

## Koroner arterlerin çokkesitli bilgisayarlı tomografi ile değerlendirilmesi

### Evaluation of coronary arteries by multidetector computed tomography

Dr. Cihan Duran,<sup>1</sup> Dr. Murat Gülbaran,<sup>2</sup> Dr. Mecit Kantarcı<sup>3</sup>

İstanbul Bilim Üniversitesi Tıp Fakültesi, <sup>1</sup>Radyoloji Anabilim Dalı, <sup>2</sup>Kardiyoloji Anabilim Dalı, İstanbul;

<sup>3</sup>Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalı, Erzurum

Koroner arter hastalığının değerlendirilmesinde kateter anjiyografi altın standart olarak kabul edilmekle birlikte, asemptomatik ve hafif semptomatik fazdaki koroner arter hastalığının takibi ve değerlendirilmesinde invaziv olmayan görüntüleme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu açıdan, çokkesitli bilgisayarlı tomografi (BT) teknolojisinin gelişmesiyle, koroner BT anjiyografi koroner arterlerin görüntülenmesinde yüksek potansiyele sahip bir yöntem olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu derlemede koroner BT teknolojisi, klinik uygulama alanları, endikasyonları ve bu konuda yapılmış çalışmalar gözden geçirildi.

**Anahtar sözcükler:** Koroner anjiyografi; koroner hastalık/radyografi; görüntü işleme, bilgisayar destekli; bilgisayarlı tomografi/yöntem.

Although coronary angiography is recognized as the gold standard in the evaluation of coronary artery disease, there is still need for noninvasive imaging methods to detect and monitor asymptomatic or minimally symptomatic coronary artery disease. With technological improvements in multidetector computed tomography (CT), coronary CT angiography proved to be a potential noninvasive method in this field. This article reviews technological aspects, clinical applications, and indications of coronary CT angiography in the light of the most recent literature.

**Key words:** Coronary angiography; coronary disease/radiography; image processing, computer-assisted; tomography, X-ray computed/methods.

Gelişmiş ülkelerde koroner arter hastalığı (KAH) ölümlerin en başta gelen nedenidir. Epidemiyolojik önemi nedeniyle tanısı büyük önem taşımaktadır.

1960'larda selektif kateter anjiyografinin geliştirilmesiyle, miyokardın kateter eşliğinde ya da cerrahi ile revaskülarizasyonu kararında anjiyografik olarak azalmış lümen çapının değerlendirilmesi esas alınmaktadır. Oysa, aterosklerotik plakların, lümen daralma gelişmesinden çok önce koroner damar duvarında birikmeye başladığı bilinmektedir. Aslında, akut koroner sendromların çoğunun kritik darlığa yol açmayan aterosklerotik plakların yırtılması sonucu geliştiği de bilinmektedir.<sup>[1]</sup> Bu nedenle, KAH'nin erken tanınması, hem ilerlemesinin hem de komplikasyonların engellenebilmesi açısından büyük önem taşır. Erken aterosklerotik plak birikimi kompensatuvar damar genişlemesi (pozitif remodeling) ile birlikte seyrettiğinden, koroner lümen çap değişikliklerine dayanan bir yöntemin bu

önemli erken değişiklikleri tanımlamakta yetersiz kalacağı düşünülmektedir.<sup>[2]</sup>

Koroner arter hastalığı tanısında kateter anjiyografi altın standart olarak kabul edilmektedir. Kateter anjiyografi, yüksek uzaysal çözünürlüğü yanı sıra gerektiğinde balon anjiyoplasti ya da stent gibi tedaviye yönelik girişimsel işlemlerin yapılabilmesine de anında olanak sağlaması gibi avantajlara sahiptir. Türk Kardiyoloji Derneği 2002 verilerine göre ülkemiz genelinde koroner anjiyografilerin yaklaşık 1/5'ine girişimsel işlem uygulanmıştır.<sup>[3]</sup> Amerika Birleşik Devletleri'nde tüm koroner kateter anjiyografilerin 1/3'ünde balon anjiyoplasti ya da stent uygulamasına başvurulduğu, diğerlerinin yalnızca tanısal amaçlı yapıldığı bildirilmiştir.<sup>[4]</sup> Girişimsel görüntüleme yöntemleri, özellikle selektif koroner anjiyografi, kritik koroner arter darlıklarının kateter yoluyla ya da cerrahi tedavisinin planlanmasında vazgeçilmez konumunu korurken, asemptomatik ve hafif

Geliş tarihi: 13.12.2005 Kabul tarihi: 06.06.2006

Yazışma adresi: Dr. Cihan Duran. Abide-i Hürriyet Cad. No: 290, 34403 Şişli, İstanbul.  
Tel: 0212 - 224 22 73 Faks: 0212 - 224 49 82 e-posta: cihanduran@superposta.com

semptomatik fazdaki koroner arter hastalığının takibi ve değerlendirilmesinde invaziv olmayan görüntüleme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Kalbin sürekli hareketi, kalbin statik görüntülenmesini teknik olarak zorlaştıran bir faktördür. Bilgisayarlı tomografi (BT) ve manyetik rezonans (MR) görüntüleme gibi yöntemler kardiyovasküler görüntülemeye değerli bilgi sağlama konusunda büyük potansiyele sahiptir.<sup>[5]</sup> Elektron ışınli (beam) tomografi (EBT),<sup>[6]</sup> çokkesitli bilgisayarlı tomografi (ÇKBT),<sup>[7,8]</sup> EKG ile senkronize görüntüleme ve rekonstrüksiyon yöntemlerinin<sup>[9]</sup> geliştirilmesi girişimsel olmayan koroner görüntülemeye olanak sağlamıştır. Bu görüntüleme yöntemleri daha hızlı volüm taraması yapabilmekte, yüksek uzaysal ve zamansal çözünürlük sağlamaktadır.<sup>[10]</sup>

Kesit elde etme hızı, hasta için nefes tutma süresini ve inceleme zamanını kısaltırken vasküler görüntüleme için gerekli kontrast madde miktarını da azaltmıştır.<sup>[9,11]</sup> Kesit sayısının 16 ve 64'e yükseltilmesi ÇKBT'de submilimetrik çözünürlüğe olanak sağlamıştır.

Kardiyak BT uygulamalarında başlangıçta kullanılan koroner kalsiyum miktarının araştırılması ve ölçümüne dayalı yöntemin tanısal değerinin kısıtlı olduğu açıktır. Kontrastlı ÇKBT anjiyografi ile kalbin, submilimetrik uzaysal çözünürlük ve çift tüp-çift dedektörlü ÇKBT cihazlarının geliştirilmesiyle 83 msn'ye dek inen zamansal çözünürlük ile araştırılabilmesi, miyokard ve koroner arterlerin yüksek çözünürlükle morfolojik değerlendirilebilmesine olanak sağlamaktadır (Şekil 1).

Çokkesitli BT ile, koroner kalsifikasyonların ölçümü yanı sıra koroner lümenin, damar duvarının ve plak morfolojisinin değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Bu da, akut koroner sendroma neden olabilme olasılığı kalsifik plaklara göre daha yüksek olan yırtılabilir (vulnerable) plakların görüntülenmesine olanak sağlamaktadır.

Çokkesitli BT aterosklerozun invaziv olmayan görüntülenmesinde giderek daha sık başvurulan yöntem olmaktadır.

