

# Çok kesitli bilgisayarlı tomografi koroner anjiyografi: Genel ilkeler, teknik ve klinik uygulamalar

*Multislice computerized tomography coronary angiography: general principles, technique and clinical applications*

Nevzat Karabulut

Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalı, Denizli, Türkiye

## ÖZET

Elektrokardiyogram tetiklemeli çok kesitli bilgisayarlı tomografi (BT) koroner anjiyografi kalp damarlarını noninvazif olarak görüntüleyebilen ve hızla gelişen bir tekniktir. Başlangıçta 4-kesitli BT'ler ile ümit verici sonuçlar alındıktan sonra, temporal ve uzaysal çözünürlüğü iyileştirmek için gantri dönüş süresini kısaltma, dedektör sıra sayısını artırma ve dedektör boyutunu azaltma yönünde sürekli bir teknolojik iyileştirme olmaktadır.

Bu derlemede çok kesitli BT koroner anjiyografinin genel prensiplerinden, tekniğinden ve koroner arter BT anjiyografi uygulamalarından söz edilecektir. Bu yeni teknolojinin tanınal performansı, koroner arterlerdeki plak ve darlıkların, koroner baypas açıklığının değerlendirilmesinde ve koroner arter anomalilerinin seyri göstermede BT koroner anjiyografiyi çok değerli bir yöntem yapmıştır. Koroner çok kesitli BT anjiyografi, koroner arter lümenine ek olarak damar duvarını da gösterebilmesi, kalp ve büyük damarlar hakkında hacimsel veri sağlaması nedeniyle plak "remodeling"ini, ostiyal lezyonları, kalple ilgili ve kalp dışı diğer patolojileri kolaylıkla gösterebilmektedir. Koroner darlıkları saptamadaki yüksek negatif prediktif değeri nedeni ile BT anjiyografi koroner arter hastalığı olasılığı düşük ve orta olan hastalarda değerli bir yöntem özelliği taşımaktadır. Ancak, özellikle küçük çaplı koroner stentleri görüntülemek, kalsifiye olmayan plakları saptamak ve karakterize etmek ve aritmi, yüksek kalp hızı ve kalsifikasyona bağlı artefaktları önlemek için, uzaysal ve temporal çözünürlüğün daha da iyileştirilmesine gereksinim sürmektedir. (*Anadolu Kardiyol Derg 2008; 8: Özel Sayı 1; 29-37*)

**Anahtar kelimeler:** Çok kesitli bilgisayar tomografi, koroner anjiyografi, teknik, uygulamalar, koroner arter hastalığı

## ABSTRACT

Electrocardiogram-gated coronary multislice computerized tomography (CT) angiography is a rapidly improving technology allowing noninvasive imaging of coronary arteries. After the initial promising results obtained with four-section CT scanners, progressively higher temporal and spatial resolutions have been achieved by increasing gantry rotation speed and the number of detector rows and by reducing individual detector size.

This review presents an overview of the general principles, technique and emerging applications and artifacts of coronary multislice CT angiography. The diagnostic performance of this new technology allows it to be used to evaluate the presence of coronary plaques and stenosis, coronary bypass graft patency, and the origin and course of congenital coronary anomalies. As it visualizes coronary artery wall in addition to lumen and provides volumetric data of heart and great vessels, it readily demonstrates plaque remodeling, ostial lesions and other cardiac and extracardiac abnormalities. The high negative predictive value of coronary CT angiography makes it a valuable tool in the evaluation of patients with low or intermediate pretest probability for coronary artery disease. However, improvements in spatial and temporal resolution are still needed in the imaging of small coronary stents, in the detection and characterization of noncalcified plaques, and to overcome image degradation by arrhythmias, higher heart rates, and calcium-related artifacts. (*Anadolu Kardiyol Derg 2008; 8: Suppl 1; 29-37*)

**Key words:** Multislice computerized tomography, coronary angiography, technique, applications, coronary artery disease

## Giriş

Koroner arter hastalığı (KAH) gelişmiş ülkelerde en sık ölüm nedenidir. Damar duvarındaki aterosklerotik plak gelişimi lümendeki darlıktan çok önce başlamaktadır ve akut koroner arter sendromlarının çoğu bu plakların kopup lümeni tika-

masına bağlı oluşmaktadır (1, 2). Koroner arter hastalığının erken evrelerde tanınması, ilerlemesinin ve komplikasyonlarının önlenmesi açısından önemlidir. Koroner arter lümeninin değerlendirilmesinde altın standart kabul edilen kateter anjiyografi bulguları tedavi seçeneklerini (perkütan balon anjiyoplasti, stent uygulaması veya koroner revaskülarizasyon cerrahisi)

belirlemede en sık kullanılan yöntemdir. Ancak invazif bir yöntem olmasına bağlı düşük de olsa morbidite ve mortalite riski taşıması, sadece lümen bilgisi vermesi, pozitif arteriyel "remodeling" nedeni ile erken dönemde damar duvarındaki değişiklikleri göstermedeki kısıtlılığı anjiyografinin başlıca dezavantajlarıdır.

Çok kesitli bilgisayarlı tomografi (ÇKBT) 1998 yılında klinik kullanıma girmiş olup, literatürde "multislice CT", "multidetector CT" ve "multidetector row CT" gibi isimler ile anılmaktadır (3). Tüpün hasta etrafında bir dönüşünde tek kesit alabildiği önceki helikal (spiral) bilgisayarlı tomografi (BT) sistemlerinden farklı olarak, ÇKBT'de bir rotasyonda 4 veya daha fazla sayıda (8, 16, 32, 40, 64, 256, 320) kesit almasına olanak veren z-ekseni (hasta masası yönü) boyunca dizilmiş çok sıralı dedektör sistemi vardır (3, 4). İki bin bir yılında 8-kesitli, 2002 yılında 16-kesitli, 2004 yılında 64-kesitli, 2006'da çift tüplü 64-kesitli, 2007'de 256-kesitli ve 2008'de 320-kesitli BT'ler klinik kullanıma girmiştir (3, 5-11). Çok kesitli bilgisayarlı tomografi teknolojisindeki gelişmeler uzun mesafeleri kısa sürede ve ince çözünürlükte görüntülemeyi mümkün kıldığından, ÇKBT anjiyografi 1998'den beri koroner arter sistemi dışındaki vasküler yapıların görüntülenmesinde kullanılmaktadır. Kalbin hareketli bir organ olması nedeniyle ÇKBT'nin koroner arterleri görüntülemede kullanılabilmesi ancak bu cihazlara EKG tetikleminin entegre edilmesinden sonra mümkün olmuştur (12, 13).

Koroner BT anjiyografi kateter anjiyografiden farklı olarak, damar lümeni yanında damar duvarını da gösterebildiğinden, lümende belirgin darlık yapmayan duvardaki erken aterosklerotik değişiklikleri (kalsifik veya yumuşak plak) saptayabilir (5). Koroner arter duvarının değerlendirilmesinde kullanılan ve invazif bir teknik olan intravasküler ultrasonografi ancak deneyimli merkezlerde yapılabilirken, aynı amaçla kullanılan koroner BT anjiyografi cihazın bulunduğu her yerde yapılabilen noninvazif bir yöntemdir (7, 14).

Bu yazıda, özellikle 16- ve daha çok kesitli BT sistemlerinin kullanıma girmesiyle giderek yaygınlaşan ve gelişme süreci devam eden koroner BT anjiyografideki fizik parametreler, teknolojik gelişmeler ve radyasyon dozu gözden geçirilecek, endikasyonları, çekim ve değerlendirme teknikleri, koroner arter anatomisi ve anomalileri, koroner patolojiler, koroner baypas greft ve koroner stent değerlendirilmesi, artefaktlar ve BT ile tanı konulan koroner dışı patolojiler gözden geçirilecektir.

### Çok kesitli bilgisayarlı tomografi koroner anjiyografi fiziği

Bilgisayarlı tomografi ile kardiyak görüntülemenin önündeki en önemli güçlük kalp ve solunum hareketleri ile koroner damarların küçük çaplı olmasıdır. Bunları aşabilmek için cihazın temporal (zamansal) ve uzaysal çözünürlüğünün yüksek olması ve EKG tetiklemesi gerekir (4).

