

Elektron beam tomografi ile koroner arterlerdeki kalsiyum miktarının saptanması

Nihan Erdoğan, Levent Altın, Şekip Altınkan

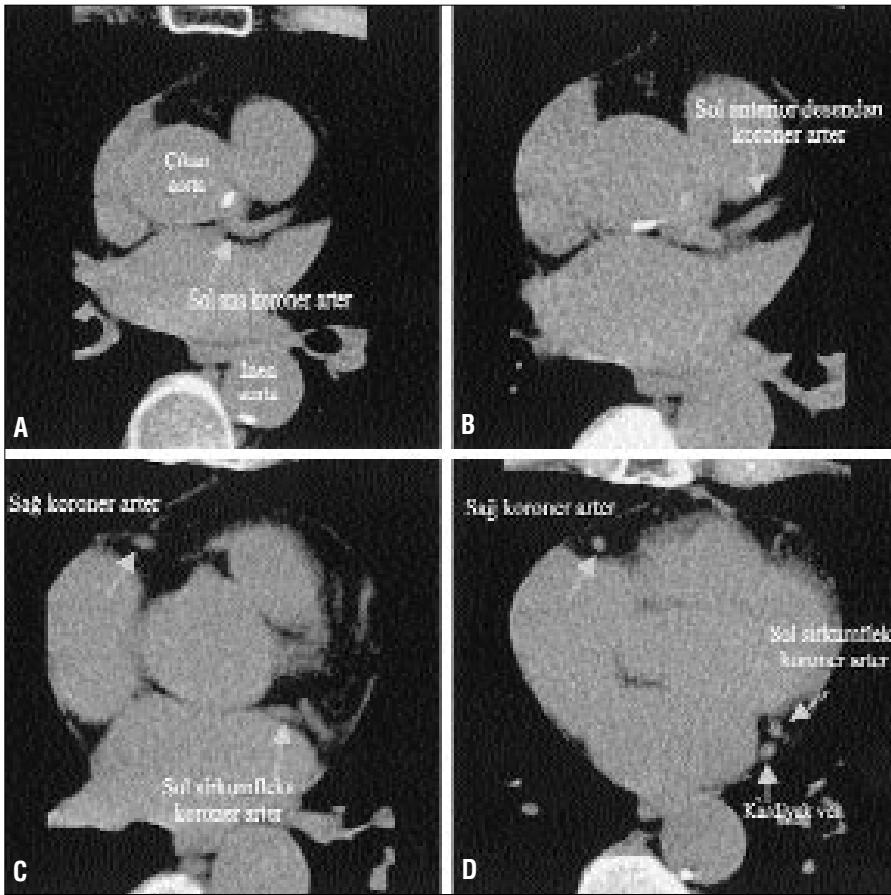
N. Erdoğan (E), L. Altın, Ş. Altınkan
Metropol Tıp Merkezi, 06400 Ankara

Koroner arter duvarında izlenen kalsiyum, koroner ateroskleroz plağı ile ilişkili olup arteriosklerozun kesin bir göstergesidir (1). Klinik ve histopatolojik çalışmalar, koroner arter kalsiyumu ile arteriosklerotik koroner arter hastalığı arasındaki yakın ilişkiyi desteklemektedir (2). Gelecekteki kardiyak hadise olasılığı, arteriosklerotik hastalık ispatı ile yakın ilişkili olduğundan, koroner arter kalsiyum miktarı ve dağılımının saptanması, kardiyovasküler hastalık riskini önceden belirlemede önemli bir bilgidir.

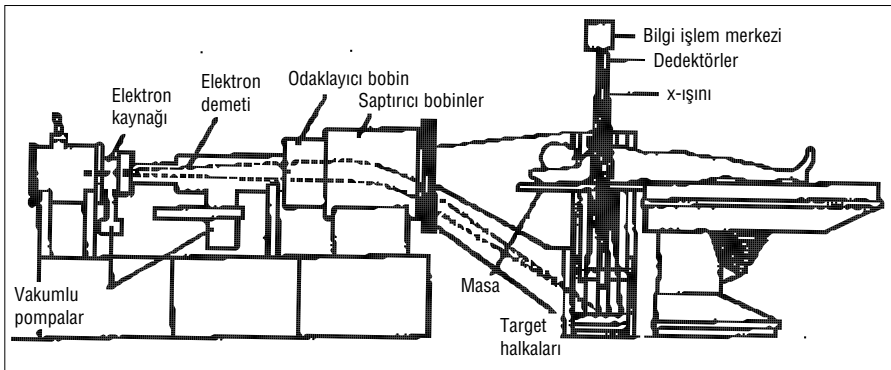
Koroner arter kalsiyumu; direkt grafi, floroskopi, spiral bilgisayarlı tomografi (BT), elektron beam tomografi (EBT), intravasküler ultrasonografi (IVUS), magnetik rezonans görüntüleme (MRG), transtorasik ve transözofageal ekokardiografi ile saptanabilir. EBT ile gerçekleştirilen koroner kalsiyum taraması, koroner arter kalsiyumunun saptanmasında altın standart olarak kabul edilen ve son zamanlarda sık kullanılan non-invaziv görüntüleme yöntemidir (3).