### Çokkesitli bilgisayarlı tomografi ile görüntüleme tekniği

Diğer tüm organların görüntülenmesinin aksine, hızlı ve kompleks siklik hareketi nedeniyle, kalbi görüntüleme yönteminin hızlı zamansal çözünürlüğe sahip olması ve kardiyak siklusu referans alması gerekmektedir. Çokkesitli BT'nin temporal çözünürlüğü (83-500 msn) konvansiyonel anjiyografiden (<10

msn) düşüktür. Kardiyak anatomisinin, özellikle koroner arterlerin değerlendirilebilmesi için, yüksek zamansal çözünürlük yanı sıra yüksek uzaysal çözünürlük de gerekmektedir. Ayrıca, solunum artefaktlarından arındırmak için, tüm kalbin bir nefes tutumu sürede taranması gerekmektedir.

1998'de dört dedektörlü ve 500 msn rotasyon zamanına sahip çokkesitli BT'ler geliştirilmesiyle ÇKBT kardiyak görüntülemeye kullanılmaya başlanmıştır.<sup>[7,8]</sup> Hızlı rotasyon zamanı kardiyak görüntülemeyi mümkün kılarken, 16 kesitli BT ile bu süre 420 msn'ye, 64 kesitli cihazlarda 330 msn'ye kadar düşmüş ve ÇKBT kardiyak görüntülemeye önemli bir yere sahip olmuştur.

Kardiyak pulzasyonun oluşturduğu hareket artefaktlarından korunmak için ham bilginin kalbin en hareketsiz olduğu diyastolik fazda rekonstrükte edilmesi gerekmektedir; bu da prospektif ya da retrospektif EKG tetikleme ile gerçekleştirilir.

Çokkesitli BT ile anjiyografinin kalitesi uygun rekonstrüksiyon algoritmine, kalp hızına ve uygun kontrast enjeksiyonuna bağlıdır.

Sol ön inen arter ve sirkumfleks arter sol kalple birlikte hareket ederken, sağ koroner arter sağ kalple senkron hareket eder. Bu nedenle, kardiyak siklusta-



Şekil 1. Koroner BT anjiyografi VRT (üçboyutlu volüm rendering) görüntüde koroner arter orijinleri ve seyirleri net olarak izleniyor.

ki farklı rekonstrüksiyonlar farklı koroner arterlerin en uygun şekilde değerlendirilmesini sağlayabilir.<sup>[12,13]</sup> Pek çok çalışmada kalp hızı ile görüntü kalitesinin doğrudan ilişkili olduğu bildirilmiştir.<sup>[12,14,15]</sup> Bu nedenle, kalp hızını düşürmek için oral ya da intravenöz beta-bloker kullanımı önerilmektedir. Ancak, astım, AV blok, hipotansiyon, kalp yetersizliği, beta-bloker intoleransı gibi klinik durumlar beta-bloker kullanımını mümkün kılmamaktadır. Bununla birlikte, kesit sayısındaki artma daha yüksek kalp hızlarında da iyi görüntü elde edilmesine olanak sağlarken, son kuşak 64 dedektörlü sistemler ve çift tüp-çift dedektörlü sistemlerle kalp hızının sınırlanması ve beta-bloker ihtiyacı tümüyle ortadan kalkmakta, uzaysal çözünürlük 0.4 mm'nin altına düşmektedir.

Çekim sırasında vazodilatasyon sağlamak için, çekimin hemen öncesinde nitrogliserin (sublingual 5 miligram) sprey kullanımı önerilmektedir.

Koroner BT çalışmalarının büyük bölümü EBT ile gerçekleştirilmiş olsa da, teknolojik gelişmeler ÇKBT'nin de koroner görüntüleme kullanılmaya başlamasına neden olmuştur. Çokkesitli BT'lerde her bir rotasyonda eşzamanlı birçok kesit elde etmek mümkündür. Bu sistemler yüksek temporal ve uzaysal çözünürlükte iki- ve üçboyutlu görüntülemeye olanak sağlamaktadır.<sup>[16]</sup>

Elektron ışınli tomografi daha iyi temporal çözünürlüğe sahipken, ÇKBT daha yüksek sinyal gürültü oranı, daha kısa görüntüleme zamanı ve yüksek uzaysal çözünürlük sunmaktadır. Elektron ışınli tomografide uygulanan doz daha düşük, ÇKBT'de daha yüksektir. Yeni kuşak ÇKBT'de dozu ayarlama seçeneği vardır ve yalnız diyastolik fazda maksimal doz uygulanır. Dolayısıyla, ÇKBT'de radyasyon dozu değiştirilebilmektedir. Uygulanan radyasyon dozu dört kesitli BT'de 4-8 mSv, 16 kesitli BT'de 5-10 mSv, 64 kesitli BT'de 6-12 mSv arasındadır.

Koroner arterler ince ve kompleks üçboyutlu yapılardır. Çapları giderek inceler. Ana koroner düzeyinde 4 mm'den sol ön inen dal distalinde 1 mm'ye dek iner. Bu yapıların sağlıklı değerlendirilebilmesi için de x-y-z eksenlerinde çözünürlüğün 1 mm'nin altında olması gerekir. Kateter anjiyografide referans uzaysal çözünürlük standart olarak 0.2x0.2 mm'dir. Bu değer EBT için 0.7x0.7x3 mm, dört kesitli ÇKBT için 0.6x0.6x1.0 mm, 16 kesit ÇKBT için 0.5x0.5x0.6 mm ve 64 kesit için tüm eksenlerde 0.4 mm'nin altındadır.

Koronerlerde kalsiyum skorlaması için kontrastsız inceleme yapılırken, koroner BT anjiyografi için

bolus ya da otomatik bolus tetikleme yöntemleri kullanılarak kontrast madde enjeksiyonu yapılır. Kesit sayısındaki artış, görüntüleme zamanını kısaltırken uygulanan kontrast madde miktarının da azalmasına yol açmıştır. Ancak, bu hıza yetişip homojen boyanma sağlamak için enjeksiyon hızını artırmak gerekmektedir. Kontrastı takiben yapılan serum fizyolojik enjeksiyonu homojen ve iyi vasküler boyanma için gereken kontrast madde ihtiyacını azaltırken, vena kava superior ve sağ kalp odacıklarının yoğun kontrastlı olmasından kaynaklanan artifaktları da azaltmakta, sağ koroner arterin daha iyi değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Çokkesitli BT'nin kalp görüntülenmesinde başlıca kullanımı, uygun görüntüleme teknikleri ile rekonstrüksiyon yöntemlerinin uygulanmasına ve yöntemin kısıtlılıklarının uygulayıcılar tarafından bilinmesine bağlıdır.<sup>[17]</sup>

### Görüntü işleme ve değerlendirme

Çokkesitli BT anjiyografide birkaç yüz kesitten oluşan aksiyel görüntüler elde edilmektedir.

Değerlendirmede şu seçeneklerden faydalanılır:

a) Aksiyel görüntüler: Elde edilen ham görüntüdür.

b) MIP (maksimum intensity projection) görüntüler: Seçilen volüm içinde maksimum yoğunluğun projeksiyonuna dayalı bir yöntemdir; genellikle 5-10 mm kalınlıkta uygulanır, kıvrımlı koroner arterlerin devamlı olarak gösterilmesini sağlar. Bu yöntemle değerlendirme birbirine dik iki planda yapılmalı, lezyonlar aksiyel kesit MPR ile doğrulanmalıdır.

c) MPR (multiplanar reformation) görüntüler: Çok ince kesit kalınlığındaki görüntülerin istenen her planda rekonstrüksiyonu ve incelenbilmesi esasına dayanır. İncelenen artere paralel ve dik olmak üzere iki planda inceleme yapılmalıdır.

d) 3D VRT (üçboyutlu volüm rendering) görüntüler: Kalbin kompleks üçboyutlu görüntüleri özel bir bilgisayar programıyla gerçekleştirilir.

e) Eğimli (curved) MPR: Arter trasesinin manuel olarak izlenmesiyle elde edilen MPR görüntüdür.

f) *Vessel view* (sanal anjiyoskopik) görüntüler: Sanal olarak skopik yöntemle damar lümeni içindeki plakları değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir (Şekil 2).