#### Çözünürlük (Rezolüsyon)

İdeal olarak kalp siklusunun tüm fazlarında hareketsiz görüntüler alabilmek için temporal çözünürlük (*görüntü rekonstrüksiyonu için gerekli veriyi toplama süresi*) 50 ms civarında ol-

malıdır (4). Günümüzde kullanılan ÇKBT sistemlerinde temporal rezolüsyon gantri rotasyon zamanı (330-500 msn), EKG senkronizasyon algoritması, rekonstrüksiyon algoritması ve "pitch" faktörüne bağlı değişmekle birlikte, genel olarak tek tüplü sistemlerde gantri rotasyon zamanının yarısı (165-250 msn), çift tüplü sistemlerde ise rotasyon zamanının çeyreği (83 msn) kadardır (4, 8, 9). Kateter anjiyografide ise bu değer 1-10 msn arasındadır. Bu nedenle, EKG tetiklemeli ÇKBT anjiyografide görüntüler kalp hareketinin en az olduğu diyastol fazında alınır. İyi kalitede koroner arter görüntüsü alabilmek için temporal rezolüsyon 70 atım/ dakikanın altındaki kalp hızlarında en az 250 msn, 100 atım/ dakikanın üzerindeki kalp hızlarında ise 150 msn düzeyinde olmalıdır (4, 15).

Koroner arterler küçük çaplı (2-4 mm) damarlar olup, ayrıntılı olarak gösterilebilmesi için *uzaysal rezolüsyonun* yüksek olması gerekir. Çok kesitli bilgisayarlı tomografide uzaysal çözünürlüğün belirleyicileri dedektör boyutu (0.5-0.625 mm), rekonstrüksiyon aralığı (genellikle kesit kalınlığının yarısı) ve hasta hareketidir. İdeal olarak her 3 boyutu da aynı olan izotropik voksel (volüm elementi) alınabilmelidir. Vokselin x-y eksenindeki boyutunu görüntüleme alanının matrikse oranı, z-eksenindeki boyutunu ise kesit kalınlığı belirler. Günümüzde kullanılan 16-kesitli sistemlerde uzaysal çözünürlük 0.5 x 0.5 x 0.6 mm ve 64-kesitli sistemlerde 0.4 x 0.4 x 0.4 mm dolayında iken kateter anjiyografide bu değer 0.2 x 0.2 mm'dir (16, 17).

#### Veri alma tekniği (Elektrokardiyogram senkronizasyon algoritması)

Koroner arterler hareket eden kas yapılarına yakın seyir gösterdiklerinden en iyi görüntü kalp hareketinin en az olduğu diyastol fazında alınır. Bu nedenle, prospektif veya retrospektif elektrokardiyogram (EKG) tetiklemesi kullanılır.

A. Prospektif EKG tetiklemede sadece önceden belirlenen kalp fazında (örneğin R-R aralığının % 70'i) aksiyal görüntü alındığı için parsiyel görüntüleme de denir (4). Konvansiyonel BT'deki gibi, bir görüntü alındıktan sonra masa sonraki pozisyona ilerler ve tekrar görüntü alınır. Bu döngü 10-15 cm'lik kalp mesafesi boyunca tekrarlanır. Parsiyel görüntüleme yapıldığından radyasyon dozu düşüktür (1-3 mSv). Rutinde BT ile koroner kalsiyum skorlamada kullanılan bu yöntem, çift tüplü BT sistemlerinde koroner anjiyografide de tercih edilebilir (9).

B. Retrospektif EKG tetiklemede ise, kalp siklusunun tüm fazları boyunca helikal görüntüler alınır ve daha sonra istenilen fazlardan rekonstrüksiyon yapılır. Rutin ÇKBT koroner anjiyografide kullanılan bu yöntemde radyasyon dozu fazladır. Kullanılan protokole bağlı değişmekle birlikte, BT koroner anjiyografideki efektif radyasyon dozu 7-13 mSv dolayındadır (18, 19). Tüp akım modülasyonu, faz-spesifik görüntüleme ve yüksek "pitch" değeri kullanarak radyasyon dozu azaltılabilir. Tüp akım modülasyonunda, kalp siklusunun hareketli fazlarında (sistol) tüp akımı azaltılır. Bu yöntemle radyasyon dozu %50 azaltılabilir (20). Johnson ve arkadaşları (9), prospektif EKG tetikleme ve tüp akım modülasyonu kullanarak yaptıkları çift tüplü ÇKBT koroner anjiyografide efektif dozu 4.6-7.5 mSv hesaplamışlardır. Bu değer 320-kesitli BT'de 5 mSv'nin altında olduğu bildirilmiştir (11).

## Çok kesitli bilgisayarlı tomografi koroner anjiyografi çekim tekniği

### Hasta hazırlığı

İyi kalitede, artefaktan arınmış bir görüntü için hasta hazırlığı çok önemlidir. Tetkik öncesi hasta en az 4 saat katı gıda almamalıdır. Bu, kontrast madde enjeksiyonunu takiben oluşabilecek bulantıyı azaltır. Hastaların dehidrate kalmaması için sıvı alımı kısıtlanmamalıdır. Ancak, kalp hızını artırmaması için kafein almaması önerilir. Hastanın rahatlatılıp anksiyetesini azaltmak tetkik sırasında kooperasyonu sağlamak için çekim öncesi hasta teknik hakkında bilgilendirilmeli, kontrast madde enjeksiyonu sonrası sıcaklık hissi olabileceği ve tetkik sırasında hareket etmemesi ve iyi nefes tutması gerektiği net olarak anlatılmalıdır. Tetkik öncesi hastaya 20-25 sn süreyle nefes tutma egzersizi yaptırmak yararlıdır. Ayrıca, tetkik sırasında hastanın rahatlığı için işlem öncesi mesanesini boşaltması önerilir (21, 22).

Enjeksiyon için antekübital vene 18-20 G intraket yerleştirilir. Koroner arterlerin BT anjiyografi incelemesinde BT veri kaydını EKG ile senkronize eden EKG tetikleme kullanılır. İyi kalitede görüntü elde edebilmek için kalp hızının 65-70 atım/dakikadan az olması gerekir. Çünkü, diyastol süresi kalp hızı ile ters orantılıdır. Kalp hızı >70 atım/dakika olan hastalarda beta-bloker ilaçlarla kalp hızının düşürülmesi gerekir. Bu amaçla, her 3-5 dakikada 5 mg metoprolol kalp hızı <70 atım/dakika veya toplam doz 20-25 mg oluncaya kadar intravenöz yoldan verilir (21, 22). Buna rağmen kalp hızı 70-90 atım/dakika arasında olan hastalara BT anjiyografi yapılabilir. Ancak, kalp hızı >90 atım/dakika ise özellikle 16-kesitli BT'lerde anjiyografi yapılması efektif olmayabilir. Beta-blokerin kontrendike olduğu hastalarda kalsiyum kanal blokerleri de kullanılabilir. Çift tüplü 64-kesitli BT sisteminde ise, kalp hızı yüksek veya aritmik hastalarda beta-bloker kullanmadan yüksek doğrulukta anjiyografik görüntüler elde etmek mümkündür (8, 9). Koroner arter lümenini genişlettiğinden, tetkikten 2-4 dakika önce dil altı kısa etkili nitrogliserin verilmesi yararlıdır (21, 22).

Kontrast madde alerjisi ve gebelik BT anjiyografinin kesin kontrendikasyonlarıdır. Rölatif kontrendikasyonlar ise nefes tutamama, düzensiz veya hızlı (>90) kalp ritmi ve böbrek yetmezliğidir. Diğer önemli bir sorun koroner damarlarda yaygın kalsifikasyon olmasıdır. Eğer anjiyografi öncesi kalsiyum skorlama yapılmış ve yoğun ve yaygın koroner kalsifikasyon saptanmışsa, görüntüler artefaktlı olacağından, BT anjiyografi yapılmamalıdır. Morbid obez hastalarda görüntüler çok gürültülü olacağından BT yerine diğer tanı yöntemleri tercih edilmelidir.

