



Miyokart Perfüzyon Sintigrafisi: Tuzak ve Artefaktlar

Myocardial Perfusion Imaging: Pitfalls and Artifacts

✉ Sibel Uçak Semirgin, ✉ Gamze İrem Algül, ✉ Fevziye Canbaz Tosun

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Samsun, Türkiye

Öz

Miyokart perfüzyon sintigrafisi, koroner arter hastalığının klinik değerlendirmesinde uzun süredir kullanılan invaziv olmayan bir görüntüleme yöntemidir. Bu yöntem, radyofarmasötik enjeksiyonu sonrasında alınan görüntülerin değerlendirilmesi yoluyla miyokardiyal hücrelerin perfüzyonunu inceleyerek iskemi veya infarktüs bölgelerini belirlemektedir. Aynı zamanda elektrokardiyografi ile senkronize edilen görüntüler aracılığıyla duvar hareketleri ve kalınlaşma gibi parametreleri değerlendirme imkanı sağlar. Bu görüntüleme tekniği, miyokardın karmaşık fizyolojik süreçlerini yansıttığı için, yorumlanmasında yanlış pozitif veya negatif değerlendirmelere neden olabilecek bir dizi potansiyel tuzak ve artefakt içermektedir. Bu nedenle hastaların hazırlığı aşamasından başlayarak görüntülemeye dahil olan tüm ekibin olası sorunları öngörebilmesi, mümkünse önleyebilmesi veya düzeltebilmesi için bilgi sahibi olması gerekmektedir. Bu derleme, miyokart perfüzyon sintigrafisinin çeşitli aşamalarında ortaya çıkabilecek ve tetkikin yanlış yorumlanması ile sonuçlanabilecek tuzaklar ve artefaktları tartışmayı amaçlamakta, ayrıca bu durumları önlemenin veya düzeltilmenin mümkün olduğu durumlarda alınması gereken önlemleri ve potansiyel çözümleri sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kardiyak görüntüleme, SPECT, miyokart perfüzyon sintigrafisi, artefaktlar

Abstract

Myocardial perfusion scintigraphy has long been utilized as a non-invasive imaging modality for the clinical assessment of coronary artery disease. This technique involves the assessment of myocardial cell perfusion by evaluating images obtained following the injection of radiopharmaceuticals, allowing for the identification of ischemic or infarcted areas. Additionally, it provides the opportunity to assess parameters such as wall motion and thickening through images synchronized with electrocardiography. Due to the complex physiological processes reflected in the myocardium by this imaging technique, it encompasses a range of potential pitfalls and artifacts that could lead to misinterpretations, resulting in false-positive or false-negative evaluations. Therefore, it is imperative that the entire team involved in both the preparation of patients and the imaging process possesses knowledge to anticipate, preferably prevent, or rectify potential issues. This review aims to discuss pitfalls and artifacts that may arise at various stages of myocardial perfusion scintigraphy, potentially leading to misinterpretations of the examination. Furthermore, it provides insights into precautions that should be taken and potential solutions when possible.

Keywords: Cardiac imaging, SPECT, myocardial perfusion scintigraphy, artifacts

Giriş

Miyokart perfüzyon sintigrafisi (MPS), invaziv olmayan bir görüntüleme yöntemi olarak koroner arter hastalığının (KAH) değerlendirmesinde uzun süredir klinik kullanımda yer almakta olup, konvansiyonel Nükleer Tıp tetkikleri arasında da güncelliğini korumaktadır.

Yöntem, istirahat ve efor sonrası miyokart dokusunun hücresel düzeydeki perfüzyonunu belirleyerek KAH teşhisinde, tedavi etkinliğinin değerlendirilmesinde, prognozun belirlenmesinde ve canlı miyokart dokusu ile ilgili bilgilerin tespitinde önemli rol oynamaktadır (1). Ciddi koroner arter darlığının

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Doç. Dr. Sibel Uçak Semirgin, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Samsun, Türkiye
E-posta: sibelucak@omu.edu.tr ORCID ID: orcid.org/0000-0002-3002-3196



Copyright© 2024 Yazar. Türkiye Nükleer Tıp Derneği adına Galenos Yayınevi tarafından yayımlanmıştır.
Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası (CC BY-NC 4.0) Uluslararası Lisansı ile lisanslanmış, açık erişimli bir makedir.

Copyright© 2024 The Author. Published by Galenos Publishing House on behalf of Turkish Nuclear Medicine Society.
This is an open access article under the Creative Commons AttributionNonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

tespitinde yöntemin duyarlılığı %86-88 ve özgüllüğü %74-76 düzeyindedir (2). MPS, kardiyak açıdan değerli bilgiler sunan bir tanı yöntemi olmakla birlikte karmaşık bir fizyolojik süreci içermektedir. Bu süreç, hasta hazırlığı aşamasından görüntülerin yorumlanmasına kadar uzanan birçok basamaktan oluşmaktadır. Her basamakta zaman zaman birbiri ile ilişkili durumları da içerecek şekilde karşımıza çıkabilecek potansiyel tuzaklar ve artefaktlar, KAH değerlendirilmesinde yanlış pozitif ve negatif durumların gözden kaçmasına neden olabilmektedir. MPS'nin değerlendirilmesinde hatalara neden olabilecek durumlar ayrıntılı olarak Tablo 1'de verilmiş olup, genel olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır:

I. Görüntüleme öncesi karşılaşılan sorunlar,

II. Tetkik protokolü, görüntüleme ve veri işleme ile ilgili sorunlar,

III. Hasta ile ilişkili sorunlar,

IV. Kalp ile ilişkili özel durumlar/normal varyantlar.

Bu makalede, MPS'nin yorumlanmasında hataya neden olabilecek potansiyel tuzak ve artefaktlar hakkında farkındalık oluşturulması ve mümkün olan durumlarda alınabilecek önlemlerin gözden geçirilmesi amaçlanmıştır.

I. Görüntüleme Öncesi Karşılaşılan Sorunlar

Görüntüleme öncesi karşılaşılan sorunlar, hasta hazırlığı, uygun efor yönteminin belirlenmesi ve

uygulanması, radyofarmasötik hazırlanması ve enjeksiyon ile ilgili süreçlerde karşımıza çıkmaktadır.

I.A. Hasta Hazırlığı

Görüntüleme öncesi hasta ile ilgili hazırlıkların doğru olarak yapılması, optimal bir MPS çalışmasının ilk adımıdır. Bağırsak aktivitesine bağlı artefaktların minimum düzeye indirilebilmesi ve egzersiz testi ile efor uygulanabilmesi için merkezlerin tercihine bağlı olarak değişmekle birlikte hastaların oral alımının test öncesi en az 4 saat süre ile kesilmesi önerilmektedir (3,4). Diyabet gibi kan glukozunun düzenlenmesinde problem yaratacak durumların varlığında 4 saatlik açlık yeterlidir. Egzersiz testi için hastalar rahat kıyafet ve ayakkabılar giymelidir. Hastanın üzerinde taşıdığı görüntüleme alanı dahilindeki metal cisimler artefakta neden olabileceği için görüntüleme öncesinde mutlaka çıkarılmalıdır.

I.B. Kardiyak Efor Tercih

Hastada efor görüntülerinin elde edilmesi için egzersiz veya farmakolojik ajan kullanımına karar verilmesi gerekmektedir. Uygulanacak efor tipine göre değişiklik göstermekle birlikte, sevk eden hekimin bilgisi dahilinde olmak şartıyla bazı ilaçların kesilmesi (nitratlar, beta blokörler, kalsiyum antagonistleri, dipiridamol, kafein ve metilksantin içeren ilaçlar) çalışmanın KAH tanısındaki duyarlılığını artıracaktır (4). Egzersiz testi için kafein içerikli

Tablo 1. MPS'nin değerlendirilmesinde hataya neden olabilecek en sık artefakt nedenleri

Görüntüleme öncesi karşılaşılan sorunlar	Hasta hazırlığı
	Kardiyak efor tercihi
	Radyofarmasötik hazırlanması ve enjeksiyon
Tetkik protokolü, görüntüleme ve veri işleme ile ilgili sorunlar	Görüntüleme zamanı
	Gating
	Kalite kontrol
Hasta ile ilişkili sorunlar	Veri işleme
	Subdiyafragmatik aktivite
	Hasta hareketi
	Atenüasyonlar
Kalp ile ilişkili özel durumlar/normal varyantlar	Göğüs duvarının morfolojisi
	Sol dal bloğu
	Kardiyomiyopatiler
	Dekstroardi
	Normal varyantlar
	Kardiyak konjenital anomaliler (miyokardiyal/ventriküler/vasküler)
MPS: Miyokart perfüzyon sintigrafisi	

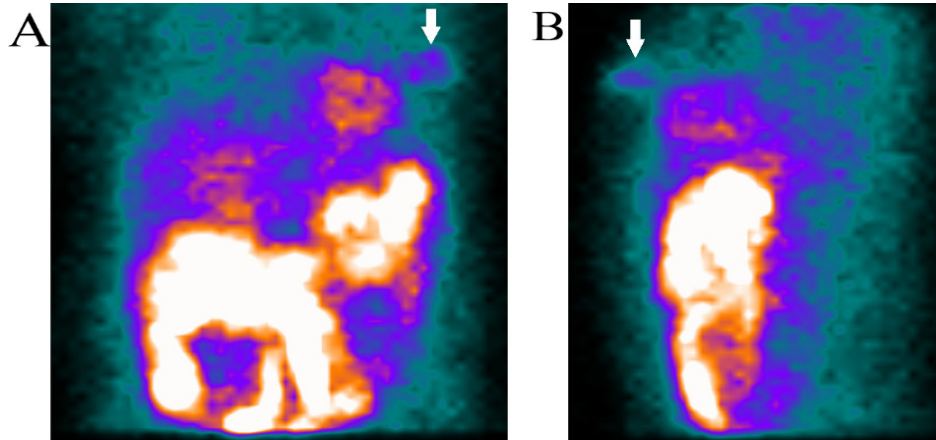
gıdaları kesmek zorunlu değildir, ancak farmakolojik teste geçiş ihtimali nedeniyle en az 12 saat kafein alınmaması tercih edilir. Egzersiz testi yapılacaksa, hastanın maksimum kalp hızına ulaşmayı engelleyebilecek tedavileri (nitratlar, beta blokörler, kalsiyum antagonistleri) uygun sürelerde bırakması önerilir (4). Egzersiz testi için, yaşa göre hesaplanan maksimum kalp atım hızının en az %80-85'ine ulaşılmadan önce herhangi bir nedenle egzersiz testinin sonlandırılması durumunda iskemik alanların tespitinde testin hassasiyeti azalmaktadır (3). Egzersiz testinde semptom oluşması (anjina, dispne, senkop, ST segment yükselmesi/çökmesi, vb.) önemli bir sonlandırma kriteri olmakla birlikte, METs (*Metabolic Equivalents* - Metabolik Eşdeğer) kriterleri üzerinden değerlendirme de önemlidir. İdeal bir stres testi için 10 METs ve üzeri efora ulaşılmış olması durumunda prognoz oldukça iyidir; miyokart infarktüsü (MI) sonrası hastalarda 5 METs altındaki egzersiz kötü prognoz işareti olarak değerlendirilir (4). Radyofarmasötik enjeksiyonu sonrası mümkünse egzersize maksimum seviyede en az 1-2 dakika devam edilmesi gerekmektedir. Yaşa göre hesaplanan maksimum kalp atım hızına ulaşacak düzeyde fiziksel efor sağlayamayacağı düşünülen hastalar için farmakolojik efor kullanımı tercih edilmelidir. Kafein ve metilksantinler, arteriyel düz kas hücrelerindeki adenozin reseptörleri üzerinde bloke edici etkileri nedeniyle vazodilatör ajanların etkilerini azaltmaktadır. Bu nedenle, MPS çalışmasında farmakolojik efor amacı ile adenozin veya dipiridamol gibi vazodilatör ajanlar kullanılacaksa, kafein içeren ilaç ve gıdaların test öncesi 12 saat, metilksantin içeren ilaçların ise 5 yarı ömür süresince kesilmesi gereklidir (4,5).

