



# Kardiyak Hibrit Görüntüleme-Tek Foton Emisyon Tomografisi/Bilgisayarlı Tomografi

## Cardiac Hybrid Imaging-Single Photon Emission Tomography/Computed Tomography

Sibel Uçak Semirgin, Tarık Başoğlu

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

### Öz

Fizyolojik veri sağlayan prensibi ve zengin klinik kanıt birikimi nedeniyle miyokart perfüzyon tek foton emisyon tomografisi (MPS), koroner arter hastalığının (KAH) non-invazif tanısında ve risk belirleme algoritmalarında ilk sıralarda yer alan bir görüntüleme yöntemidir. Genel olarak kabul görmüş olan tıbbi yararının yanı sıra, yapılan geniş ölçekli çalışmalarda bu yöntemin dahil edildiği tanı algoritmalarının da maliyet etkinliği açısından en uygun çözümler olduğu kanıtlanmıştır. Miyokart perfüzyon tek foton emisyon tomografisi yönteminin tanısal duyarlılığını etkileyen en önemli faktörler doku atenüasyon artefaktları, düşük dereceli stenozlar ve dengeli çok damar hastalıklarıdır. Son yıllarda giderek yaygınlaşan bilgisayarlı tomografik koroner anjiyografi (BTKA) ve BT koroner arter kalsiyum skorlama (KAKS) yöntemleri ise erken ve ileri evre KAH tanısında başarılı sonuçlar elde edebilmektedirler. Negatif öngörü değeri çok yüksek olarak bildirilen BTKA yönteminin, KAH tanısı pozitif olan olgularda stenotik değişikliğin dokudaki perfüzyon karşılığını saptamada çok başarılı olmadığı da bilinmektedir. Bu derlemede BTKA yöntemi ve ayrıca MPS ve BT (BTKA) yöntemlerini teknik olarak aynı sistem içinde barındıran hibrit sistemler tanıtılmakta ve yöntemlerin ek tanısal değerleri tartışılmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Miyokart perfüzyon SPECT, BT koroner anjiyografi, BT kalsiyum skorlama, kardiyak hibrit görüntüleme.

### Abstract

It's physiological imaging principle and the large pool of clinical evidence, makes the myocardial perfusion single photon emission tomography (MPS) one of the first step modalities of algorithms in the noninvasive diagnosis and risk stratification of coronary artery disease (CAD). Besides its widely accepted diagnostic usefulness, diagnostic algorithms including MPS were proven to be the most cost-effective solutions in large-scale studies. The most important factors affecting the diagnostic sensitivity of MPS are soft tissue attenuation artifacts, low-grade stenosis, and balanced multi-vessel disease. Computerized tomographic coronary angiography (CCA) and CT calcium scoring (CCS) studies have been performed increasingly in recent years and they are reported to be successful in the diagnosis of early and advanced stages of CAD. Although CCA has proven to have a very high negative predictive value, it is reported that the method is not such successful in detecting the tissue perfusion counterpart of diagnosed stenotic changes. In this review, the CCA method, as well as hybrid systems hosting MPS/CT (CCA) in one device were introduced and their additional diagnostic value was discussed.

**Keywords:** Myocardial perfusion SPECT, CT coronary angiography, CT calcium scoring, cardiac hybrid imaging

### Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Dr. Sibel Uçak Semirgin, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Samsun, Türkiye

**E-posta:** sibelucak@yahoo.com

© Nükleer Tıp Seminerleri, Galenos Yayınevi tarafından basılmıştır. / © Nuclear Medicine Seminars, published by Galenos Publishing.

## Giriş

Miyokart perfüzyon tek foton emisyon tomografisi (MPS) görüntüleme, koroner arter hastalıklarının (KAH) non-invazif tanı ve risk sınıflandırmasında genel olarak kabul görmüş etkili bir tanı yöntemidir. Kırk yılı aşkın klinik kanıt birikimi ve fizyolojik veri sağlayan prensibi nedeniyle MPS, tanı ve risk belirleme algoritmalarında üst kategoride yer almaktadır. Bununla birlikte, çoğu tıbbi yöntemde olduğu gibi, MPS'nin de klinik potansiyelini tam olarak yansıtmamasına engel olan bazı sınırlı özellikleri bulunmaktadır. Düşük enerjili sintigrafik görüntülemenin doğası gereği bu dezavantajların en başında değişken doku atenüasyonundan olumsuz etkilenen yöntem özgüllüğü yer almaktadır. Öncelikle meme dokusu ve diyafram kasının oluşturduğu düzensiz ışın soğurulması sonucunda MPS bulgularında oluşan artefaksiyel anterior ve inferior duvar defektleri, tanısız özgüllüğü anlamlı ölçüde etkileyebilmektedir (1,2). İlk olarak yetmişli yıllarda uygulanmaya başlanan TI-201-MPS çalışmalarında, yöntemin KAH tanısındaki duyarlılığı yüksek iken (%80-90), özgüllüğü (%60-70) izotopun belirgin düşük enerjisi nedeniyle atenüasyon artefaktlarından önemli düzeyde etkilenmiştir (3,4). Bu anlamda yöntemin özgüllüğünü artırmada ek olarak uygulanan radyonüklid ventrikülografi uygulamaları ve ek tek foton emisyon tomografisi (SPECT) akizisyonları (pron pozisyon) kısmen yarar sağlayabilmiştir (5,6). Doksanlı yıllarda daha yüksek enerjili Tc-99m ile işaretli perfüzyon ajanlarının rutin kullanılmaya başlanması ile atenüasyon sorunu kısmen azalmış, ancak tatmin edici düzeye ulaşamamıştır. Yine 90'lı yıllarda rutin kullanıma giren elektrokardiyografi (EKG)-senkronize SPECT (GATED-SPECT) yöntemi, duvar kinetiklerinin incelenmesi ile kuşkulu hipoperfüzyon bulgularını netleştirmede anlamlı katkı sağlamıştır (uygun hastalarda özgüllükte artış) (7). Ancak, KAH tanısında Tc-99m ile işaretli perfüzyon ajanlarının giderek artan kullanımı nedeniyle görüntülemenin stres testinden anlamlı bir süre sonra (genellikle 60 dakika) uygulanması, GATED-SPECT yönteminin tanısız değerini etkilemektedir. Miyokart perfüzyon SPECT yönteminin genel duyarlılığını etkileyen diğer önemli faktörler stenoz yüzdesi, stenotik damar sayısı ve buna bağlı değişkenlik gösteren miyokardiyal perfüzyon dağılımıdır. Düşük düzey stenotik değişikliklerde (<%50) hiperemik koşullarda anlamlı iskemi oluşamayabileceğinden, stres MPS yöntemi ile miyokardiyal perfüzyon inhomojenitesi de yeterli düzeyde görüntülenemeyebilir (8). Bu