### Klinik uygulamalar:

**1. Kalsiyum skorlama.** Koroner ateroskleroz varlığının araştırılmasında duyarlılığı yüksek invaziv olmayan bir yöntemdir.<sup>[18]</sup> İnceleme kontrast madde



**Şekil 2.** (A) VRT (üçboyutlu volüm rendering), (B) MIP (maksimum intensity projection), (C) eğimli MPR (multiplanar reformation) ve (D) sanal anjiyoskopik koroner BT anjiyografi görüntüleri.

kullanılmadan 5 saniye gibi kısa bir sürede tamamlanır. Damar duvarındaki kalsiyum, yüksek atenuasyonu nedeniyle hemen tanınır. Kalsiyum skorlama için eşik değer 90-130 HU'dur. Skorlama Agatston skorlama sistemine göre yapılır (Şekil 3). Koroner kalsifikasyonun yokluğu, ateroskleroz ve stenotik koroner arter hastalığı olmaması lehine oldukça yüksek negatif öngördürücü değere sahiptir.<sup>[19,20]</sup> Koroner kalsifikasyonun varlığı ve derecesi ile stenotik hastalığın yeri ve derecesi arasındaki ilişki konusunda araştırmalar yapılmıştır;<sup>[21]</sup> ayrıca, kararsız angina, miyokard infarktüsü, revaskülarizasyon ihtiyacı ve koroner ölüm gibi durumlar için yüksek riskli hasta gru-

bunu belirlemedeki rolü araştırılmıştır.<sup>[22]</sup> Yaş ve cinsiyet faktörlerinin de koroner arter kalsifikasyon miktarı üzerine etkileri araştırılmıştır.<sup>[23]</sup> Meta-analizlerde, asemptomatik hastalarda saptanan koroner kalsifikasyonların yalnızca majör kardiyak olaylarda hafif artmış riske yol açtığı sonucuna varılmıştır.<sup>[24,25]</sup> Kardiyak kateterizasyonla yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda, koroner kalsiyum skorlama ölçümlerinin koroner arter stenozunu öngörmedeki rolünün orta derecede olduğu bulunmuştur. Kalsiyum skorunun 0 olması anlamlı koroner arter hastalığı riskini %95 oranında dışlayabilmektedir. Koroner arter kalsifikasyon varlığı ve miktarı kalsifiye olan ve olmayan



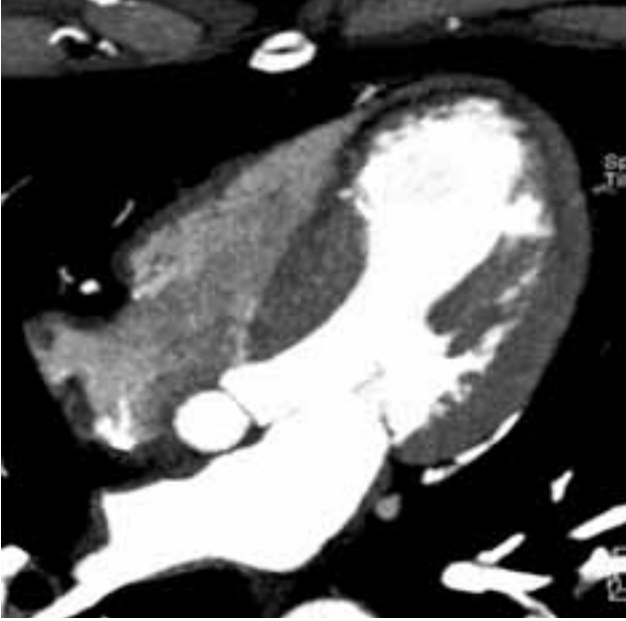
Şekil 3. Kalsiyum skorum.

plak yükü hakkında ve kırılabilir plak miktarı hakkında bir gösterge olarak düşünülebilir. Koroner arter kalsifikasyonunun derecesi bir risk faktörü olarak kontrol edilebilir ve gelecekte geleneksel Framingham risk sınıflandırması şemasına girebilir.

**2. Kardiyak morfoloji ve fonksiyonlar.** Kardiyak fonksiyonların invaziv olmayan değerlendirilmesi rutin olarak ekokardiografi ile yapılmaktadır. Kateter anjiyografi yapılan hastalarda tek ya da iki planlı ventrikülograflarla sol ventrikül volümü ve kardiyak fonksiyonlar değerlendirilir. Her iki teknik de geometrik hesaplamalara dayanırken, kesitsel görüntüleme kardiyak volümlerin üçboyutlu hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.<sup>[6,26,27]</sup> Çokkesitli BT tekniğinde retrospektif EKG tetikleme ile kalbin istenilen fazında rekonstrüksiyon yapmak mümkündür; böylece,

kalp odacıklarının morfolojileri, sol ve sağ ventrikül ejeksiyon fraksiyonu ve miyokard duvar kalınlıkları, sistol sonu ve diyastol sonunda yapılacak rekonstrüksiyonlardan elde edilebilir.<sup>[27]</sup> İnfarkt sonrası miyokard skar dokusu görüntülenebilir (Şekil 4). Ventrikülografi gibi altın standart yöntemlerle ÇKBT arasında iyi bir korelasyon olduğu gösterilmiştir.<sup>[27]</sup>

**3. ÇKBT koroner anjiyografi.** Koroner arterlerin ince kalibrasyonları, kardiyak hareketlerden etkilenmeleri ve kıvrımlı, üçboyutlu anatomileri nedeniyle invaziv olmayan yolla görüntülenmeleri önemli bir ilgi alanıdır ve bu zamana dek bunu tam olarak karşılayabilen bir yöntem bulunamamıştır. İntravenöz kontrastlı ÇKBT anjiyografi, koroner arterlerin invaziv olmayan morfolojik görüntülenmesinde bu boşluğu en iyi dolduran yöntem gibi görünmektedir.