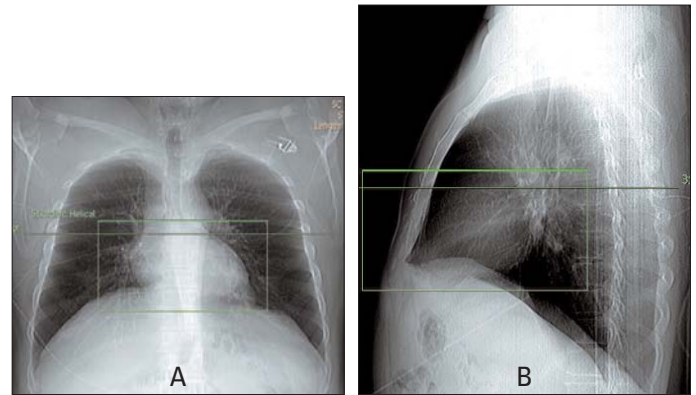
### Veri (görüntü) kaydı

Koroner BT anjiyografi çekimi 3 veya 4 aşamada yapılır. İlk aşamada toraksın topogramı (skenogram) alınarak inceleme alanının sınırları belirlenir. Genel olarak karına düzeyi ile kalp apeksi arasındaki mesafe taranır, ancak baypas greft değerlendirilmesinde arkus aorta ile diyafram arası taranmalıdır (Şekil 1). İkinci aşamada, eğer hasta 40 yaşın üzerinde ve KAH açısından risk taşıyorsa, koroner kalsiyum skorlaması yapılır. Üçüncü aşamada, test enjeksiyonu veya bolus izleme yöntemi kullanılarak aort kökünden ölçüm yapılır ve maksimum kontrastlanma

zamanı bulunur. Bu süreye 5 sn eklenerek koroner arterlerin optimum kontrastlanması için gecikme zamanı hesaplanır. Dördüncü aşamada ise, intravenöz kontrast madde enjeksiyonunu takiben, uygun gecikme zamanı sonrasında aort kökünden kalp kaidesine kadar 10-15 cm'lik mesafeden BT anjiyografik görüntüler alınır. Verilecek kontrast madde miktarı cihaza ve hastanın ağırlığına göre değişir. Genel olarak, 16-kesitli koroner BT anjiyografi'de 100 ml kontrast madde 4-5 ml/sn hızla verilirken, 64-kesitli ve çift tüplü sistemlerde 70-80 ml kontrast madde 5-6 ml/sn hızla verilir. Sağ ventriküldeki kontrastı yıkamak için, kontrast enjeksiyonunu takiben 2-3 ml/sn hızla 40-50 ml serum fizyolojik verilmesi önerilir. "Pitch" değeri genellikle kalp hızına göre cihaz tarafından otomatik olarak belirlenir ve 0.2-0.4 arasındadır. Kesit kalınlığı olarak cihaz tarafından sağlanan en düşük kesit kalınlığı (0,5-1 mm aralığında) kullanılmalı ve rekonstrüksiyon aralığı kesit kalınlığının yarısı olacak şekilde seçilmelidir. Görüntü rekonstrüksiyonu kalp hızına göre değişir. Düşük hızlarda tek bir kalp siklusundan rekonstrüksiyon (parsiyel görüntü rekonstrüksiyonu) yapılırken, yüksek kalp hızlarında temporal rezolüsyonu artırmak için birden fazla sayıda kardiyak siklustan rekonstrüksiyon (çok segmentli rekonstrüksiyon) yapılır. Veri alma süresi 16-kesitli koroner BT anjiyografi'de 20-25 sn iken 64-kesitli ve çift tüplü sistemlerde 6-10 sn, 256-kesitli sistemde ise 1.5 sn düzeyindedir (6, 8-10, 15). Gelişen teknolojiyle birlikte veri alma süresinin kısalması uzun süre nefes tutamayan hastaların görüntülenmesine de olanak sağlamaktadır.

### Görüntülerin yorumlanması

Elektrokardiyogram ile senkronize edilen BT veri kaydından, retrospektif olarak, RR aralığının yüzdesi olarak tanımlanan kalp siklusunun herhangi bir fazından görüntü rekonstrüksiyonu yapılabilir. İyi kalitede bir görüntü elde etmek için hareketin olmadığı uygun fazdan rekonstrüksiyon yapılması şarttır. Burada en önemli faktör kalp hızıdır; çünkü hareketsiz periyotların süresi kalp hızıyla ters orantılıdır. Kalp hızı 70 atım/dakikadan az olduğunda en iyi rekonstrüksiyon penceresi orta ve geç diyastol iken 70 atım/dakikanın üzerindeki hızlarda geç sistol ve erken diyastoldür (23, 24). Gantri rotasyon zamanı 370 msn olan 16-kesitli BT cihazıyla yapılan bir çalışmada Bley ve ark. (24), 70 atım/dakikadan düşük kalp hızlarında RR aralığının %60'ının ve



Şekil 1. Tarama mesafesi: Koroner BT anjiyografi öncesi alınan anteroposterior (A) ve lateral (B) skenogram görüntüleri üzerinde karından kalp kaidesine kadar taranacak mesafe belirlenir. Baypaslı hastalarda ise çekime arkus aorta düzeyinden başlanır.

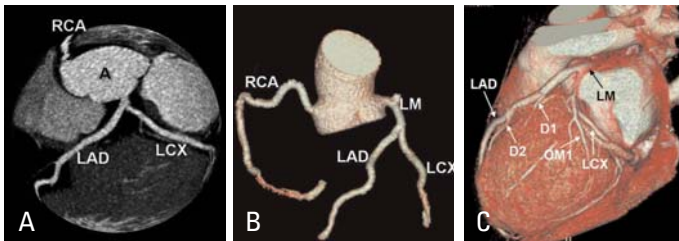


yüksek hızlarda ise %40'ının rekonstrüksiyon için en uygun faz olduğunu bildirmişlerdir. Kantarcı ve arkadaşları (25) yaptıkları bir çalışmada, EKG'deki T dalgasının zirve ve sonu arasına karşılık gelen izovolümik relaksasyon periyodunda (R-R aralığının %26-58) yapılan rekonstrüksiyonun çok fazla rekonstrüksiyonlar ile benzer sayıda kaliteli görüntü sağladığını bildirerek, rekonstrüksiyona bu fazla başlanmasını önermişlerdir. Bizim 400 ms gantri rotasyon zamanına sahip 16-kesitli BT cihazındaki deneyimlerimiz de %70-80 fazının 75 atım/dakikanın altındaki hızlarda en uygun pencere olduğunu göstermektedir. Rutin kardiyak incelemeler sonrasında birçok fazdan görüntü rekonstrüksiyonu yapılarak (%30, %40, %50, %60, %75, %80) değerlendirme aşamasında koroner arterler için en uygun fazı seçiyoruz. Daha sonra yüksek performanslı iş istasyonunda ince aksiyel kesitlerden 2 boyutlu maksimum intensite projeksiyon (MIP), multiplanar reformat (MPR) ve 3 boyutlu hacimsel gösterim (volume rendering) formatında görüntüler oluşturuyoruz (Şekil 2). Multiplanar reformat (MPR) ve MIP görüntülerde damar lümeni, damar duvarı ve kalp odacıkları değerlendirilirken, 3-boyutlu görüntülerde koroner arter anatomisi ve stenozlar değerlendirilmektedir.

### Çok kesitli bilgisayarlı tomografi koroner anjiyografinin klinik kullanımı

Gelişen teknoloji ile uzaysal ve temporal çözünürlüğün iyileşmesi, tüp dönüş zamanının kısılması ve dedektör sıra sayısındaki artış ÇKBT koroner anjiyografinin tanısal performansını artırmış ve çok kısa sürede (<10 sn) koroner anatomiyi ayrıntılı olarak ortaya koymasını mümkün kılmıştır. Özellikle çift tüplü 64-kesitli BT cihazlarıyla 6-10 sn içinde beta-bloker kullanmaksızın tanısal kalitede anjiyografi yapılabilmektedir (8, 9).

Çok kesitli bilgisayarlı tomografi koroner anjiyografi koroner arter anomalilerinin saptanmasında, koroner stenozunun tanı ve derecelendirilmesinde, plak karakterizasyonunda, baypas grefti ve stent açıklığının değerlendirilmesi ve kardiyak fonksiyonların değerlendirilmesinde yüksek doğrulukta sonuçlar verir. Ayrıca, koroner ostiyum lezyonlarında ÇKBT koroner anjiyografinin kateter anjiyografiden daha üstün olduğu bildirilmiştir (26). Acil servise göğüs ağrısıyla başvuran hastalarda, ağrının 3 önemli nedeni olan akut koroner sendrom, pulmoner emboli ve aort disseksiyonu ayırıcı tanısı ÇKBT ile yüksek doğrulukta yapılabildiğinden bu grup hastalarda güvenle kullanılabilirliği de belirtilmektedir (27, 28).



