

Koroner Arter Stentlerinin Değerlendirilmesi

Dilek Öncel¹, Güray Öncel²

ÖĞRENME HEDEFLERİ

- Stent içi tromboz-restenoz
- BT Görüntüleme
- Işın sertleşmesi
- Blooming ve yapay lümen daralması
- Stent açıklığının değerlendirilmesi
- Sonuç
- Kaynaklar

Koroner arter hastalıkları, günümüzde en sık görülen ve en çok ölüme neden olan hastalıkların başında gelmektedir [1]. Bu nedenle bu hastalıkların etkin tanı ve tedavisi en önemli sağlık problemleri arasında olup, bu konuda gelişmeler son hızıyla sürmektedir. Koroner arter hastalıklarının hem tanısında hem de tedavisinde mümkün olan en az invazif yöntemlerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması klinik araştırmaların odak noktasını oluşturmaktadır [1].

Son 25 yılda tıkalı koroner arter hastalıklarının tedavisinde perkütan koroner girişimsel uygulamalar giderek artmaktadır [2]. Koroner stentlerin ilk kez kullanıma girmesi 1980'li yılların ortalarından sonra başlamış olup, kısa sürede hızla yaygınlaşmıştır [3]. Günümüzde koroner stent uygulamaları en sık başvurulmuş revaskülarizasyon yöntemi olup, cerrahi revaskülarizasyonun endikasyonu olarak kabul edilen pek çok klinik durumda bile öncelikle tercih edilir hale gelmiştir.

Koroner stent uygulamalarında işlemin başarı oranı %95'tir. Ancak, stent uygulamalarının be-

raberinde getirdiği en önemli problemler stent içi tromboz ve restenozdur [4-6]. Her ne kadar uygulama tekniğindeki ve stent teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak stent içi tromboz ve restenoz oranlarında düşüş izlense de, hala bunlar rutin uygulamalardaki en önemli klinik sorunlardır.

İlaç salınımlı stentler, stent içi restenozun engellenmesi amacıyla geliştirilmiştir [7-10]. Bu stentler ilk olarak 2002 yılında kullanılmaya başlanmış olup, güvenli profilleri ve restenoz oranlarını anlamlı biçimde düşürmeleri nedeniyle kullanımı yaygınlaşmıştır [7, 8]. Günümüzde ilaç salınımlı stent kullanımı, koroner stent uygulamalarının neredeyse %75'ini oluşturmaktadır [1].

Stent içi tromboz-restenoz

Stent içi tromboz düşük bir oranda izlenir, ilk 9 ayda toplam %1,3-1,7 oranındadır [11]. Ancak klinik olarak önemlidir, çünkü yüksek mortalite ve morbiditeye sahiptir [11]. Çıplak metal stent-

¹Tepecik Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Radyoloji Kliniği, İzmir, Türkiye

²Şifa Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

✉ Dilek Öncel • dilekoncel@hotmail.com

lerde stent trombozu genellikle akut (ilk 48 saat içinde) veya subakut (2 ile 30 gün arasında) görülür [11]. İlaç salınımlı stentlerde ise, son zamanlarda en ciddi kaygı nedeni 30 günden sonra görülen geç stent trombozudur [7-10].

Restenoz ise, uzun dönemde izlenen bir durum olup, damar lümeninin %50'den fazla daralması ile tanımlanır [14]. Temel olarak neointimal hiperplazinin bir sonucu olarak ortaya çıkar [12-14]. Çıplak metal stentlerde klinik olarak semptomatik restenoz oranı %20-40'lara ulaşırken ilaç salınımlı stentlerde ilk sonuçlar 1 yıla kadar erken ve orta vadeli stent restenozunda belirgin düşüş bildirmektedir [12-15].

Stent uygulamaların bu denli yaygınlaşması, her geçen yıl giderek artan büyük bir hasta popülasyonunun stent açıklığı açısından takibini gerekli kılmaktadır.

Akut stent trombozu genellikle semptomatik seyrederek ve erken dönemde ortaya çıktığında belirgin tanısal sorun yaratmaz [11, 14, 15]. Ancak hastaların neredeyse %50'sinin asemptomatik olduğu stent restenozunun tanısı ise daha büyük bir klinik sorundur [14, 15]. Bu hastalarda miyokart sintigrafisi (SPECT) ya da eforlu elektrokardiyografi (EKG) gibi invazif olmayan tanısal testlerin duyarlılıkları sınırlıdır [1, 2]. Bu nedenle stentin direkt olarak görüntülenmesi tanı için gereklidir.

Konvansiyonel koroner anjiyografi stent içi restenoz değerlendirilmesinde hala tercih edilen görüntüleme yöntemidir [1, 2, 12, 13]. Ancak invazif olmasından kaynaklanan majör komplikasyon riski, hospitalizasyon gerektirmesi ve yüksek maliyet en önemli dezavantajlarıdır [2, 12, 13]. Bu nedenle, güvenilir invazif olmayan bir tanı yöntemi geliştirilmesi klinik uygulamalar açısından çok önemli ve değerlidir. İnvazif olmayan yöntemler arasında, Manyetik Rezonans (MR) anjiyografinin koroner arterlerin ve özellikle de koroner stentlerin görüntülenmesindeki yeri tartışmalıdır [16]. Bilgisayarlı Tomografi (BT) anjiyografi ise son yıllardaki hızlı teknolojik gelişmeler sonucu koroner arterlerin görüntülenmesinde açık ara öne çıkmıştır [12, 13].

BT Görüntüleme

Bilgisayarlı tomografi teknolojisinde son 20-25 yıldır izlenen gelişmeler baş döndürücü hızdadır ve BT'nin klinik kullanımı ile tanısal yararlılığında devrim yaratmıştır. Bin dokuz yüz seksen dokuz yılında spiral BT'nin geliştirilmesinin ardından, yaklaşık 10 yıl sonra çok kesitli sistemler kullanılmaya başlanmış ve 4 kesitli BT cihazlarının ardından, hızla 16 kesitli, 64 kesitli, 128 kesitli sistemler geliştirilmiş, 320 kesit hacim görüntüleme yapan cihazlar ve çift tüplü BT sistemleri klinik kullanıma sunulmuştur. Teknik gelişmeler yalnızca kesit sayısı ile sınırlı olmayıp, görüntü kalitesinde artış ve yanı sıra hasta dozunda azalmayı mümkün kılan tüp ve dedektör sistemlerini, görüntü işleme yazılımlarını, rekonstrüksiyon tekniklerini de kapsamaktadır. Buna paralel olarak BT cihazlarının sunduğu küçük voksel boyutu, hızlı gantri dönüş zamanları ve rekonstrüksiyon çeşitlilikleri koroner arter görüntülemesinde olduğu gibi, koroner stent uygulamaları sonrasında da BT'yi tercih edilebilir konuma taşımıştır [17].