I.C. Radyofarmasötik Hazırlanması ve Enjeksiyon

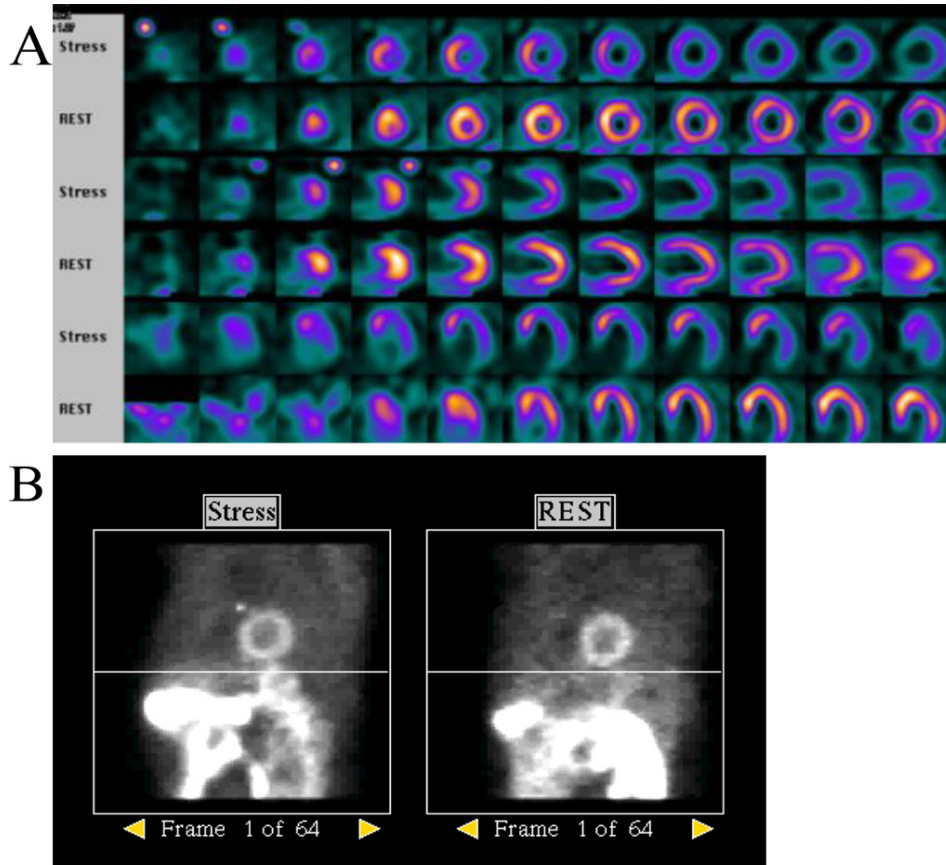
Tetkinin hazırlık aşamasında karşılaşılabilecek potansiyel artefakt nedenleri arasında radyofarmasötik hazırlanması ve enjeksiyon süreci ile durumlar da bulunmaktadır. Teknesyum 99m-Sestamibi (Tc-99m MIBI), Teknesyum-99m Tetrofosmin (Tc-99m TF) ve Talyum-201 (TI-201), MPS için yaygın olarak kullanılan radyofarmasötiklerdir. Radyofarmasötik aktivitesi hastanın vücut tipi, ağırlığı, görüntüleme protokolü, gama kamera tipi ve yazılım programı gibi faktörlere bağlı olarak değişmekle birlikte, uygun radyofarmasötik dozları kılavuzlarda belirtilmiştir (4). Bununla birlikte, merkezlerin tercihine göre hasta ağırlığı üzerinden de doz hesaplaması yapılabilir. Radyofarmasötiklerin hazırlanması aşamasında uyulması gereken kurallar

farklılık gösterebilir, bu açıdan talimatlara uygun hareket edilmesi önemlidir. Serbest perteknetat oranının yüksek olması, aktif radyofarmasötik dozunda azalmaya neden olabileceği için ilgili personel tarafından gerekli titizliğin gösterilmesi testin hassasiyeti açısından elzemdir. Radyofarmasötüğün ekstravazasyonunu engellemek için intravenöz kateter kullanılmalı ve radyofarmasötik enjeksiyonu deneyimli personel tarafından yapılmalıdır. Ekstravazasyon şüphesi varsa enjeksiyon bölgesinden elde edilecek statik görüntünün değerlendirilmesi gerekebilir. Radyofarmasötüğün ekstravazasyonu durumunda miyokart dokusundaki sayım istatistiği azalacağından düşük tetkik kalitesi ile sonuçlanacaktır (6). Ayrıca, uygulanan protokolden bağımsız olarak efor esnasında uygulanan radyofarmasötüğün ekstravazasyonu nedeniyle dolaşımda sürekli radyofarmasötik bulunması olası iskeminin maskelenmesine ve yalancı negatifliğe yol açacaktır. Radyofarmasötik ekstravazasyonuna bağlı başka bir problem de lenf nodu tutulumu nedeniyle malignite kuşkusuna neden olmasıdır (7,8). Miyokart dokusu dışında, özellikle görüntüleme alanı dahilindeki meme dokusunda radyofarmasötik tutulumu tespit edilmesi durumunda olası maligniteler açısından dikkatli değerlendirme önem taşımaktadır. Miyokart ile yakın komşuluklu sol meme parankiminde Tc99m MIBI tutulumu izlenen ve MPS sonrası meme karsinomu tanısı alan bir hastaya ait görüntüler Şekil 1'de verilmiştir. Radyofarmasötik kontaminasyonu da benzer bulgulara neden olabileceğinden dikkatle değerlendirilmelidir. Ayrıca aktivitenin yoğunluğu ve kalbe yakınlığı ölçüsünde rekonstrüksiyon sonrası, perfüzyon değerlendirmesinde yalancı pozitif ve negatif sonuçlara yol açabilir. Kontaminasyon kuşkusuna mevcutsa hastanın kıyafetlerinden statik görüntü alınmalı, gerekli ise kontamine kıyafet çıkarılarak kardiyak görüntüler tekrarlanmalıdır. Radyofarmasötik kontaminasyonu bulgusu izlenen bir hastaya ait görüntüler Şekil 2'de verilmiştir.

Enjeksiyon aşamasında probleme neden olacak başka bir durum ise hastanın mevcut santral venöz kateterinden radyofarmasötüğün enjekte edilmesidir. Bu durumda santral venöz kateter rezervuar görevi görerek miyokarda ulaşan radyofarmasötik dozunun düşük olmasına ve dolayısıyla ekstravazasyona benzer problemlere neden olacaktır. Santral venöz kateter kullanımından mümkün olduğunca kaçınılması, mutlak gerekli olduğu durumda ise radyofarmasötik enjeksiyonu sonrası kateterin bol



Şekil 1. MPS anterior (A) ve lateral (B) projeksiyon ham data görüntüleri verilen kadın hastada miyokart komşuluğundaki sol meme parankiminde belirgin fokal Tc-99m MIBI tutulumu izlenmektedir (beyaz ok). Görüntüleme sonrası yapılan meme USG incelemede, sol meme retroareolar bölgeden üst kadrana uzanan 6,5x4 cm boyutlu düzensiz sınırlı kitle saptanmış olup, kitleden alınan doku örneğinin histopatolojik incelemesi sonucu hasta invaziv duktal meme karsinomu tanısı almıştır
MPS: Miyokart perfüzyon sintigrafisi, USG: Ultrasonografi, Tc-99m MIBI: Teknesyum 99m-sestamibi



Şekil 2. Efor ve istirahat sonrası kısa eksen, vertikal ve horizontal uzun eksen görüntüleri (A) ile ham data görüntüleri (B) verilen hastada, efor sonrası görüntülerde (üst sıra) apikal düzeyde daha belirgin olmak üzere anteroseptal duvar komşuluğunda fokal karakterde radyofarmasötik akümüasyonu izlenmektedir. İstirahat görüntülerinde (alt sıra) tanımlanan alanda radyofarmasötik tutulumu izlenmemiş olup, bulgular kontaminasyon ile uyumludur

miktarda serum fizyolojik verilerek mümkün olduğunca boşaltılması gereklidir.

MPS'de görüntüleme öncesi aşamada artefakta neden olabilecek sorunlar genel olarak Tablo 2'de özetlenmiştir.

II. Tetkik Protokolü, Görüntüleme ve Veri İşleme ile İlgili Sorunlar

Görüntüleme sürecindeki zamanlama ve hataları, kalite kontrol ve veri işleme sürecindeki sorunlar da artefaktlara ve yorumlamada güçlükler neden olabilir.

II.A. Görüntüleme Zamanı

Kullanılan radyofarmasötik ajana bağlı olarak görüntülemenin kılavuzlarda belirlenen sürelerde yapılması tetkikin doğru ve hatasız yorumlanması açısından önemli bir faktördür. Talyum-201 kullanılması durumunda, redistribüsyon özelliği nedeni ile efor sonrası görüntülemenin enjeksiyon sonrası 15 dakikada içerisinde başlaması gereklidir. Erken görüntüleme, iskemik perfüzyon defektlerinin gözden kaçmasına neden olabilir. Talyum-201 için efor sonrası görüntülemenin tekrarı mümkün değildir. Teknesyum ajanları ile görüntüleme ise (Tc-99m MIBI, Tc-99m TF) gerekli durumlarda geç görüntüleme yapılabilir (4).

II.B. Gated Tek Foton Emisyon Bilgisayarlı Tomografi (SPECT) Görüntüleme

Gated SPECT çalışma günümüzde artık standart bir görüntüleme yöntemi olarak kabul görmüş olup, bölgesel ve global sol ventrikül fonksiyonunun değerlendirilmesine izin vermesi ve bazı artefaktları gerçek perfüzyon anormalliklerinden ayırt etmeye yardımcı olması gibi

avantajları vardır. Doğru gated verilerinin elde edilmesi için elektrotların doğru yerleştirilmesi ve görüntüleme öncesi elektrotların teması açısından dermal alanda yeterli bölgesel temizlik yapılması gereklidir. Optimal inceleme için kalp ritminin düzenli olması önemlidir. Görüntüleme esnasında ortaya çıkan aritmiler yetersiz sayım istatistiği nedeni ile duvar hareketleri, duvar kalınlaşması ve ejeksiyon fraksiyonu (EF) değerlendirilmesinde hatalar ile sonuçlanabilir. Bu nedenle, atriyal fibrilasyon, sinüs aritmisi veya sık ventriküler prematür ritimlerde gated verilerinin güvenilir olmayacağı değerlendirilmede göz önünde bulundurulmalıdır (9,10). Derivasyonlarda R dalgasının diastol sonunu doğru temsil edecek şekilde yerleştirildiğine dikkat etmek önemlidir. T dalgalarının sivriligi durumunda EKG'de R dalgaları ile karışabileceğinden veya düşük amplitüdü R dalgası dalgası varlığında tespit edilmesi zor olacağından gated verileri yanıltıcı olabilmektedir. Gated görüntülemede R-R pencere aralığı kabulü açısından görüş birliği olmamakla birlikte, fizyolojik veri eldesi açısından mümkün olduğunca dar pencere aralığı önerilmektedir (4). Klasik olarak kalp hızından %30-40 sapmaların fonksiyonel değerlendirmenin dışında bırakılması önerilmektedir; ancak bu veriler perfüzyon değerlendirmesi için kullanılabilir. Doğru ve güvenilir sol ventrikül EF ölçümü için kabul edilen düzenli kalp atım sayısı en az toplam kalp atımının %80'i olmalıdır (4).