**Şekil 2. Uygun fazda rekonstrükte edilen görüntüler iş istasyonu üzerinde işlenerek koroner damarlar görüntülenir. A) Küre (globe) görüntüsü, B) Damar ağacı görüntüsü, C) Hacimsel gösterim**

A- aort, D- diyağonal arter, LAD- sol ön inen arter, LCX- sol sirkümfleks arter, LM- sol ana koroner arter, OM- obtus marjinal arter, RCA- sağ koroner arter

### Koroner arter anatomisi

Bilgisayarlı tomografi anjiyografide değerlendirilen 4 ana koroner damar, sağ koroner (RCA), sol ana koroner (LM), sirkümfleks (LCX) ve sol ön inen (LAD) arterdir (Şekil 2). İnsanların %85'inde koroner dolaşım sağ dominant olup, arka inen arter (PDA) ve posteriyor sol ventriküler dallar RCA'dan köken alır (16, 29). Dolaşım %8 insanda sol dominant olup PDA ve posteriyor sol ventriküler dallar LCX'ten çıkar. Geri kalan %7 grubunda ise dolaşım kodominant olup PDA RCA'dan ve posteriyor sol ventriküler dal ise LCX'ten çıkar. Sağ koroner arter aortun sağ sinüsünden çıkıp, pulmoner çıkım traktusunun arkasından sağa ve yukarı doğru seyrederek ve daha sonra sağ atriyoventriküler oluk boyunca aşağıya iner. İlk dalları konus arteri ve sinoatriyal nod arteridir. Daha sonra sağ ventrikül serbest duvarına dallar verir. Orta-distal RCA düzeyinden ayrılan dala akut marjinal arter denir. Distal kesimde ise, posteriyor interventriküler oluk boyunca giden PDA ve posteriyor sol ventriküler dalını verir. Sol ana koroner arter, sol Valsalva sinüsünden köken alır ve yaklaşık 5-10 mm uzunluktadır. Pulmoner trunkusunun arkasından sola geçerek LAD ve LCX dallarına ayrılır. Sol ön inen arter anterior interventriküler olukta seyrederek kalp apeksinde sonlanır. Sol ventrikülün öndeki serbest duvarına diyagonal dallar, septuma doğru da septal dallar verir. Sirkümfleks arteri ise sol ventrikül lateraline obtus marjinal dallar verir (Şekil 2C).

### Koroner arter anomalileri

Koroner arterlerin konjenital anomalileri kardiyak kateterizasyon yapılan hastaların %1'inde saptanır (30). Kateter anjiyografide görüntülerin iki boyutlu olması ve anatomik yapıların süperpozisyonu nedeniyle anomalilerin tanısı ve traselerinin belirlenmesi zor olabilir. Ayrıca, koroner arter anomalilerini selektif olarak kateterize etmek bazen mümkün olmayabilir. Ek olarak, pulmoner arterden orijin alan koroner anomaliler femoral arter yoluyla yapılan anjiyografide görülememektedir. Koroner BT anjiyografi ise, çekim sırasında hem pulmoner arter hem de aort içinde kontrast olması ve 3 boyutlu görüntüleme kapasitesi nedeniyle koroner anomalileri rahatlıkla gösterebilir. En sık görülen anomali RCA'dan köken alan LCX'dir (31). Bunu LAD ve LCX'in sol koroner sinüsten doğrudan çıkması izler. Anomali tanısında en önemli nokta anomalinin aort kökü ve pulmoner arter arasından interarteryel seyir gösterip göstermediğinin belirlenmesidir. Anomalilerin çoğu retroaortik seyir gösterir ve hayatı tehdit etmez. Ancak, interarteryel seyirli koroner arterler aort kökü ve pulmoner arter arasında sıkışarak ani ölümlere neden olabildiklerinden malign tipte koroner anomali (Şekil 3) olarak nitelendirilir (32). Böyle bir damarın seyri açılı ve ostiyumu yarık şeklinde olduğundan, egzersiz gibi kardiyak debinin arttığı durumlarda aort genişleyip duvarı gerilince ostiyum iyice daralır ve miyokard iskemisine yol açar (30). Bu nedenle, interarteryel seyirli koroner arter varlığı koroner baypas cerrahisi endikasyonu kabul edilir (32). Sol koroner sinüsten köken alan RCA'ların çoğu interarteryel seyir gösterir (31). Diğer anomaliler ise sağ koroner sinüs veya RCA'dan köken alan sol ana koroner arter, pulmoner arterden çıkan koroner arter ve sağ koroner arter ile sağ ventrikül veya sağ koroner sinüs arasındaki fistüllerdir. Koroner BT anjiyografi ile elde edilen 3 boyutlu görüntüler anomalilerin seyrini gösterecek operasyon planlanan hastalarda önemli bilgiler verir.

### Koroner lümen değerlendirilmesi

Kateter anjiyografi ile karşılaştırılan çalışmalarda duyarlılık ve negatif prediktif değerinin yüksek bulunması ÇKBT'yi koroner arter hastalığını ekarte etmede çok değerli bir yöntem yapmaktadır. Başlangıçta kullanılan 4-kesitli BT sistemleri ile anlamlı darlıkları saptamada %82-85 duyarlılık ve %76-93 özgüllük bildirilmekle birlikte, koroner arter segmentlerinin %30'u değerlendirilememekteydi (15). On altı kesitli ve daha ileri sistemlerde ise koroner lümenin değerlendirilmesinde doğruluk oranı artmış ve değerlendirilemeyen segment yüzdesi azalmıştır (Şekil 4). İki bin yedi yılında yayınlanan bir meta-analizde hasta başına kritik stenoz (>%50) saptamadaki 16-kesit ve 64-kesit BT'nin tanısal performansları karşılaştırıldığında sırasıyla duyarlılık %95 ve %97, özgüllük %69 ve %90, pozitif prediktif değer %79 ve %93, negatif prediktif değer ise %92 ve %96 bulunmuştur (6). Özgüllük ve pozitif prediktif değer 64 kesitli BT'de daha yüksek olması, normal hastaları tespit ederek gereksiz kateter anjiyografiden korumada bu cihazın daha değerli olduğunu göstermektedir. Başka bir meta-analizde ise, değerlendirilebilen koroner arter yüzdesi 4-kesitli BT'de %78, 16-kesitli BT'de %91 ve 64-kesitli BT'de %100 olarak belirtilmiştir (33). Çift tüplü 64-kesitli BT sisteminde ise, kalp hızı yüksek veya aritmik hastalarda dahi beta-bloker kullanmadan 6-10 sn içinde yüksek doğrulukta anjiyografik görüntüler alınabilmektedir (8, 9). Amerikan Kalp Derneği ÇKBT anjiyografisinin KAH olasılığı düşük ve orta olan semptomatik hastalarda kullanılmasını önermektedir (34). Ayrıca, ÇKBT aorto-ostiyal lezyonları tanımda ve derecelendirmede kateter anjiyografiden daha üstün bulunmuştur (26). Kateterin ostium içine fazla ilerletilmesi yalnızca negatif sonuç verirken, katetere bağlı spazm yalnızca pozitif sonuca neden olmaktadır.

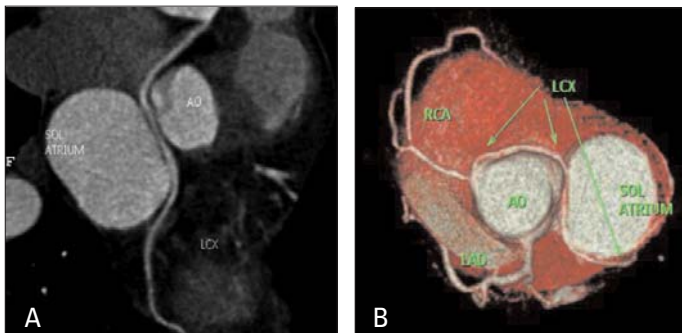
### Plak karakterizasyonu ve "remodeling" görüntülemesi

Koroner BT anjiyografi ile damar lümeni ve duvarı aynı anda noninvazif olarak değerlendirilebildiğinden, plak karakterizasyonunda invazif, pahalı ve deneyim gerektiren intravasküler ultrason ile korele sonuçlar vermektedir (35, 36). Noninvazif ÇKBT anjiyografide amaç, akut koroner sendromuna yol açacak rüptür potansiyeli olan kırılğan plağı saptamaktır. Akut koroner sendromların çoğunun kalsifiye olmayan lipidden zengin plakların rüptürüne bağlı geliştiği düşünülmektedir (36). Çok kesitli bilgisayarlı tomog-

rafinin kullanıma girmesiyle koroner arter duvarını değerlendirmek ve pozitif "remodeling" tanısını koymak kolaylaşmıştır (5, 7). Damar duvarındaki kalsifik, kalsifik-yumuşak ve yumuşak aterosklerotik plaklar (Şekil 4, 5) bu yöntemle gösterilebilmektedir (14). Stenoza neden olmayan kalsifik plaklar genellikle klinik olarak stabildir. Yumuşak plaklar ise belirgin stenoza neden olmasa bile plağın aniden yırtılıp kopması sonucunda akut koroner sendromuna neden olmaktadır. Bu nedenle, yumuşak plakların agresif anti-lipidemik ilaçlarla tedavisi önerilmektedir. Çok kesitli bilgisayarlı tomografi ile yoğunlukları ölçülerek plaklar karakterize edilebilir. İntravasküler ultrason ile karşılaştırmalı yapılan çalışmalarda hipoeoik yumuşak plakların yoğunluğu 14-49 HU, hiperekoik fibröz plakların yoğunluğu 91 HU ve kalsifik plak yoğunluğu 391-419 HU ölçülmüştür (7, 37). Ancak, plak hacmini BT intravasküler ultrasona göre daha düşük ölçmektedir. Pozitif "remodeling" damar açıklığının ve lümen çapının korunması için damarın yeniden şekillenmesidir ve koroner arter aterosklerozunun erken döneminde oluşur. Pozitif "remodeling" olan damarlar endotel hasarına daha yatkındır; ancak lümen çapı normal kaldığından kateter anjiyografi ile pozitif "remodeling" tanısını koymak mümkün değil iken ÇKBT anjiyografi ile bu tanı kolaylıkla koyulabilir (Şekil 5).