Elektron beam tomografi

EBT, yüksek uzaysal, temporal veya kontrast rezolüsyonu olan, dizaynında mekanik hareket gerektiren parça bulundurmeyen ve bu nedenle 50-100 msn/kesit gibi çok hızlı görüntüleme hızına ulaşabilen, ayrıca imajları elektrokardiyografi (EKG) tetikleme eşliğinde alabilen kesitsel bir görüntüleme tekniğidir. EBT, Boyd ve arkadaşları tarafından 1979'da özellikle kalp gibi hareketli organların değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiştir. "Ultrafast" BT, "Cine" BT veya 5. jenerasyon BT olarak da adlandırılmaktadır (4). EBT'nin diğer BT cihazlarından en önemli farklılığı, dizaynında mekanik olarak hareket eden hiçbir parçanın bulunmamasıdır (5). EBT'de elektron kaynağı (katod) ile elektronların çarpmasıyla x-ışını oluşumu sağlanan tungsten hedefler (anod) arasındaki uzaklık yaklaşık 3 m olup toplam 4 adet tungsten hedef ve 2 adet yüksek rezolüsyonlu dedektör halkası bulunmaktadır (Çizim 1). EBT'de, sabit x-ışını kaynağı ve dedektör kombinasyonu kullanılmakta ve x-ışını oluşturulmasında kullanılan elektron demetinin dönmesi sağlanarak, 100 msn'de, kalp ritmi ile uyumlu olarak diastol sonundan ardışık ince aksiyel kesitler elde edilmektedir (Çizim 2). Tek kesit alma süresinin 100 msn olması inceleme zamanını kısaltmakta ve tek nefes tutulumunda tüm kalbin görüntülenebilmesine olanak sağlamaktadır. Diastol sonu EKG tetiklemesinin kullanılması ile de görüntülerde kalp hareketlerine bağlı artefaktlar önlenmektedir.



Resim 1. Değişik düzeylerden alınan aksiyel EBT kesitlerinde 4 ana koroner arterin görünümü. Çıkan ve inen torasik aortada az miktarda kalsifik plak izlenmektedir (A-D).



Çizim 1. EBT cihazının longitudinal planda şematik dizaynı. Elektron kaynağından (katod) çıkan ve vakumlu elektromanyetik alanda hızlandırılan elektronlar (130 kV, 600-650 mA), odaklama bobini ile demet haline getirilir. Elektron demeti saptırma bobini tarafından hastanın bulunduğu masanın alt yüzeyinde 210° lik yay şeklinde yerleşen 4 adet sabit tungsten hedefe (anod) çarparak x-ışını üretir. 30° lik bir yelpaze şeklinde oluşan x-ışınları, değişik aralıkları olan kolimatörlerden sonra hastanın incelenecek organından geçer ve gantrinin üst tarafında bulunan 2 adet sabit yüksek rezolüsyonlu dedektör halkası tarafından algılanırlar.

EBT ile koroner kalsiyum tarama protokolü

EBT ile koroner arterlerdeki kalsiyumun görüntülenmesi, yüksek rezolüsyonlu volüm modunda gerçekleştirilir. Standard koroner kalsiyum tarama protokolünde, 3 mm kesit kalınlığı ve 3 mm masa hareketi, 100 msn tarama zamanı, 512x512 matris ve müm-

kün olabilen en küçük "field of view" (FOV) (18.26 cm) parametreleri kullanılır. Hasta supin pozisyonunda yatar halde topogram görüntü alındıktan sonra, aort kökünden itibaren tüm kalbi içerisine alacak şekilde ve kalp hareketlerini en aza indirebilmek için diastol sonu EKG tetiklemesi uygulanarak, yaklaşık 30-40 adet aksiyel ke-