II.C. Kalite Kontrol

Gama kamera performansının en üst düzeyde sağlanmasının görüntünün doğruluğu ve kalitesi açısından

Tablo 2. MPS'de görüntüleme öncesi karşılaşılan artefakt nedenleri

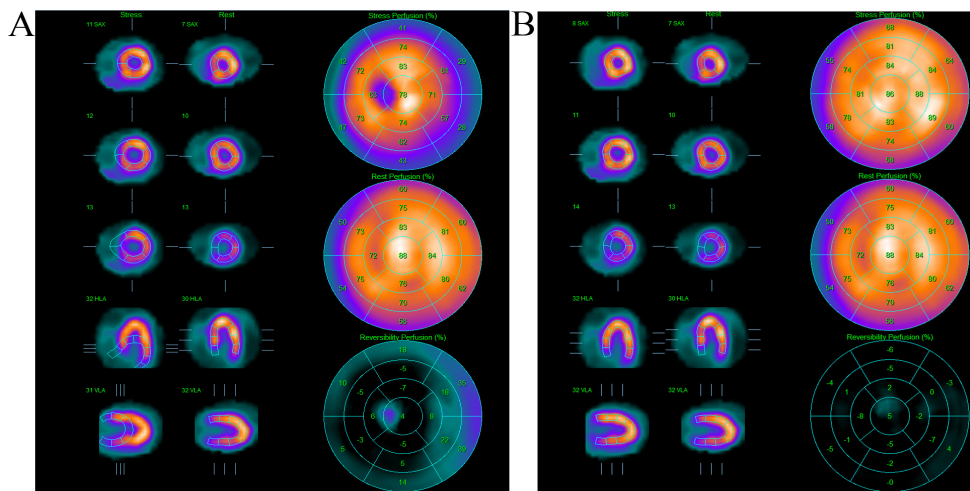
	Sorun	Çözüm/öneri
Hasta hazırlığı	Bağırsak aktivitesi	Oral alımın kesilmesi
		Hasta mobilizasyonu
		Su, soda
	Safra kesesi	Yağlı gıda
	Metalik cisim artefaktı	Metalik cisimlerin çıkarılması
Kardiyak efor tercihi	Fiziksel/farmakolojik efor etkinliği	-Klinik duruma göre uygun endikasyon ile stres testi (4) -Etkisi bulunan ilaç/gıdaların uygun sürelerde kesilmesi
Radyofarmasötik hazırlanması/ enjeksiyon	Radyofarmasötik kalitesinin ve dozunun uygun olmaması Ekstravazasyon Kontaminasyon	-Radyofarmasötik hazırlık aşamasında talimatlara uyulması -Uygun doz hesabı -İntravenöz kateter kullanımı -Santral venöz kateter kullanımından kaçınılması
MPS: Miyokart perfüzyon sintigrafisi		

vazgeçilmez bir unsur olduğu gerçeği dikkate alındığında kalite kontrol testlerinin kılavuzlara ve talimatlara uygun şekilde ve aksatılmadan uygulanmasının önemi aşikardır. Aylık veya haftalık yapılması gereken testler olduğu gibi, homojenite testi gibi günlük testler de görüntüleme kalitesi ve olası artefaktlar açısından önem arz etmektedir. Homojenite testindeki problemler genellikle ring artefaktı ile sonuçlanmakta olup, testte problem tespit edilmesi durumunda görüntüleme iptal edilmelidir (11). SPECT görüntüleme, planar incelemeye kıyasla bazı ek testlerin uygulanmasını gerektirmektedir. Rekonstrükte edilmiş görüntüler açısından SPECT görüntülemeye en sık probleme neden olan kalite kontrol testleri arasında tomografik üniformite, dönme merkezi ve multidetektör kayıt testleri bulunmaktadır. Tomografik üniformite testindeki problemler ilgili kısımda defektlere neden olurken, multidetektör kayıt testindeki problemler miyokart duvarında karşılıklı defektler şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Dönme merkezi testindeki problemler ise sıklıkla tomografik verilerin hatalı görüntü kaydına, görüntünün bulanıklaşmasına ve apikal defekt görünümüyle birlikte anterior ve inferior miyokardiyal duvarların belirgin şekilde yanlış hizalanmasına neden olmaktadır. Dönme merkezindeki sağa sapmalar inferoapikal duvarda, sola sapmalar ise anteroapikal duvarda defekt alanları yaratır (12,13). Hastalar istirahat ve egzersiz sonrası görüntülemeye gama kamera alanı içinde farklı şekilde konumlandırılırsa miyokardın farklı kısımlarında geri dönüşümlü veya kısmen geri dönüşümlü

defektleri taklit eden artefaktlar meydana gelebilir. Kalite kontrol testlerinin uygulama sıklığı ve prosedürler ile ilgili ayrıntılı bilgiler kılavuzlarda belirtilmiş olup, olası artefaktlar açısından dikkatle uygulanmaları gereklidir (14).

II.D. Veri İşleme

Veri işleme sürecinde kısa eksen, vertikal ve horizontal uzun eksen görüntüleri ve polar harita kullanıcının apeks-bazal sınırlarının belirlenmesi ve eksen seçimine göre oluşturulmaktadır. Polar harita, iskemi ve infarkt yayılımının görsel, semikantitatif ya da kantitatif değerlendirilmesinde pratik kolaylık sağlamakla birlikte, doğru rekonstrüksiyon için uygun apeks- bazal seçimi esastır. Efor sonrası görüntülerde miyokardiyal kontürlerin ve apeks- bazal düzeylerinin yanlış belirlenmesi sonucu polar haritada apikoseptal duvarda artefaksiyel olarak efor iskemisi ile uyumlu bulgular izlenen bir hastaya ait görüntüler Şekil 3'te verilmiştir. Veri işleme aşamasında tüm miyokardın kesitlere dahil edilmemesi ve eksen açılarının yanlış olarak belirlenmesi durumunda yorumlamada ciddi hatalar oluşabilir. Veri işleme esnasında eksen açısının yanlış belirlenmesi sonucu yanlış pozitif efor iskemisi lehine değerlendirilebilecek MPS bulguları olan bir hastaya ait görüntüler Şekil 4'te sunulmuştur. Veri işleme süreci için tasarlanan yazılımlar en yoğun sayım istatistiği alınan bölgeye göre normalizasyon prensibine göre çalıştığından, verilerin doğru işlenebilmesi için seçilen bölgenin doğru miyokart alanını içermesi önemlidir. Miyokart ile yakın komşuluklu



Şekil 3. Efor sonrası görüntülerde apeks- bazal seçiminin doğru yapılamaması nedeniyle midventriküler düzeyde belirgin olmak üzere apikoseptal duvarda artefaksiyel iskemi bulgusu izlenen hastaya ait görüntüler A'da verilmiştir. Doğru apeks - bazal seçimi sonrası elde edilen görüntülerde tüm duvarlarda normal sınırlarda perfüzyon dağılımı izlenmektedir (B)

veya bitişik ekstrakardiyak aktivite olması durumunda miyokart dokusunun sınırlarının belirlenmesi zor ve zaman zaman imkansız olabilir ve bilgisayar bu alanı yanlış bir şekilde miyokart dokusu olarak algılayabilir. Bu durum perfüzyon verilerinin hatalı yorumlanmasına neden olabileceği gibi, sol ventrikülün sistol ve diyastol sonu sınırlarının belirlenmesinde de etkili olacağından yanlış EF değerleri ile karşılaşılması muhtemeldir. Veri işleme sürecinde ve görüntülerin yorumlanması aşamasında ekstrakardiyak aktiviteye bağlı artefaktlar açısından çalışmanın titizlikle değerlendirilmesi, tanımlanan durumlardan kaynaklanabilecek hataların önüne geçilmesi açısından oldukça önemlidir (6).

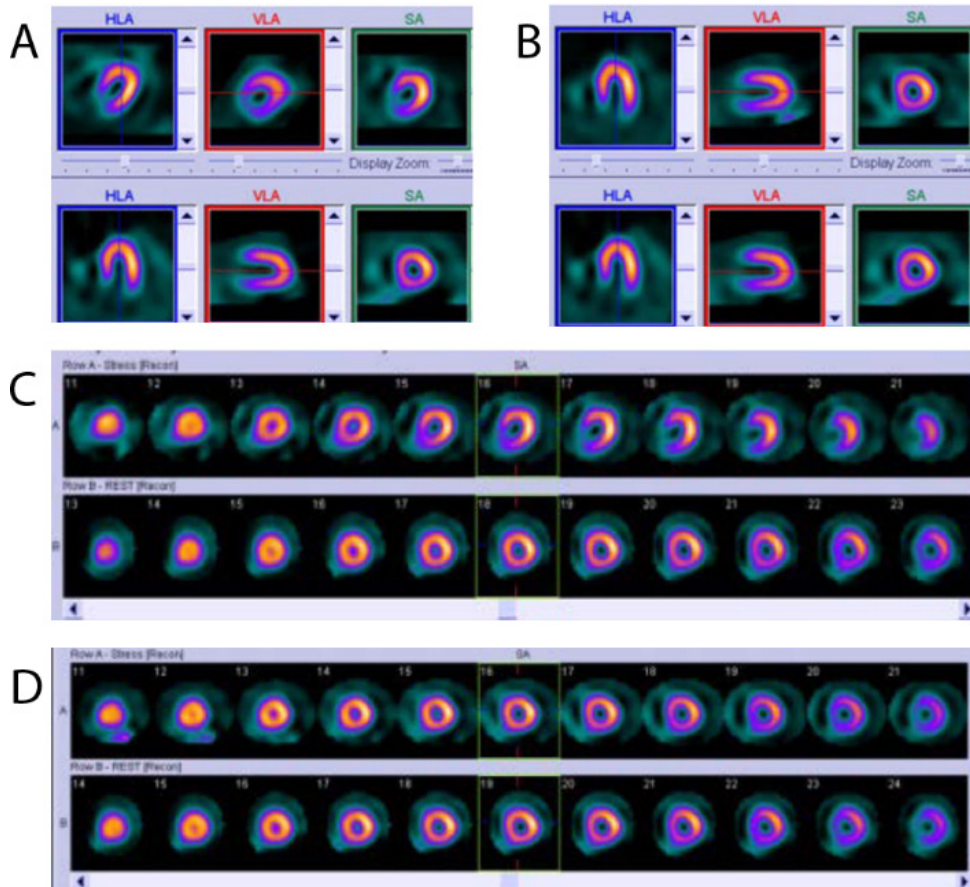
Tetik protokolü, görüntüleme veya veri işleme aşamalarında artefakta neden olabilecek durumlar ve çözüm önerileri Tablo 3'te özetlenmiştir.

III. Hasta ile İlişkili Sorunlar

Hasta ile ilişkili sorunlar genel olarak hastanın görüntüleme esnasında hareket etmesinden veya doku atenüasyonlarına bağlı artefaktlardan kaynaklanmaktadır.

III.A. Subdiyafragmatik Aktivite

Kalp ile yakın komşuluklu subdiyafragmatik organlardaki fizyolojik aktiviteler artefakt ile sonuçlanabilir. Subdiyafragmatik aktivite radyofarmasötüğün hepatobiliyer atılımı ile ilişkili olup, komşuluğundaki inferior duvarın perfüzyonunun yanlış olarak (azalmış ya da artmış) değerlendirilmesine neden olabilir (15,16). Radyofarmasötüğün hepatobiliyer atılımına bağlı aktivite dışında, mide mukozasındaki serbest Teknesyum-99m perteknetat aktivitesi veya aktivitenin duodenumdan mideye reflüsü durumlarında da alt duvarda atenüasyon artefaktları oluşabilmektedir (6). Nadiren de olsa hiatal herni gibi durumlarda ise lateral duvar da etkilenebilir.



Şekil 4. Efor sonrası görüntülerde veri işleme esnasında miyokardiyal aksın yanlış belirlenmesi sonucu (A), kesitsel görüntülerde inferoseptal ve septal duvarlarda yanlış pozitif iskemi bulgusu (C). Efor sonrası görüntülerde doğru aks açısının seçilmesi sonrası (B), aksiyel kısa eksen, vertikal ve horizontal uzun eksen kesitlerinde tüm duvarlarda normal sınırlarda miyokardiyal perfüzyon dağılımı (D)

Tablo 3. MPS görüntülemeye tetkik protokolü, görüntüleme ve veri işleme ile ilgili sorunlar

	Sorun	Çözüm/öneri
Görüntüleme zamanı	İskemik defektlerin gözden kaçması	Radyofarmasötik seçimine uygun zamanlama ile görüntüleme yapılması
EKG-gating	Yetersiz sayım istatistiği	Yeterli bölgesel temizlik ile elektrodların temasının sağlanması Aritmisi olan hastalarda gated çalışmadan kaçınılması
Kalite kontrol	İskemi veya infarktı taklit eden defekt alanları	Testlerin kılavuzlarda belirtildiği şekilde ve sürede uygulanması
Veri işleme	İskemi veya infarktı taklit eden defekt alanları	Kardiyak sınırların ve eksen açılarının doğru belirlenmesi
MPS: Miyokart perfüzyon sintigrafisi, EKG: Elektrokardiyografi		

Subdiyafragmatik aktivite, iki şekilde atenüasyona neden olabilir. Birinci durumda, subdiyafragmatik aktivitenin saçılımı ve/veya alt duvar alanının olduğundan daha geniş olarak algılanmasına bağlı alt duvar aktivitesi olduğundan yüksek olarak algılanabilir ki bu durum olası alt duvar defekt alanlarının gözden kaçması veya normalizasyon hatalarına bağlı olarak diğer duvarların perfüzyonunun yanlış yorumlanması ile sonuçlanır. İkinci durumda ise subdiyafragmatik yüksek aktivite nedeni ile komşu miyokart dokusunda hipoperfüzyon görünümü oluşabilir (6). Bu durum, SPECT çalışmasında filtrelenmiş geri projeksiyonun yeniden oluşturma algoritmasında yıldız artefaktlarının sınırlandırılması ile ilişkilidir. Subdiyafragmatik aktivite, komşu miyokardiyumda artmış veya azalmış aktivite ile sonuçlanabileceği gibi her iki etki bir arada da bulunabilir. Dolayısıyla fiks veya geri dönüşümlü defektler şeklinde karşımıza çıkabilir. Subdiyafragmatik aktiviteyi engellemek veya azaltmak için bazı yöntemler kullanılmaktadır. Örneğin, radyofarmasötik enjeksiyonundan sonra hastaya süt veya çikolata gibi yağlı yiyecekler verilerek karaciğerdeki aktivite azaltılabilir, safra kesesi boşaltılabilir; görüntüleme öncesi soda veya su içirilerek mide aktivitesinin temizlenmesi sağlanabilir (17,18,19). Subdiyafragmatik organları kalpten uzaklaştırmak için pron görüntüleme yapılabilir (20). Farmakolojik stres ajanları kullanılan hastalarda düşük seviyeli egzersizin farmakolojik strese eklenmesi ile iskelet kası kan akımı artırılarak splanknik kan akımının ve komşu subdiyafragmatik aktivitenin azaltılması sağlanabilir. En önemli yaklaşımlardan birisi de radyofarmasötüğün enjeksiyonu ile görüntüleme arasında uygun bekleme süresi ile subdiyafragmatik aktivitenin temizlenmesine imkan sağlamaktır. İstirahat görüntülerinde belirgin subdiyafragmatik aktivite izlenen bir hastaya ait görüntüler Şekil 5'te verilmiştir.