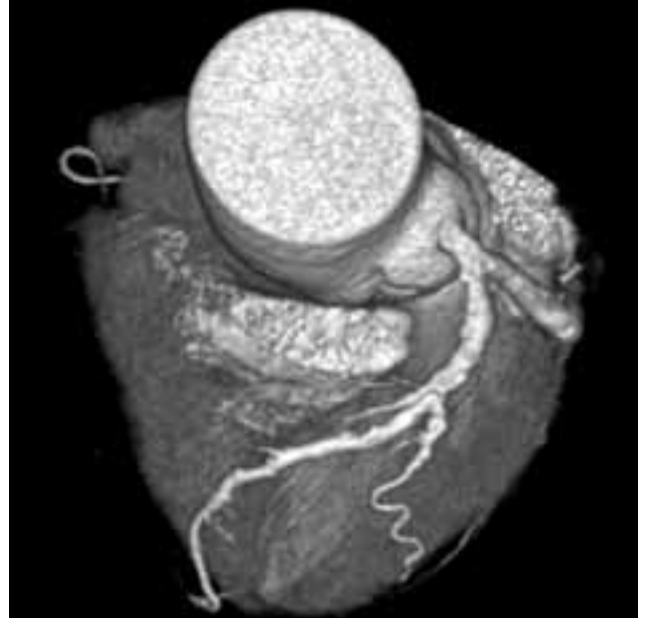


**Şekil 4.** Sol ventrikül apeksinde infarkt sonrası miyokard skar dokusu.

Miyokard iskemisi hatta ani ölüme neden olabilen koroner anomalilerin tanısında bugüne dek kateter anjiyografi altın standart görüntüleme yöntemi olarak kullanılmaktayken, ÇKBT anjiyografinin koroner arter anomalilerinin gösterilmesinde, orijinlerinin anatomik seyirlerinin ve büyük damarlarla ilişkilerinin belirlenmesinde daha başarılı olduğu araştırmalarla ortaya konmuştur. Bu nedenle, koroner anomaliden şüphelenilen olgularda invaziv olmayan ilk görüntüleme yöntemi olarak tercih edilmelidir (Şekil 5).

Yaygın koroner arter hastalığı veya çokdamar hastalığında koroner baypas cerrahisi günümüzde sık başvurulan ve kendini kanıtlamış bir yöntemdir. Ancak, ameliyat sonrasında olguların yılda %4-8'inde semptomların tekrar ortaya çıktığı gözlenmektedir. Semptomların tekrarlaması çoğunlukla baypas greftlerinin durumuna bağlıdır. Arteriyel greftlerin ömrü oldukça iyi olmasına karşın, ven greftlerinin %7'si ilk hafta içinde, %15-20'si ilk yıl içinde, yaklaşık yarısı ise 10 yıl içinde tıkanmaktadır. Geri kalan greftlerde ise dejenerasyon gelişse de belirgin iskemiye yol açmamaktadır.

Kateter anjiyografi, greftlerin durumunu incelemede halen altın standart olma özelliğini korumaktadır. Ancak, işlemin girişimsel olması birtakım olumsuzlukları da beraberinde getirmekte, işlemlerle ilgili %1.5 morbidite ve %0.15 mortalite oranları bildirilmektedir. Günümüzde kateter teknolojisinde sağlanan önemli gelişmelere karşın, koroner kateter anjiyografi ancak kesin endikasyonların varlığında öne-



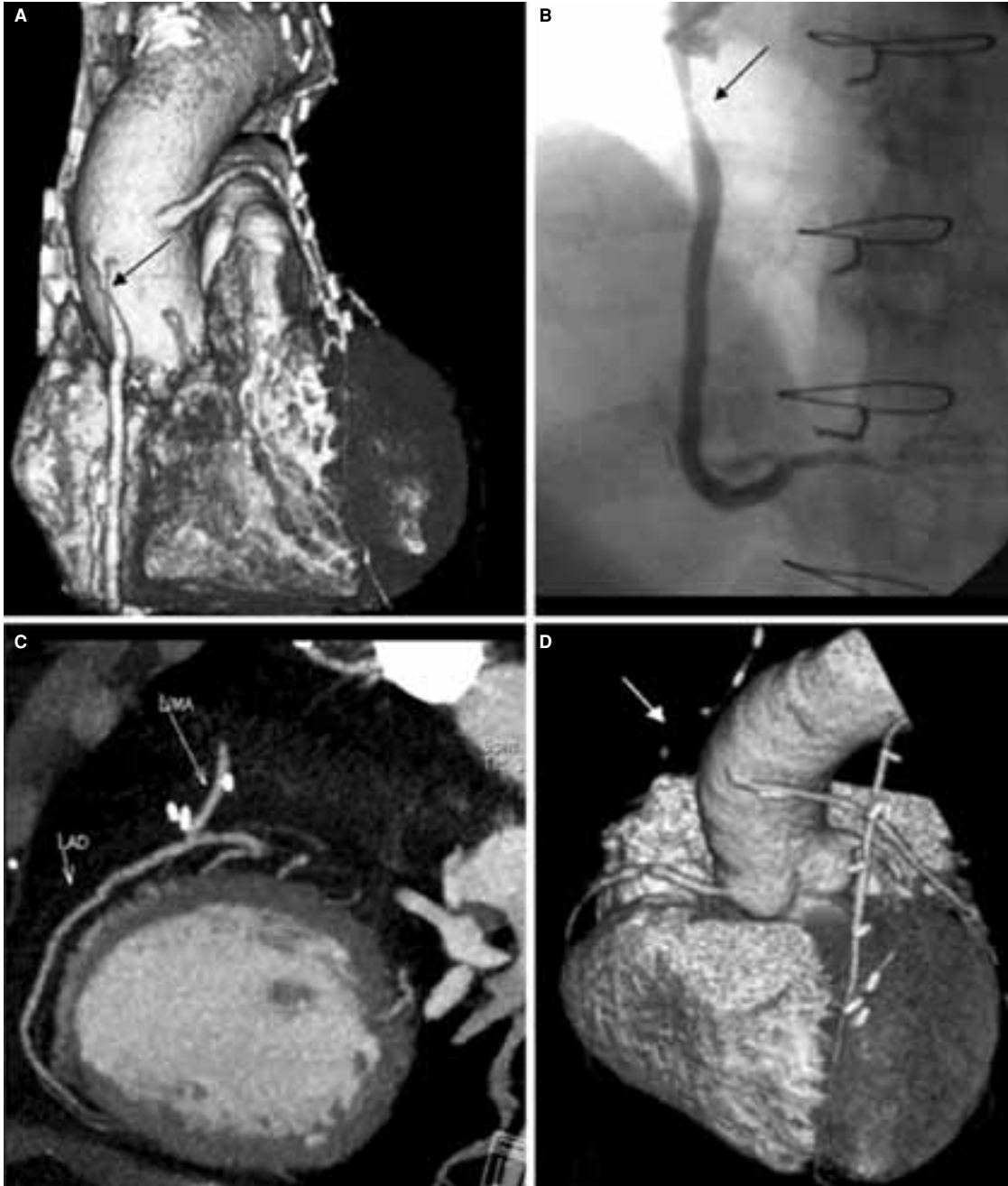
**Şekil 5.** Sağ koroner arter yokluğu. Tüm kalp sol koroner sistemden besleniyor.

rilmektedir. Greftlerin invaziv olmayan görüntülenmesinde 1980'li yılların başında konvansiyonel BT ve sonraki yıllarda spiral BT, EBT ve MR cihazları da denenmiş; ancak, çeşitli kısıtlılıkları nedeniyle bunlar ÇKBT kadar başarılı olamamışlardır. Arteriyel ve venöz konduitlerin ÇKBT ile incelenmesi birçok yönden avantajlıdır: Bunların çapları normal koroner arterlere göre daha geniştir, greftlerin göreceli uzaysal sabitlenmesi kolimatörlere uyumludur ve sıklıkla kalsifikasyon içermezler.

Bu özellikleri dolayısıyla, bugün ÇKBT endikasyonları arasında koroner arter anomalilerinin ve baypas greft açıklığının değerlendirilmesi sayılmaktadır (Şekil 6). Baypas greft tıkanıklıklarının değerlendirilmesinde duyarlılığı %97, özgüllüğü %89 olarak bildirilmiştir.<sup>[28]</sup> Ancak, distal anastomozların değerlendirilmesinde bazen metalik klipsler sorun oluşturabilmekte ve değerlendirmeyi engellemektedir (Şekil 7).