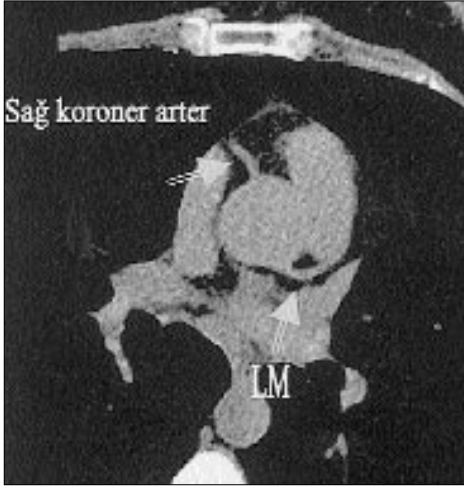
sit alınır. Her inceleme, ortalama 20-30 sn içerisinde tamamlanır.

EKG tetiklemesi

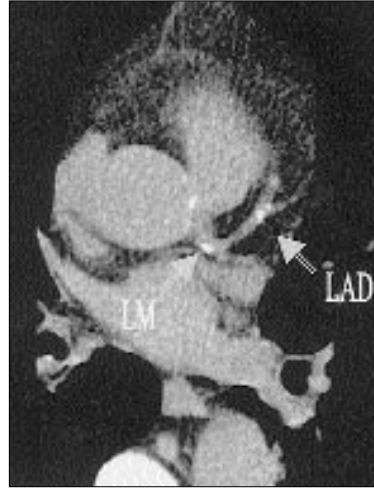
Diastolde daha az olmak üzere, sistol ve diastol fazlarında kalbin kendisi ve çevresi devamlı hareket halindedir. Kalbin kasılıp gevşemesi ve koroner damarlarda dolaşan kan volümünün de etkisiyle, koroner arterler değişik 3 boyutlu hareketler yapmaktadırlar. Ortalama 100 msn'de sağ koroner arter 6-7 mm, sol sirkumfleks koroner arter 4-5 mm, sol ana koroner arter 3 mm ve sol anterior desendan koroner arter 2-3 mm hareket eder (6). Koroner arterlerdeki kalsiyum birimleri de, bir kalp siklusuna boyunca bulunduğu koroner arterlerle birlikte hareket etmektedir. Koroner kalsiyumun saptanması için kardiyak siklusun en az hareketli fazından görüntü alınmalıdır. Bu nedenle EBT ile görüntüleme zamanlaması, kalbin diastolde en az hareketli olduğu döneme ayarlanır. Kardiyak incelemede ileriye dönük olarak kullanılan EKG tetiklemesi genelde %40-80 arasında R-R aralığına ayarlanmaktadır (7) (Çizim 3).

Koroner kalsiyum skorlaması

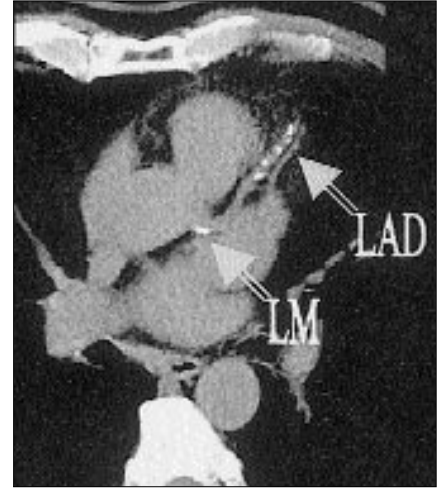
Aksiyel kesitlerin incelenmesinde, kalbe ait dört ana koroner arter (sol ana, sol anterior desendan, sol sirkumfleks ve sağ koroner arter), tüm traseleri boyunca kalsifiye lezyon varlığı yönünden değerlendirilmektedir (Resim 1A-D). Koroner arterlerdeki kan dansitesine kıyasla daha düşük BT dansiteli periarteriyel yağ dokusu nedeniyle, koroner arterler açıkça görülebilir. Ayrıca kana göre yüksek BT dansitesinden dolayı intramural kalsiyumun izlenebilir olması da tetkikin kontrast madde enjeksiyonuna gerek kalmadan yapılmasını sağlamaktadır (3). EBT ile kalsiyum saptanmasına ek olarak, kalsiyum alan ve yoğunluğunun belirlenmesi de mümkündür. Görüntüler 0.25-0.50 mm² piksel boyutunda elde edilebildiğinden, çok küçük miktarlardaki kalsiyum birimleri doğru olarak saptanabilir. Histolojik çalışmalar +130 Hounsfield ünitesi (HU) değerindeki doku