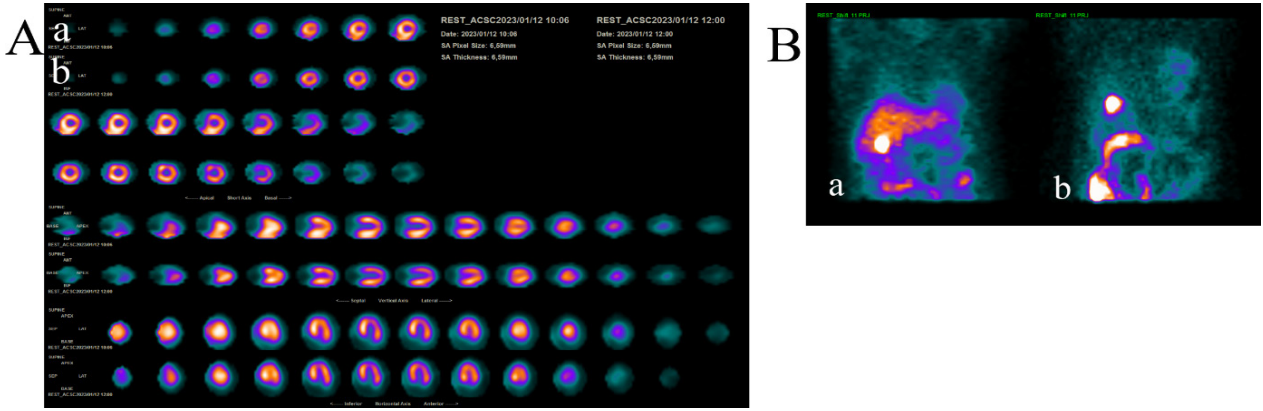
III.B. Hasta Hareketi

Görüntüleme esnasındaki hasta hareketi MPS'de sık karşılaşılan bir sorundur. Hareketin büyüklüğü, düzlemi, görüntülemenin hangi aşamasında meydana geldiği gibi bazı parametreler artefakt oluşumunda önemlidir. Hastanın 0,5 piksellik (3,25 mm) hareketi tespit edilebilir bir kusura neden olmazken, 1 piksellik hareket tespit edilebilir bir kusura neden olabilir, ancak bunun nadiren klinik olarak anlamlı olduğu bildirilmektedir. İki veya daha fazla piksellik hareket ise hastaların yaklaşık %5'inde klinik olarak anlamlı olabilecek tespit edilebilir bir artefakta neden olmaktadır (21). Aksiyel yöndeki hareketin lateral harekete kıyasla daha önemli olduğu, görüntülemenin ortalarında ve ani oluşan hareketin ise çalışma başlangıcına veya bitişine yakın zamanda gerçekleşen kademeli harekete kıyasla daha önemli artefaktlar ile sonuçlandığı bildirilmektedir (21,22). Şekil 6'da hasta hareketi nedeniyle oluşan artefaksiyel iskele bulgusuna ait görüntüler verilmiştir.

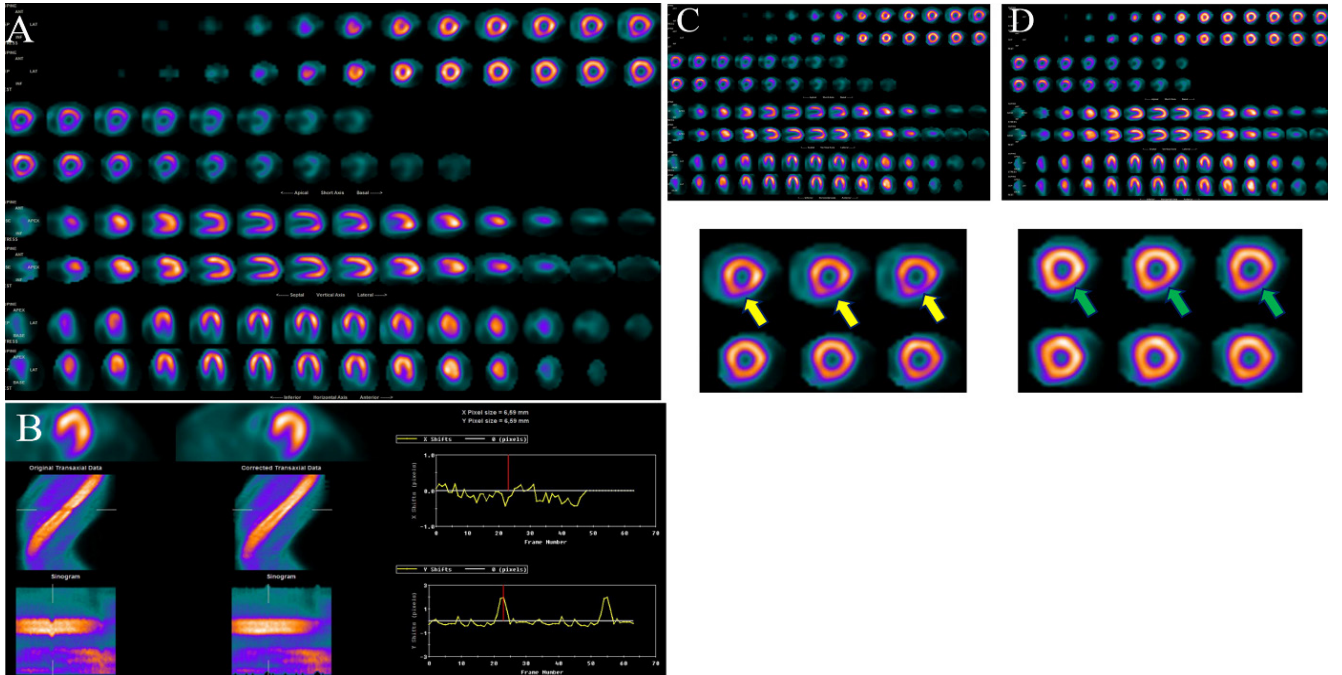
Kardiyak tırmanma hareketi (upward creep), radyofarmasötik ajan olarak TI-201 kullanılan, egzersiz sonrası erken dönemde (<5 dakika) görüntüleme yapılan, anksiyeteli ve derin solunum yapan özellikle kadın hastalarda sık olarak izlenmektedir (23). Egzersiz ile birlikte akciğer hacmindeki artış kalbin inferiora doğru yer değiştirmesine neden olmakta, istirahat durumunda ise kalp normal pozisyona dönmektedir. Bu durum, inferior ve inferoseptal duvarda, istirahat halinde normale dönen perfüzyon defekti görünümüne neden olmaktadır. TI-201 kullanılan hastalarda egzersiz sonrası kalp hızının bazal düzeye indiği en erken dönemde ve tercihen 10 dakikadan kısa sürede, Tc-99m ajanları için 30-60 dakikalık süre içerisinde görüntülemenin başlaması önerilmektedir (3,4). SPECT ham görüntülerin incelenmesi, kardiyak tırmanma hareketinin fark edilmesi açısından önemlidir.

Multidetektör gama kamera sistemleri çekim süresini göreceli kısalttığı için hasta hareketinin azaltılması açısından faydalı olabilir ancak hasta hareketinin her bir kamerada ayrı ayrı kaydedilmesi nedeniyle dezavantaj oluşturabileceği dikkate alınmalıdır (24).

Teknisyen tarafından hastanın görüntüleme öncesi yeterli konforunun sağlanması ve süreç boyunca dikkatle izlenmesi gereklidir. Pron pozisyonda alınan görüntülerde hasta hareketinin daha az olduğu bilinmektedir (25). Tüm bu adımlara ek olarak, görüntüleme sonrasında teknisyen



Şekil 5. İstirahat sonrası standart ve geç görüntüleme aksiyel kısa eksen, horizontal-vertikal uzun eksen görüntüleri (A-a standart görüntüleme, A-b geç görüntüleme) ve ham data görüntüleri (B-a standart görüntüleme, B-b geç görüntüleme) verilen hastada, standart görüntülerde belirgin subdiyafragmatik aktiviteye bağlı inferior ve septal duvarda perfüzyonda güçlenme; geç görüntüde normal sınırlarda miyokardiyal perfüzyon dağılımı



Şekil 6. Kırk dört yaşındaki erkek hastada, efor sonrası (A-üst sıra) ve istirahat halinde (A-alt sıra) elde edilen standart kesitsel görüntülerde midventriküler düzeyde daha belirgin olmak üzere inferolateral duvarda efor iskemisi bulguları mevcuttur. Sinogram ve linogram eğrilerinin değerlendirilmesinde efor sonrası görüntüleme hasta hareketi saptanmış olup, hareket düzeltilmesi öncesi ve sonrası eğriler B'de verilmiştir. Standart görüntülerde iskemi bulgusu izlenen inferolateral duvarda (C, ok), hareket düzeltilmesi sonrasında perfüzyon tamamen normale dönmektedir (D, ok)

tarafından sine modda ham görüntüler gözden geçirilerek olası hasta hareketi mutlaka değerlendirilmeli ve gerekli durumda ek görüntüleme yapılmalıdır.

III.C. Atenüasyon Artefaktları

Fotonların dokular tarafından zayıflatılması MPS'de sık karşılaşılan artefakt nedenlerinden birisidir. Görüntüleme alanı dahilindeki kalp pili, şant rezervuarları ve fiksatorler gibi dış materyaller artefaksiyel görüntüleme neden olabileceği gibi, meme, diyafragma ve yağ gibi fizyolojik dokular da atenüasyon nedeni olabilir. Meme dokusu en sık olarak anterior duvarda, diyafragma ise inferior duvarda atenüasyon defekti oluşturmakta olup, lateral göğüs duvarındaki yağ dokusuna bağlı artefaktlar da karşımıza çıkmaktadır (6). Cinsiyete bağlı olarak artefaktların sık izlendiği alanlara ait (erkeklerde diyafragma, kadınlarda meme dokusu) normal veri tabanı bilgileri veri işleme sürecinde kantitatif programlar tarafından kullanılarak gerekli düzeltmeler yapılmaktadır. Hastanın cinsiyetinin sisteme doğru olarak girilmesi bu açıdan önem taşımaktadır. Örneğin, erkek hastanın cinsiyetinin sisteme yanlışlıkla kadın olarak kayıt edilmesi durumunda, inferior duvarda yeterli atenüasyon düzeltmesi uygulanmayacağından bu alanda defektif görünüm karşımıza çıkabilir.