Koroner arter stent açıklığı ÇKBT ile %98 oranında değerlendirilebilmektedir. Ancak, stent içi darlığın değerlendirilmesinde metal artefaktlar (blooming artifact) nedeniyle sınırlanma söz konusudur.<sup>[29,30]</sup> Bununla birlikte, 16 ve 64 kesit cihazlarla bu sınırlanmalar giderek azalmaktadır (Şekil 8).

Koroner arterlerin miyokard içi seyirinin "myocardial bridging" gösterilmesinde ÇKBT multiplanar görüntüleme kapasitesiyle invaziv olmayan güvenilir bir yöntem olarak yararlı olmaktadır.<sup>[31]</sup> Ayrıca, ÇKBT anjiyografi, şiddetli aort koarktasyonu gibi nedenlerle kateter anjiyografi yapılamayan hastalar-



**Şekil 6.** (A) VRT (üçboyutlu volüm rendering) görüntüde aort-sağ koroner arter (RCA) venöz greft proksimalinde ileri derecede darlık. (B) Kateter anjiyografide aynı yerdeki darlık görülmekte. (C) MIP (maksimum intensity projection) görüntüde sol internal mamaryal arter (LIMA)-sol ön inen (LAD) arter greft anastomozu izlenmekte. (D) VRT görüntüde tıkalı sağ internal mamaryal arter-RCA grefti (ok) ve açık LIMA-LAD arter ve aort-obtus marjinalis greftleri.

da koroner arterlerin görüntülenmesinde yararlı olmaktadır.<sup>[32]</sup>

Bilgisayarlı tomografi anjiyografinin koroner darlığın incelenmesindeki güvenilirliği aktif çalışma alanı olmaya devam etmektedir. Yayınlanmış çalışmalarda dört kesitli BT ile proksimal koroner arterlerdeki kritik darlığın belirlenmesinde duyarlılığın %80 ile %90 arasında olduğu saptanmış,<sup>[30,33]</sup> 16 ve 64

kesit cihazlarda duyarlılığın %95'lere kadar yükseldiği görülmüştür.<sup>[34,35]</sup>

Koroner BT anjiyografide, değerlendirmede sınırlamalar arasında solunum ya da aritmiye bağlı basamaklanma artefaktları (Şekil 9), yaygın kalsifikasyon varlığında ortaya çıkan *blooming* artefaktı ve çok distal ince kalibrasyonlu damarların değerlendirilmesindeki güçlükler yanı sıra, kateter anjiyografiden farklı



**Şekil 7.** MIP (maksimum intensity projection) görüntüde aort-sağ posterior inen dal greft anastomozu klips artifaktı nedeniyle değerlendirilemiyor.

olarak, kontrast dinamik olarak takip edilemediğinden retrograd akım varlığında tıkalı kısa segmentlerin değerlendirilmesinde de güçlük yaşanabilmektedir.

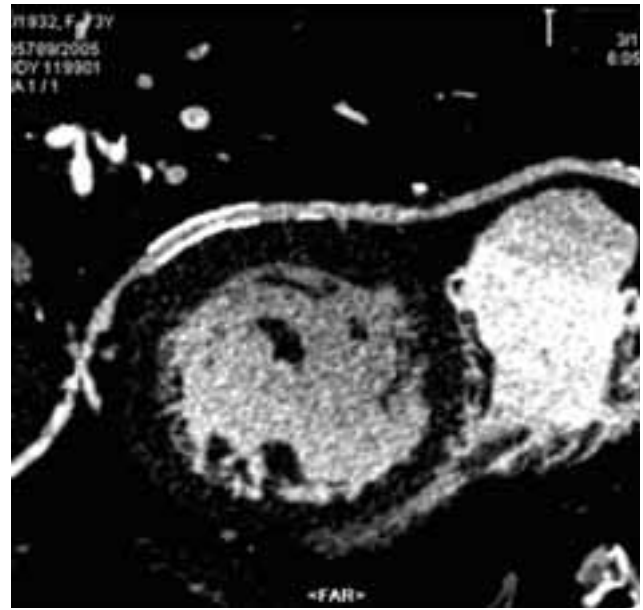
Ancak, çalışmalarda oldukça yüksek negatif öngördürücü değer saptanması nedeniyle, kontrastlı BT anjiyografide bulgu olmaması anlamlı koroner arter hastalığının elenmesini sağlayabilmektedir. Dedektör sayısı arttıkça ve bilgisayar programları geliştikçe darlığın saptanmasında ÇKBT anjiyografinin değeri artmaktadır (Tablo 1).<sup>[29,30,34-42]</sup>

#### **ÇKBT koroner anjiyografi endikasyonları.<sup>[43]</sup>**

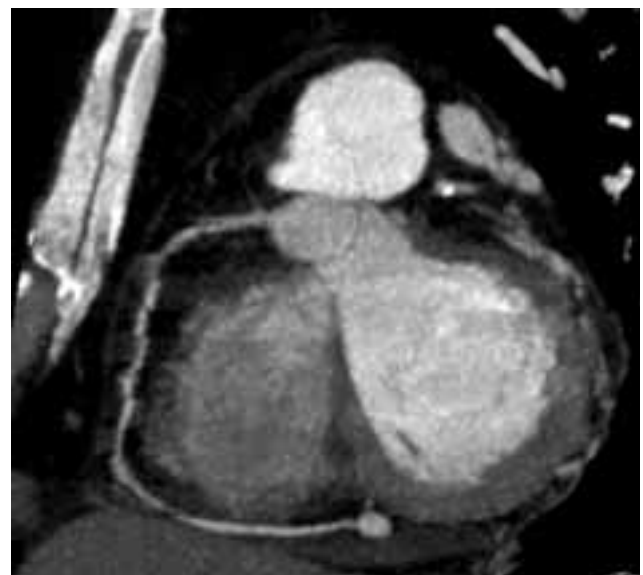
- Koroner arter anomalilerinin değerlendirilmesi,
- Atipik göğüs ağrısı olan hastalar,
- Klinikle uyumsuz ya da şüpheli stres test sonuçları (eforlu EKG, talyum, ekokardiyografi),
- Stres testi sonucu pozitif çıkan düşük riskli hastalar,
- Hafif-orta derece koroner kalsiyum skoru olan semptomatik hastalar,
- Stent açıklığının değerlendirilmesi,
- Greft değerlendirilmesi,
- Konvansiyonel anjiyografi yapılmasına olanak olmayan hastalar.

Konvansiyonel kateter anjiyografi koroner arter hastalığının değerlendirilmesinde aşılamayan uzaysal çözünürlüğü nedeniyle altın standart olmasına ve

damar lümenini ve lümendeki daralmayı göstermesine rağmen, damar duvarını görüntüleyememektedir. Oysa, ÇKBT koroner arter duvarındaki lezyonları lümeninde darlığa neden olsun ya da olmasın gösterebilir.<sup>[11,44]</sup> Bu özelliğe sahip diğer görüntüleme yöntemi intravasküler ultrasonografidir. Ancak bu, invaziv ve pahalı bir yöntemdir. Manyetik rezonans görüntüleme de damar duvarını ve aterosklerotik lezyonların farklı evrelerini gösterebilme özelliğine



**Şekil 8.** Eğimli MPR (multiplanar reformation) görüntüde bypass greftine yerleştirilen stent lümeni net bir şekilde görülebilmüş, stent sonrasında "soft" plağa bağlı orta derece lümenal darlık izleniyor.