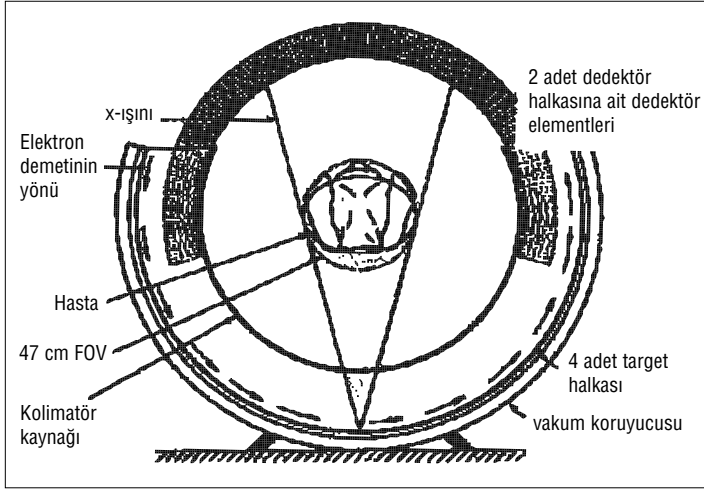
Resim 2. Aksiyel EBT kesitinde sağ koroner arter proksimali ve sol ana koroner arterde herhangi bir kalsiyum birikimi izlenmemektedir (LM: "left main").



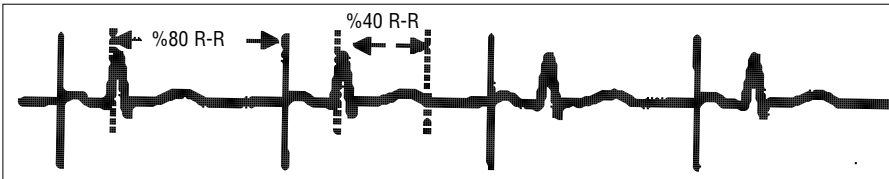
Resim 3. Aksiyel EBT kesitinde sol ana koroner arter ve sol anterior desendan koroner arter proksimalinde hafif derecede kalsiyum birikimleri izlenmektedir. Çıkan torasik aorta çeperinde az miktarda kalsifikasyon mevcuttur (LM: "left main", LAD: "left anterior descending").



Resim 4. Aksiyel EBT kesitinde sol ana koroner arter ve sol anterior desendan koroner arter proksimalinde orta derecede kalsiyum birikimleri izlenmektedir (LM: "left main", LAD: "left anterior descending").



Çizim 2. EBT cihazının transvers planda görünümü. Elektron demetinin 210° lik sapma yayı boyunca hareketi ve tungsten hedeflere çarparak x-ışını oluşturması şematize edilmektedir. Bir tungsten hedefi 100 msn'de geçen elektron demeti tek bir kesit oluşturur. Ardıışık 100 msn'lik geçişler arasında 16 msn'lik gecikme zamanı bulunmakta olup bu da maksimum 9 kesit/sn etmektedir.



Çizim 3. Koroner kalsiyum taramasında ileriye dönük olarak uygulanan EKG tetiklemesi, kardiyak siklusun ardıışık R dalgaları arasındaki mesafenin %40 ile %80'i arasında ayarlanmaktadır.

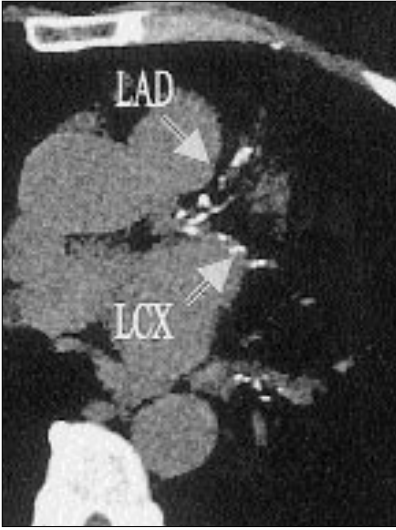
dansitesitelerinin kalsifikasyonla uyumlu olduğunu desteklemektedir (8). Bu nedenle EBT ile BT dansitesi +130 HU olan lezyonlar kalsifikasyon olarak yorumlanmaktadır. Yumuşak dokuların BT dansitesinin ortalama +50 HU olduğu düşünülürse, +130 HU BT değeri, incelenen dokunun

