JY, Lee KH, Kim SJ, et al. Gating provides improved accuracy for differentiating artifacts from true lesions in equivocal fixed defects on technetium 99m tetrofosmin perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 1998;5:395-401.
  57. Seo Y, Mari C, Hasegawa BH. Technological Development and Advances in Single-Photon Emission Computed Tomography/Computed Tomography. *Semin Nucl Med* 2008;38:177-198.
  58. Chen J, Garcia EV, Folks RD, et al. Onset of left ventricular mechanical contraction as determined by phase analysis of ECG-gated myocardial perfusion SPECT imaging: Development of a diagnostic tool for assessment of cardiac mechanical dyssynchrony. *J Nucl Cardiol* 2005;12:687-695.
  59. Henneman MM, Chen J, Dibbets-Schneider P, et al. Can LV dyssynchrony as assessed with phase analysis on gated myocardial perfusion SPECT predict response to CRT? *J Nucl Med* 2007;48:1104-1111.
  60. Heydari B, Jerosch-Herold M, Kwong B, Raymond, et al. Imaging for planning of cardiac resynchronization therapy. *JACC Cardiovasc Imaging* 2012;5:93-110.
  61. Yancy CW, Jessup M, Bozkurt B, et al. 2013 ACCF/AHA Guideline for the Management of Heart Failure. *J Am Coll Cardiol* 2013;128:e240-327.
  62. Bax JJ, Van Der Wall EE, Harbinson M. Radionuclide techniques for the assessment of myocardial viability and hibernation. *Heart* 2004;90(Suppl 5):v26-33.
  63. Delbeke D, Bax JJ, Martin WH SM. Evaluation of myocardial viability. In: *Nuclear Cardiology and Correlative Imaging: A teaching file*. Eds: Springer Verlag, New York 2004;205.
  64. Dilsizian V, Rocco TP, Freedman NM, et al. Enhanced detection of ischemic but viable myocardium by the reinjection of thallium after stress-redistribution imaging. *N Engl J Med* 1990;323:141-146.
  65. Dilsizian V, Bonow RO. Current diagnostic techniques of assessing myocardial viability in patients with hibernating and stunned myocardium. *Circulation* 1993;87:1-20.
  66. Uebleis C, Hellweger S, Laubender RP, et al. The amount of dysfunctional but viable myocardium predicts long-term survival in patients with ischemic cardiomyopathy and left ventricular dysfunction. *Int J Cardiovasc Imaging* 2013;29:1645-1653.
  67. Thomas GS, Cullom SJ, Kitt TM, et al. The EXERRT trial: "EXercise to Regadenoson in Recovery Trial": A phase 3b, open-label, parallel group, randomized, multicenter study to assess regadenoson administration following an inadequate exercise stress test as compared to regadenoson without exerc. *J Nucl Cardiol* 2017;24:788-802.
  68. Askew JW, Miller TD, Ruter RL, et al. Early image acquisition using a solid-state cardiac camera for fast myocardial perfusion imaging. *J Nucl Cardiol* 2011;18:840-846.
  69. Nabi F, Kassi M, Muhyieddeen K, et al. Optimizing evaluation of patients with low-to-intermediate-risk acute chest pain: A randomized study comparing stress myocardial perfusion tomography incorporating stress-only imaging versus cardiac CT. *J Nucl Med* 2016;57:378-384.
  70. Thompson RC, Allam AH. More risk factors, less ischemia, and the relevance of MPI testing. *J Nucl Cardiol* 2015;22:552-554.
  71. Mahmarian JJ. Implementation of stress-only imaging: What will it take? *J Nucl Cardiol* 2017;17:529-535.
  72. Nkoulou R, Fuchs TA, Pazhenkottil AP, et al. Absolute myocardial blood flow and flow reserve assessed by gated SPECT with cadmium-zinc-telluride detectors using 99mTc-tetrofosmin: Head-to-head comparison with 13N-ammonia PET. *J Nucl Med* 2016;57:1887-1892.
  73. Guner LA, Caliskan B, Isik I, et al. Evaluating the role of routine prone acquisition on visual evaluation of SPECT images. *J Nucl Med Technol* 2015;43:282-288.
  74. Heller GV, Bateman TM, Johnson LL, et al. Clinical value of attenuation correction in stress-only Tc-99m sestamibi SPECT imaging. *J Nucl Cardiol* 2004;1:263-272.
  75. Duvall WL, Baber U, Levine EJ, et al. A model for the prediction of a successful stress-first Tc-99m SPECT MPI. *J Nucl Cardiol* 2012;19:1124-1134.
  76. Gowdar S, Chaudhry W, Ahlberg AW, et al. Triage of patients for attenuation-corrected stress-first Tc-99m SPECT MPI using a simplified clinical pre-test scoring model. *J Nucl Cardiol* 2018;25:1178-1187.
  77. Chang SM, Nabi F, Xu J, et al. Normal Stress-Only Versus Standard Stress/Rest Myocardial Perfusion Imaging. Similar Patient Mortality With Reduced Radiation Exposure. *J Am Coll Cardiol* 2010;55:221-230.
  78. Gemignani AS, Muhlebach SG, Abbott BG, et al. Stress-only or stress/rest myocardial perfusion imaging in patients undergoing evaluation for bariatric surgery. *J Nucl Cardiol* 2011;18:886-892.
  79. Mathur S, Heller GV, Bateman TM, et al. Clinical value of stress-only Tc-99m SPECT imaging: Importance of attenuation correction. *J Nucl Cardiol* 2013;20:27-37.
  80. ICRP. Human alimentary tract model for radiological protection. ICRP Publication 100. A report of The International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP* 2006;36(1-2):25-327.

81. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on radiological protection. ICRP publication 103. Ann ICRP 2007;37:1-332.
82. ICRP. Adult reference computational phantoms. ICRP Publication 110. Ann ICRP. 2009;39(2).
83. Andersson M, Johansson L, Minarik D, Leide-Svegborn S, Mattsson S. Effective dose to adult patients from 338 radiopharmaceuticals estimated using ICRP biokinetic data, ICRP/ICRU computational reference phantoms and ICRP 2007 tissue weighting factors. EJNMMI Phys 2014;1:9.
84. ICRP Publication 53. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. Annals of ICRP, 18. Oxford: Pergamon Press; 1987. p. 1–4.No Title. Piepsz A, Hahn K, Roca I, et al. A radiopharmaceuticals schedule for imaging in paediatrics. Eur J Nucl Med 1990;17:127-129.
85. van Dijk JD, Jager PL, Ottervanger JP, et al. Development and validation of a patient-tailored dose regime in myocardial perfusion imaging using conventional SPECT. J Nucl Cardiol 2016;23:134-142.
86. Herzog BA, Buechel RR, Katz R, et al. Nuclear myocardial perfusion imaging with a cadmium-zinc-telluride detector technique: Optimized protocol for scan time reduction. J Nucl Med 2010;51:46-51.