Dört kesitli sistemlerde yapılan *in vitro* ve *in vivo* çalışmalar stent lümeninin değerlendirilmesinin mümkün olmadığını göstermiştir [18-20]. Bu durumda stent distalinde lümen çapının ve akım dansitesinin normal olması, stent açıklığı açısından indirekt bulgu olarak kabul edilmekteydi. Ancak bu güvenilir bir bulgu değildir. Çünkü distal akımın izlenmesi retrograd doluma ait olabileceğinden, patensi için kesin bir gösterge kabul edilemez. On altı kesitli sistemlerde ise, lümen değerlendirmesi yapılabildiğini gösteren çalışmalar mevcuttur. Ancak, özellikle duyarlılık değerleri ciddi farklılıklar göstermekte olup, %54 ile %98 arasında değişmektedir [21-23]. On altı kesitli sistemlerde lümen değerlendirmesi için kontrast boyanma ölçümleri ve piksel sayım metodları da denenmiştir [12]. **Koroner stent görüntülenmesinde BT'nin klinik potansiyelinin gerçek anlamda ortaya konması ve yöntemin klinik kullanımının artarak yaygınlaşması 64 kesitli BT sistemleri ile olmuştur [12, 13].**

Tablo 1: Çok kesitli BT sistemlerinin koroner stent açıklığını değerlendirmede etkinliği

Çalışma (yazar, yıl) (ref no)	Kolimasyon	Stent sayısı	Değerlendirme dışı stent	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Gilard, 2006 [21]	16x0,75 mm	124 (≤ 3 mm) 104 (> 3 mm)	45	54 86	100 100
Cademartiri, 2005 [22]	16x0,75 mm	74	-	83,3	98,5
Schuijff, 2004 [23]	16x0,75 mm	68	23	75	96
Cademartiri, 2007 [25]	64x0,6 mm	192	7	95	93
Rixe, 2006 [26]	64x0,6 mm	102	42	86	98
Öncel, 2007 [27]	64x0,6 mm	39	0	89	95
Öncel, 2008 [30]	64x0,6 mm Çift tüp	48	0	100	94
Pugliese, 2008 [31]	64x0,6 mm Çift tüp	178	5	94	92
De Graaf, 2010 [33]	320x0,5 mm	89	7	92	83

Altmış dört kesitli sistemlerde artmış zamansal ve uzaysal çözünürlüğe bağlı olarak, stent lümeninin değerlendirilmesi mümkün olabilmektedir [24-28]. Yapılan bir meta analizde 64 kesitli sistemlerde duyarlılık ve özgüllük değerleri %86 ve %93 olarak bildirilmiştir [29]. Ancak, ince stentlerde (< 3 mm) veya gövdesi kalın olan stentlerde lümen değerlendirmesinde hala sorunlar yaşanabilmektedir [26-30]. Çift tüplü sistemlerde ve volüm görüntüleme yapan 320 kesitli cihazlarda ise artan zamansal çözünürlük sayesinde hareket artefaktlarının azalması metalik artefaktların etkisini azaltarak lümen görüntülenmesini daha da iyileştirmektedir (Tablo 1) [30-33]. Son zamanlarda geliştirilen iteratif rekonstrüksiyon teknikleri ise, yalnızca görüntü kalitesini ve dolayısıyla lümen içi değerlendirmeyi iyileştirmekle kalmayıp, aynı zamanda hasta dozunu da önemli ölçüde azaltmaktadır [34, 35].

Koroner arterler BT ile görüntülenmesi en zor anatomik yapılardır. Koroner arterler oldukça ince ve tortüöz yapıda olmalarının yanı sıra, kalp ve solunum gibi fizyolojik hareketlerden sürekli olarak etkilenmektedirler. Bu nedenle koroner arterlerin BT'de görüntülenmesi için, yüksek uzaysal ve zamansal çözünürlük senkronizasyon gereklidir [36, 37].

Her ne kadar koroner stent kalibrasyonları koroner arterlerin çapından çok daha küçük olmasa da, stent içi lümenin görüntülenmesi diğer koroner arter segmentlerine kıyasla çok daha zordur. Çünkü BT'de metalik stent gövdesi yüksek dansitesinden kaynaklanan artmış atenüasyona bağlı tipik artefaktlara neden olur [38-40]. Bilgisayarlı tomografide stentlerle ilgili en önemli iki artefakt, ışın sertleşmesi ve parsiyel volüm etkilerine bağlı yapay lümen daralmasıdır.

İşın sertleşmesi

İşın sertleşmesi X-ışını spektrumunun yüksek enerjili fotonlara doğru kaymasıdır. Bunun nedeni, düşük enerjili fotonların metal gibi çok yüksek yoğunluklu yapılar tarafından soğurulmasıdır. Bu durum çevre yumuşak dokuda yapay bir BT dansite kaybına neden olur. Böylece, bu dokular olmaları gerekenden daha koyu renkli görüntülenir veya siyah çizgilenmeler oluşabilir [38-40]. Bazı özel görüntü rekonstrüksiyon algoritmaları bu etkiyi düzeltebilir. Ancak, bu düzeltme gereğinden fazla yapılsa yumuşak doku dansitesini abartabilir [12, 37-40]. İşın sertleşmesi uzaysal rezolüsyon artırılarak yani voksel boyut küçültülerek ve özel filtreler yardımıyla da azaltılabilir [12, 37-39]. Hareket artefaktları ise, ışın sertleşmesi artefaktını artırır [12, 13, 37, 38].

Blooming ve yapay lümen daralması

Metalik gövde, blooming etkisi denen ciddi bir BT artefaktına neden olur [12, 37-40]. Blooming, stent gövdesinin x, y ve z yönünde olduğundan daha kalın görünerek, lümen süperpoze olmasına neden olur. Bu da stent içi lümen çapının olduğundan daha dar izlenmesine yol açar [12, 13, 37-40]. Temel olarak, parsiyel volüm etkisine bağlıdır. Bir voksel birden fazla dansite içerdiğinde, ki bu durumda bunlar stent gövdesi ve lümandır, her ikisinin ortalama dansitesi görüntüye yansır. Metalin BT dansite değerleri çok yüksek olduğundan, bu ortalama yumuşak doku dansitesinden her zaman çok yüksektir ve stent gövdesinin dansitesine çok daha yakındır. Stent küçüldükçe parsiyel volüm etkisi artar ve lümen değerlendirme güçleşir. Bu artefaktın en rahatsız edici etkisi, lümande yapay daralmaya neden olmasıdır [12, 13, 37-40]. Bu nedenle stent lümeni BT ile yaklaşık %20 ile %100 arasında daralmış görülebilir ve bu oran stentin yapıldığı materyale ve gövde kalınlığına bağlı olarak değişir [38]. Uzaysal rezolüsyon arttıkça, parsiyel volüm etkileri azalır. Bu nedenle daha ince kesit kalınlığı ve uyarlanmış rekonstrüksiyon algoritmaları ile bu yapay daralma azaltılabilir [12, 13, 37-30].