nedenle MPS erken evre KAH tanısında önerilen yöntemler arasında yer almamaktadır. Dengeli çok damar hastalığında ise yüksek stenoz derecelerine rağmen dengeli ve homojen miyokardiyal radyotrasör dağılımı izlenebilir (9). Bu tip olgularda GATED-SPECT yöntemi ile edilen fonksiyonel veriler MPS duyarlılığını yükseltebilmektedir.

Nükleer kardiyoloji yöntemlerine alternatif olarak geliştirilen non-invazif radyolojik yöntemler arasında ekokardiyografi, kardiyak bilgisayarlı tomografi (BT) ve kardiyak manyetik rezonans görüntüleme (MRG) yer almaktadır. Bu derlemede giderek artan oranda kullanılan kardiyak BT ve MPS/BT hibrit görüntülemenin KAH'ın değerlendirilmesindeki güncel rolü ve katkıları tartışılacaktır.

## Koroner Arter Hastalıklarının Tanısında BT Koroner Anjiyografi ve Miyokart Perfüzyon SPECT'in Rolü

Çok kesitli bilgisayarlı tomografi sistemlerindeki teknolojik gelişmeler, BTKA'nın KAH tanısında giderek artan sıklıkta kullanılabilir duruma gelmesine olanak sağlamıştır. Yapılan çok merkezli çalışmalarda, BTKA'nın duyarlılığı için %88-95 ve özgüllüğü için %83-87 gibi oldukça yüksek oranlar bildirilmiştir (10,11). Özellikle %50'nin üzerindeki koroner arter darlıklarında bu oranların yüksek olduğu görülmektedir. Ciddi darlıklar için negatif öngörü değeri de oldukça yüksek olup %100'e yakındır (12). Bu durum, özellikle KAH'ın ekarte edilmesinde tekniğin iyi bir araç olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Yüksek tanısız performansının yanı sıra invazif olmaması, kısa sürede uygulanabilmesi, hastanede yatış gerektirmemesi ve hasta konforunun iyi olması gibi avantajlar, testin tercih edilme oranını yükseltmektedir. BTKA yöntemi ile damar duvarlarındaki aterosklerotik değişikliklerin ve plakların değerlendirilmesi de mümkün olmaktadır. Damarlarda obstrüksiyona yol açmayan plakların karakterize edilmesi, KAH'da prognozun belirlenmesinde önemli ek bilgiler sağlamaktadır. Teknolojik gelişmeler sayesinde BTKA'de gerek zamansal gerekse uzaysal rezolüsyonda belirgin iyileşme elde edilmekle birlikte, yüksek ve düzensiz kalp hızlarında, morbid obez hastalarda, stent varlığında ve şiddetli kalsifikasyon içeren damarlarda halen sorunlarla karşılaşmaktadır (13).

Koroner arter darlığı saptanan hastalarda tedavi stratejisinin belirlenmesinde, darlığın oluşturduğu hemodinamik etkinin bilinmesi oldukça önemlidir. Bahsedilen avantajlarına karşılık, BTKA yönteminin