kalsifikasyon içermesi için yeterince yüksek bir sınır değerdir. Resim 2'de koroner arterlerinde kalsiyum saptanmayan, resim 3, 4 ve 5'de ise koroner arterlerinde hafif, orta ve ciddi derecede kalsiyum birikimleri saptanan hastalara örnekler verilmiştir. Koroner arterlerdeki kalsifikasyon miktarı

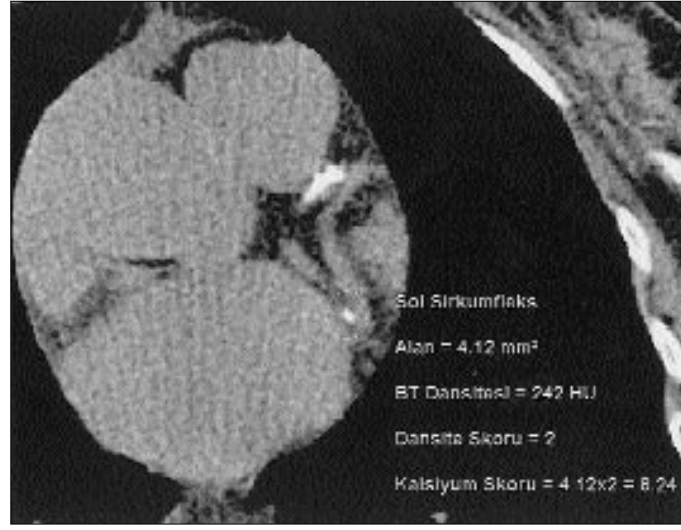
"Agatston" skorlaması kullanılarak hesaplanmaktadır. "Agatston" skorlamasına göre, birbirine komşu 2-3 pikselde, 1 mm²'den geniş bir alanda, BT dansitesi 130 HU'dan fazla olan lezyonlar kalsifikasyon olarak yorumlanmaktadır (9). İnceleyici tarafından işaretlenen lezyonların alanı ve dansitesi cihaz yazılımı tarafından otomatik olarak ölçülmektedir. Her kalsifiye lezyon için kalsiyum skoru, lezyon alanı ile lezyon dansitesine göre belirlenen dansite skorunun çarpılması sonucu hesaplanmaktadır. Lezyon dansitesine göre belirlenen dansite skoru; 130-199 HU için 1. 200-299 için 2. 300-399 için 3 ve ≥400 için 4 olarak belirlenir (9) (Resim 6-8). Dört ana koroner arterin her biri için kalsiyum skoru saptanarak, o hasta için total kalsiyum skoru hesaplanmaktadır.

EBT'nin sınırlılıkları

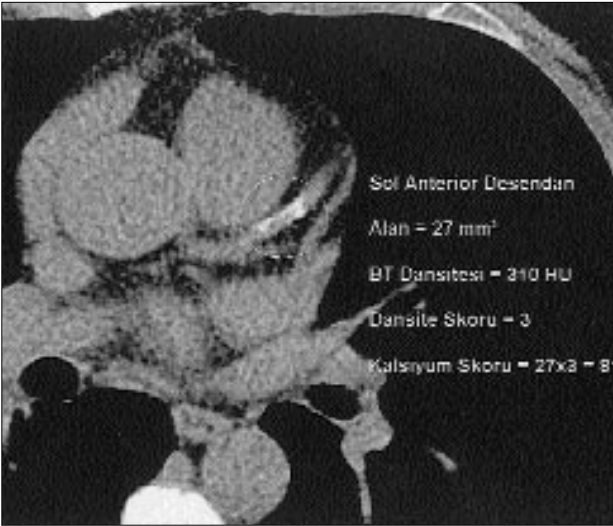
İrregüler kalp ritmi, spontan ektojik atımlar, hastanın nefes tutamaması gibi teknik veya hastadan kaynaklı sınırlılıklar olabilmektedir. Ayrıca, perikardiyal kalsifikasyonlar ve kalbe komşu pulmoner damarların sol sirkumfleks koroner arter düzeyinde yarattığı yüksek dansiteli artefaktlar kalsiyum değerlendirmesinde zorluklar yaratabilmektedir. Metalik yapay kapak veya bypass operasyonu için yerleştirilen metalik klipslere ait artefakt-