Stentin dizaynına, metalin türüne göre artefakt şiddeti değişir. Bu nedenle stentin yapıldığı materyal, gövde kalınlığı, boyutu ve şekli stent lümeninin değerlendirilebilir olmasında oldukça belirleyicidir (Resim 1) [12, 13, 30, 37, 38]. Bunun yanı sıra tetkikin yapıldığı BT cihazının teknolojik özellikleri de (uzaysal çözünürlük, zamansal çözünürlük, rekonstrüksiyon filtreleri) son derece önemlidir [12, 13, 30, 37, 38].

Koroner stentler koroner ağacın herhangi bir segmentinde bulunabilir ve çoğunlukla çekim aksına oblik seyir göstermektedir. Bu nedenle BT çekimlerinde hedef her yönde izotropik ve mümkün olan en yüksek uzaysal çözünürlükteki görüntüler elde etmektir [38, 39].

Koroner stentlerin boyutu uygulanan arter çapına göre değişmekle beraber 2,5-5 mm arasındadır. Çoğunlukla stentlerin gövde kalınlık-

ları 0,07 ile 0,15 arasında değişmektedir ve yapısal olarak stentler özellikle kafes dizaynları açısından çok belirgin farklılıklar göstermektedir [41, 42]. Bu özellikle metal-doku oranlarını değiştirerek X-ışını atenuasyonunda da anlamlı farklılıklar yaratmaktadır [39, 40, 43]. Ek olarak, ilaç salınımlı stentler ilaç içeren bir polimerle kaplıdır ve bu da yapısal farklılık oluşturmaktadır [15, 43].

Kural olarak, en ince gövdeli stentlerde en az blooming artefaktı görülür [38-40, 42, 43]. Genel olarak, stent çapının 3 mm altında ve gövde kalınlığının 140 μm 'nin üstünde olduğu durumlarda stent içi değerlendirme güçleşmektedir [38-40, 42, 43]. Stentin yapıldığı metalin atom numarası artefaktlar açısından önemlidir. Altın ve tantalum içerikli stentlerde metal artefaktları daha belirgindir. Çelik, kobalt içerikli ve krom ile nitinol alaşımlı stentlerde ise, metalik artefaktlar nispeten daha az olarak izlenmektedir [39, 40, 42, 43]. Ayrıca, bifürkasyon stentleri veya üst üste binme gibi kompleks prosedürler birden çok metal tabaka varlığı nedeniyle daha çok metalik artefakta neden olur ve lümen içinin görülmesi daha da güçleşir [13, 38]. Gelecekte, zaman içinde vücutta çözünen biodegradable stentlerin geliştirilmesi şu an için stent görüntülemeyi zorlaştıran metal artefaktlarını ortadan kaldırarak, BT'nin takip inceleme metodu olarak rolünü pekiştirebilir [44].

Yüksek kalp hızlarına bağlı hareket artefaktları, düzensiz atımlar ve paradoks ventrikül hareketleri de stentlere ait metal artefaktlarının etkisini artırır [27, 28, 30, 45]. Yüksek hızlı gantri rotasyon süresi ve kalp hızının azaltılması önerilir. Beta bloker kullanımı kalp hızını düşürüp, aritmiyi azaltarak tetkik kalitesi artırır [27]. Elektrokardiyografi düzeltme teknikleri, hafif ritim düzensizliklerini (prematür atım gibi) düzeltmeye yardımcı olabilir [27]. Aynı zamanda damar duvarındaki kalsifik plaklar da blooming etkisini artırarak lümen değerlendirmesini daha da güçleştirir [27].

Metal artefaktlarının görüntüdeki etkisi bir taraftan uzaysal çözümleme tarafından belirlenirken, diğer taraftan özel rekonstrüksiyon algoritmaları ve görüntü filtrelerinin kullanılmasıyla da belirgin şekilde etkilenir [46].



Resim 1. a-c. Stentin yapıldığı materyal, gövde kalınlığı, boyutu ve şekli stent lümeninin değerlendirilebilir olmasında oldukça belirleyicidir. a) Sol anterior desendan arter (LAD) proksimalinde izlenen stentin geniş çapı ve ince gövdesi nedeniyle stent içi lümen değerlendirilmesi optimal biçimde yapılabilmektedir. Stente bağlı artefaktlar minimaldir. b) Sağ koroner arter (RCA) proksimal segmentinde izlenen stentin yapısı ve nispeten kalın gövdesi nedeniyle lümen yapay daralma oluşmaktadır. Ancak bu durum değerlendirmeyi engeller nitelikte değildir. c) Sol sirkumfleks arter (LCX) proksimal kesiminde izlenen stentin yapısına bağlı olarak yoğun metalik artefaktlar mevcuttur ve değerlendirme yapılamamaktadır.

Kenar keskinleştirici filtreler blooming artefaktında belirgin azalmaya yol açarak stentin daha iyi görüntülenmesini sağlayabilir (Resim 2) [28, 46]. Literatür verilerine göre, yumuşak bir filtre kullanıldığında blooming etkisine bağlı olarak yapay lümen daralması %37 olup, lümen içi atenüasyon aortaya göre 100 HU yüksektir. Oysa keskin filtreler kullanıldığında, stent içi yapay lümen daralması %29'a iner ve atenüasyon aortaya göre 60 HU yüksek olur. Bu veriler stent lümeninin kenar keskinleştirici filtrelerle daha güvenilir olarak değerlendirilebildiğini ortaya koymaktadır [28, 46]. Ancak kenar keskinleştirici filtreler uzaysal rezolüsyonu artırıp, blooming artefaktını azaltırken gürültüyü de artırır. Bu nedenle optimal yarar için filtrenin de optimal seçimi önemlidir. Fazla sert filtreler, avantajı dezavantaja çevirebilir [28, 46]. Aynı zamanda yüksek lümen içi kontrast boyanması da artmış gürültü etkisini azaltmada etkilidir ve lümen içi görüntülemeyi olumlu etkiler. Bu nedenle özellikle daha küçük çaplı stentlerin açıklığı araştırılırken lümen boyanmasının yüksek olması tavsiye edilmektedir [47].

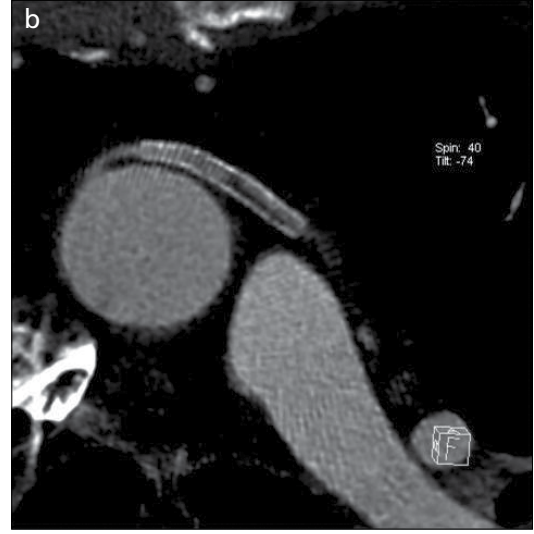
Bilgisayarlı tomografi pencere ayarları da görüntü kontrastını ve gürültüyü etkiler. Eğer pencere çok darsa gürültü artar ve diğer yapısal detayların gri skala ayrımı kaybolur. Geniş pencere ayarları stent lümeni değerlendirmesi

için seçilebilir (pencere genişliği 1500 HU, merkez 300 HU) [48].