tamamen anatomik bilgi sağlaması nedeni ile tespit edilen darlıkların hemodinamik etkilerinin tam olarak değerlendirilmesi mümkün olmamaktadır. Yapılan çalışmalar, sol ventrikülde %10 ve üzerinde iskemik alan yaratması durumunda, tespit edilen koroner arter darlığına yönelik olarak revaskülarizasyon uygulanmasının prognozu iyileştirdiğini göstermektedir. İskemik alanın %10'un altında olması durumunda ise, medikal tedavi revaskülarizasyona eşdeğer ya da daha iyi sonuçlar vermektedir (14). Koroner arter darlığının hemodinamik etkisinin belirlenmesinde BTKA yönteminin yetersiz kalması kardiyak hibrit görüntülemenin çıkış noktasıdır. Miyokart perfüzyon SPECT yöntemi, koroner arter darlıklarının hemodinamik etkilerini belirlemek amacıyla uzun yıllardır uygulanan, güvenilir bir fonksiyonel tanı metodudur. Morfolojik görüntüleme sağlayan BTKA, bu noktada hibrit görüntüleme için MPS yöntemine iyi bir partner olmaktadır (Şekil 1). MPS yönteminin ciddi koroner stenozları belirlemedeki duyarlılığı %91 ve özgüllüğü %87 olarak bildirilmiştir (15). Testin negatif öngörü değeri de oldukça yüksek olup, normal perfüzyon izlenen hastalarda ani kardiyak ölüm ve ölümcül olmayan miyokart infarktüsü riskinin %1'in altında olduğunu bildiren yayınlar bulunmaktadır (16). Ancak MPS yöntemi ile iskemi oluşturmayan plakların tespit edilememesi, MPS'nin negatif öngörü değerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu tür plakların rüptürüne bağlı akut miyokart infarktüsü olgularının %43'ünde ve ani kardiyak ölüm olgularının %31'inde MPS normal olarak yorumlanmaktadır (17). Çoklu damar patolojilerinde, etkilenen bölgenin sınırlarının tam olarak belirlenememesi, dengeli çoklu damar hastalıklarında normal veya normale yakın perfüzyon izlenebilmesi ve özellikle obez hastalarda atenüasyona bağlı olarak yanlış pozitif bulgular elde edilmesi de MPS'nin kullanımını kısıtlayan diğer durumlar arasında sayılabilir (18).

### **Kardiyak Hibrit Görüntülemede Klinik Uygulamalar**

Anatomik ve fonksiyonel görüntüleme tekniklerinin KAH tanısında birlikte kullanılmasını sağlayan SPECT/BT hibrit görüntüleme sistemleri giderek artan sıklıkta klinik kullanımda yer almaktadır. Hibrit sistemlerin bir kısmı konvansiyonel cihazlara entegre edilmiş BT üniteleri ile çalışırken (Şekil 2), katı hal CZT detektörleri

ile yapılandırılmış ve tamamen kardiyak çalışmalara özel olarak tasarlanmış entegre sistemler de bulunmaktadır. İnvazif olmayan bir teknik olması hibrit kardiyak görüntülemenin tercih edilmesinde önemli rol oynamakla birlikte, artan radyasyon dozları ve maliyet dikkate alındığında seçilmiş hastalarda uygulanmasının doğru bir yaklaşım olacağı düşünülmektedir. Hastanın yaşı, cinsiyeti, göğüs ağrısının tipi ve efor testi esnasındaki EKG değişikliklerine göre belirlenen kardiyak hastalıklarla ilişkili risk durumu, uygulanacak görüntüleme yönteminin seçilmesinde kriter olarak kullanılmaktadır. Özellikle orta derecede riskli hasta grubunda, tespit edilen koroner arter darlığının hemodinamik etkilerinin belirlenmesi, tedavi yöntemi (medikal tedavi veya revaskülarizasyon) ile ilgili kararın verilmesinde önemli bir faktördür. Bu nedenle orta riskli hasta grubu, hem BTKA hem de perfüzyon görüntülemenin bir arada gerçekleştirilebildiği hibrit görüntüleme için uygun bir popülasyondur. Çoklu damar hastalıklarında da koroner anjiyografi ile saptanan darlıkların perfüzyona yansımada farklılıklar olabileceğinden hibrit görüntüleme iyi bir seçenek olmaktadır. Yapılan çalışmalarda bu hastalarda hemodinamik olarak ciddi lezyonların saptanmasında hibrit görüntülemenin tanısal değerinin daha yüksek olduğu belirtilmektedir (19). Darlığa yol açan lezyonun ve hemodinamik etkilerinin bir arada değerlendirilmesi, revaskülarizasyon esnasında komplikasyon riskinin yüksek olduğu kronik total oklüzyon olgularında olduğu gibi, tedavi yaklaşımına da katkı sağlamaktadır. Bu tür olgularda girişimsel işlemlerin azaltılması ile komplikasyon oranlarında azalma elde edilmektedir.

Hibrit cihazlara entegre edilen BT sistemleri genel olarak oldukça gelişmiş cihazlar olmakla birlikte, BTKA yapılabilmesi için tavsiye edilen minimum kesit sayısının 64 olması, bu amaçla kullanımının yaygınlaşmasını zorlaştırmaktadır. Ancak yapılan çalışmalar, SPECT/BTKA hibrit görüntüleme ile KAH tespitinde oldukça faydalı veriler elde edildiğini göstermektedir. SPECT/BT ile BTKA'nın karşılaştırıldığı bir çalışmada, 170 segment üzerinden yapılan değerlendirme sonucunda SPECT/BT'nin duyarlılık, özgüllük, pozitif ve negatif öngörü değerleri sırasıyla %96, %95, %77 ve %99 olarak tespit edilirken BTKA'nın %96, %63, %31 ve %99 olarak belirtilmiştir. İki yöntemin duyarlılık ve negatif öngörü değerleri benzerken; özgüllük ve pozitif öngörü değerlerinin SPECT/BT ile daha yüksek olduğu görülmektedir (20). Altmış dört kesitli BT kullanılarak yapılan BTKA çalışması ile TI-201 kullanılarak yapılan MPS

görüntülemenin karşılaştırıldığı bir başka çalışmada ise, yalnızca BTKA ile yapılan değerlendirmeye kıyasla BTKA ve MPS görüntülemenin birlikte değerlendirilmesinin özellikle pozitif öngörü değerinde belirgin artış sağladığı belirtilmektedir (21). Hibrit görüntüleme ile oluşturulan üç boyutlu füzyon görüntüleri koroner lezyonların fonksiyonel durumu ile ilgili ek bilgi sağlayarak tedavi planlamasında faydalı olmaktadır (22,23,24).