**Şekil 9.** Kalp hızı yüksek olan hastada (maksimum intensity projection) görüntüde sağ koroner arterde basamaklanma artifaktları.



**Tablo 1. Farklı kesit sayısına sahip ÇKBT ile yapılan ve koroner BT anjiyografinin kritik koroner arter darlığını saptamadaki rolünü değerlendiren klinik çalışmaların sonuçları**

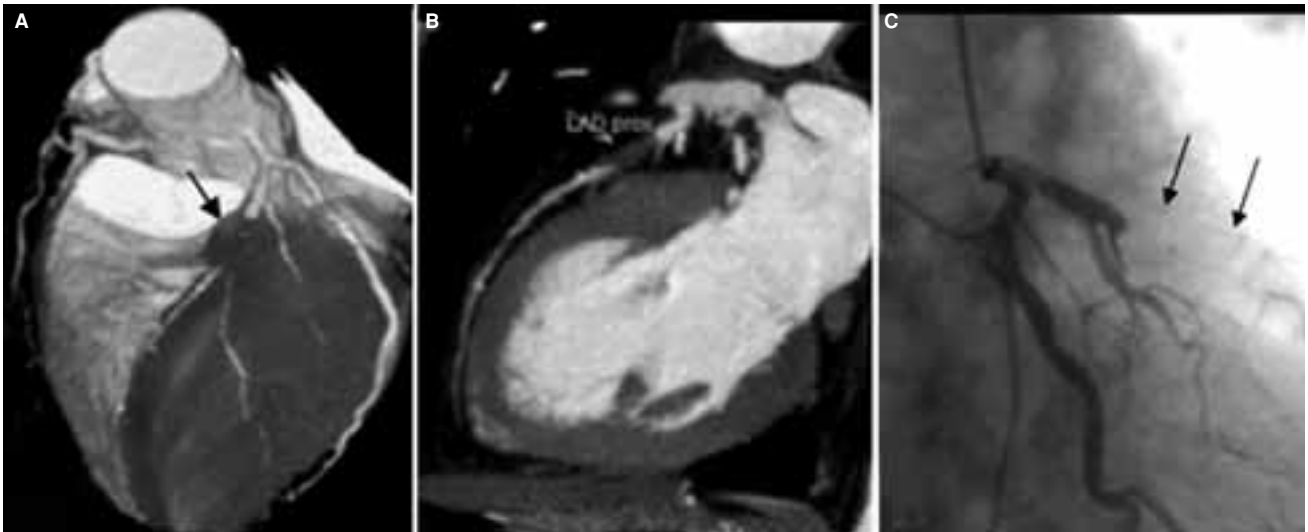
Çalışma ve kesit sayısı	Hasta sayısı	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	İnceleme dışı bırakılan segmentler (%)
<b>4 kesitli BT</b>				
Nieman ve ark., 2001 <sup>[29]</sup>	31	81	97	27
Achenbach ve ark., 2001 <sup>[36]</sup>	64	91	84	32
Knez ve ark., 2001 <sup>[37]</sup>	43	78	98	6
Herzog ve ark., 2001 <sup>[38]</sup>	42	72	92	0
Kopp ve ark., 2002 <sup>[39]</sup>	102	86-93	96-97	15
Nieman ve ark., 2002 <sup>[30]</sup>	53	82	93	30
<b>16 kesitli BT</b>				
Nieman ve ark., 2002 <sup>[34]</sup>	59	95	86	0
Ropers ve ark., 2003 <sup>[40]</sup>	77	92	93	12
Martuscelli ve ark., 2004 <sup>[41]</sup>	64	89	98	16
Mollet ve ark., 2004 <sup>[42]</sup>	128	92	95	0
<b>64 kesitli BT</b>				
Laschka ve ark., 2005 <sup>[35]</sup>	67	94	97	0

sahiptir.<sup>[5,45]</sup> Ancak, kardiyak ve solunuma bağlı hareket artefaktları, koroner arterlerin ince kalibrasyonu ve kıvrımlı seyri ve damarların yerleşimi nedeniyle MR görüntüleme henüz yeterince başarılı olamamıştır. Koroner MR anjiyografinin rutin uygulamaya girmesi için daha ileri teknolojik gelişmelere ihtiyaç duyulmaktadır.

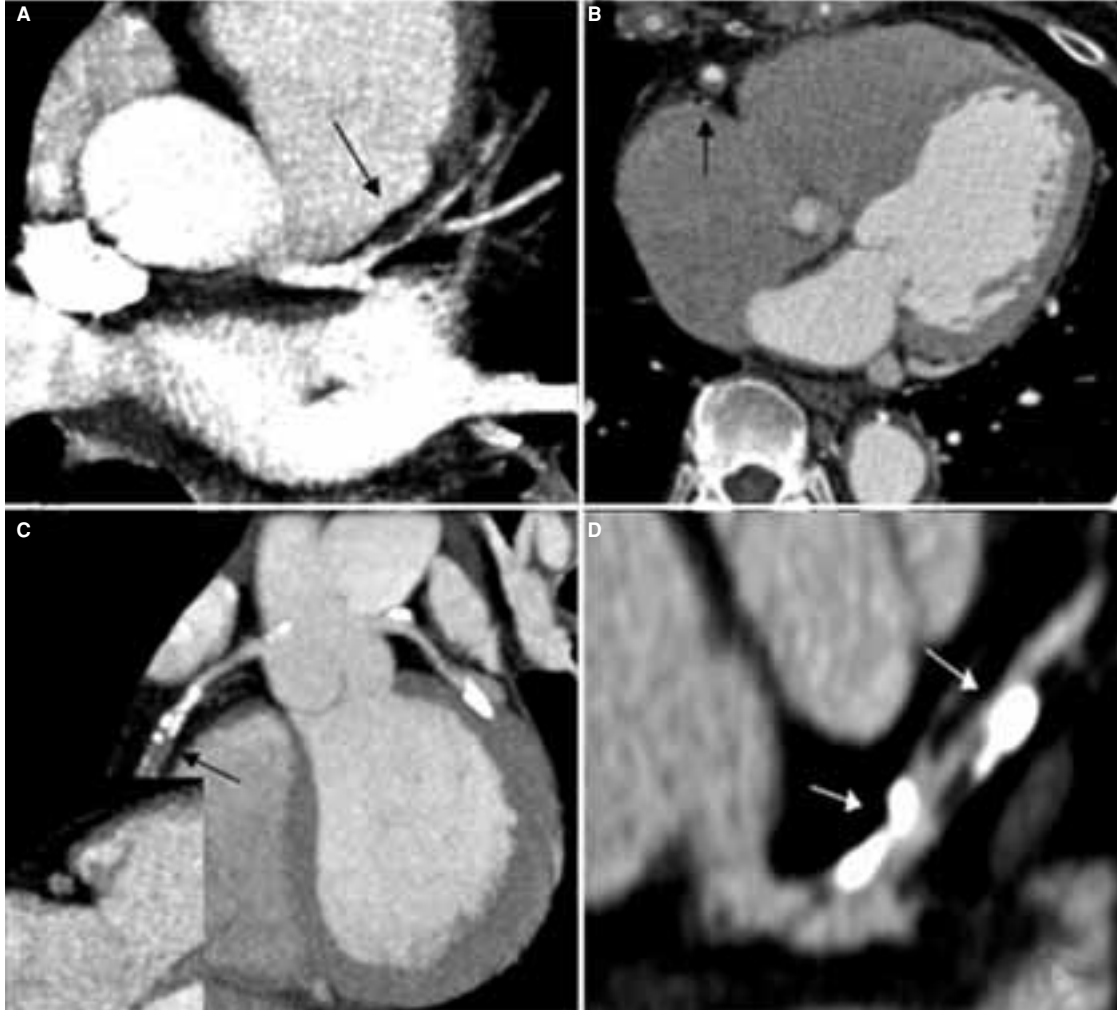
Çokkesitli BT'nin damar duvarındaki aterosklerotik süreci invaziv olmayan yolla görüntüleyebilmesi<sup>[11,44]</sup> koroner aterosklerozun patogenezi açığa kavuşturmak açısından bilim dünyasında oldukça ilgi çekmektedir. Koroner kalsiyum, koroner aterosklerotik plak gelişimi ile ilişkilidir. Ancak, aterosklerotik lezyona yanıt olarak ortaya çıkan vasküler olayın ile-