Stent açıklığının değerlendirilmesi

Stentlerin değerlendirilmesinde, orijinal aksiyal imajlara ek olarak, damar trasesine paralel ve dik multiplanar reformat rekonstrüksiyonlar (MPR) kullanılır. Böylece stentler hem uzunhem de kısa aksta değerlendirilir [27, 30]. Lümen trasesine dik kısa aks görüntüler özellikle stenoza derecesini değerlendirmede yararlıdır [12, 27, 30]. Maksimum intensite projeksiyon (MIP) ve 3 boyutlu hacim görüntüler tanışal olarak kullanılmaz. Ek olarak uygun eşik aralıkları seçilip, geçirgenlik ayarları yapılarak, damar içinin endoskopik görüntüleri oluşturulabilir (sanal anjiyoskopi). Bu teknik farklı stent dizaynlarının görüntülenmesinde yardımcıdır ve lümen açıklığı ile ilgili bilgi sağlar. Ancak, çok ince çaplı stentlerde gürültü bu görüntülerin güvenilirliğini azaltır [12].

Stent açıklığı değerlendirilirken, lümen içinin direkt olarak görüntülenmesi önemlidir. Çünkü stent distalindeki koroner arter segmentinin lümen devamlılığı, kalibrasyonu veya akım dansitesi gibi indirekt bulgular kollateral damarlara bağlı retrograd dolum nedeniyle okluda bir stentin patent olarak yanlış değerlendirilmesine yol açabilir [27, 30].



Resim 2. a, b. Keskin filtreler metalik stent gövdelerinin daha net sınırlanmasına ve böylece stent içi lezyonların saptanmasına yardımcı olabilir. Yumuşak filtre (B30f) kullanıldığında stent lümeni bulanık izlenirken a) kenar keskinleştirici filtre (B46f) kullanıldığında stent lümeni daha net izlenmektedir b) Stent içi restenozun saptanması ve darlığın derecelendirilmesi böylece mümkün olmaktadır.

Değerlendirilme yapılırken, stent içi lümeninde referans damara eş dansitede homojen kontrastlanma izlendiğinde stent patent olarak belirtilmektedir (Resim 3,4) [27, 30]. Stent lümeninde düşük dansiteli dolum defektlerinin izlendiği, ancak lümen açıklığının %50'den fazla korunduğu durumlarda neointimal hiperplaziden bahsedilmektedir (Resim 5) [20, 27]. Stent içi neointimal hiperplazi, stent ve kontrastla boyalı lümen arasında koyu bir kenar izlenmesi ile saptanır. Lümen açıklığının %50'den fazla daralması restenoz şeklinde tanımlanmaktadır (Resim 6, 7) [27, 30]. Restenoz stent içinde veya komşuluğunda (5 mm yakınlıkta) oluşabilir. Stent lümeninin tümüyle düşük dansitede izlenmesi ise oklüzyon ile uyumludur (Resim 8) [27, 30].

EĞİTİCİ
NOKTA

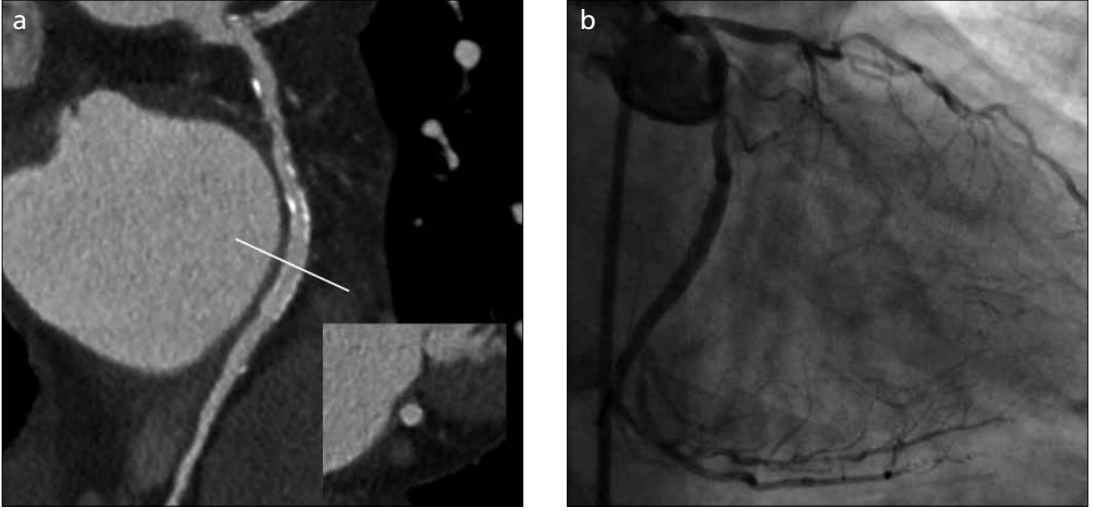


Resim 3. Sol anterior desendan arterin (LAD) kıvrımlı MPR görüntüsünde LAD proksimalindeki stent lümeni homojen yüksek dansitede izlenmekte olup patenttir. Stentin hemen sonrasında ise orta dereceli eksantrik darlık izlenmektedir.

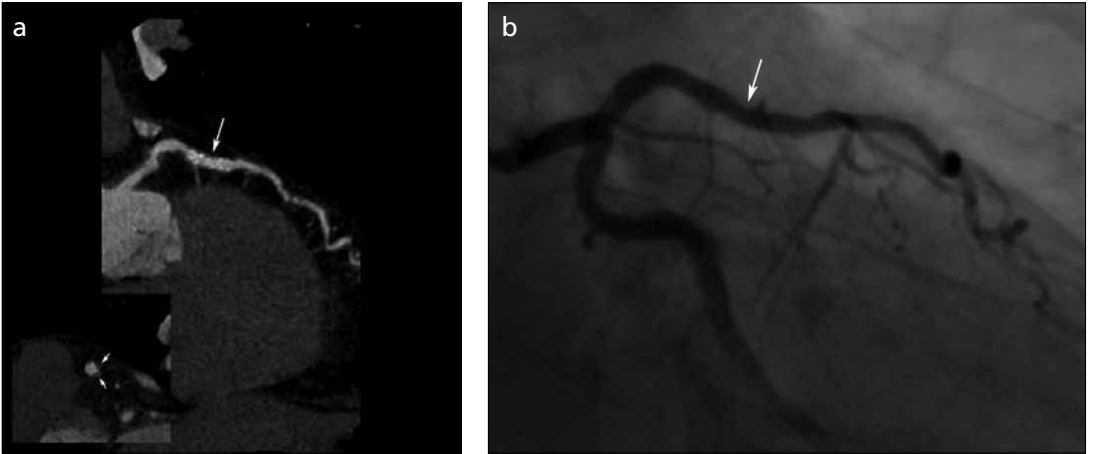
Sonuç

Bilgisayarlı tomografi anjiyografinin stent görüntülemeye artan etkinliği koroner BT anjiyografiye ait güncel kılavuzlarda da vurgulanmaktadır. Öyle ki Amerikan Kalp Derneği'nin (AHA) 2006 yılındaki bilimsel bildirisinde BT anjiyografi stent görüntüleme için önerilmez iken, 2010 yılında yayınlanan ve birçok

derneğin ortak bildirisi niteliğindeki uygunluk kriterleri raporunda, BT sol ana koroner artere yapılan stent uygulamaları sonrasında ve 3mm veya daha geniş çaplı stentlerde asemptomatik hastaların görüntülenmesi için uygun olarak tanımlanmaktadır [26, 48]. Bu rapora göre