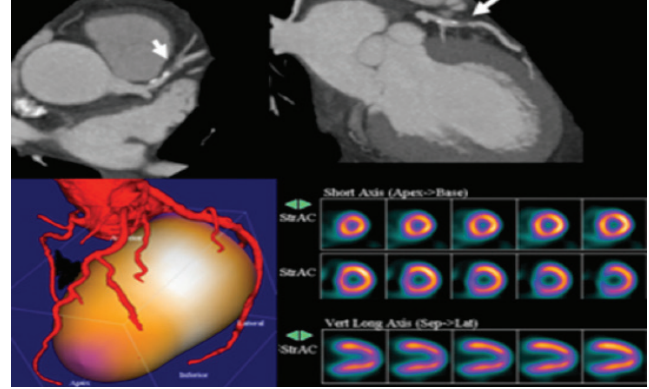
Toplam 289 hasta üzerinde yapılan 4 ayrı çalışmada, SPECT/BTKA hibrit görüntüleme ile %50'nin üzerindeki koroner arter darlıklarının tespitinde duyarlılık %80-96, özgüllük %92-99 olarak verilmektedir. Pozitif ve negatif öngörü değerleri için ise sırasıyla %93 ve %98'e ulaşan değerler elde edilmiştir (Tablo 1).

### KAH Tanısında BT Koroner Arter Kalsiyum Skorlamanın Rolü

Koroner arter kalsiyum skorlama (KAKS) ile subklinik koroner aterosklerozun gösterilmesinin kardiyak ölüm ve iskemik olay tahmininde doğru bilgiler sağladığına dair elde edilen veriler, KAKS'in koroner risk değerlendirmesinin bir parçası olarak kılavuzlarda yerini almasını sağlamıştır (25). Özellikle düşük-orta risk grubundaki hastalarda KAKS'in ek bilgiler sağlayabileceği düşünülmektedir. KAKS sıfır olan, düşük-orta risk grubundaki hastalarda akut koroner sendrom riskinin oldukça düşük olduğu ve testin negatif öngörü değerinin %99'lara ulaştığı belirtilmektedir. Ancak özgüllük (%64) ve pozitif öngörü değerleri (%20) düşüktür (26,27).

Yapılan çalışmalar, KAKS'in MPS ile birlikte kullanılmasının ek prognostik bilgi sağlayacağını göstermektedir. KAK skoru/patolojik MPS uyumunun artan KAK skorları ile orantılı olduğu; skoru yüksek olan hastalarda pozitif MPS oranının %20'lere ulaştığı belirtilmektedir. Bu nedenle KAK skoru 400'ün üzerinde olan hastalarda perfüzyon çalışmasının

yapılması gerektiği düşünülmektedir. Normal MPS bulguları olan hastaların %31'inde KAK skorunun 400'ün üzerinde (Şekil 3), %56'sında ise 100'ün üzerinde olduğu görülmektedir. Yüksek KAK skoru olan hastalara prognostik açıdan agresif medikal tedavi uygulanması konusunda görüş birliği olması nedeniyle, MPS'nin ilk tetkik olarak uygulanması durumunda normal perfüzyon bulguları varlığında da KAKS uygulamasının yarar sağlayabileceği rapor edilmektedir (28). Bir çalışmada, %50'nin üzerindeki koroner arter darlıklarının tespitinde MPS yönteminin



Şekil 1. Koroner arter hastalığı risk faktörleri pozitif olan 55 yaşında erkek hastada, proksimal sol ön inen arterde (LAD) hafif kalsifikasyon bulguları (koroner arter kalsiyum skoru 64) ve 64 kesitli bilgisayarlı tomografi koroner anjiyografide proksimal LAD'de anlamlı luminal darlık düşündürülen eksantrik yumuşak plak bulguları saptanmıştır. Entegre eforlu MPS-SPECT 'de sol ventrikülün tamamında perfüzyon normal sınırlardadır. Bu olguda BTKA'da anatomik olarak anlamlı değerlendirilen bir LAD lezyonunun pik eforda elde edilen MPS-SPECT'de saptanan normal anterior ve septal perfüzyon bulgularıyla fonksiyonel olarak anlamsız olduğu gösterilmektedir (Siemens Healthcare GmbH izni ile)

STRAC: Efor sonrası atenüasyon düzeltmesi yapılmış görüntüler

Tablo 1. Tek foton emisyon tomografisi/bilgisayarlı tomografi koroner anjiyografi hibrit görüntüleme yönteminin, %50'nin üzerindeki koroner arter darlıklarının tespitindeki tanısal değeri

Yazar	Hasta sayısı	Kriter	DUY	ÖZG	PÖD	NÖD
Rispler ve ark. (20)	56	İnvazif koroner anjiyografide >%50 stenoz	96	95	77	99
Sato ve ark. (21)	130	İnvazif koroner anjiyografide >%50 stenoz	94	92	85	97
Li ve ark. (23)	54	İnvazif koroner anjiyografide >%50 stenoz	90,3	98,9	93,3	98,4
Kadokami ve ark. (24)	49	İnvazif koroner anjiyografide >%50 stenoz	80	94	77	95
Ortalama Değerler			90,1	95	83,1	97,4

DUY: Duyarlılık, ÖZG: Özgüllük, PÖD: Pozitif öngörü değeri, NÖD: Negatif öngörü değeri



duyarlılığı %76, özgüllüğü %91 iken; KAKS ile birlikte değerlendirildiğinde özgüllükte belirgin azalma olmaksızın duyarlılığın %86'ya yükseldiği bildirilmiştir (29).