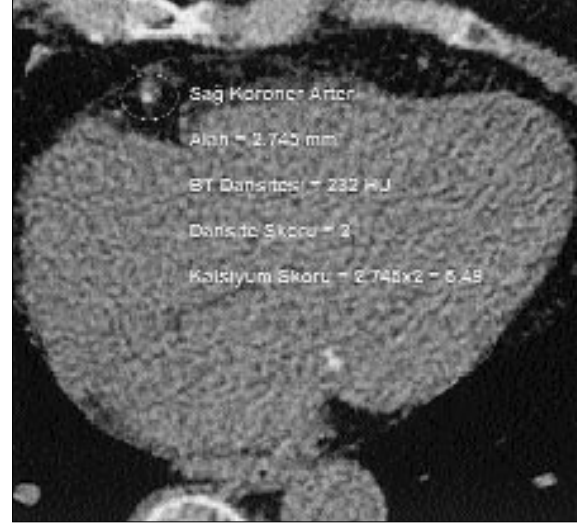
Resim 5. Aksiyel EBT kesitinde sol anterior desendan ve sol sirkumfleks koroner arterlerinde yoğun kalsiyum birikimleri izlenmektedir (LAD: "left anterior descending", LCX: "left circumflex").



Resim 6. Yetmişiki yaşında bayan hastanın sol sirkumfleks koroner arterinin orta kesiminde saptanan kalsiyumun BT dansitesi 200-299 HU arasında (242 HU) olduğundan dansite skoru 2 olarak kabul edilmiştir. "Agatston" skorlamasına göre, dansite skoru (2) ile kalsiyumun kapladığı alanın (4.12 mm²) çarpılması sonucu kalsiyum skoru 8.24 olarak hesaplanmıştır.



Resim 7. Kırkaltı yaşında erkek hastanın, sol anterior desendan koroner arterinde saptanan kalsiyumun "Agatston" skorlamasına göre kalsiyum skoru 81 olarak hesaplanmıştır. Agatston skorlamasında kalsiyum miktarı, kalsiyumun kapladığı alan ile BT dansitesine göre belirlenen dansite skorunun çarpılması ile hesaplanır. Saptanan lezyonun dansitesi 300-399 HU arası (310 HU) olduğu için BT dansite skoru 3 olarak kabul edilmiştir.



Resim 8. Yetmişbeş yaşında bayan hastanın sağ koroner arterinde saptanan kalsiyumun "Agatston" skorlamasına göre belirlenen koroner kalsiyum skoru 5.49 olarak hesaplanmıştır.

lar da kalsiyumun değerlendirilmesinde dezavantajdır.

Koroner kalsiyum skorunun klinik açıdan yorumlanması

Koroner kalsiyum skoru, öncelikle Janowitz ve arkadaşlarının (10) asemptomatik kişilerden yaş ve cinsiyet gruplarına göre elde ettikleri ve normogram değerler olarak belirlenen ortalama kalsiyum skorları ile karşılaştırılır. Ayrıca aynı çalışma sonucu, asemptomatik kişilerden, cinsiyetleri-

ne göre 5 yıllık yaş gruplarında elde ettikleri normogram değerlere göre de belirli persantil aralıklarında (<25, 25-50, 50-75, 75-90, >90) ifade edilir. Koroner kalsiyum skorlaması için kadınlarda 40 yaş, erkeklerde ise 35 yaş alt sınır olarak kabul edilir (10).

Koroner kalsiyum skorunun sıfır olması koroner arteriosklerozun tamamen yokluğunu göstermese de, yaş ve cinsiyetten bağımsız olarak belirgin obstrüktif koroner lezyon (>%50 lüminal darlık) bulunma olasılığının hiç olmadığını veya çok düşük (%2) ol-

duğunu gösterir. Kardiyovasküler risk çok düşük olarak tanımlanır. Mayo Clinic'den, Breen ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, kalsiyum skoru sıfır olduğunda, anjiyografik olarak saptanan obstrüktif koroner lezyon bulunmadığı saptanmıştır (negatif prediktif değer %100) (11). Agatston ve arkadaşlarının, otopsi incelemeleri ile yaptıkları bir çalışmada ise, saptanabilir koroner kalsiyum yokluğunda, koroner arterlerde %2 oranında obstrüktif koroner lezyon bulunmuştur (negatif prediktif değer

%2) (9).