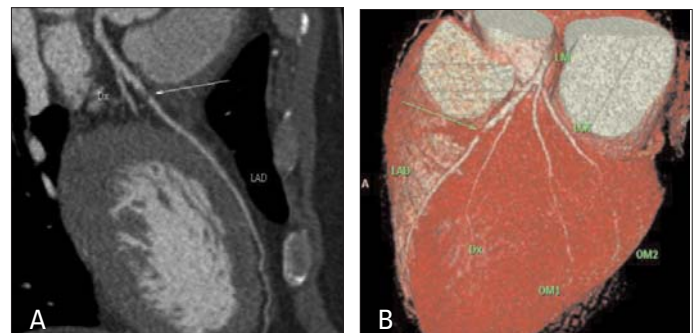
### Koroner baypas greftlerinin değerlendirilmesi

Koroner baypas greftleri kalp hareketinden daha az etkilenenlerinden ve çapları daha büyük olduğundan ÇKBT anjiyografi ile değerlendirilmesi daha kolaydır. Ayrıca 16-kesitli ve daha ileri sistemlerin kullanıma girmesiyle hem greftlerin hem de natif koroner arterlerin değerlendirilebilmesi mümkün olmuştur (Şekil 6). Bilgisayarlı tomografi anjiyografisinin baypas greft tıkanıklığını tanımadaki duyarlılık ve özgüllüğü %95-99 arasındadır (38, 39). Yüksek dereceli greft stenozunu değerlendirmede kateter anjiyografi ile karşılaştırıldığında, 16-kesitli BT'nin duyarlılığı %96 ve özgüllüğü %100 bulunmuştur (40). Bilgisayarlı tomografi ayrıca ikinci kez baypas yapılacak hastalarda eski greftlerin yerlerini, kalp boşlukları ve sternuma yakınlıklarını, tıkalı olup olmadıklarını ve çıkan aortanın durumunu göstererek cerrahi öncesi planlamada önemli bilgiler sağlar (41). Ancak, özellikle internal mammaryan arter greftlerinde cerrahi sırasında kullanılan metalik klipsler greftlerin değerlendirmesini zorlaştırabilmektedir.



Şekil 3. Koroner arter anomali: Sirkümler arter boyunca alınan MIP reformata görüntüde (A) ve hacimsel gösterimde (B) sol sirkümler arterin sağ koroner sinüsten çıkarak aort kökü ile sol atriyum arasından sola geçtiği izleniyor (oklar)

A- aort, LAD- sol ön inen arter, LCX- sol sirkümler arter, RCA- sağ koroner arter (Dr. Aslan Bilici'nin izniyle basılmıştır, yazar yazışmaları).

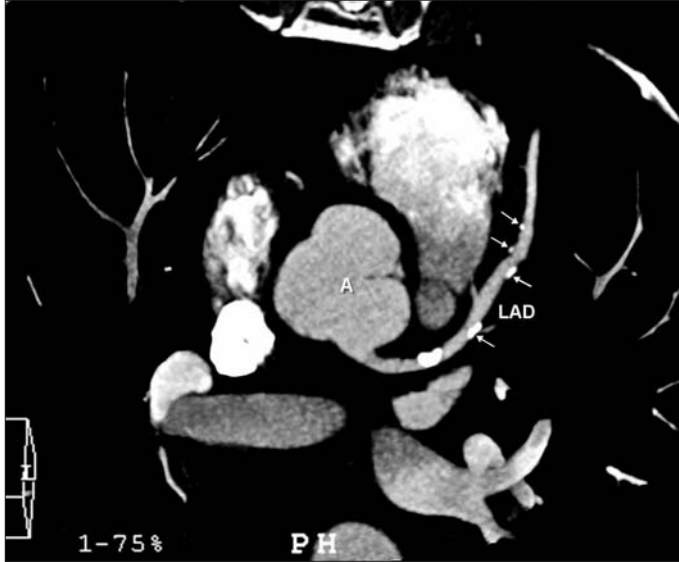


Şekil 4. Yumuşak plak: Sol ön inen arter boyunca alınan MIP sagittal oblik reformata (A) ve hacimsel gösterimde (B) LAD orta segmentinde lümeninde kritik stenozu yol açan hipodens yumuşak plak (ok) görülüyor

Dx- diyagonal arter, LAD- sol ön inen arter, LCX- sol sirkümler arter, LM- sol ana koroner arter, OM- obtus marjinal arter

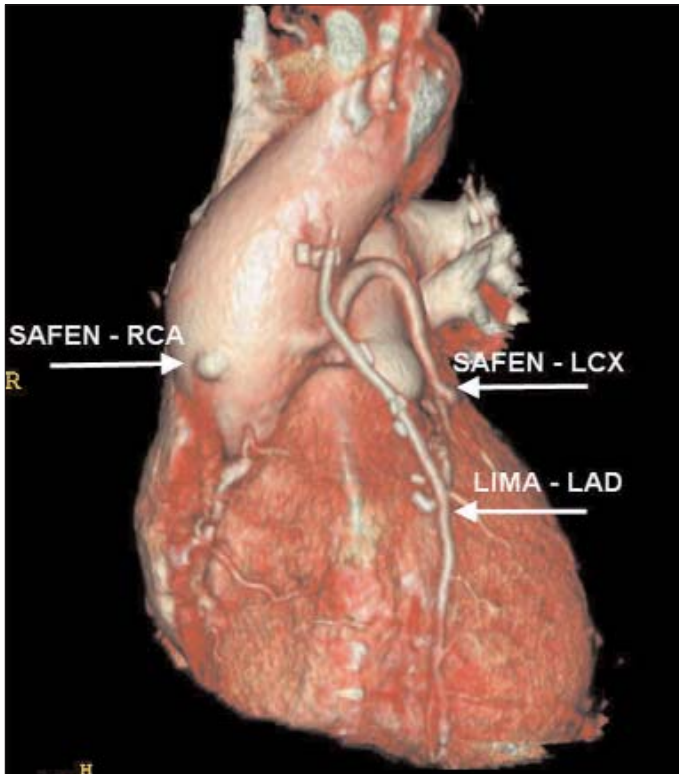
### Koroner arter stentlerinin değerlendirilmesi

Koroner BT anjiyografi ile stentlerin değerlendirilmesi (Şekil 7) esas olarak stentlerin yapıldığı maddeye, stent çapına, tipine ve cihazın çözünürlüğüne bağlıdır. Koroner stentlerdeki hafif stenozlar koroner BT anjiyografi ile iyi gösterilememekle



Şekil 5. Kalsifik plaklar: Elli altı yaşındaki erkek hastada aksiyel MIP projeksiyonda sol ön inen (LAD) arterde birçoğu pozitif "remodeling" gösteren kalsifik plaklar izlenmektedir (oklar)

A- aort kökü.



Şekil 6. Koroner baypas değerlendirilmesi: Altmış beş yaşındaki erkek hastada hacimsel gösterimde LIMA-LAD ve safen-LCX greftleri patent izlenirken, safen-RCA greftinin çıkımından itibaren tıkalı olduğu görülmüştür

LAD- sol ön inen arter, LIMA- sol internal mammaryan arter, RCA - sağ koroner arter

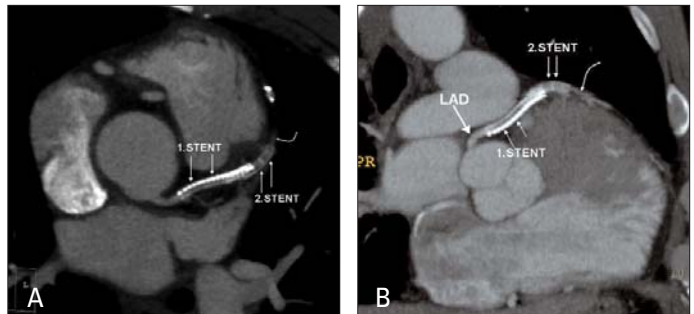
birlikte, stent öncesi ve sonrası damar açıklığını göstermesi ve invazif olmaması nedeniyle stentli hastaların takibinde kullanılmaya başlanmıştır. On altı kesitli BT ile paslanmaz çelik ve kobalttan yapılan ve çapı 3.5 mm'den büyük olan stentlerin %89'unda lümen görüntülenmiş olup, bunların tümünde stent içi stenoz veya patensi kateter anjiyografi ile aynı doğrulukta saptanmıştır (42). On beş çalışmadaki toplam 1175 stentin değerlendirildiği yakın zamanlı bir meta-analizde, ÇKBT'nin stent içi restenozu saptamadaki duyarlılığı %84, özgüllüğü %91, pozitif öngörü oranı (likelihood ratio) 12.2 ve negatif öngörü oranı 0.23 bulunmuştur (43). Biz pratik uygulamamızda, stent lümeni iyi değerlendirilemiyorsa stent öncesi ve sonrası arter segmentinin kontrastlanma derecesini karşılaştırarak stentin açık olup olmadığına karar veriyoruz (Şekil 7).