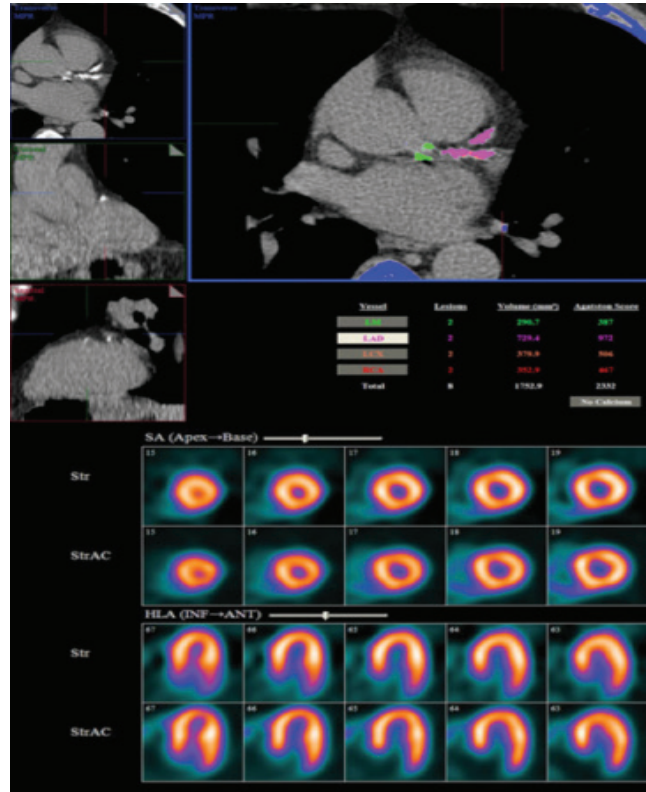
### Kardiyak BT ile Atenüasyon Düzeltmesi

Fotonların dokular tarafından atenüe edilmesi, kardiyak SPECT çalışmalarının özgüllüğünü etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Bu durum sıklıkla, meme dokusuna bağlı olarak anterior duvarda ve diyafragmaya bağlı olarak inferior duvarda yanlış pozitif yorumlara neden olmaktadır. Bu sorunu çözmeye yönelik olarak Am-241, Gd-153, Tc-99m gibi çeşitli eksternal kaynaklar kullanılarak atenüasyon düzeltmesi metodları üzerinde çalışılmıştır. Yapılan bazı çalışmalar atenüasyon düzeltmesinin özellikle özgüllüğü artırdığını savunurken, bunun tersini iddia eden, hatta testin doğruluk oranında azalmaya neden olduğunu savunan çalışmalar da bulunmaktadır (30,31). Kardiyak hibrit görüntülemenin yaygınlaşması ile birlikte, atenüasyon düzeltmesinde BT kullanımına ilişkin çalışmalar da hız kazanmıştır. BT'den elde edilen polikromatik X ışınları, yukarıda anlatılan radyoaktif kaynaklara kıyasla transmisyon görüntülerinin oldukça hızlı elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

Yapılan çalışmalar BT ile atenüasyon düzeltmesinin genel olarak MPS'nin tanısal doğruluğunu artırdığı yönündedir (Şekil 4). Yüz yedi hasta üzerinde yapılan bir çalışmada, hastaların SPECT/BT ile atenüasyon düzeltilmesi yapılan görüntülerinin koroner arter hastalığı tespitindeki tanısal doğruluğu değerlendirilmiştir. Atenüasyon düzeltilmesi yapılan görüntülerin duyarlılığı %83'ten %79'a düşürdüğü, buna karşılık özgüllüğü %63'ten %86'ya yükseldiği bildirilmiştir. Koroner arter bazında yapılan değerlendirmede, atenüasyon düzeltmesi ile sağ koroner arter bölgesindeki perfüzyon defektlerinin tespitinde tetkikin özgüllüğünün %73'ten %88'e, doğruluğunun ise %74'ten %83'e yükseldiği görülmektedir (32). Huang ve ark. atenüasyon düzeltmesi ile özellikle inferior duvarda defekt skorlarında azalma olduğunu ve bu durumun erkeklerde kadınlara kıyasla daha belirgin olduğunu bildirmiştir (33). Aynı çalışmada, atenüasyon düzeltmesi sonrası MPS'nin duyarlılığının %94,6'dan %91,9'a düşerken, özgüllüğünün %62,9'dan %79'a yükseldiği belirtilmiştir (33). BT ile yapılan atenüasyon düzeltmesinde, sistemin tanısal performansını etkileyen önemli sorunlardan birisi, transmisyon ve emisyon verilerinin kaydı esnasındaki uyumsuzluktur.



