

Multidedektör BT anjiyografi: teknik ve klinik uygulamalar

Oğuz Akın, Mehmet Coşkun

O. Akın (E), M. Coşkun
Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, Radyoloji
Anabilim Dalı, Ankara

Vasküler görüntülemeye altın standart olarak kabul edilen konvansiyonel anjiyografinin invazif bir yöntem olması ve bilinen olası komplikasyonları nedeniyle günümüzde daha az invazif olan bilgisayarlı tomografik anjiyografi (BTA) ve manyetik rezonans anjiyografi (MRA) gibi yöntemler yaygınlaşmaktadır. Multidedektör teknolojisinin gelişmesi ile BTA çoğu olguda konvansiyonel anjiyografinin yerini almaya başlamıştır (1,2).

Bu yazıda multidedektör BTA yönteminin tekniği ve klinik uygulamaları örnekler verilerek gözden geçirilmiştir.

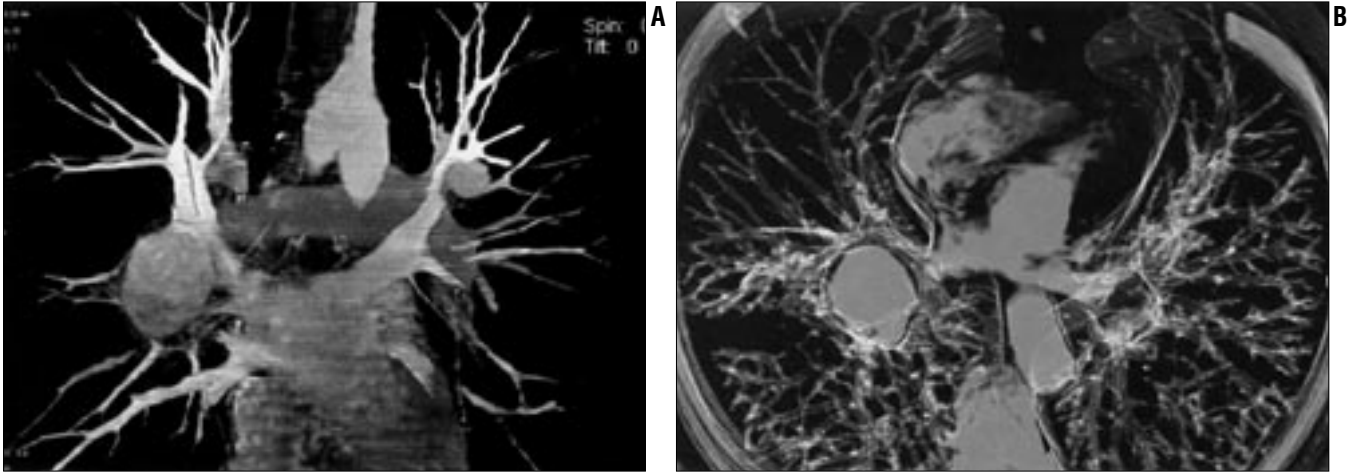
Teknik

Multidedektör bilgisayarlı tomografinin (BT) konvansiyonel spiral BT'den farkı z-aksında birden fazla sayıda dedektörün bulunmasıdır. Bunun yanısıra 360° dönüşün 0,5-0,8 sn'de tamamlanmasını sağlayan tarayıcıların geliştirilmesi sonucunda bu yeni BT cihazlarının performansı bilinen konvansiyonel spiral BT cihazlarına göre büyük oranda artmıştır (1-3). Artan bu performans sayesinde daha fazla bir hacim; daha kısa sürede, daha yüksek uzaysal çözünürlükte, daha az kontrast madde kullanarak taranabilir (1,2).

Multidedektör BT'de inceleme parametrelerinde uygun değişiklikler yapılarak temel olarak yüksek hızlı veya yüksek çözünürlüklü olmak üzere iki çeşit tarama protokolü tanımlanmıştır (1,3). Kolimasyon 4x2-2,5 mm, masa hızı 12-16 mm/dönüş olarak ayarlanıp büyük hacimler kısa zamanda taranabilir. Bunun yanında kolimasyon 4x1-1,25 mm, masa hızı 6-8 mm/dönüş şeklinde düşürülüp yüksek uzaysal çözünürlük sağlanabilir. Ayrıca bazı firmaların cihazlarında kolimasyon 0,5 mm düzeyine kadar düşürülerek çok yüksek uzaysal çözünürlükte görüntüler elde edilebilmesi sağlanmıştır (1).