Resim 4. a, b. Stent içi lümeninde referans damara eş dansitede homojen kontrastlanma izlendiğinde stent patent olarak tanımlanmaktadır. a) Kıvrımlı MPR görüntüde sol sirkumfleks arter (LCX) orta segmentinde izlenen stent patenttir. Stent lümeni homojen yüksek dansitede izlenmektedir. Resmin sağ alt köşesinde işaretli düzeyden elde olunan damar trasesine dik kısa aks aksiyal görüntü izlenmektedir. b) Sağ ön oblik konvansiyonel anjiyografi görüntüsünde stentin patent olduğu izlenmektedir.



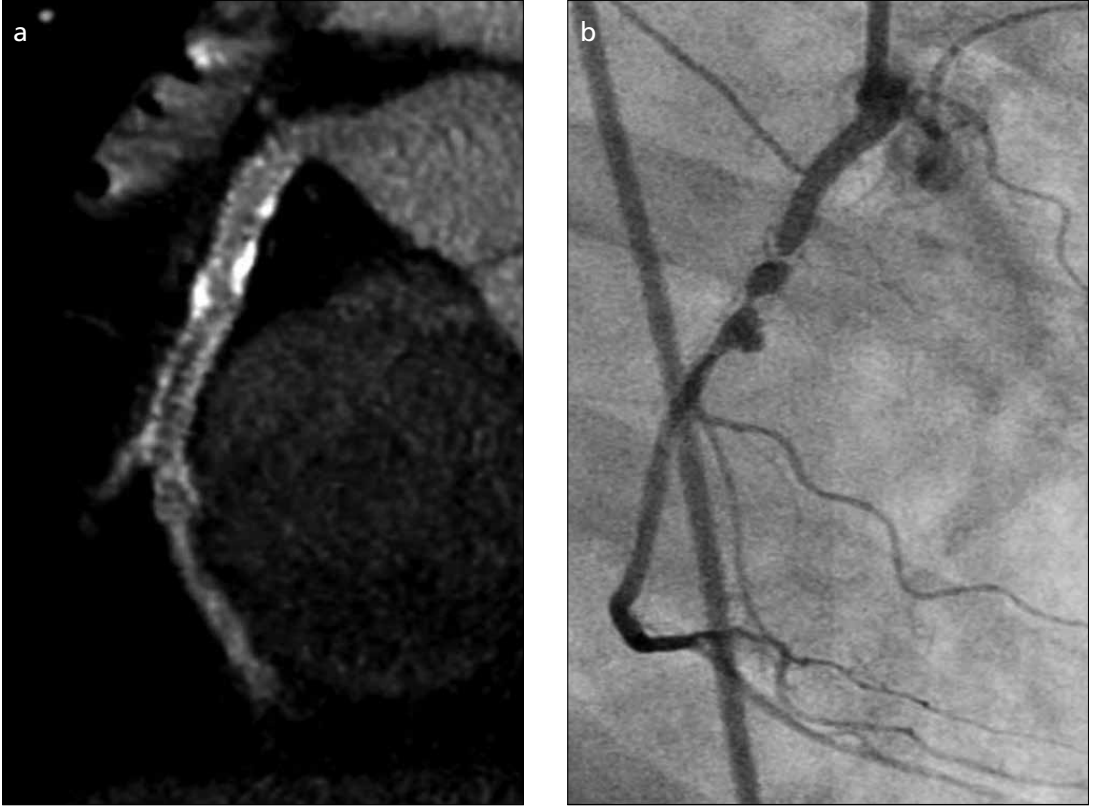
Resim 5. a, b. Stent lümeninde düşük dansiteli dolum defektlerinin izlendiği ancak lümen açıklığının %50'den fazla korunduğu durumlarda neointimal hiperlaziden bahsedilmektedir. a) Kıvrımlı MPR imajda sol anterior desendan arter (LAD) proksimalindeki stent içinde stent duvarına komşu düşük dansiteli lineer dolum defekti izlenmektedir. Ancak lümendeki daralma minimaldir. Görünüm neointimal hiperplazi ile uyumludur. Resmin sol alt köşesinde okla işaretli lezyon bölgesinden geçen kısa aks görüntüde intimal hiperplazi ve lümen açıklığının minimal daraldığı izlenmektedir. b) Sağ ön oblik konvansiyonel anjiyografi görüntüsünde neointimal hiperplazi izlenmektedir.

stent çapı geniş olan ve klinik olarak restenoz açısından düşük ya da orta derece risk taşıyan hastalarda 64 kesitli koroner BT anjiyografinin stent içi restenozun dışlanmasında invazif anjiyografinin alternatifi olabileceği belirtilmektedir [48].

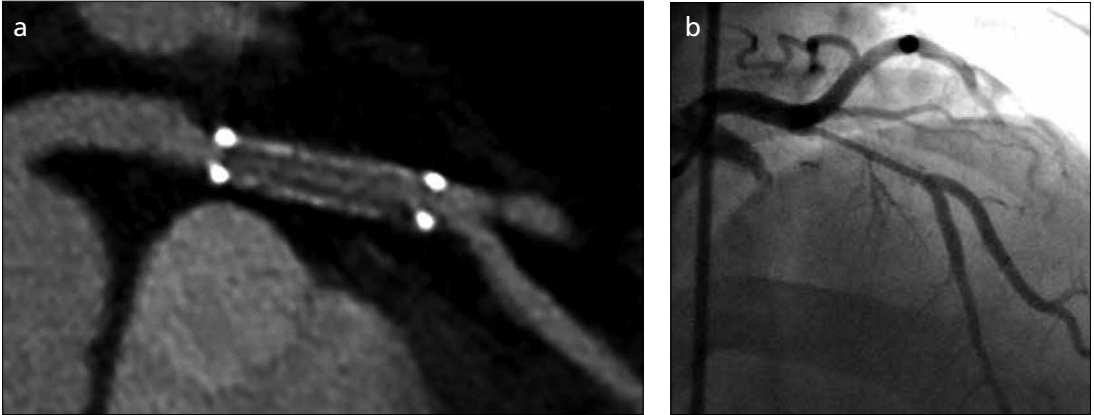
Özet olarak; giderek artan sayıdaki koroner stent uygulamaları, stent açıklığını değerlen-

dirmede invazif olmayan yöntemlerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Çok kesitli BT diğer metotlara kıyasla, ciddi üstünlükleri olan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır ve invazif anjiyografiye alternatif olma yolundadır.