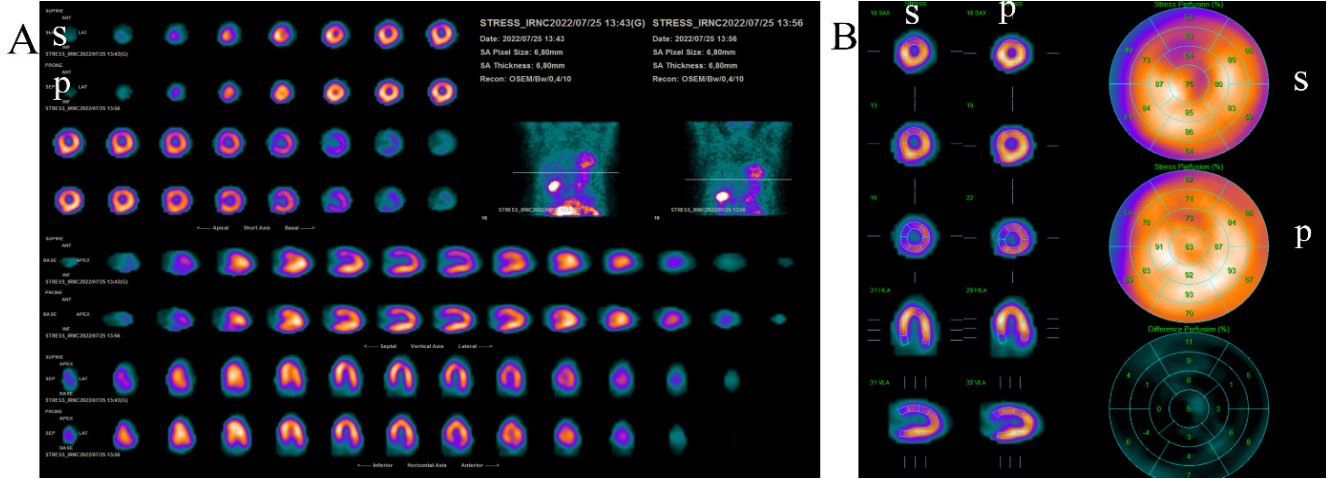
Radyofarmasötik olarak Tl-201 kullanılması durumunda, Tc-99m ajanlarına kıyasla daha düşük sayım istatistikleri elde edilmesi ve göreceli düşük emisyon enerjisi nedeni ile artefakt oluşumu da ciddi problemler yaratmaktadır. Tl-201'in atenüasyon katsayısı Tc-99m ile kıyaslandığında yaklaşık %19 daha fazla olup, 10 cm kalınlığındaki yumuşak dokudan geçen ışınların yaklaşık %30 oranında daha fazla atenüasyonu ile sonuçlanır (6).

Meme dokusuna bağlı artefaktlar sıklıkla anterior duvarda etkili olmakla birlikte, memenin pozisyonuna bağlı olarak lateral duvarda, septumda ve apekte de defekt alanları şeklinde izlenebilir. Meme atenüasyonu genellikle fiks karakterde perfüzyon defektine neden olmakla birlikte, efor ve istirahat görüntüleme esnasında meme konumlanmasının farklı olması durumunda geri dönüşümlü perfüzyon defektine neden olarak iskemi ile de karışabilir veya ters redistribüsyon paternine de yol açabilir. Bu nedenle, görüntüleme esnasında meme pozisyonu açısından hastanın ilgili personelin dikkatli olması önemlidir. Atenüasyon defektlerinin gerçek defekt alanlarından ayırt edilmesi zaman zaman zor olabilir ancak bazı ipuçları yol göstericidir. Örneğin, duvar hareketlerinin ve kalınlaşmanın normal sınırlarda olduğu

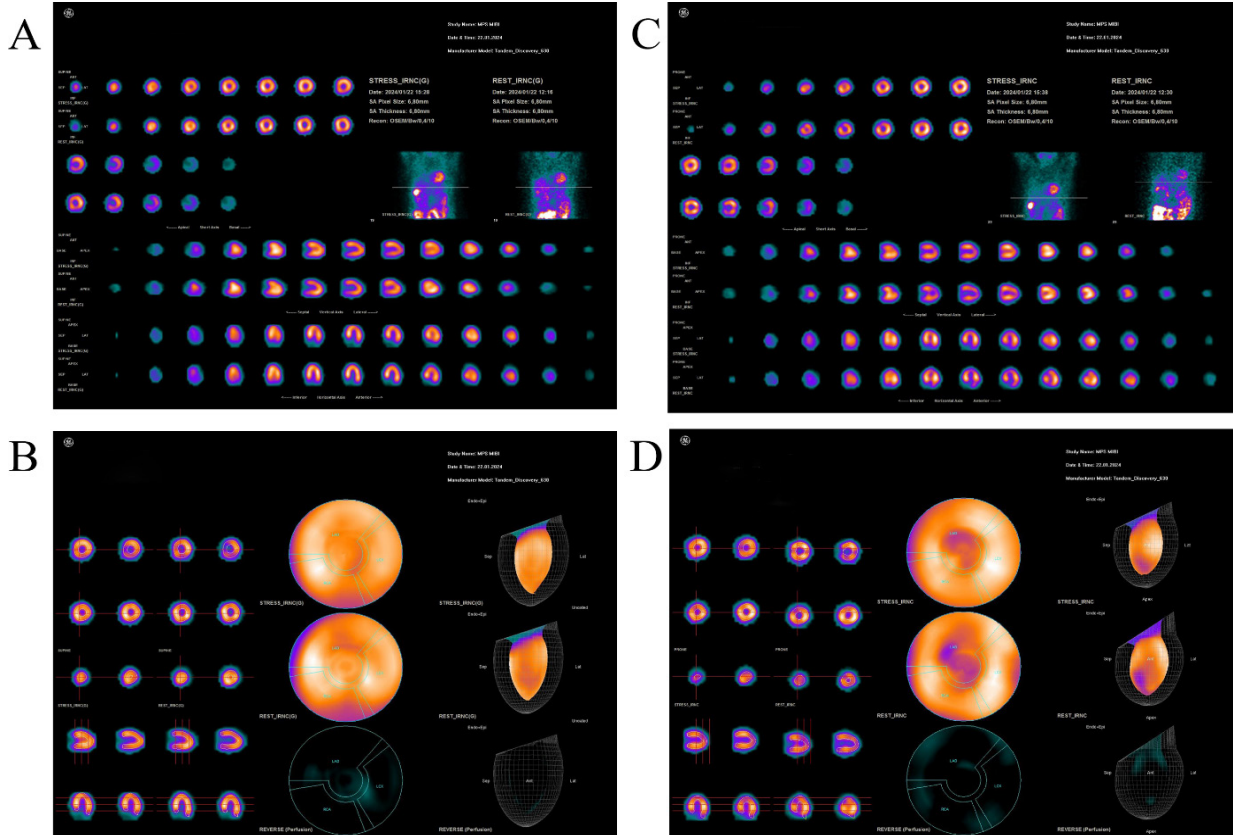
fiks defektler anterior duvar için meme atenüasyonunu destekleyen bir bulgudur. Hastanın ham data görüntüleri sine modda değerlendirilerek meme dokusunun büyüklüğü ve dansitesi olası atenüasyon açısından gözden geçirilmelidir. Yüksek dansitede meme dokusu varlığı sine görüntülerde gölgelenme şeklinde fark edilebilir. Hastanın öyküsünde mastektomi veya meme implantı olması da atenüasyon konusunda fikir vericidir. Meme implantları genellikle normal meme dokusuna kıyasla daha yoğun yapıda oldukları için sık olarak artefakta neden olabilirler. Meme dokusuna bağlı artefaktların ekarte edilmesi için, supin görüntülemeye ek olarak yapılacak pron görüntülemenin faydalı olacağını bildiren çalışmalar mevcuttur (25). Şekil 7'de meme atenüasyonuna bağlı artefakt izlenen bir hastanın supin ve pron pozisyonunda alınan görüntüleri verilmiştir.

Diyafragma atenüasyonuna bağlı inferior duvar defektleri erkek cinsiyette sık karşılaşılan bir problem olup, dolu mide ile görüntü alınması veya obezite varlığında daha belirgin olarak izlenmektedir. Gated çalışmada inferior duvar hareketlerinin ve kalınlaşmanın normal olması atenüasyon artefaktını desteklemektedir. Diyafragma atenüasyonunun ekarte edilmesi için pron pozisyonunda görüntüler değerlendirilebilir ancak bu pozisyonadaki görüntüleme anteroseptal duvarda defekt oluşabileceği göz önünde bulundurulmalı ve mutlaka supin görüntüleme ile birlikte değerlendirilmelidir. Pron görüntüleme anteroseptal duvarda artefaksiyel perfüzyon defekti izlenen bir hastaya ait görüntüler Şekil 8'de verilmiştir. Pron görüntüleme, diyafragma atenüasyonuna bağlı artefaktların ayırt edilerek gereksiz girişimsel işlem sıklığının azaltılmasına katkıda bulunan bir yöntem olarak kabul görmektedir (20). Diyafragma atenüasyonuna bağlı artefakt izlenen bir hastada pron ve supin pozisyonunda alınan görüntüler Şekil 9'da verilmiştir.

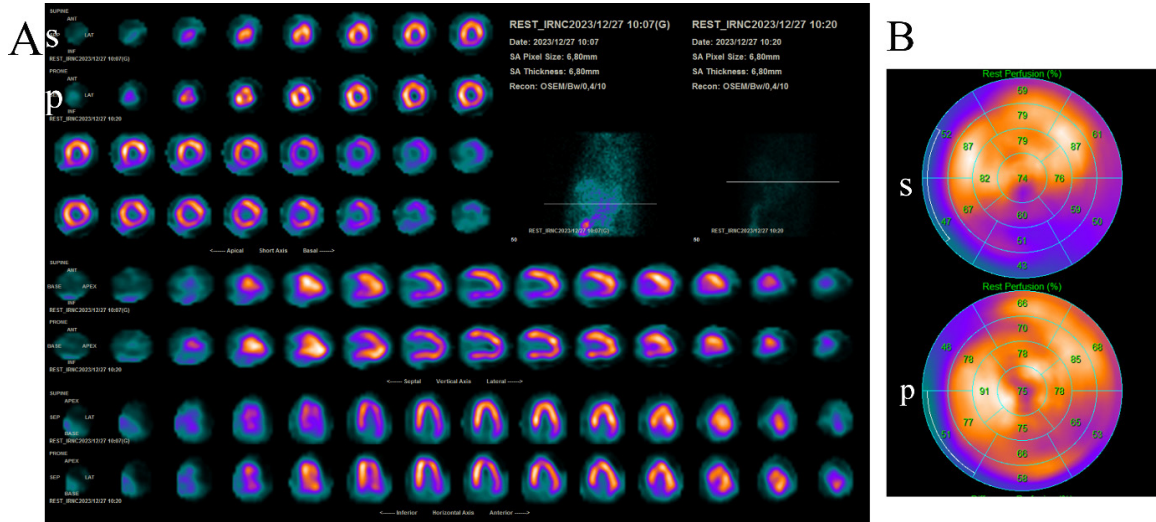
Atenüasyon artefaktları MPS çalışmalarında önemli bir problem olup, artefaktların ayırt edilebilmesi için zaman içerisinde çeşitli yöntemler kullanıma dahil edilmiştir (26,27). Yukarıda da belirtildiği gibi, gated çalışma verilerinin değerlendirilmesi bunlardan birisidir. Hibrit görüntüleme yöntemleri olan SPECT/bilgisayarlı tomografi (BT) ve pozitron emisyon tomografisi (PET)/BT, atenüasyon artefaktlarının değerlendirilmesinde değerli tanısal bilgiler sağlayan görüntüleme yöntemleridir. Hibrit görüntüleme, transmisyon görüntülerinden elde edilen veriler sayesinde atenüasyon düzeltmesi yapılarak dokulara bağlı atenüasyon artefaktları başarılı



Şekil 7. Elli altı yaşında, atipik anjina öyküsü olan hastada efor sonrası supin pozisyonda elde edilen görüntülerde anterior- anteroseptal duvarda apeks bazal arası hipoaktivite izlenmiş olup, pron görüntülemeye perfüzyonda tama yakın düzelleme olduğu görülmektedir (A; s: Supin, p: Pron). Polar harita görüntüleri de benzer şekilde meme dokusuna bağlı artefaktı göstermektedir (B; s: Supin, p: Pron)



Şekil 8. Efor ve istirahat sonrası supin pozisyonda elde edilen rekonstrükte kesitsel görüntülerde (A) ve polar harita görüntülerinde (B) sol ventrikülün tüm duvarlarında normal sınırlarda perfüzyon dağılımı izlenen kadın hastada, pron pozisyonda alınan kesitsel görüntülerde (C) ve polar harita görüntülerinde (D), apikal ve midventriküler düzeyde anteroseptal duvarda istirahat halinde belirginleşen artefaksiyel hipoperfüzyon bulgusu



Şekil 9. İstirahat halinde supin (s) ve pron (p) kesitsel görüntüleri (A) ve polar harita görüntüleri (B) verilen 71 yaşındaki erkek hastada supin görüntülerinde inferior duvarda artefaksiyel olarak hioperfüzyon izlenmiş olup, pron görüntülerde inferior duvarın perfüzyonunun normal sınırlarda olduğu görülmektedir, bulgular diyafragma atenüasyonuna bağlı artefakt ile uyumludur

şekilde ortaya konmaktadır (28). SPECT/BT'nin gerek meme dokusuna gerekse diyafragmaya bağlı artefaktlar için kullanımı tavsiye edilmektedir (6). PET/BT ile yapılan miyokardiyal perfüzyon görüntüleme de atenüasyon artefaktları düzeltilmesinde oldukça başarılı bir yöntem olarak klinik kullanımdadır.