Yüksek hızlı protokolün avantajı büyük hacimlerin örneğin tüm aortanın çok kısa zamanda taranabilmesidir. Bir dönüşü 0.5 saniyede tamamlayan tarayıcılar ile bu protokol kullanılarak saniyede 3 cm uzunluğundaki bir segment taranabilir. Bu protokolde kontrast madde kullanımını da büyük ölçüde azaltılabilir. Çünkü kontrast maddenin damarlar içinde bulunduğu kısa süre içerisinde inceleme tamamlanabilmektedir (1).

Yüksek uzaysal çözünürlükteki protokolün avantajı ise çok ince vasküler yapıların bile görüntülenebilmesidir. Ancak bu protokolde inceleme zamanı uzamakta ve tek dedektörlü konvansiyonel spiral BT sis-



Resim 1. Multidedektör BTA'da MIP (A) ve VR (B) görüntülerde bilateral sakküler tipte pulmoner arter anevrizmaları izleniyor.

temlerine yakın olmaktadır. İnceleme zamanı uzadığı için vasküler yapıların görüntülenmesinde yüksek hızlı protokole göre daha yüksek dozlarda kontrast madde kullanılması gerekmektedir (1).

Kontrast maddenin 3-5 ml/sn hızında verilmesi önerilmektedir (1,4). Yüksek çözünürlüklü düşük hızlı protokole 100-150 ml arasında kontrast madde kullanılması gerekirken, yüksek hızlı protokole bu miktar 40-75 ml düzeyine kadar düşürülebilir (1). Kontrast madde verilmesinden sonra intravenöz bağlantı hattının ve periferik venlerin yıkanması için 40-70 ml serum fizyolojik solüsyonu kullanılmalıdır. Bu sayede kontrast madde konsantrasyonunun platosu 8 saniye kadar uzatılabilmektedir (1,5).

BTA'da en önemli noktalardan biri de kontrast maddenin vasküler yapılar içindeki en yüksek konsantrasyonu sırasında taramanın gerçekleştirilmesidir. Kontrast maddenin incelenecek vasküler yapılarda en üst konsantrasyona ulaşması hastanın kardiyovasküler durumuna bağlı olarak değişiklikler göstermektedir (6). BTA'da, özellikle multidedektör BT cihazları kullanıldığında inceleme süresinin çok kısa olması nedeniyle uygun gecikme zamanının ayarlanması çok önemlidir (1,6). Gecikme zamanının belirlenmesinde en sık olarak kullanılan yöntem hastanın yaşı, kardiyovasküler durumu gözönünde tutularak tahmini bir gecikme zamanının verilmesidir (6,7).

Bu yöntemin en önemli avantajı kolay uygulanabilir olmasıdır. Ancak bu yöntem her zaman iyi sonuçlar vermemektedir. Diğer sık kullanılan bir yöntem inceleme öncesi 10-15 ml kadar bir kontrast maddenin verilmesi ve birbiri ardına BT kesitleri olarak dolaşım zamanının ölçülmesine dayanan test-bolus yöntemidir (6,8). Test-bolus yönteminin dezavantajları hem toplam inceleme süresinin uzaması hem de kullanılan kontrast madde miktarının artmasıdır. Bu yöntemlerin dışında henüz çok yaygın olmayan kontrast maddenin varışını otomatik veya yarı-otomatik olarak saptayan ve taramayı buna göre başlatan sistemler de vardır (6).

Görüntülerin oluşturulması

Tüm olgularda aksiyel plandaki kaynak görüntülerin tamamının değerlendirilmesi mutlaka gereklidir. Bununla birlikte özel bilgisayar yazılımları ile 'multiplanar reformation (MPR)', 'curved planar reformation (CPR)', 'maximum intensity projection (MIP)' veya 'volume rendering (VR)' yöntemleri ile iki veya üç boyutlu, değişik planlarda görüntüler oluşturulabilir (1,6). Bu görüntüler aksiyel plandaki görüntülerin incelenmesinde gözden kaçan ayrıntıların saptanmasında yardımcı olabilir. Ayrıca klinisyenler patolojinin kafada daha kolay canlandırılması nedeniyle bu görüntüleri tercih etmektedir.