Görüntüyü etkileyen metalik artefaktlara rağmen, BT teknolojisindeki son gelişmeler



Resim 6. a, b. Lümen açıklığının %50'den fazla daralması stent içi restenoz şeklinde tanımlanmaktadır. a) Sağ koroner artere ait MPR imajda stent içinde düşük dansiteli dolun defekti izlenmektedir ve lümen açıklığı %50'den fazla azalmıştır. (restenoz). b) Sağ ön oblik konvansiyonel anjiyografi görüntüsünde stent içi restenoz izlenmektedir.

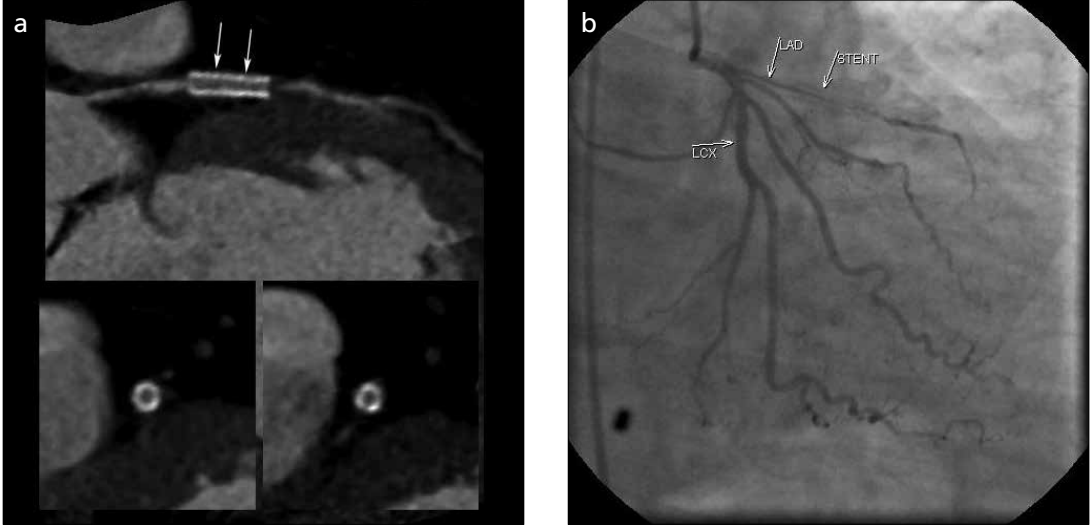


Resim 7. a, b. a) MPR imajda sol anterior desendan arter (LAD) proksimalindeki stent içinde lümeni çepeçevre saran düşük dansiteli dolun defekti izlenmektedir. Lümen açıklığı %50'den fazla azalmıştır (restenoz). b) Sol ön oblik konvansiyonel anjiyografi görüntüsünde stent içi restenoz izlenmektedir.

stent lümen görüntülenmesini ve neointimal hiperplazi, restenoz ve oklüzyon değerlendirmesini mümkün kılmaktadır.

Artefakt çeşitlerini ve bunları azaltma yollarını bilmek, uygun çekim parametreleri

ile çekim yapmak, uygun filtreler, pencere ayarları ve görüntü işleme yöntemleri kullanmak stent değerlendirmenin temel kuralıdır ve BT'nin klinik yararlılığını arttırmaktadır.



Resim 8. a, b. Stent lümeninin tümüyle düşük dansitede izlenmesi oklüzyon ile uyumludur. a) Kıvrımlı MPR görüntüde sol anterior desendan arter (LAD) proksimalinde bulunan stentin lümeni tümüyle düşük dansiteli olup kontrasta ait yüksek dansite izlenmemektedir. Resmin altındaki okla işaretli bölgelerden geçen kısa aks görüntülerde lümen içi tümüyle düşük dansiteli oklüde olarak izlenmektedir. b) Sağ ön oblik konvansiyonel anjiyografi görüntüsünde stent oklüdedir.

Kaynaklar

- [1]. Roger VL, Go AS, Lloyd-Jones DM, Benjamin EJ, Berry JD, BorgenWB, et al. Heart disease and stroke statistics--2011 update: A report from the American Heart Association. *Circulation* 2011; 125: 2-220.
- [2]. Bashore TM, Bates ER, Berger PB, Clark DA, Cusma JT, Dehmer GJ, et al. Clinical Expert Consensus Document on cardiac catheterization laboratory standards: a report of the American Collage of Cardiology Task Force on Clinical Expert Consensus Documents. *J Am Coll Cardiol* 2001; 37: 2170-214.
- [3]. Serruys PW, de Jaegere P, Kiemeneij F, Macaya C, Heyndrickx G, Emanuelsson H, et al. A comparison of balloon-expandable-stent implantation with balloon angioplasty in patients with coronary artery disease. Benestent Study Group. *N Engl J Med* 1994; 331: 489-95.
- [4]. Smith SC Jr, Dove JT, Jacobs AK, Kennedy JW, Kereiakes D, Kern MJ, et al. ACC/AHA guidelines of percutaneous coronary interventions-executive summary. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice. *J Am Coll Cardiol* 2001; 37: 2215-39.
- [5]. Hannan EL, Racz MJ, Walford G, Jones RH, Ryan TJ, Bennett E, et al. Long-term outcomes of coronary-artery bypass grafting versus stent implantation. *N Engl J Med* 2005; 352: 2174-83.
- [6]. Mercado N, Boersma E, Wijns W, Gersh BJ, Morillo CA, de Valk V, et al. Clinical and quantitative coronary angiographic predictors of coronary restenosis: a comparative analysis from the balloon-to-stent era. *J Am Coll Cardiol* 2001; 38: 645-52.
- [7]. Iakovou I, Schmidt T, Bonizzoni E, Ge L, Sangiorgi GM, Stankovic G, et al. Incidence, predictors, and outcome of thrombosis after successful implantation of drug-eluting stents. *JAMA* 2005; 293: 2126-30.
- [8]. McFadden EP, Stabile E, Regar E, Cheneau E, Ong AT, Kinnaird T, et al. Late thrombosis in drug-eluting coronary stents after discontinuation of antiplatelet therapy. *Lancet* 2004; 364: 1519-21.
- [9]. Ong AT, McFadden EP, Regar E, de Jaegere PP, van Domburg RT, Serruys PW. Late angiographic stent thrombosis (LAST) events with drug-eluting stents. *J Am Coll Cardiol* 2005; 45: 2088-92.
- [10]. Stone GW, Moses JW, Ellis SG, Schofer J, Dawkins KD, Morice MC, et al. Safety and efficacy of sirolimus- and paclitaxel-eluting coronary stents. *N Engl J Med* 2007; 356: 998-1008.
- [11]. Ong AT, Hoyer A, Aoki J, van Mieghem C, Rodriguez Granillo GA, Sonnenschein K, et al. Thirty-day incidence and 6-month clinical outcome of thrombotic stent occlusion after bare-metal, sirolimus, or paclitaxel stent implantation. *J Am Coll Cardiol* 2005; 45: 947-53.
- [12]. Pugliese F, Cademartiri F, van Mieghem C, Meijboom WB, Malagutti P, Mollet NR, et al. Multidetector CT for visualization of coronary stents. *Radiographics* 2006; 26: 887-904.
- [13]. Mahnken AH. CT imaging of coronary stents: Past, present, and future. *ISRN Cardiology* 2012; doi:10.5402/2012/139823.
- [14]. Hoffmann R, Mintz GS, Dussailant GR, Popma JJ, Pichard AD, Satler LF, et al. Patterns and mechanisms of in-stent restenosis: a serial intravascular ultrasound study. *Circulation* 1996; 94: 1247-54.