Kalsiyum skoru 1-10 arasında ise ciddi obstrüktif koroner lezyon bulunma olasılığı %10'un altındadır ve kardiyovasküler risk düşüktür. Kalsiyum skoru 11-100 arasında ise, hafif derecede koroner arteriosklerotik hastalık gelişimi vardır ve ciddi obstrüktif koroner lezyon bulunma olasılığı %20 veya altındadır. Kardiyovasküler risk orta derecededir. Kalsiyum skoru 101-400 arasında ise, orta derecede koroner arteriosklerotik hastalık gelişimi vardır ve bulunma olasılığı yüksek olan orta dereceli nonobstrüktif koro-

ner lezyonların yanısıra, eşlik eden ciddi obstrüktif koroner lezyon varlığı da muhtemeldir. Kardiyovasküler risk orta-yüksek derecededir. Kalsiyum skoru >400 ise, şiddetli koroner arteriosklerotik hastalık gelişimi vardır ve en az 1 tane ciddi obstrüktif koroner lezyon bulunma olasılığı %50'nin üzerindedir. Kardiyovasküler risk yüksek derecededir (10,12).

Kalsiyum skorunun miktarına göre; kardiyovasküler sistem hastalıklarından primer korunma için genel sağlık kuralları önerilir ve "National Cholesterol Education Program" (NCEP)

(13) rehberliğinde yüksek tansiyon, diyabet ve hiperkolesterolemi gibi genetik kardiyovasküler risk faktörleri kontrol altına alınır. Hastada kalsiyum skoru >100 ise ve koroner arter hastalığı semptomları varsa, primer kardiyovasküler risk faktörlerinin agresif kontrolü yanısıra iskemik kalp hastalığının araştırılması için ileri tetkikler de istenmelidir. Eğer hasta kendi yaş grubuna göre 75 persantilin üzerinde bir kalsiyum skoruna sahipse, bir üst kalsiyum skor grubunda önerilen tedavi yöntemleri uygulanmalıdır (10).

Kaynaklar

1. Blankenhorn DH. Coronary arterial calcification: A review. *Am J Med Sci* 1961; 242:1-9.
2. Rumberger JA, Simons DB, Fitzpatrick LA, et al. Coronary artery calcium area by electron-beam computed tomography and coronary atherosclerotic plaque area; a histopathologic correlative study. *Circulation* 1995; 92:2157-62.
3. Stanford W, Thompson BH. Imaging of coronary artery calcification: Its importance in assessing atherosclerotic disease. *Radiol Clin N Am* 1999; 37:257-72.
4. McCollough CH, Morin RL. Technical design and performance of ultrafast computed tomography. *Radiol Clin N Am* 1994; 32:521-536.
5. Raggi P. Coronary calcium on electron beam tomography imaging as a surrogate marker of coronary artery disease. *Am J Cardiol* 2001; 84(Suppl):27A-84A.
6. Achenbach S, Ropers D, Holle J, et al. In-plane coronary arterial motion velocity: measurement with electron beam CT. *Radiology* 2000; 216:457-63.
7. Lu B, Mao S, Zhuang N, et al. Coronary artery motion during the cardiac cycle and optimal ECG triggering for coronary artery imaging. *Invest Radiol* 2001; 36:250-6.
8. Mautner GC, Mautner SL, Froehlich J, et al. Coronary artery calcification: Assessment with electron beam CT and histomorphometric correlation. *Radiology* 1994; 41:1037-1047.
9. Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, et al. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 1990; 15:827-32.
10. Janowitz WR, Agatston AS, Kaplan G, et al. Differences in prevalence and extent of coronary calcium detected by ultrafast computed tomography in asymptomatic men and women. *Am J Cardiol* 1993; 72:247-254.
11. Bree JF, Sheedy PF, Shwartz RS, et al. Coronary artery calcification detected with ultrafast CT as an indication of coronary artery disease: works in progress. *Radiology* 1992; 185:435-439.
12. Rumberger JA, Brundage BH, Rader DJ, et al. Electron beam computed tomographic coronary calcium scanning: A review and guidelines for use in asymptomatic persons. *Mayo Clin Proc* 1999; 74:243-252.
13. Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults. Summary of the second report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation and, Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel II). *JAMA* 1993; 269:3015-3023.