### Miyokardiyal köprü

Miyokardiyal köprü koroner arterlerin intramiyokardiyal seyrine denmektedir ve anjiyografi ile tanınması zor olabilir (44, 45). En önemli anjiyografik bulgu, koroner arterde sistolde görülen daralmanın diyastolde kaybolmasıdır ve aterosklerotik stenozu taklit edebilmektedir. Koroner BT anjiyografi ile koroner arterin miyokard içindeki seyri ve komplet veya inkomplet olup olmadığı anatomik olarak gösterilebilmektedir (Şekil 8). Çok kesitli bilgisayarlı tomografide saptanma sıklığı %3,5-38,5 arasında değişmektedir (44, 45). Miyokardiyal köprü altında seyreden koroner arter segmenti 5-50 mm arasında, damarı örten miyokard kalınlığı ise 1-6 mm arasında değişebilir (45). Miyokardiyal köprünün proksimalinde kalan arter segmentinde ateroskleroza başlatabileceği veya ilerlemesini hızlandırabileceği ve bu nedenle anjina ile başvuran genç hastalarda göz önünde tutulması gerektiği bildirilmiştir (46). Koroner BT anjiyografi çok düzlemde yapılan reformat görüntülerle miyokardiyal köprü varlığını, uzunluğunu ve damarı örten miyokard kalınlığını kolayca gösterebilir (Şekil 8).

### Koroner arter dışı bulgular

Çok kesitli bilgisayarlı tomografi anjiyografi ile taranan bölgenin tamamından hacimsel veri alındığından, koroner dışı kalp boşluklarının anatomisi ve kalp fonksiyonları değerlendirilebilir. Koroner BT anjiyografi sırasında tüm R-R aralığı boyunca toplanan bu veriler daha sonra istenen R-R aralığında rekonstrükte edilerek



Şekil 7. Koroner stent değerlendirilmesi: Sol ön inen (LAD) artere iki adet stent yerleştirilen hastada koroner BT anjiyografi bulguları. Transvers reformat (A) ve oblik koronal (B) MIP reformat görüntülerde stent içinde kontrast madde izlenmemesi stentlerin tamamen tıkalı olduğunu gösteriyor. Stent distalindeki arter segmentinde de kontrast görülüyor (kıvrık ok)



sine görüntüler oluşturulmakta ve kalp kasılma fonksiyonu değerlendirilebilmektedir. Ayrıca, sol ve sağ ventrikül hacmi, duvar kalınlıkları, ejeksiyon fraksiyonu ve kardiyak debi hesaplanabilmektedir (47). Bilgisayarlı tomografi görüntülerinde iskemi ve miyokardiyal infarkt alanları hipodens olarak ayırt edilebilir ve ventriküler anevrizma kolaylıkla tanınabilir (48). Sol ventrikülde artmış trabekülasyon ile "non-compaction" ve sağ ventrikül duvarında yağ dansitesinin gösterilmesi ile de aritmojenik sağ ventrikül displazisi tanınabilir. Ayrıca, kalp boşluklarında trombüs veya kiteller, atriyal veya ventriküler septal defekt (Şekil 9), situs anomalileri ve perikardiyal hastalıklar da BT ile kolayca ortaya konabilir.

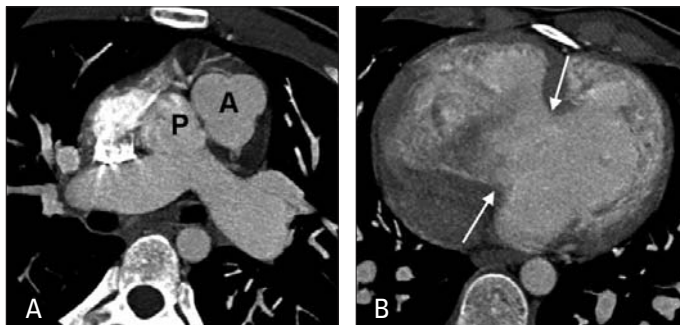
Kalp dışında mediastinum, akciğer parankimi ve plevraya ait olabilecek, akut pulmoner emboli ve aort disseksiyonu (Şekil 10) veya pulmoner nodül, mediastinal lenfadenopati veya kitle ve plevral efüzyon gibi lezyonlar da ÇKBT ile kolaylıkla tanınabilir (27, 28).

### Artefakt ve sınırlılıklar

Doğru bir değerlendirme için görüntülerin yüksek kalitede ve artefaksız olması gerekir. Koroner BT anjiyografide görüntüyü olumsuz etkileyen en önemli faktörler hareket artefaktları (aritmi, yüksek kalp hızı, solunum ve hasta hareketi) ve metalik klips, stent, kalsifikasyon ve diğer yoğunluğu yüksek yapılardan kaynaklanan çiçeklenme (blooming) artefaktıdır.

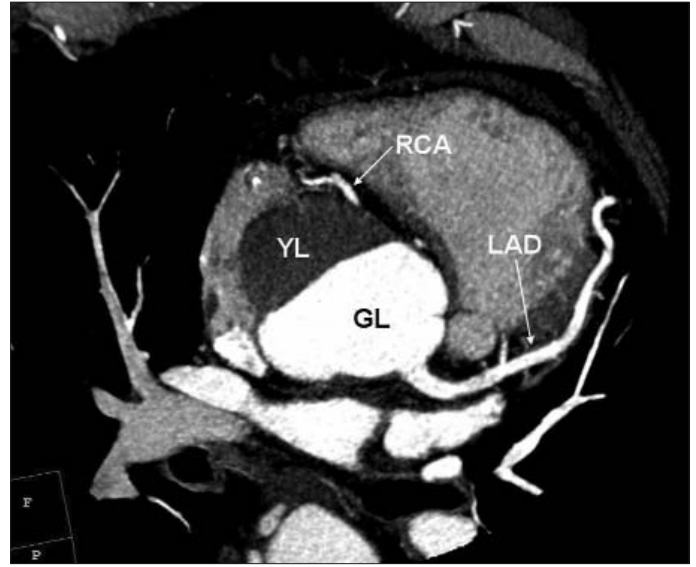


Şekil 8. Kırk altı yaşında erkek hastada saptanan miyokardiyal köprünün koroner bilgisayarlı tomografi anjiyografi bulguları. Oblik sagittal (A) ve koronal (B) MIP reformat görüntülerde sol anterior desandan arterin miyokard içinden geçtiği ve miyokardın köprü (MK) şeklinde arteri (ok) çevrelediği izleniyor. C) Hacimsel gösterimde bu alanda hafif daralma (ok) izleniyor



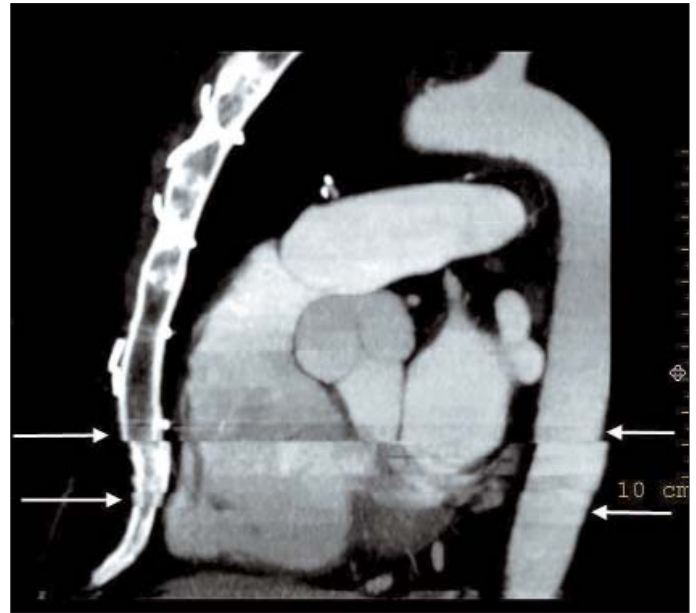
Şekil 9. On sekiz yaşında erkek hastada büyük damar transpozisyonu (L-TGA) ve ventriküler septal defekt. A) Aort kökü düzeyinden geçen aksiyel MIP koroner bilgisayarlı tomografi anjiyografi görüntüsünde aort kökü (A), pulmoner arterin (P) sol anterolateralinde izleniyor. B) Ventrikül düzeyinden geçen kesitte geniş ventriküler septal defekt (oklar) görülüyor. Solda izlenen morfolojik sağ ventrikülün trabeküler yapısına dikkat ediniz