- [15]. Van der Hoeven BL, Pires NM, Warda HM, Oemrawsingh PV, van Vlijmen BJ, Quax PH, et al. Drug-eluting stents: results, promises and problems. *Int J Cardiol* 2005; 99: 9-17.
- [16]. Hug J, Nagel E, Bornstedt A, Schnackenburg B, Oswald, H, Fleck E. Coronary arterial stents: safety and artifacts during MR imaging. *Radiology* 2000; 216: 781-7.
- [17]. Rossi A, Dharampal A, de Feyter PJ. Coronary CT angiography for patients with suspected coronary artery disease. *Heart* 2013; doi:10.1136/301949.
- [18]. Maintz D, Juergens KU, Wichter T, Grude M, Heindel W, Fischbach R. Imaging of coronary artery stents using multislice computed tomography: in vitro evaluation. *Eur Radiol* 2003; 13: 830-5.
- [19]. Maintz D, Grude M, Fallenbergen EM, Heindel W, Fischbach R. Assessment of coronary arterial stents by multislice-CT angiography. *Acta Radiol* 2003; 44: 597-603.
- [20]. Kruger S, Mahnken AH, Sinha AM, Borghans A, Dedden K, Hoffman R, et al. Multislice spiral computed tomography for the detection of coronary stent restenosis and patency. *Int J Cardiol* 2003; 89: 167-72.
- [21]. Gilard M, Cornily JC, Pennec PY, Le Gal G, Nonent M, Mansourati J, et al. Assessment of coronary artery stents by 16 slice computed tomography. *Heart* 2006; 92: 58-61.
- [22]. Cademartiri F, Mollet N, Lemos PA, Pugliese F, Baks T, Mc Fadden EP, et al. Usefulness of multislice computed tomographic coronary angiography to assess in-stent restenosis. *Am J Cardiol* 2005; 96: 799-802.
- [23]. Schuijf JD, Bax JJ, Jukema JW, Lamb HJ, Warda HM, Vliegen HW, et al. Feasibility of assessment of coronary stent patency using 16-slice computed tomography. *Am J Cardiol* 2004; 94: 427-30.
- [24]. Van Mieghem CA, Cademartiri F, Mollet NR, Malagutti P, Valgimigli M, Meijboom WB, et al. Multislice spiral computed tomography for the evaluation of stent patency. *Circulation* 2006; 114: 645-53.
- [25]. Cademartiri F, Schuijf JD, Pugliese F, Mollet NR, Jukema JW, Maffei E, et al. Usefulness of 64-slice multislice computed tomography coronary angiography to assess in-stent restenosis. *J Am Coll Cardiol* 2007; 49: 2204-10.
- [26]. Rixe J, Achenbach S, Ropers D, Baum U, Kuettner A, Ropers U, et al. Assessment of coronary artery stent restenosis by 64-slice multi-detector computed tomography. *Eur Heart J* 2006; 27: 2567-72.
- [27]. Öncel D, Öncel G, Karaca M. Coronary stent patency and in-stent restenosis: Determination with 64-section multidetector CT coronary angiography-Initial experience. *Radiology* 2007; 242: 403-9.
- [28]. Cademartiri F, Mollet NA, Lemos PA, Pugliese F, Baks T, McFadden EP, et al. Usefulness of multislice computed tomographic coronary angiography to assess in-stent restenosis. *Am J Cardiol* 2005; 96: 799-802.
- [29]. Carrabba N, Schuijf JD, De Graaf FR, Parodi G, Maffei E, Valenti R, et al. Diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography coronary angiography for the detection of in-stent restenosis: a meta-analysis. *J Nucl Cardiol* 2010; 17: 470-8.
- [30]. Öncel D, Öncel G, Taştan A, Tamcı B. Evaluation of coronary stent patency and in-stent restenosis with dual-source CT coronary angiography without heart rate control. *AJR Am J Roentgenol* 2008; 191: 56-63.
- [31]. Pugliese F, Weustink AC, Van Mieghem C, Alberg-hina F, Otsuka M, Meijboom WB, et al. Dual source coronary computed tomography angiography for detecting in-stent restenosis. *Heart* 2008; 94: 848-54.
- [32]. Pflederer T, Marwan M, Renz A, Bachmann S, Ropers D, Kuettner A, et al. Noninvasive assessment of coronary in-stent restenosis by dual-source computed tomography. *Am J Cardiol* 2009; 103: 812-7.
- [33]. De Graaf FR, Schuijf JD, Van Velzen JE, Boogers MJ, Kroft LJ, de Roos A, et al. Diagnostic accuracy of 320-row multidetector computed tomography coronary angiography to noninvasively assess in-stent restenosis. *Invest Radiol* 2010; 45: 331-40.
- [34]. Ebersberger U, Tricarico F, Schoepf UJ, Blanke P, Spears JR, Rowe GW, et al. CT evaluation of coronary artery stents with iterative image reconstruction: improvements in image quality and potential for radiation dose reduction. *Eur Radiol* 2012 Jul 10. [Epub ahead of print].
- [35]. Renker M, Ramachandra A, Schoepf UJ, Raupach R, Apfalter P, Rowe GW, et al. Iterative image reconstruction techniques: Applications for cardiac CT. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2011; 4: 225-30.
- [36]. 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.
- [37]. 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.
- [38]. Halon DA, Gaspar T, Adawi S, Peled N, Lewis BS. Coronary stent assessment on multidetector computed tomography: source and predictors of image distortion. *Int J Cardiol* 2008; 128: 62-8.
- [39]. Mahnken AH, Buecker A, Wildberger JE, Ruebben A, Stanzel S, Vogt F, et al. Coronary artery stents in multislice computed tomography: in vitro artifact evaluation. *Invest Radiol* 2004; 39: 27-33.
- [40]. Maintz D, Juergens KU, Wichter T, Grude M, Heindel W, Fischbach R. Imaging of coronary artery stents using multislice computed tomography: in vitro evaluation. *Eur Radiol* 2003; 13: 830-5.