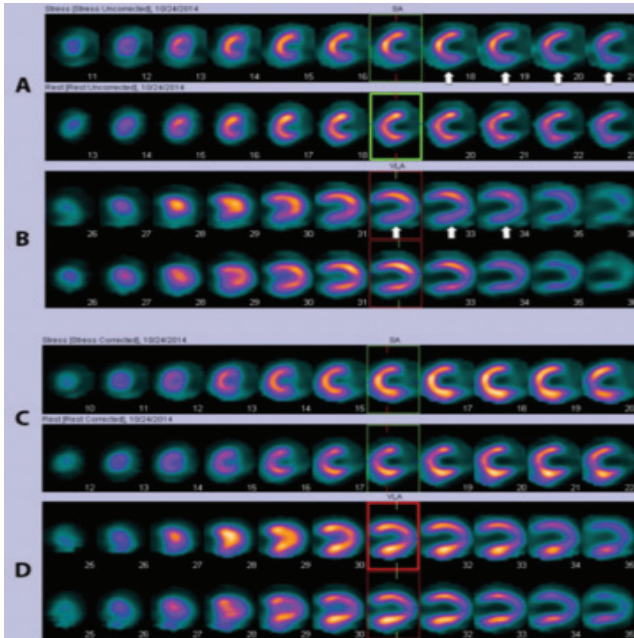
Şekil 2. Entegre SPECT/BT sistemi (Siemens Healthcare GmbH izni ile)



Şekil 3. Koroner arter hastalığı risk faktörleri pozitif olan asemptomatik hastanın 6 kesitli bilgisayarlı tomografi görüntülerinde tüm koroner arterlerde yoğun kalsifikasyon izlenmektedir. Toplam koroner arter kalsiyum skoru 2,332 olarak hesaplanan hastanın pik eforda elde edilen entegre stres MPS-SPECT bulguları normal sınırlardadır (Siemens Healthcare GmbH izni ile)

STR: Stres (efor sonrası görüntüler), STRAC: Efor sonrası atenüasyon düzeltmesi yapılmış görüntüler, LM: Sol ana koroner arter, LAD: Sol ön inen arter, LCX: Sol sirkumfleks arter, RCA: Sağ koroner arter, SA: Kısa eksen görüntüleri, HLA: Horizontal uzun eksen görüntüleri, INF: İnférieur (alt), ANT: Anterior (ön)

Kayıt uyumsuzlukları sık rastlanan durumlardır. Yapılan bir çalışmada hastaların %47'sinde transmisyon ve emisyon verileri arasında kayıt uyumsuzluğu bildirilmiştir. Birkaç piksel büyüğündeki minör uyumsuzlukların tanisal doğruluğu etkilemediğini bildiren yayınlar olmakla birlikte, aksini iddia eden çalışmalar da bulunmaktadır. Kayıt uyumsuzluklarında özellikle anterior duvar ve apekte defekt oluşumu dikkati çekmektedir (Şekil 5), inferior duvarda ise bu etki daha azdır (34,35). Sonuç olarak atenüasyon düzeltmesinin genel olarak MPS'nin tanisal doğruluğunu artırdığına ilişkin yayınlar bulunmakla birlikte yöntemin hala teknik olarak mükemmel olmadığı kabul edilmektedir. Ağırlıklı olarak respirasyona bağlı kalp pozisyon farklarından



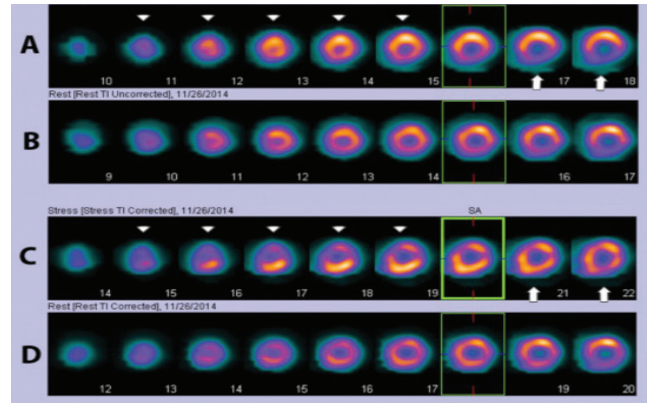
Şekil 4. Akut miyokart infarktüsü nedeni ile koroner anjiyografi yapılan 51 yaşındaki erkek hastada sirkumfleks arterde total oklüzyon saptanarak bu bölgeye stent uygulanmıştır. Girişim sonrasında yapılan tek gün rest-adenozin stres Tc-99m metoksiizobütilizonitril SPECT/BT çalışmasında: Atenüasyon düzeltmesi yapılmamış görüntülerde (A,B) lateral duvarda saptanan MI ile uyumlu geniş perfüzyon defektine ek olarak, akut miyokart infarktüs alanının inferior komşuluğunda (oklar) efor iskemisi açısından kuşku görünüm mevcuttur. Atenüasyon düzeltmesi yapılmış rest ve stres görüntülerinde (C,D), tanımlanan alanda perfüzyon normal sınırlarda izlenmektedir. Bu olguda infarkt alanı komşuluğunda rezidüel efor iskemisi kuşku bilgisayarlı tomografi atenüasyon düzeltme ile ekarte edilmektedir (Ondokuz Mayıs Üniversitesi arşivinden)

VLA: Vertikal uzun eksen görüntüleri

doğan kayıt hataları, düzeltme esnasında yeni artefaktlar yaratmaktadır. Bu hatalar bazı hastalarda manuel müdahale sonrası giderilebilse de, genelde kalıcı sonuçlar doğurmaktadır. Ancak rutin kullanım arttıkça, sistemin sebep olabileceği artefakt tipleri öğrenilebilmekte ve tahmin edilebilmektedir. Raporlamada düzeltilmiş ve düzeltilmemiş görüntü serilerinin kesinlikle birlikte yorumlanması gerekmektedir.