Hareket artefaktları görüntüde bant şeklinde basamaklanmaya yol açar. Artefakt kalp hareketine bağlı ise basamaklanma yalnız kalp görüntüsü üzerinde oluşurken, solunum ve hasta hareketine bağlı artefaktlarda basamaklanma göğüs duvarına da uzanır (Şekil 11). Koroner damarlar içinde en hareketlisi sağ koroner arter olup bunu sirkümfleks arter, sol ana koroner arter ve sol ön inen (LAD) arter izler (16, 49). Bunun nedeni, sağ koroner arter ve sirkümfleks arterin atriyuma yakın seyretmesi



Şekil 10. Altmış beş yaşındaki erkek hastada tip 1 aort disseksiyonu. Aksiyel MIP koroner BT anjiyografi görüntüsünde aort kökünde (A) anevrizmatik genişleme ve tromboze yalancı lümen (YL) izleniyor. Koroner arterlerin gerçek aortik lümeninden (GL) çıktığı görülmektedir

LAD- sol ön inen arter, RCA- sağ koroner arter



Şekil 11. Sagittal MIP koroner bilgisayarlı tomografi anjiyografi görüntüsü. Solunum artefaktına bağlı olarak görüntüde basamaklanma izleniyor (oklar). Artefaktın hem mediastinum hem de göğüs duvarında olması solunum hareketine bağlı olduğunu gösteriyor. Taşikardide ise basamak artefaktı sadece mediastinumda izlenir.

nedeniyle atriyal kontraksiyondan daha fazla etkilenmesidir. Her bir koroner arter kalp döngüsünün farklı zamanlarında harekete daha duyarlı olduğundan, değişik fazları içeren rekons-trüksiyon yapılması önemlidir. Yapılan çalışmalarda sağ koroner arterin %40 fazında, sirkümfleks arterin %50 fazında, LAD'nin ise %60-70 fazında en iyi görüldüğü gösterilmiştir (50). Kalpten kaynaklanan hareket artefaktlarını engellemek için hastaya beta-bloker verilir. Solunum hareketini önlemek için ise, hastaya nefes tutmanın önemi anlatılarak nefes tutma egzersizi yaptırılmaktadır.

Yoğun ve yaygın kalsifikasyon, stent ve klips gibi metalik dansiteler diğer önemli bir artefakt kaynağı olup, bu oluşumlar ışın güçlenmesi ve kısmi hacim etkisine yol açarak görüntüyü olumsuz etkilerler. Yüksek atenüasyonlu bu yapılar görüntü üzerinde olduklarından daha büyük görülür ve lümen stenozunu abartılı gösterir. Bu yanılgıdan sakınmak için aksiyel kaynak görüntüler gözden geçirilmelidir.

Kontrast madde zamanlamasının veya hızının uygun olması da koroner damarların değerlendirilmesini zorlaştırır. Bu nedenle, test enjeksiyonu veya bolüs izleme yöntemi kullanarak uygun gecikme zamanı hesaplanmalı ve görüntüler buna göre alınmalıdır. Obezite de gürültü miktarını artırarak görüntü kalitesini olumsuz etkiler. Bu yüzden morbid obez olgularda BT yerine diğer tanı yöntemleri tercih edilmelidir.

## Sonuç

Bilgisayarlı tomografi ile koroner anjiyografi koroner arter lümeninin, duvarının ve 3 boyutlu morfolojisinin değerlendirilmesine olanak sağlaması nedeniyle kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Çok kesitli bilgisayarlı tomografi, kritik koroner stenozu tanımadaki yüksek negatif prediktif değeri nedeniyle düşük ve orta risk grubundaki hastalarda noninvazif tanı seçeneği olarak yerini almıştır. Ayrıca, ÇKBT aorto-ostiyal lezyonları tanımda ve derecelendirmede kateter anjiyografiden daha üstün bulunmuştur. Plak karakterizasyonunda, konjenital koroner anomalileri ve koroner baypas greftlerini değerlendirmede de ÇKBT çok yararlıdır. Ek olarak, akut göğüs ağrısı ile gelen hastalarda koroner BT anjiyografi ile koroner arter tıkanıklığı, pulmoner emboli ve aort disseksiyonu ayırıcı tanısı yapılması mümkün hale gelmiştir. Aritmik veya yüksek kalp hızı olan hastalar, metalik veya kalsifikasyona bağlı artefaktlar ÇKBT'nin tanınal performansını olumsuz etkilemektedir. Bu sorunların büyük bölümü görüntü alma zamanının kısalması, uzaysal ve temporal çözünürlüğün artması ile azalmış olup, çift tüplü ÇKBT sistemi ile beta-bloker kullanmaksızın çok kısa sürede yüksek kalitede anjiyografik görüntüleri almak mümkün olmuştur. Ancak, stent görüntülenmesinde ve kalsifiye olmayan koroner plakların görüntülenmesinde teknolojik gelişmelere gereksinim vardır.

## Kaynaklar

1. Ross R. The pathogenesis of atherosclerosis. *Nature* 1993; 362: 801-9.
2. Libby P. Current concepts of the pathogenesis of the acute coronary syndromes. *Circulation* 2001; 104: 365-72.
3. Hu H, He HD, Foley WD, Fox SH. Four multidetector-row helical CT: image quality and volume coverage speed. *Radiology* 2000; 215: 55-62.

4. Mahesh M, Cody DD. Physics of cardiac imaging with multiple-row detector CT. *Radiographics* 2007; 27: 1495-509.
5. Achenbach S, Ropers D, Hoffmann U. Assessment of coronary remodeling in stenotic and nonstenotic coronary atherosclerotic lesions by multidetector spiral computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2004; 43: 842-7.
6. Hamon M, Morello R, Riddell JW, Hamon M. Coronary arteries: diagnostic performance of 16- versus 64-section spiral CT compared with invasive coronary angiography-meta-analysis. *Radiology* 2007; 245: 720-31.
7. Leber AW, Becker A, Knez A, von Ziegler F, Sirol M, Nikolaou K, et al. Accuracy of 64-Slice Computed Tomography to Classify and Quantify Plaque Volumes in the Proximal Coronary System: A Comparative Study Using Intravascular Ultrasound. *J Am Coll Cardiol* 2006; 47: 672-7.
8. Oncel D, Oncel G, Tastan A. Effectiveness of dual-source CT coronary angiography for the evaluation of coronary artery disease in patients with atrial fibrillation: initial experience. *Radiology* 2007; 245: 703-11.
9. Johnson TR, Nikolaou K, Busch S, Leber AW, Becker A, Wintersperger BJ, et al. Diagnostic accuracy of dual-source computed tomography in the diagnosis of coronary artery disease. *Invest Radiol* 2007; 42: 684-91.
10. Kido T, Kurata A, Higashino H, Sugawara Y, Okayama H, Higaki J, et al. Cardiac imaging using 256-detector row four-dimensional CT: preliminary clinical report. *Radiat Med* 2007; 25: 38-44.
11. Dewey M, Zimmermann E, Laule M, Rutsch W, Hamm B. Three-vessel coronary artery disease examined with 320-slice computed tomography coronary angiography. *Eur Heart J* 2008 Feb 7. [Epub ahead of print].
12. Achenbach S, Giesler T, Ropers D, Ulzheimer S, Derlien H, Schulte C, et al. Detection of coronary artery stenoses by contrast-enhanced, retrospectively electrocardiographically-gated, multislice spiral computed tomography. *Circulation* 2001; 103: 2535-8.
13. Ohnesorge B, Flohr T, Becker C, Kopp AF, Schoepf UJ, Baum U, et al. Cardiac imaging by means of electrocardiographically-gated multisection spiral CT: initial experience. *Radiology* 2000; 217: 564-71.
14. Schoenhagen P, Halliburton SS, Stillman AE, Kuzmiak SA, Nissen SE, Tuzcu EM, et al. Noninvasive imaging of coronary arteries: current and future role of multi-detector row CT. *Radiology* 2004; 232: 7-17.
15. Chartrand-Lefebvre C, Cadrin-Chenevert A, Bordeleau E, Ugolini P, Ouellet R, Sablayrolles JL, et al. Coronary computed tomography angiography: overview of technical aspects, current concepts, and perspectives. *Can Assoc Radiol J* 2007; 58: 92-108.
16. Pannu HK, Flohr TG, Corl FM, Fishman EK. Current concepts in multi-detector row CT evaluation of the coronary arteries: principles, techniques, and anatomy. *Radiographics* 2003; 23 Spec No: S111-25.
17. De Feyter PJ, Meijboom WB, Weustink A, Van Mieghem C, Mollet NR, Vourvouri E, et al. Spiral multislice computed tomography coronary angiography: a current status report. *Clin Cardiol* 2007; 30: 437-42.
18. Cody DD, Mahesh M. AAPM/RSNA physics tutorial for residents: Technologic advances in multidetector CT with a focus on cardiac imaging. *Radiographics* 2007; 27: 1829-37.
19. Gerber TC, Kuzo RS, Morin RL. Techniques and parameters for estimating radiation exposure and dose in cardiac computed tomography. *Int J Cardiovasc Imaging* 2005; 21: 165-76.
20. Jakobs TF, Becker CR, Ohnesorge B, Flohr T, Suess C, Schoepf UJ, et al. Multislice helical CT of the heart with retrospective ECG gating: reduction of radiation exposure by ECG-controlled tube current modulation. *Eur Radiol* 2002; 12: 1081-6.
21. Ozturk E, Kantarci M, Durur-Subasi I, Bayraktutan U, Karaman A, Bayram E, et al. How image quality can be improved: Our experience with multidetector computed tomography coronary angiography. *Clin Imaging* 2007; 31: 11-7.