- [41]. Colombo A, Stankovic G, Moses JW. Selection of coronary stents. *J Am Coll Cardiol* 2002; 40: 1021-33.
- [42]. Chung SH, Kim YJ, Hur J, Lee HJ, Choe KO, Kim TH, et al. Evaluation of coronary artery in-stent restenosis by 64-section computed tomography: factors affecting assessment and accurate diagnosis. *J Thorac Imaging* 2010; 25: 57-63.
- [43]. Maintz D, Burg MC, Seifarth H, Bunck AC, Ozgun M, Fischbach R, et al. Update on multidetector coronary CT angiography of coronary stents: in vitro evaluation of 29 different stent types with dual-source CT. *Eur Radiol* 2009; 19: 42-9.
- [44]. Serruys PW, Onuma Y, Dudek D, Smits PC, Koolen J, Chevalier B, et al. Evaluation of the second generation of a bioresorbable everolimus drug-eluting vascular scaffold for treatment of de novo coronary artery stenosis: six-month clinical and imaging outcomes. *J Am Coll Cardiol* 2011; 58: 1578-88.
- [45]. Groen JM, Greuter MJW, Van Ooijen PMA, Willems TP, Oudkerk M. Initial results on visualization of coronary artery stents at multiple heart rates on a moving heart phantom using 64-MDCT. *J Comput Assist Tomogr* 2006; 30: 812-7.
- [46]. Seifarth H, Raupach R, Schaller S, Fallenbergh EM, Flohr T, Heindel W, et al. Assessment of coronary artery stents using 16-slice MDCT angiography: evaluation of a dedicated reconstruction kernel and a noise reduction filter. *Eur Radiol* 2005; 15: 721-6.
- [47]. Cademartiri F, Mollet NR, van der Lugt A, McFadden EF, Stijnen T, de Feyter PJ, et al. Intravenous contrast material administration at helical 16-detector row CT coronary angiography: effect of iodine concentration on vascular attenuation. *Radiology* 2005; 236: 661-5.
- [48]. Taylor AJ, Cerqueira M, Hodgson JM, Mark D, Min J, O'Gara P, et al. ACCF/SCCT/ACR/AHA/ASE/ASNC/NASCI/SCAI/SCMR 2010 Appropriate Use Criteria for Cardiac Computed Tomography. A Report of the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force. *Circulation* 2010; 122: 525-55.

Koroner Arter Stentlerinin Değerlendirilmesi

Dilek Öncel, Güray Öncel

Sayfa 71

Koroner stent görüntülenmesinde BT'nin klinik potansiyelinin gerçek anlamda ortaya konması ve yöntemin klinik kullanımının artarak yaygınlaşması 64 kesitli BT sistemleri ile olmuştur.

Sayfa 72

Her ne kadar koroner stent kalibrasyonları koroner arterlerin çapından çok daha küçük olmasa da, stent içi lümenin görüntülenmesi diğer koroner arter segmentlerine kıyasla çok daha zordur. Çünkü BT'de metalik stent gövdesi yüksek dansitesinden kaynaklanan artmış atenüasyona bağlı tipik artefaktlara neden olur. Bilgisayarlı tomografide stentlerle ilgili en önemli iki artefakt, ışıın sertleşmesi ve parsiyel volüm etkilerine bağlı yapay lümen daralmasıdır.

Sayfa 73

Stentin dizaynına, metalin türüne göre artefakt şiddeti değişir. Bu nedenle stentin yapıldığı malzeme, gövde kalınlığı, boyutu ve şekli stent lümenin değerlendirilebilir olmasında oldukça belirleyicidir. Bunun yanı sıra tetkikin yapıldığı BT cihazının teknolojik özellikleri de (uzaysal çözünürlük, zamansal çözünürlük, rekonstrüksiyon filtreleri) son derece önemlidir.

Sayfa 73

Kural olarak, en ince gövdeli stentlerde en az blooming artefaktı görülür. Genel olarak, stent çapının 3 mm altında ve gövde kalınlığının 140 µm'nin üstünde olduğu durumlarda stent içi değerlendirme güçleşmektedir.

Sayfa 75

Değerlendirilme yapılırken, stent içi lümen referans damara eş dansitede homojen kontrastlanma izlendiğinde stent patent olarak belirtilmektedir. Stent lümeninde düşük dansiteli dolum defektlerinin izlendiği, ancak lümen açıklığının %50'den fazla korunduğu durumlarda neointimal hiperplaziden bahsedilmektedir.

Koroner Arter Stentlerinin Değerlendirilmesi

Dilek Öncel, Güray Öncel

1. Aşağıdaki cümlelerden yanlış olanı işaretleyiniz.
 - a. MR anjiyografinin koroner arterlerin ve özellikle de koroner stentlerin görüntülenmesindeki yeri tartışmalıdır.
 - b. BT anjiyografi koroner arter görüntülenmesinde olduğu gibi koroner stent uygulamaları sonrasında da güvenilirliği en yüksek non-invazif görüntüleme yöntemidir.
 - c. BT anjiyografi ile stent içi lümenin görüntülenmesi diğer koroner arter segmentlerine kıyasla çok daha zordur.
 - d. BT anjiyografide metalik stent gövdesi görüntüleme açısından sorun yaratmaz.
2. Aşağıdaki cümlelerden doğru olanı işaretleyiniz.
 - a. BT’de stentlerle ilgili en önemli iki artefakt ışın sertleşmesi ve parsiyel volüm etkilerine bağlı yapay lümen daralmasıdır.
 - b. Blooming artefaktı parsiyel volüm etkisine bağlıdır ve lümende yapay daralmaya neden olur.
 - c. Uzaysal rezolüsyon artırılarak parsiyel volüm etkileri ve ışın sertleşmesi azaltılabilir.
 - d. Hepsi.
3. Hangisi BT anjiyografide stent görüntülemeyi etkileyen faktörler arasındadır?
 - a. Stentin yapıldığı materyal, gövde kalınlığı, boyutu ve şekli.
 - b. Uzaysal ve zamansal çözünürlük.
 - c. Rekonstrüksiyon için kullanılan filtre seçimi.
 - d. Hepsi.
4. Aşağıdaki cümlelerden yanlış olanı işaretleyiniz.
 - a. Stent çapının 3 mm altında ve gövde kalınlığının 140 µm’nin üstünde olduğu durumlarda stent içi değerlendirme güçleşmektedir.
 - b. Metal artefaktları altın ve tantalum içerikli stentlerde daha belirgin; çelik, kobalt içerikli ve krom ile nitinol alaşımlı stentlerde ise daha az izlenmektedir.
 - c. BT cihazının uzaysal ve zamansal çözünürlüğü arttıkça stent içi değerlendirme iyileşir.
 - d. Hiçbiri.
5. Aşağıdaki cümlelerden doğru olanı işaretleyiniz.
 - a. Stent içi lümende referans damara eş dansitede homojen kontrastlanma izlendiğinde stent patent olarak değerlendirilir.
 - b. Stent lümeninde düşük dansiteli dolun defektlerinin izlenmesi durumunda lümen açıklığının %50’den fazla korunması neointimal hiperlazi, %50’den fazla daralması restenoz şeklinde tanımlanır.
 - c. Stent lümeninin tümüyle düşük dansitede izlenmesi ise oklüzyon ile uyumludur.
 - d. Hepsi.