### Sonuç

Hibrit kardiyak görüntüleme genel anlamda oldukça avantajlı bir teknik olmakla birlikte, radyasyon dozlarındaki ve maliyetteki artış dikkate alınarak seçilmiş hastalarda uygulanmasının doğru bir yaklaşım olacağı ve KAKS ile birlikte değerlendirildiğinde özellikle düşük-orta risk grubundaki hastalarda yarar sağlayabileceği düşünülmektedir. Bu durum özellikle orta derecede riskli hasta grubunda önem kazanmaktadır. Bu hasta grubunda koroner arter darlığının hemodinamik etkilerinin bilinmesi, tedavi



Şekil 5. Altmış yedi yaşındaki erkek hastada adenosin stres-rest Tl-201 SPECT/BT çalışması: İnförior duvarın bazal kesimlerinde izlenen, stres kesitlerinde (A) dinlenme kesitlerine (B) kıyasla daha belirgin olan rölatif hipoaktif görünüm (oklar) efor iskemisi kuşku yaratmaktadır. Atenüasyon düzeltmesi yapılmış stres-rest kesitlerinde (C,D) aynı alanın normal sınırlarda perfüzyon bulguları sergilediği görülmektedir. Ancak, düzeltme işlemi esnasında anterior duvarın apikal-midventriküler kesimlerinde önceden var olmayan hipoperfüzyon görüntüsünün (ok başları) oluştuğu dikkat çekmektedir. Düzeltilmiş rest görüntülerinde (D) bu alanda perfüzyon normal olduğundan artefaksiyel olarak antero-apikal efor iskemisi bulguları oluşmuştur. Bu tip düzeltme hataları nadir olmadığından çalışmaları sadece düzeltilmiş SPECT görüntülerinden yorumlamak mümkün olmamaktadır (Ondokuz Mayıs Üniversitesi arşivinden)

planının belirlenmesinde önemli bir faktördür. Bu nedenle orta riskli hasta grubu hibrit kardiyak görüntüleme için uygun bir popülasyondur. Çoklu damar hastalıklarında da anjiyografik olarak saptanan darlıkların miyokardial perfüzyona yansımada farklılıklar olabileceğinden hibrit görüntülemenin iyi bir seçenek olabileceği düşünülmektedir. Atenüasyon düzeltmesinin genel olarak MPS'nin tanısallı doğruluğunu artırdığına ilişkin yayınlar bulunmakla birlikte yöntemin hala teknik olarak mükemmel olmadığı kabul edilmektedir. Bu nedenle raporlamada düzeltilmiş ve düzeltilmemiş görüntü serilerinin birlikte yorumlanması önemlidir.

**Çıkar Çatışması:** Yazarlar bu makale ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması bildirmemiştir.

**Finansal Destek:** Çalışmamız için hiçbir kurum ya da kişiden finansal destek alınmamıştır.

### Kaynaklar

- Pitman AG, Kalff V, Van Every B, Risa B, Barnden LR, Kelly MJ. Contributions of subdiaphragmatic activity, attenuation, and diaphragmatic motion to inferior wall artifact in attenuation corrected Tc-99m myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 2005;12:401-419.
- Corbett JR, Kritzman JN, Ficaro EP. Attenuation correction for single photon emission computed tomography myocardial perfusion imaging. *Curr Cardiol Rep* 2004;6:32-40.
- Coyne EP, Belvedere DA, Vande Streek PR, Weiland FL, Evans RB, Spaccavento LJ. Thallium-201 scintigraphy after intravenous infusion of adenosine compared with exercise thallium testing in the diagnosis of coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1991;17:1289-1294.
- Iskandrian AS, Heo J, Kong B, Lyons E. Effect of exercise level on the ability of thallium-201 tomographic imaging in detecting coronary artery disease: Analysis of 461 patients. *J Am Coll Cardiol* 1989;14:1477-1486.
- Segall GM, Davis MJ, Goris ML. Improved specificity of prone versus supine thallium SPECT imaging. *Clin Nucl Med* 1988;13:915-916.
- Segall GM, Davis MJ. Prone versus supine thallium myocardial SPECT: A method to decrease artifactual inferior wall defects. *J Nucl Med* 1989;30:548-555.
- Travin MI, Heller GV, Johnson LL, et al. The prognostic value of ECG-gated SPECT imaging in patients undergoing stress Tc-99m sestamibi myocardial perfusion imaging. *J Nucl Cardiol* 2004;11:253-262.
- Gould KL, Lipscomb K, Hamilton GW. Physiologic basis for assessing critical coronary stenosis: Instantaneous flow response and regional distribution during coronary hyperemia as measures of coronary flow reserve. *Am J Cardiol* 1974;33:87-94.
- Fujimoto S, Wagatsuma K, Uchida Y, et al. Study of the predictors and lesion characteristics of ischemic heart disease patients with false negative results in stress myocardial perfusion single-photon emission tomography. *Circ J* 2006;70:297-303.
- Budoff MJ, Dowe D, Jollis JG, et al. Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease: Results from the prospective multicenter ACCURACY (Assessment by Coronary Computed Tomographic Angiography of Individuals Undergoing Invasive Coronary Angiography) trial. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:1724-1732.
- Arbab-Zadeh A, Miller JM, Rochitte CE, et al. Diagnostic accuracy of computed tomography coronary angiography according to pre-test probability of coronary artery disease and severity of coronary arterial calcification. The CORE-64 (Coronary Artery Evaluation Using 64-Row Multidetector Computed Tomography Angiography) International Multicenter Study. *J Am Coll Cardiol* 2012;59:379-387.
- Iyengar SS, Morgan-Hughes G, Ukoumunne O, et al. Diagnostic accuracy of high-definition CT coronary angiography in high-risk patients. *Clin Radiol* 2016;71:151-158.
- Gaemperli O, Kaufmann PA, Alkadhi H. Cardiac hybrid imaging. *Eur J Nucl Med Mollmaging* 2014;41(Suppl 1):91-103.
- Hachamovitch R, Rozanski A, Shaw LJ, et al. Impact of ischaemia and scar on the therapeutic benefit derived from myocardial revascularization vs. medical therapy among patients undergoing stress-rest myocardial perfusion scintigraphy. *Eur Heart J* 2011;32:1012-1024.
- Kapur A, Latus KA, Davies G, et al. A comparison of three radionuclide myocardial perfusion tracers in clinical practice: The ROBUST study. *Eur J Nucl Med Mollmaging* 2002;29:1608-1616.
- Shaw LJ, Iskandrian AE. Prognostic value of gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 2004;11:171-185.
- Hachamovitch R, Berman DS, Shaw LJ, et al. Incremental prognostic value of myocardial perfusion single photon emission computed tomography for the prediction of cardiac death differential stratification for risk of cardiac death and myocardial infarction. *Circulation* 1998;97:535-543.
- Singh B, Bateman TM, Case JA, Heller G. Attenuation artifact, attenuation correction, and the future of myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 2007;14:153-164.
- Santana CA, Garcia EV, Faber TL, et al. Diagnostic performance of fusion of myocardial perfusion imaging (MPI) and computed tomography coronary angiography. *J Nucl Cardiol* 2009;16:201-211.
- Rispler S, Keidar Z, Ghersin E, et al. Integrated single-photon emission computed tomography and computed tomography coronary angiography for the assessment of hemodynamically significant coronary artery lesions. *J Am Coll Cardiol* 2007;49:1059-1067.