Hibrit görüntüleme yöntemleri atenüasyon düzeltilmesinde oldukça faydalı olmakla birlikte, yöntemlere bağlı atenüasyonlar da olabileceği unutulmamalıdır. SPECT/BT görüntülemesinde artefakta yol açan durumların başında uyumsuz imaj kaydı (füzyon kayması) gelmektedir (29). Bu durum hasta veya masa hareketine ve özellikle hızlı sistemlerde solunumsal veya kardiyak harekete bağlı olarak oluşabilir. Şekil 10'da SPECT/BT'de füzyon kayması nedeni ile oluşan artefakta ait görüntüler verilmiştir. Saçılma, ışın sertleştirme (beam hardening) ve budama (trunkasyon) artefaktları da füzyon görüntülemesinde görülebilmektedir. Atenüasyon düzeltilmesi sonrası apikal duvarda incelmeye bağlı hipoaktivite veya gastrointestinal sistem aktivitesine bağlı inferior duvar aktivitesindeki güçlenmenin neden olduğu anterior duvar hipoaktivitesi de görüntülemesinde artefakt olarak karşımıza çıkabilir. Hibrit görüntüleme yöntemlerinin MPS'de tanısıl katkısı ile birlikte artefakt sebebi de olabileceği değerlendirilmede mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır (15). Atenüasyon düzeltilmesi yapılmış görüntüler ile birlikte atenüasyon düzeltilmesi

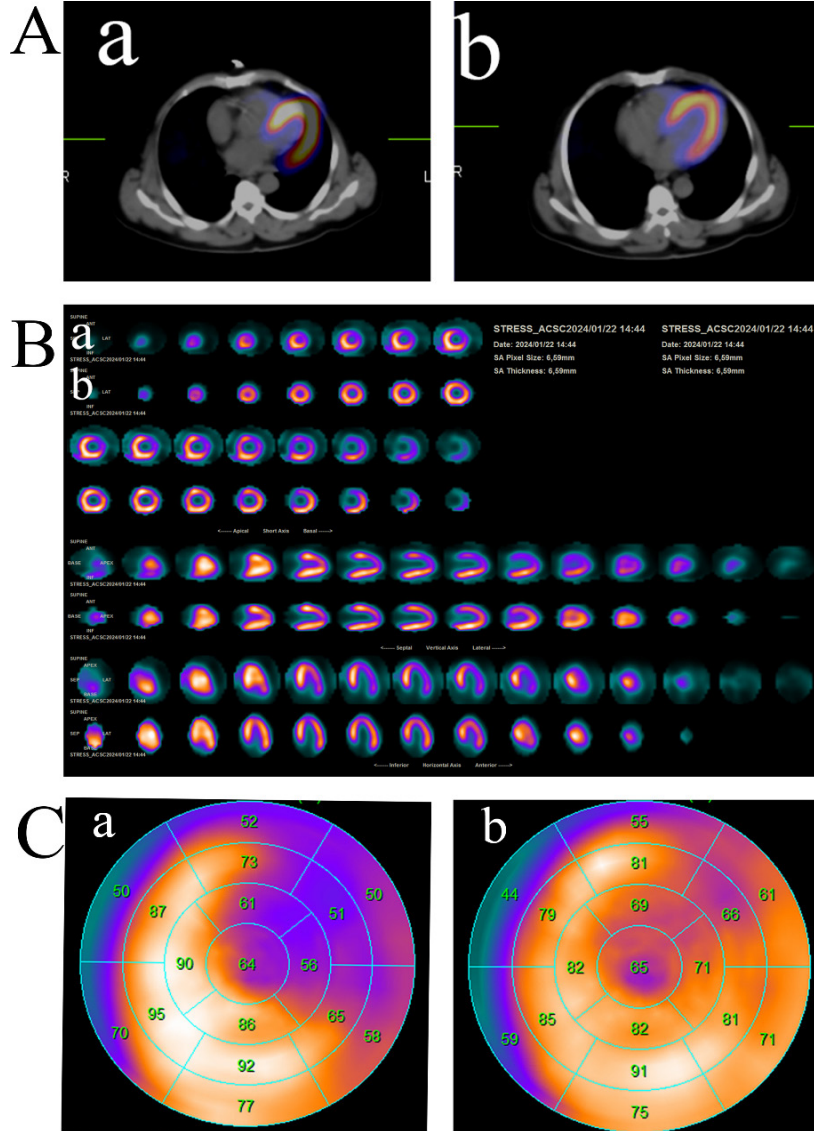
yapılmamış standart görüntüler de olası artefaktlar açısından dikkatle incelenmelidir.

MPS görüntülerinde hasta ile ilişkili olarak karşımıza çıkabilecek sorunların özeti Tablo 4'te verilmiştir.

IV. Kalp ile İlişkili Özel Durumlar/Normal Varyantlar

IV.A. Sol Dal Bloğu (SDB)

Sol dal bloğu, kalbin iletim sistemi ile ilişkili bir anomali olup, sinoatriyal düğümden çıkan uyarının sağ ventrikül üzerinden gecikmeli olarak sol ventriküle ulaşması ile sonuçlanmaktadır. Bu durum septumda paradoksal harekete ve septal perfüzyon defektine neden olarak, defektin geri dönüşümlü/dönüşümsüz olmasına göre iskemi veya infarktüs görünümü yaratabilir. Mekanizma tam olarak açıklanamamakla birlikte, esas olarak septal kasılmanın gecikmesi nedeniyle diyastolik kan akımının bozulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (30). Kalp atım hızının yüksek olduğu durumlarda bu etki belirginleşmektedir, dolayısıyla egzersiz testi yerine dipiridamol veya adenozin ile vazodilatör stres tercih edilmelidir (31). Sol dal bloğu olan hastalarda septumda mevcut olabilecek defektlerin dikkatle yorumlanması gereklidir. Vazodilatör stres uygulanmış bir hastada efor sonrası görüntülerde kalp atım hızının yüksek olması, istirahat görüntüleme esnasında ise rölatif düşük kalp atım hızı olması nedeniyle septumda iskemi bulgusu izlenebilmektedir. Anksiyete gibi nedenlerle istirahat durumunda da kalp atım hızının yüksek olması ise



Şekil 10. Efor sonrası kesitsel görüntüler ile polar harita görüntüleri verilen hastada, SPECT/BT’de füzyon kayması sonucu (A-a) anterior ve anterolateral duvarlarda oluşan yanlış pozitif perfüzyon defekti (B-a, C-a). Füzyonun manuel olarak düzeltilmesi sonrasında (A-b) anterolateral perfüzyonda büyük ölçüde düzelleme görülüyor (B-b, C-b)

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

septumda miyokart infarktüsü ile uyumlu fiks karakterde perfüzyon defekti görünümüne neden olabilir. Sol dal bloğu tanısı ile tetkik edilen hastalarda, septal duvarda hipoperfüzyon ile birlikte apekte normal sınırlarda perfüzyon bulguları izlenmesi durumunda artefakt olasılığının yüksek olduğu değerlendirilmede göz önünde bulundurulmalıdır. Sol dal bloğu olan bir hastada fiziksel ve farmakolojik efor ile elde edilen MPS görüntüleri Şekil 11’de verilmiştir.

IV.B. Kardiyomiyopatiler

Kardiyomiyopatiler (KMP) kalp kası ile ilişkili anomaliler olup, iskemik nedenlerle veya iskemi dışı patolojilere bağlı olarak görülebilir (32). İskemi dışı patolojilerle ilişkili KMP’ler, hipertrofik KMP, dilate KMP veya restriktif KMP olarak sınıflandırılmaktadır. Hipertrofik KMP özellikle septumda belirginleşen duvar kalınlaşması ile karakterizedir. Bu durum, septumda artmış aktivite ve diğer duvarlarda göreceli hipoperfüzyona neden olarak

Tablo 4. MPS görüntülemeye hasta ile ilişkili sorunlar

	Sorun	Çözüm/öneri
Subdiyafragmatik aktivite	Saçılıma veya normalizasyon hatalarına bağlı artmış veya azalmış perfüzyon; fiks/reversibl defektler	-Hastaya süt, soda veya su içirilmesi -Pron görüntüleme -Farmakolojik efora düşük düzeyde fiziksel efor eklenmesi -Enjeksiyon-görüntüleme arasında bekleme süresine dikkat edilmesi
Hasta hareketi	Hareketin büyüklüğü, düzlemi, görüntülemenin hangi aşamasında meydana geldiğine bağlı olarak değişen perfüzyon defektleri	-Egzersiz sonrası yeterli bekleme süresinin sağlanması -Multidedektör sistemlerin kullanımı -Pron pozisyonda görüntü alınması -Sine modda ham görüntülerin gözden geçirilmesi
Atenüasyonlar -Meme dokusu -Diyafagma, -Lateral göğüs duvarı yağ dokusu -Ekstrakardiyak cihaz	Miyokardiyal duvarlarda iskemi/infarkt görünümünde perfüzyon defektleri	-Hasta cinsiyetinin sisteme doğru girilmesi -Teknesyum ajanlarının tercih edilmesi -Efor ve istirahat görüntülerinde meme pozisyonunun aynı olmasına dikkat edilmesi -Ham data görüntülerinin sine modda incelenmesi -Pron görüntü alınması -Gated görüntülerin incelenmesi -Hibrit görüntüleme (SPECT/BT) yapılması
MPS: Miyokart perfüzyon sintigrafisi, SPECT: Tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi, BT: Bilgisayarlı tomografi		

mevcut olabilecek patolojilerin değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Hipertrofik KMP hipertansiyon hastalarında görülebilir, ancak şiddeti daha düşük olarak izlenmektedir (6). Dilate KMP, incilmiş miyokart dokusu nedeniyle azalmış sayım istatistiği ve heterojen perfüzyon dağılımına neden olabilmektedir. Özellikle tek gün görüntüleme prosedüründe daha düşük radyofarmasötik dozu verilen istirahat görüntülerinde bu durum daha belirgin olarak karşımıza çıkmaktadır. MPS, mutlak aktiviteden ziyade göreceli aktivite üzerinden bilgi veren bir görüntüleme tekniğidir. Bu durum özellikle birden fazla vasküler alanda benzer düzeyde daralma olduğu durumda önem kazanmaktadır. Dengeli iskemi durumlarında tüm duvarlardaki perfüzyonun dengeli azalması, KAH tanısında yanlış negatif değerlendirmelere neden olabilir (Şekil 12). Gated çalışma da bu hastalarda duvar hareketlerindeki ve EF değerlerindeki azalmayı göstererek yorumlama aşamasında önemli katkı sağlamaktadır (4).