22. Weigold WG. Coronary CT angiography: insights into patient preparation and scanning. *Tech Vasc Interv Radiol* 2006; 9: 205-9.
23. Giesler T, Baum U, Ropers D, Ulzheimer S, Wenkel E, Mennicke M, et al. Noninvasive visualization of coronary arteries using contrast-enhanced multidetector CT: influence of heart rate on image quality and stenosis detection. *AJR Am J Roentgenol* 2002; 179: 911-6.
24. Bley TA, Ghanem NA, Foell D, Uhl M, Geibel A, Bode C, et al. Computed tomography coronary angiography with 370-millisecond gantry rotation time: Evaluation of the best image reconstruction interval. *J Comput Assist Tomogr* 2005; 29: 1-5.
25. Kantarcı M, Ceviz N, Durur I, Bayraktutan U, Karaman A, Alper F, et al. Effect of the reconstruction window obtained at the isovolumic relaxation period on the image quality in electrocardiographic-gated 16-multidetector-row computed tomography coronary angiography studies. *J Comput Assist Tomogr* 2006; 30: 258-61.
26. Kantarcı M, Ceviz N, Sevimli S, Bayraktutan U, Ceyhan E, Duran C, et al. Diagnostic performance of multidetector computed tomography for detecting aorto-ostial lesions compared with catheter coronary angiography: multidetector computed tomography coronary angiography is superior to catheter angiography in detection of aorto-ostial lesions. *J Comput Assist Tomogr* 2007; 31: 595-9.
27. White CS, Kuo D. Chest pain in the emergency department: role of multidetector CT. *Radiology* 2007; 245: 672-81.
28. Schuijf JD, Jukema JW, van der Wall EE, Bax JJ. Multi-slice computed tomography in the evaluation of patients with acute chest pain. *Acute Card Care* 2007; 9: 214-21.
29. Baim DS, Grossman W. Coronary angiography. In: Baim DS, Grossman W, editors. *Cardiac Catheterization, Angiography, and Intervention*. 5th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1996. p. 183-208.
30. Garg N, Tewari S, Kapoor A, Gupta DK, Sinha N. Primary congenital anomalies of the coronary arteries: a coronary arteriographic study. *Int J Cardiol* 2000; 74: 39-46.
31. Engel HJ, Torres C, Page HL. Major variations in anatomical origin of the coronary arteries: Angiographic observations in 4250 patients without associated congenital heart disease. *Cathet Cardiovasc Diagn* 1975; 1: 157-69.
32. Datta J, White CS, Gilkeson RC, Meyer CA, Kansal S, Jani ML, et al. Anomalous coronary arteries in adults: depiction at multi-detector row CT angiography. *Radiology* 2005; 235: 812-8.
33. Stein PD, Beemath A, Kayali F, Skaf E, Sanchez J, Olson RE. Multidetector computed tomography for the diagnosis of coronary artery disease: a systematic review. *Am J Med* 2006; 119: 203-16.
34. Budoff MJ, Achenbach S, Blumenthal RS, Carr JJ, Goldin JG, Greenland P, et al. Assessment of coronary artery disease by cardiac computed tomography: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention, Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, and Committee on Cardiac Imaging, Council on Clinical Cardiology. *Circulation* 2006; 114: 1761-91.
35. Achenbach S, Moselewski F, Ropers D, Ferencik M, Hoffmann U, MacNeill B, et al. Detection of calcified and noncalcified coronary atherosclerotic plaque by contrast-enhanced, submillimeter multidetector spiral computed tomography: A segment-based comparison with intravascular ultrasound. *Circulation* 2004; 109: 14-17.
36. Kopp AF, Schroeder S, Baumbach A, Kuettner A, Georg C, Ohnesorge B, et al. Non-invasive characterization of coronary lesion morphology and composition by multislice CT: first results in comparison with intracoronary ultrasound. *Eur Radiol* 2001; 11: 1607-11.
37. Schroeder S, Kopp AF, Baumbach A, Meisner C, Kuettner A, Georg C, et al. Noninvasive detection and evaluation of atherosclerotic coronary plaques with multislice computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2001; 37: 1430-5.
38. Nieman K, Pattynama PM, Rensing BJ, Van Geuns RJ, De Feyter PJ. Evaluation of patients after coronary artery bypass surgery: CT angiographic assessment of grafts and coronary arteries. *Radiology* 2003; 229: 749-56.
39. Ropers D, Ulzheimer S, Wenkel E, Baum U, Giesler T, Derlien H, et al. Investigation of aortocoronary artery bypass grafts by multislice spiral computed tomography with electrocardiographic-gated image reconstruction. *Am J Cardiol* 2001; 88: 792-5.
40. Chiurlia E, Menozzi M, Ratti C, Romagnoli R, Modena MG. Follow-up of coronary artery bypass graft patency by multislice computed tomography. *Am J Cardiol* 2005; 95: 1094-7.
41. Aviram G, Sharony R, Kramer A, Neshet N, Loberman D, Ben-Gal Y, et al. Modification of surgical planning based on cardiac multidetector computed tomography in reoperative heart surgery. *Ann Thorac Surg* 2005; 79: 589-95.
42. Kitagawa T, Fujii T, Tomohiro Y, Maeda K, Kobayashi M, Kunita E, et al. Noninvasive assessment of coronary stents in patients by 16-slice computed tomography. *Int J Cardiol* 2006; 109: 188-94.
43. Hamon M, Champ-Rigot L, Morello R, Riddell JW, Hamon M. Diagnostic accuracy of in-stent coronary restenosis detection with multislice spiral computed tomography: a meta-analysis. *Eur Radiol* 2008; 18: 217-25.
44. Kantarcı M, Duran C, Durur I, Alper F, Onbas O, Gulbaran M, et al. Detection of myocardial bridging with ECG-gated MDCT and multiplanar reconstruction. *Am J Roentgenol* 2006; 186: S391-4.
45. Canyigit M, Hazirolan T, Karcaaltincaba M, Dagoglu MG, Akata D, Aytemir K, et al. Myocardial bridging as evaluated by 16 row MDCT. *Eur J Radiol* 2007 Nov 17. [Epub ahead of print]
46. Duygu H, Zoghi M, Nalbantgil S, Kirilmaz B, Türk U, Ozerkan F, et al. Myocardial bridge: a bridge to atherosclerosis. *Anadolu Kardiyol Derg* 2007; 7: 12-6.
47. Raman SV, Shah M, McCarthy B, Garcia A, Ferketich AK. Multidetector row cardiac computed tomography accurately quantifies right and left ventricular size and function compared with cardiac magnetic resonance. *Am Heart J* 2006; 151: 736-44.
48. Nikolaou K, Knez A, Sagmeister S, Wintersperger BJ, Boekstegers P, Steinbeck G, et al. Assessment of myocardial infarctions using multidetector-row computed tomography. *J Comput Assist Tomogr* 2004; 28: 286-92.
49. Choi HS, Choi BW, Choe KO, Choi D, Yoo KJ, Kim MI, et al. Pitfalls, artifacts, and remedies in multi-detector row CT coronary angiography. *Radiographics* 2004; 24: 787-800.
50. Kopp AF, Schroeder S, Kuettner A, Heuschmid M, Georg C, Ohnesorge B, et al. Coronary arteries: retrospectively ECG-gated multidetector row CT angiography with selective optimization of the image reconstruction window. *Radiology* 2001; 221: 683-8.