21. Sato A, Nozato T, Hikita H, et al. Incremental value of combining 64-slice computed tomography angiography with stress nuclear myocardial perfusion imaging to improve noninvasive detection of coronary artery disease. *J Nucl Cardiol* 2010;17:19-26.
22. Gaemperli O, Schepis T, Valenta I, et al. Cardiac image fusion from stand-alone SPECT and CT: Clinical experience. *J Nucl Med* 2007;48:696-703.
23. Li JM, Shi RF, Zhang LR, Li T, Dong Z. Combined CT angiography and SPECT myocardial perfusion imaging for the detection of functionally relevant coronary stenoses. *Mol Med Rep* 2013;7:1391-1396.
24. Kadokami T, Ando S, Momii H, et al. Diagnostic performance of cardiac fusion images from myocardial perfusion imaging and multislice computed tomography coronary angiography for assessment of hemodynamically significant coronary artery lesions: An observational study. *Nucl Med Commun* 2012;33:60-68.
25. Grundy SM, Cleeman JI, Merz CN, et al. Implications of recent clinical trials for the national cholesterol education program adult treatment panel III guidelines. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:720-732.
26. Mouden M, Timmer JR, Reiffers S, et al. Coronary artery calcium scoring to exclude flow-limiting coronary artery disease in symptomatic stable patients at low or intermediate risk. *Radiology* 2013;269:77-83.
27. Fernandez-Friera L, Garcia-Alvarez A, Bagheriannejad-Esfahani F, et al. Diagnostic value of coronary artery calcium scoring in low-intermediate risk patients evaluated in the emergency department for acute coronary syndrome. *Am J Cardiol* 2011;107:17-23.
28. Berman DS, Hachamovitch R, Shaw LJ, et al. Roles of nuclear cardiology, cardiac computed tomography, and cardiac magnetic resonance: noninvasive risk stratification and a conceptual framework for the selection of noninvasive imaging tests in patients with known or suspected coronary artery disease. *J Nucl Med* 2006;47:1107-1118.
29. Schepis T, Gaemperli O, Koepfli P, et al. Added value of coronary artery calcium score as an adjunct to gated SPECT for the evaluation of coronary artery disease in an intermediate-risk population. *J Nucl Med* 2007;48:1424-1430.
30. Corbett JR, Ficaro EP. Attenuation corrected cardiac perfusion SPECT. *Curr Opin Cardiol* 2000;15:330-336.
31. Banzo I, Pena FJ, Allende RH, Quirce R, Carril JM. Prospective clinical comparison of non-corrected and attenuation-and scatter-corrected myocardial perfusion SPECT in patients with suspicion of coronary artery disease. *Nucl Med Commun* 2003;24:995-1002.
32. Plachcinska A, Włodarczyk M, Kovacevic-Kusmierk K, et al. Diagnostic performance of myocardial perfusion SPECT with attenuation correction. *Kardiol Pol* 2015;doi:10.5603/KP.a2015.0100.
33. Huang R, Li F, Zhao Z, et al. Hybrid SPECT/CT for attenuation correction of stress myocardial perfusion imaging. *Clin Nucl Med* 2011;36:344-349.
34. Tonge CM, Manoharan M, Lawson RS, Shields RA, Prescott MC. Attenuation correction of myocardial SPECT studies using low resolution computed tomography images. *Nucl Med Commun* 2005;26:231-237.
35. Plachcinska A, Włodarczyk M, Drozd J, et al. Effect of CT misalignment on attenuation-corrected myocardial perfusion SPECT. *Nucl Med Rev Cent East Eur* 2015;18:78-83.