ri evresini göstermektedir.<sup>[46]</sup> Histopatolojik çalışmalar kalsifiye plakların genellikle plak yırtılmasına bağlı geliştiğini göstermektedir. Ancak, kalsiyumun varlığı ya da yokluğu stabil olan ve olmayan plakların ayırımında güvenilir bir ölçüt değildir.<sup>[47]</sup> Koroner aterosklerozun daha aktif erken fazının kalsifiye olmayan ya da mikst plaklarla ilişkili olduğu saptanmıştır (Şekil 10).<sup>[48]</sup> Bu durum, akut koroner sendromun daha çok koroner kalsiyumun olmadığı durumlarda ortaya çıktığını ve daha fazla kalsifik plağın stabil KAH ile ilişkili olduğunu gösteren klinik çalışmaların sonucunu açıklayıcı niteliktedir.<sup>[49]</sup>

Kontrastlı ÇKBT incelemede koroner arter lezyonlarının morfolojisi ve yoğunluk değerleri, plak



**Şekil 10. (A)** VRT (üçboyutlu volüm rendering) ve **(B)** MIP (maksimum intensite projeksiyonu) görüntülerde kalsiyum skoru 0 olan hastada sol ön inen arter (LAD) orta segmentte "soft" plağa bağlı tıkanıklık görülmüştür. **(C)** Aynı olgunun kateter anjiyografik görüntüsünde LAD orta segmentte tıkanıklık.



**Şekil 11.** Plak morfolojisini koroner BT anjiyografi ile değerlendirmek mümkündür. **(A)** MPR (multiplanar reformation) görüntüde sol ön inen arter (LAD) proksimalinde "soft" plak. **(B)** Aksiyel MPR görüntüde sağ koroner arter posterior duvarda lipid plak. **(C)** Koronal MIP (maksimum intensity projection) görüntüde sağ koroner arter orta bölümde fibrokalsifik plaklara bağlı lümenal tıkanıklık. **(D)** MIP görüntüde sol ana koroner arter distali ve LAD proksimalinde fibrokalsifiye plaklar.

yapısının invaziv olmayan değerlendirmesine olanak tanımaktadır (Şekil 11).<sup>[10]</sup>

Merkezimizde Haziran 2003'ten beri yaklaşık 1050 olguya koroner BT anjiyografi yapılmıştır. Kateter anjiyografi ile karşılaştırıldığında, koroner greft açıklığının değerlendirildiği 25 olguda BT anjiyografinin duyarlılığı %92, özgüllüğü %97; koroner darlıkların değerlendirildiği 28 olguda yöntemin duyarlılığı %94, özgüllüğü %96 bulunmuştur (yayınlanmamış bilgi).

Günümüzde ÇKBT çalışmalarının temelini, pre-klinik aterosklerotik lezyonları değerlendirmedeki kapasitesi, kardiyak riskin belirlenmesi, tedavi altında hastalığın ilerlemesi ya da lezyon stabilizasyonunu izlemedeki yeterliliği gibi konular oluşturmaktadır.

#### KAYNAKLAR

1. Ross R. The pathogenesis of atherosclerosis: a perspective for the 1990s. *Nature* 1993;362:801-9.
2. Topol EJ, Nissen SE. Our preoccupation with coronary luminology. The dissociation between clinical and angiographic findings in ischemic heart disease. *Circulation* 1995;92:2333-42.
3. Türk Kardiyoloji Derneği Ulusal Kalp Sağlığı Politikası Ana İlkeleri. İstanbul: 2002.
4. American Heart Association 2002 Heart and Stroke Statistical Update. Dallas: American Heart Association; 2001.
5. Fayad ZA, Fuster V, Nikolaou K, Becker C. Computed tomography and magnetic resonance imaging for non-invasive coronary angiography and plaque imaging: current and potential future concepts. *Circulation* 2002; 106:2026-34.