IV.C. Dekstrokardi

Dekstrokardi varlığında toraks içerisinde kalp pozisyonunun farklı olması nedeni ile, görüntüleme parametrelerinin uygun şekilde düzenlenmesi doğru yorumlama açısından oldukça önemlidir. Görüntüleme öncesinde durumun bilinmesi ile gerekli parametrelerin uygun şekilde düzenlenmesi sağlanarak yorumlama

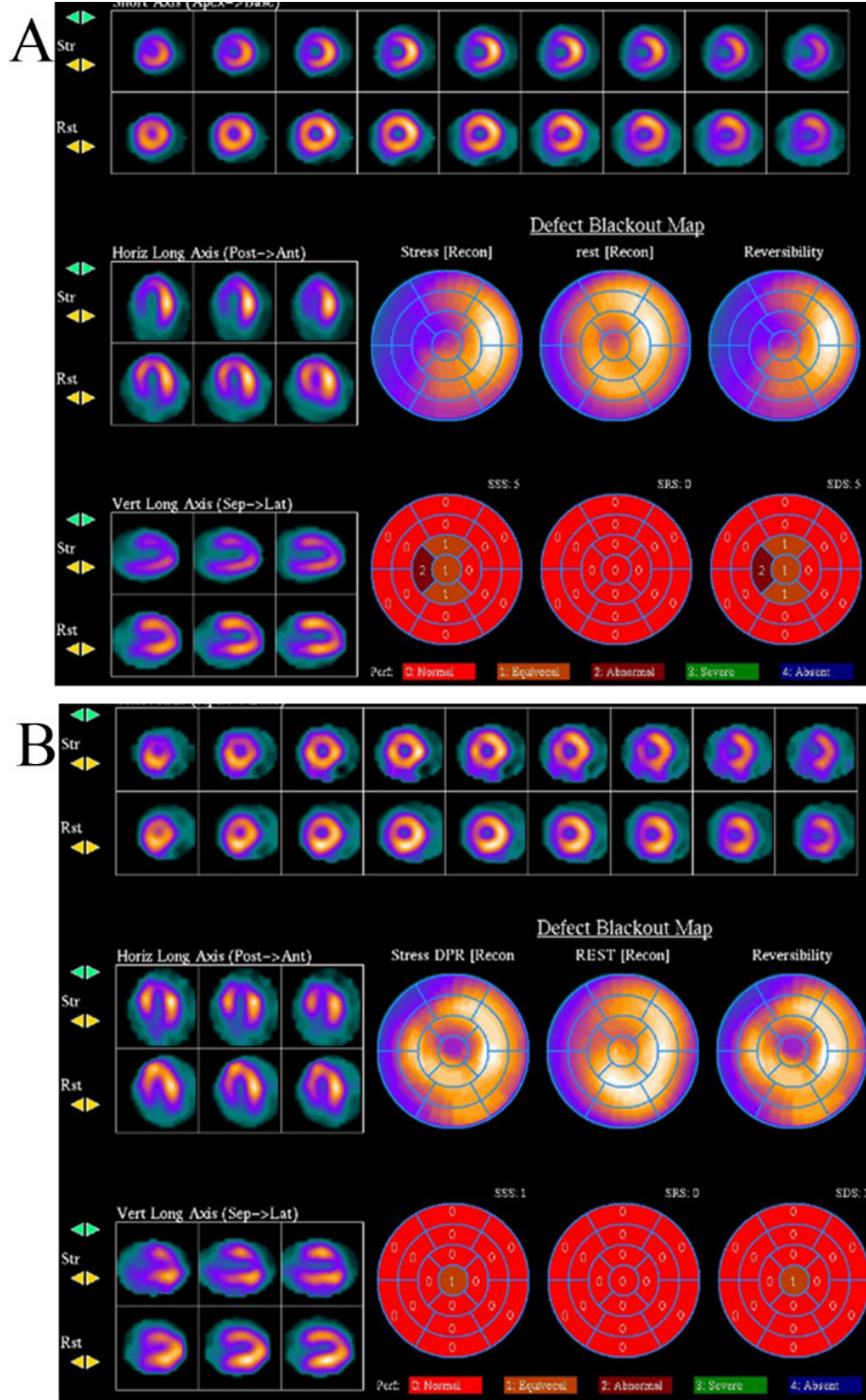
aşamasındaki hatalar engellenebilir. Normal şartlarda SPECT inceleme sağ anterior oblik pozisyondan başlayarak, 180 derecelik görüntüleme ile sol posterior oblik pozisyonda sonlanmakta iken, dekstrokardi varlığında kalp ile en yakın mesafenin sağlanması için görüntüleme sol anterior oblik pozisyondan başlatılmalı ve sağ posterior oblik pozisyonda sonlandırılmalıdır (33). Bu durumda standart görüntülerdeki septum ve lateral duvar alanlarının yer değiştirmiş olması önemli olup yorumlamada göz önünde bulundurulmalıdır.

IV.D. Normal Varyantlar

MPS'nin doğru şekilde yorumlanabilmesi için normal varyantlardan kaynaklanabilecek ve yanlışlıkla patolojik olarak algılanabilecek durumların bilinmesi gereklidir.

Hipertrofik papiller kaslarda radyotrasör akümüasyonu yüksektir, bu durumda özellikle anterolateral ve posterolateral duvarlarda fokal artmış radyotrasör akümüasyonu gösteren alanlar izlenmektedir. Alt duvarda ve tipik olarak kısa eksen görüntülerinde saat 2 ve 7 konumlarında belirgin olmak üzere komşu duvarlarda perfüzyon patolojilerine rastlanabilir.

Apikal miyokart dokusu diğer duvarlara oranla daha incedir. Bu nedenle apekten elde edilen görüntülerde sayım hızı düşük olup, fizyolojik apikal inceleme fiks karakterde perfüzyon defekti şeklinde izlenebilir.



Şekil 11. Kırk iki yaşındaki, tipik göğüs ağrısı tarifleyen erkek hastada fiziksel efor ve istirahat sonrası alınan görüntülerde septal duvarda artefaksiyel efor iskemisi bulguları izlenmektedir (A). Farmakolojik efor (dipiridamol) ile elde edilen görüntülerde septumda perfüzyon dağılımı normal sınırlarda saptanmıştır (B)

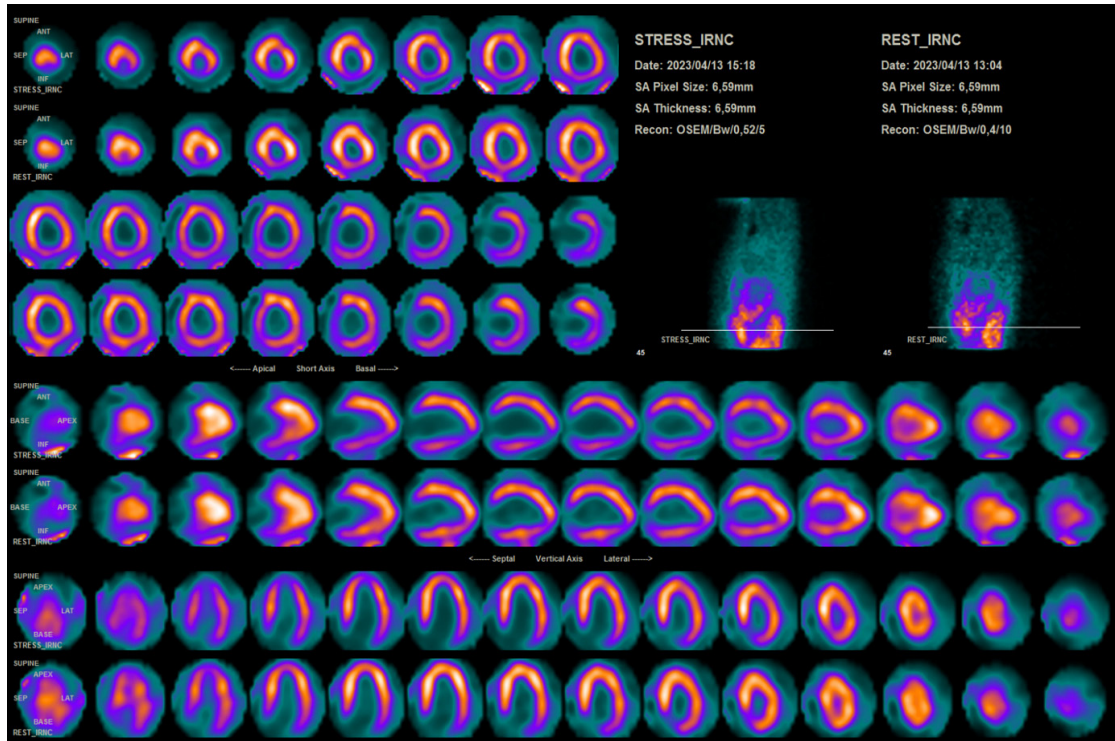
Fizyolojik apikal incelmeye bağlı artefaksiyel defektler BT atenüasyon düzeltmesi ile daha da belirgin hale gelebilir. Gated incelemede duvar hareketlerinin ve kalınlaşmanın normal sınırlarda olması artefakt olasılığını desteklemektedir (Şekil 13). Zayıf hastalarda, 90 derece açılı çift başlı dedektör ve otokontür kullanımı esnasında, üst kısımdaki dedektörün hastaya çok yakın pozisyonlanması nedeniyle lateral pozisyondaki dedektör kardiyak bölgeyi tam olarak görüntü alanına dahil edemeyebilir ve bu durum artefaksiyel defekt alanları şeklinde karşımıza çıkabilir. Özellikle abdominal yağ dokusu az olan zayıf hasta grubunda kontürü yükseltmek amacıyla ek manipülasyonlar gerekebilir (34).

Kadınlarda daha yaygın olarak izlenen bir normal varyasyon olan bazal septum duvarındaki azalmış radyofarmasötik akümüasyonu ise bazal septumun fibröz yapısından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, bazal septumdaki azalmış radyofarmasötik akümüasyonu hipoperfüzyon olarak değerlendirilmemelidir.

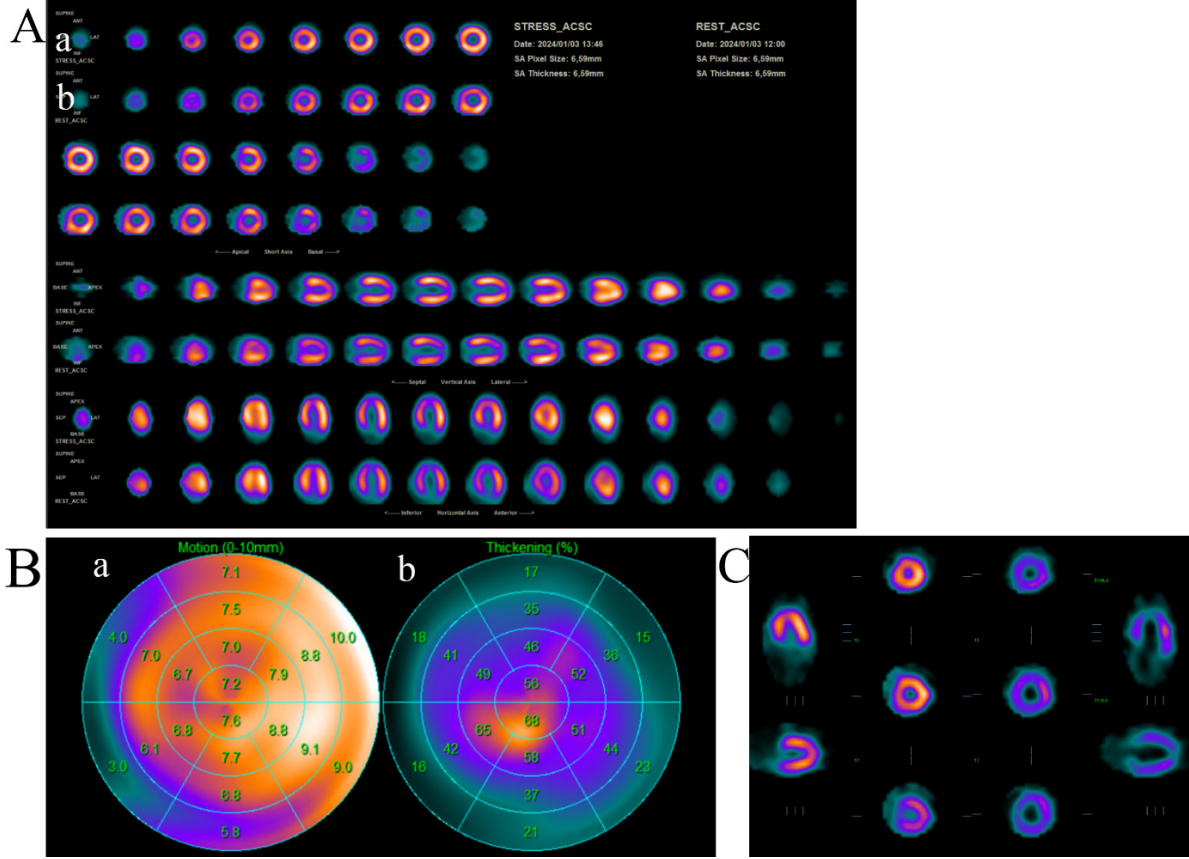
Bland-White-Garland sendromu sık görülmemekle birlikte MPS'de artefakta neden olabilir. Bu sendromda sol ana koroner arter pulmoner arterden orjin almaktadır ve kollateral dolaşımın yeterli olduğu durumlarda yetişkinliğe uzanan hayatta kalma süreleri mevcuttur. Bu hastalarda MPS'de genellikle ön duvarda perfüzyon defekti izlenmektedir. Sağ koroner arterden sol koroner artere ve pulmoner artere şanta sekonder olarak inferior/posterior perfüzyon defekti de görülebilir (35).