6. Lipton MJ, Higgins CB, Boyd DP. Computed tomography of the heart: evaluation of anatomy and function. *J Am Coll Cardiol* 1985;5(1 Suppl):55S-69S.
7. McCollough CH, Zink FE. Performance evaluation of a multi-slice CT system. *Med Phys* 1999;26:2223-30.
8. Klingenberg-Regn K, Schaller S, Flohr T, Ohnesorge B, Kopp AF, Baum U. Subsecond multi-slice computed tomography: basics and applications. *Eur J Radiol* 1999;31:110-24.
9. 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.
10. Schroeder S, Kopp AF, Baumbach A, Kuettner A, Georg C, Ohnesorge B, et al. Non-invasive characterization of coronary lesion morphology by multi-slice computed tomography: a promising new technology for risk stratification of patients with coronary artery disease. *Heart* 2001;85:576-8.
11. Hong C, Becker CR, Schoepf UJ, Ohnesorge B, Bruening R, Reiser MF. Coronary artery calcium: absolute quantification in nonenhanced and contrast-enhanced multi-detector row CT studies. *Radiology* 2002;223:474-80.
12. Hong C, Becker CR, Huber A, Schoepf UJ, Ohnesorge B, Knez A, et al. ECG-gated reconstructed multi-detector row CT coronary angiography: effect of varying trigger delay on image quality. *Radiology* 2001;220:712-7.
13. Herzog C, Abolmaali N, Balzer JO, Baunach S, Ackermann H, Dogan S, et al. Heart-rate-adapted image reconstruction in multidetector-row cardiac CT: influence of physiological and technical prerequisite on image quality. *Eur Radiol* 2002;12:2670-8.
14. Nieman K, Rensing BJ, van Geuns RJ, Vos J, Pattynama PM, Krestin GP, et al. Non-invasive coronary angiography with multislice spiral computed tomography: impact of heart rate. *Heart* 2002;88:470-4.
15. 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.
16. Fuchs T, Kachelriess M, Kalender WA. Technical advances in multi-slice spiral CT. *Eur J Radiol* 2000;36:69-73.
17. Kantarcı M, Duran C, Durur I, Ulusoy L, Gülbaran M, Önbaşı Ö. Koroner arterlerin değerlendirilmesinde multi dedektör BT anjiyografi: Teknik, anatomi ve varyasyonlar. *Bilgisayarlı Tomografi Bülteni* 2004;8:90-8.
18. Wexler L, Brundage B, Crouse J, Detrano R, Fuster V, Maddahi J, et al. Coronary artery calcification: pathophysiology, epidemiology, imaging methods, and clinical implications. A statement for health professionals from the American Heart Association. Writing Group. *Circulation* 1996;94:1175-92.
19. Shemesh J, Tenenbaum A, Fisman EZ, Apter S, Rath S, Rozenman J, et al. Absence of coronary calcification on double-helical CT scans: predictor of angiographically normal coronary arteries in elderly women? *Radiology* 1996;199:665-8.
20. Laudon DA, Vukov LF, Breen JF, Rumberger JA, Wollan PC, Sheedy PF 2nd. Use of electron-beam computed tomography in the evaluation of chest pain patients in the emergency department. *Ann Emerg Med* 1999;33:15-21.
21. Schmermund A, Bailey KR, Rumberger JA, Reed JE, Sheedy PF 2nd, Schwartz RS. An algorithm for noninvasive identification of angiographic three-vessel and/or left main coronary artery disease in symptomatic patients on the basis of cardiac risk and electron-beam computed tomographic calcium scores. *J Am Coll Cardiol* 1999;33:444-52.
22. Arad Y, Spadaro LA, Goodman K, Lledo-Perez A, Sherman S, Lerner G, et al. Predictive value of electron beam computed tomography of the coronary arteries. 19-month follow-up of 1173 asymptomatic subjects. *Circulation* 1996;93:1951-3.
23. Erdoğan N, Altın L, Altuncan Ş. Elektron demeti tomografisi ile saptanan koroner arter kalsifikasyonunun yaş ve cinsiyet ile ilişkisi. *Türk Tanısal ve Girişimsel Radyoloji Dergisi* 2003;9:466-70.
24. O'Malley PG, Taylor AJ, Jackson JL, Doherty TM, Detrano RC. Prognostic value of coronary electron-beam computed tomography for coronary heart disease events in asymptomatic populations. *Am J Cardiol* 2000;85:945-8.
25. O'Rourke RA, Brundage BH, Froelicher VF, Greenland P, Grundy SM, Hachamovitch R, et al. American College of Cardiology/American Heart Association Expert Consensus document on electron-beam computed tomography for the diagnosis and prognosis of coronary artery disease. *Circulation* 2000;102:126-40.
26. Lee VS, Resnick D, Bundy JM, Simonetti OP, Lee P, Weinreb JC. Cardiac function: MR evaluation in one breath hold with real-time true fast imaging with steady-state precession. *Radiology* 2002;222:835-42.
27. Juergens KU, Grude M, Fallenbergh EM, Opitz C, Wichter T, Heindel W, et al. Using ECG-gated multi-detector CT to evaluate global left ventricular myocardial function in patients with coronary artery disease. *AJR Am J Roentgenol* 2002;179:1545-50.
28. 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.
29. Nieman K, Oudkerk M, Rensing BJ, van Ooijen P, Munne A, van Geuns RJ, et al. Coronary angiography with multi-slice computed tomography. *Lancet* 2001;357:599-603.
30. Nieman K, Rensing BJ, van Geuns RJ, Munne A, Ligthart JM, Pattynama PM, et al. Usefulness of mul-

- tislice computed tomography for detecting obstructive coronary artery disease. *Am J Cardiol* 2002;89:913-8.
31. Kantarci M, Duran C, Durur I, Alper F, Onbas O, Gulbaran M, et al. Detection of myocardial bridging with ECG-gated MDCT and multiplanar reconstruction. *AJR Am J Roentgenol* 2006;186(6 Suppl 2):S391-4.
  32. Aytekin V, Catakoglu AB, Ozme B, Duran C. The use of multislice computed tomography following unsuccessful attempt for coronary angiography in a case with aortic coarctation. [Article in Turkish] *Türk Kardiyol Dern Arş* 2005;33:311.
  33. Becker CR, Knez A, Ohnesorge B, Schoepf UJ, Reiser MF. Imaging of noncalcified coronary plaques using helical CT with retrospective ECG gating. *AJR Am J Roentgenol* 2000;175:423-4.
  34. Nieman K, Cademartiri F, Lemos PA, Raaijmakers R, Pattynama PM, de Feyter PJ. Reliable noninvasive coronary angiography with fast submillimeter multislice spiral computed tomography. *Circulation* 2002;106:2051-4.
  35. Leschka S, Alkadhi H, Plass A, Desbiolles L, Grunenfelder J, Marincek B, et al. Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology: first experience. *Eur Heart J* 2005;26:1482-7.
  36. 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.
  37. Knez A, Becker CR, Leber A, Ohnesorge B, Becker A, White C, et al. Usefulness of multislice spiral computed tomography angiography for determination of coronary artery stenoses. *Am J Cardiol* 2001;88:1191-4.
  38. Herzog C, Ay M, Engelmann K, Abolmaali N, Dogani S, Diebold T, et al. Visualization techniques in multislice CT-coronary angiography of the heart. Correlations of axial, multiplanar, three-dimensional and virtual endoscopic imaging with the invasive diagnosis. *Rofo* 2001;173:341-9. [Abstract]
  39. Kopp AF, Schroeder S, Kuettner A, Baumbach A, Georg C, Kuzo R, et al. Non-invasive coronary angiography with high resolution multidetector-row computed tomography. Results in 102 patients. *Eur Heart J* 2002;23:1714-25.
  40. Ropers D, Baum U, Pohle K, Anders K, Ulzheimer S, Ohnesorge B, et al. Detection of coronary artery stenoses with thin-slice multi-detector row spiral computed tomography and multiplanar reconstruction. *Circulation* 2003;107:664-6.
  41. Martuscelli E, Romagnoli A, D'Eliseo A, Razzini C, Tomassini M, Sperandio M, et al. Accuracy of thin-slice computed tomography in the detection of coronary stenoses. *Eur Heart J* 2004;25:1043-8.
  42. Mollet NR, Cademartiri F, Nieman K, Saia F, Lemos PA, McFadden EP, et al. Multislice spiral computed tomography coronary angiography in patients with stable angina pectoris. *J Am Coll Cardiol* 2004;43:2265-70.
  43. Silber S. Quantification of coronary artery calcifications in the risk stratification of cardiac events. [Article in German] *Dtsch Med Wochenschr* 2002;127:2575-8.
  44. Botnar RM, Stuber M, Kissinger KV, Kim WY, Spuentrup E, Manning WJ. Noninvasive coronary vessel wall and plaque imaging with magnetic resonance imaging. *Circulation* 2000;102:2582-7.
  45. Stary HC, Chandler AB, Dinsmore RE, Fuster V, Glagov S, Insull W Jr, et al. A definition of advanced types of atherosclerotic lesions and a histological classification of atherosclerosis. A report from the Committee on Vascular Lesions of the Council on Arteriosclerosis, American Heart Association. *Circulation* 1995;92:1355-74.
  46. Schmermund A, Schwartz RS, Adamzik M, Sangiorgi G, Pfeifer EA, Rumberger JA, et al. Coronary atherosclerosis in unheralded sudden coronary death under age 50: histo-pathologic comparison with 'healthy' subjects dying out of hospital. *Atherosclerosis* 2001;155:499-508.
  47. Virmani R, Burke AP, Farb A, Kolodgie FD. Pathology of the unstable plaque. *Prog Cardiovasc Dis* 2002;44:349-56.
  48. Beckman JA, Ganz J, Creager MA, Ganz P, Kinlay S. Relationship of clinical presentation and calcification of culprit coronary artery stenoses. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2001;21:1618-22.
  49. 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.