Tanımlanan varyasyonlar dışında, müsküler köprü varlığında, koroner spazmda, Sendrom x ve miyokardit durumunda da MPS'de çeşitli perfüzyon defektleri görülebilir ve bu durumlar iskemi/infarkt olmaksızın yanlış pozitif yorumlara neden olabilir (36).

Kalp ile ilgili normal varyasyonlar ve özel durumları içeren artefakt nedenleri ile çözüm önerileri Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 12. Atipik göğüs ağrısı şikayeti olan 72 yaşında kadın hastada efor ve istirahat sonrası görüntülerde sol ventrikül fiks dilate görünümde izlenmiş olup, apikal düzeyde inferior duvarda izlenen fiks karakterdeki minimal hipoperfüzyon ile birlikte, anlamlı bölgesel perfüzyon anomalisi izlenmemiş olup, genel minimal heterojen perfüzyon dağılımı ve stres sonrası kavite dilatasyonu mevcuttur. Gated incelemede sol ventrikül global hipokinetik görünümündedir; ejeksiyon fraksiyonu değerleri istirahatte %33, efor sonrası %31 olarak hesaplanmıştır. Görüntüleme sonrası yapılan koroner anjiyografide LMCA ve LAD trasesinde %90, CX orta kesimde %80 darlık saptanarak gerekli bölgelere stent uygulaması yapılmıştır. Görüntüleme bulguları, dengeli çoklu damar hastalığını desteklemektedir



Şekil 13. Atipik göğüs ağrısı nedeni ile görüntüleme yapılan ve KAH öyküsü bulunmayan 46 yaşındaki kadın hastaya ait efor (A-a) ve istirahat (A-b) kesitsel görüntülerinde apekte fiks karakterde hipoperfüzyon izlenmektedir. Gated incelemede bu alanda duvar hareketleri ve duvar kalınlaşması normal sınırlarda olup (B-b), bulgular fizyolojik apikal inceleme ile uyumlu görünümündedir (B-a, B-b, C). C: Gated stres sistol sonu (ilk iki sütun) ve diastol sonu (son iki sütun) görüntüleri; apikal kalınlaşmanın end-sistolda tümüyle normal olduğu görülüyor
KAH: Koroner arter hastalığı

Tablo 5. MPS görüntülemesinde artefakta yol açan kalp ile ilişkili özel durumlar ve normal varyantlar

	Sorun	Çözüm/öneri
Sol dal bloğu	Septal fiks/reversibl perfüzyon defekti	Farmakolojik efor Apeks perfüzyonunun değerlendirilmesi
Kardiyomiyopatiler	Dengeli çoklu damar stenozunda yanlış negatif değerlendirme	Gated verilerinin dikkatle değerlendirilmesi
Dekstroardi	Sol ventrikül duvarlarının lokalizasyonunda değişiklikler	Görüntüleme parametrelerinin uygun ayarlanması, duvar lokalizasyonlarındaki değişikliklere (septum-lateral duvar) dikkat edilmesi
Normal varyantlar	Papiller kas hipertrofisi, apikal incelleme, fibröz yapıda bazal septum (kısa septum) vb. nedenlere bağlı hipo-hiperperfüze alanlar veya perfüzyon defektleri	Normal varyantlar ve perfüzyona yansımaları hakkında bilgi sahibi olmak

MPS: Miyokart perfüzyon sintigrafisi

Sonuç

MPS, KAH'nin değerlendirilmesinde uzun zamandır ve sıklıkla kullanılan, klinik kullanımda hasta yönetiminde kritik değerli bilgiler sunan, invaziv olmayan bir görüntüleme yöntemi olmakla birlikte, çeşitli artefaktlar ve yorumlamada hatalara neden olabilecek tuzaklar içermektedir. Bu durumlar hasta hazırlığı aşamasından başlamak üzere raporlama aşamasına kadar tüm basamaklarda karşımıza çıkabilir. Görüntülemenin tüm aşamalarında bu durumların farkında olarak hareket edilmesi ve gerekli önlemlerin mümkün olduğunca alınması tetkikin doğru şekilde yorumlanması ve güvenilirliği açısından son derece önem taşımaktadır. Görüntülemeye dahil olan tüm personelin potansiyel artefakt ve tuzaklar hakkında bilgi sahibi olması, gerekli önlemleri alması, düzeltmeleri yapması ve uygulamayı bu açıdan dikkatle takip etmesi, doğru ve güvenilir yorumlama sürecine büyük katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Klocke FJ, Baird MG, Lorell BH, et al. ACC/AHA/ASNC guidelines for the clinical use of cardiac radionuclide imaging-executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASNC Committee to Revise the 1995 Guidelines for the Clinical Use of Cardiac Radionuclide Imaging). *J Am Coll Cardiol* 2003;42:1318-1333.
- Sun X, Liu A, Jiang Z. The sensitivity and specificity of single photon emission computed tomography (SPECT) in the diagnosis coronary artery disease (CAD): a meta-analysis. *Int J Clin Exp Med* 2017;10:6221-6366.
- Strauss HW, Miller DD, Wittry MD, et al. Procedure guideline for myocardial perfusion imaging 3.3. *J Nucl Med Technol* 2008;36:155-161.
- Canbaz Tosun F, Özdemir S, Şen F, Demir H, Özdemir E, Durmuş Altun G. Myocardial Perfusion SPECT Procedure Guideline. *Nucl Med Semin* 2020;6:90-134.
- Lapeyre AC, Goraya TY, Johnston DL, Gibbons RJ. The impact of caffeine on vasodilator stress perfusion studies. *J Nucl Cardiol* 2004;11:506-511.
- Burrell S, MacDonald A. Artifacts and pitfalls in myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med Technol* 2006;34:193-211.
- Williams KA, Hill KA, Sheridan CM. Noncardiac findings on dual-isotope myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 2003;10:395-402.
- Abdel-Dayem HM. Current tumor imaging agents. In: Aktolun C, Tauxe WN, eds. *Nuclear Oncology*. Berlin, Germany: Springer-Verlag; 1999:401-414.
- Nichols K, Dorbala S, DePuey EG, Yao SS, Sharma A, Rozanski A. Influence of arrhythmias on gated SPECT myocardial perfusion and function quantification. *J Nucl Med* 1999;40:924-934.
- Nichols K, Yao SS, Kamran M, Faber TL, Cooke CD, DePuey EG. Clinical impact of arrhythmias on gated SPECT cardiac myocardial perfusion and function assessment. *J Nucl Cardiol* 2001;8:19-30.
- Heinle I, Siraj Q. Artifacts and Pitfalls in Myocardial Perfusion Imaging. In: Movahed, A., Gnanasegaran G, Buscombe J, Hall M (eds). *Integrating Cardiology for Nuclear Medicine Physicians*. Springer, Berlin, Heidelberg; 2009.
- Groch MW, Erwin WD. Single-photon emission computed tomography in the year 2001: instrumentation and quality control. *J Nucl Med Technol* 2001;29:12-18.
- Hines H, Kayayan R, Colsher J, et al. National Electrical Manufacturers Association recommendations for implementing SPECT instrumentation quality control. *J Nucl Med Technol* 1999;27:67-72.
- Dönmez S, Ayan A, Parlak Y, et al. Acceptance and Quality Control Tests for the Single Photon Emission Computerized Tomography (SPECT) Gamma Cameras and SPECT/CT Systems. *Nucl Med Semin* 2020;6:38-50.
- Dvorak RA, Brown RK, Corbett JR. Interpretation of SPECT/CT myocardial perfusion images: common artifacts and quality control techniques. *Radiographics* 2011;31:2041-2057.
- Georgoulis P, Valotassiou V, Tsougos I, et al. Clinical significance of tetrofosmin in extracardiac uptake during myocardial perfusion imaging. In: Branislav PB, eds. *Coronary angiography-advances in noninvasive imaging approach for evaluation of coronary artery disease*, chap 2. InTech; 2011.
- Hofman M, McKay J, Nandurkar D. Efficacy of milk versus water to reduce interfering infra-cardiac activity in 99mTc-sestamibi myocardial perfusion scintigraphy. *Nucl Med Commun* 2006;27:837-842.
- Malek H, Hedayati R, Yaghoobi N, Bitarafan-Rajabi A, Firoozabadi SH, Rastgou F. The effect of milk, water and lemon juice on various subdiaphragmatic activity-related artefact in myocardial perfusion imaging. *Res Cardiovasc Med* 2015;4:e29235.
- Hussain S, Sultan FAT. Role of carbonated water technique to enhance Tc-99m tetrofosmin myocardial perfusion imaging by reducing subdiaphragmatic artefacts. *Ann Nucl Med* 2020;34:787-792.
- Stathaki M, Koukouraki S, Papadaki E, Tsaroucha A, Karkavitsas N. The benefits of prone SPECT myocardial perfusion imaging in reducing both artefact defects and patient radiation exposure. *Arq Bras Cardiol* 2015;105:345-352.
- Cooper JA, Neumann PH, McCandless BK. Effect of patient motion on tomographic myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* 1992;33:1566-1571.
- Wheat JM, Currie GM. Impact of patient motion on myocardial perfusion SPECT diagnostic integrity: Part 2. *J Nucl Med Technol* 2004;32:158-163.
- Friedman J, Van Train K, Maddahi J, et al. "Upward creep" of the heart: a frequent source of false-positive reversible defects during thallium-201 stress-redistribution SPECT. *J Nucl Med* 1989;30:1718-1722.

24. Germano G. Technical aspects of myocardial SPECT imaging. *J Nucl Med* 2001;42:1499-1507.
25. Ramos SMO, Glavam AP, de Brito ASX, et al. Prone Myocardial Perfusion Imaging and Breast Attenuation: A Phantom Study. *Curr Med Imaging Rev* 2020;16:70-79.
26. Miles J, Cullom SJ, Case JA. An introduction to attenuation correction. *J Nucl Cardiol* 1999;6:449-457.
27. Heller GV, Links J, Bateman TM, et al. American Society of Nuclear Cardiology/Society of Nuclear Medicine joint position statement: attenuation correction of myocardial perfusion SPECT scintigraphy. *J Nucl Cardiol* 2004;11:229-230.
28. Tawakol AE, Tantawy HM, Elashmawy RE, Abdelhafez YG, Elsayed YM. Added Value of CT Attenuation Correction and Prone Positioning in Improving Breast and Subdiaphragmatic Attenuation in Myocardial Perfusion Imaging. *J Nucl Med Technol* 2021;49:23-29.
29. Płachcińska A, Włodarczyk M, Drożdż J, et al. Effect of CT misalignment on attenuation-corrected myocardial perfusion SPECT. *Nucl Med Rev Cent East Eur* 2015;18:78-83.
30. Hansen CL. The conundrum of left bundle branch block. *J Nucl Cardiol* 2004;11:90-92.
31. Yalçın H, Canbaz Tosun F. Nuclear Cardiology in the Diagnosis and Management of Coronary Artery Disease. *Nucl Med Semin* 2019;4:80-95.
32. Wynne J, Braunwald E. The cardiomyopathies and myocarditis. In: Braunwald E, Zipes DP, Libby P, eds. *Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine*. 6th ed. Philadelphia, PA: W.B. Saunders; 2001:1751-1806.
33. Qutbi M. SPECT myocardial perfusion imaging in patients with Dextrocardia. *J Nucl Cardiol* 2019;26:1197-1204.
34. Yapici O, Baris S, Alic T, Basoglu T. Auto-contouring at 90 degrees dual head fitting angle: a potential cause of a myocardial perfusion SPET artifact in slim patients. *Hell J Nucl Med* 2009;12:289-290.
35. Katsuragi M, Yamamoto K, Tashiro T, Nishihara H, Toudou K. Thallium-201 myocardial SPECT in Bland-White-Garland syndrome: two adult patients with inferoposterior perfusion defect. *J Nucl Med* 1993;34:2182-2184.
36. Kataoka T, Shih WJ. False-positive myocardial perfusion scintigraphy in syndrome X. *Semin Nucl Med* 1997;27:186-189.