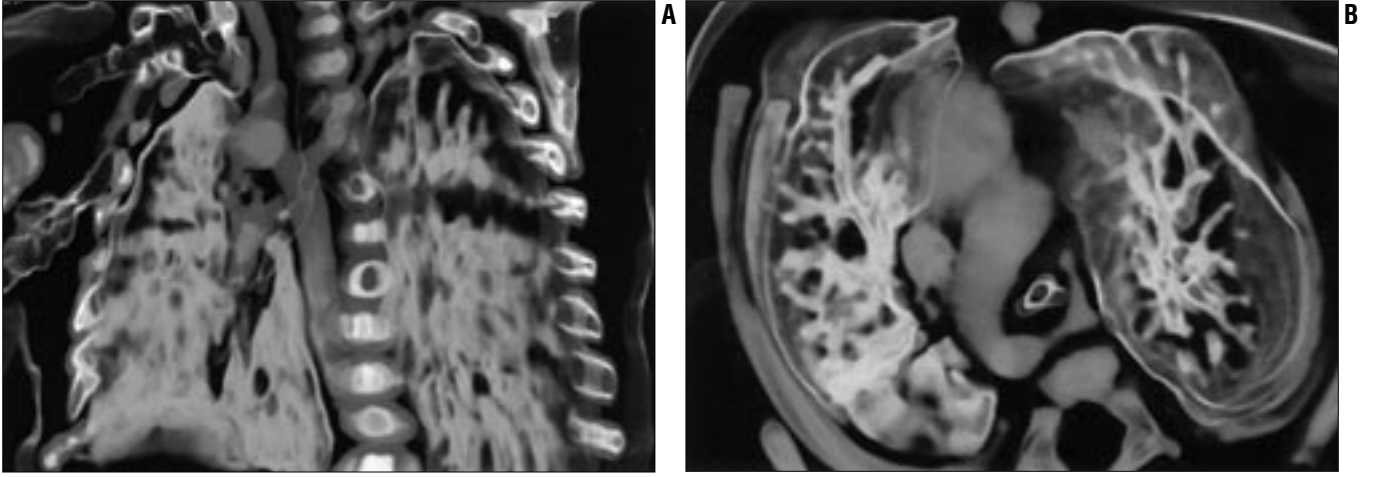
Klinik uygulamalar

Konvansiyonel spiral BTA halen hemen hemen tüm vücut bölgelerinde vasküler görüntüleme amacıyla kullanılmaktadır. Multidedektör teknolojinin sağladığı olanaklar yardımıyla multidedektör BTA'nın kullanım alanlarının daha da yaygın olacağı açıktır (1,2). Burada multidedektör BTA'nın kullanım alanları örnekler üzerinde gösterilmiştir.

Baş ve boyun

İntraserebral arteriyel yapıların gösterilmesinde konvansiyonel spiral BTA yaygın olarak kullanılmaktadır (6). Özellikle subaraknoid kanaması olan hastalarda anevrizma lokalizasyonunun gösterilmesi veya serebrovasküler olay geçiren hastalarda tıkalı damarın saptanması hasta zaten BT masasında iken yapılar zaman kazanılabilir. Konvansiyonel spiral BTA ile çapı 2-5 mm arasında olan anevrizmalar saptanabilmektedir (6). Multidedektör BTA ile yüksek çözünürlüklü protokol kullanılarak çok daha küçük çaplı anevrizmalar saptanabilir (1).

Karotid arterlerin aterosklerotik hastalığının değerlendirilmesinde BTA ve MRA gibi invazif olmayan yöntemler konvansiyonel anjiyografinin yerini almıştır (9). Ancak karotid arterlerin değerlendirilmesinde konvansiyonel spiral BTA'nın sınırlı bir segmenti değerlendirebilmesi nedeniyle sınırlılıkları vardır (6,10,11).



Resim 2. Multidedektör BTA'da koronal (A) ve aksiyel (B) VR görüntülerde sağ aortik arkus ve aberran sol subklavyan arter izleniyor.

Öte yandan multidedektör BTA ile arkus aortadan intrakraniyal dallara kadar olan bölüm kolaylıkla görüntülenebilir (1). Bunun en büyük avantajı yaygın aterosklerotik hastalığı olan hastalarda iki veya daha fazla seviyedeki stenozun tek bir çalışmada gösterilebilmesidir (1).

Pulmoner damarlar

Konvansiyonel spiral BT günümüzde pulmoner tromboembolinin değerlendirilmesinde en sık başvurulan yöntemdir (12). Konvansiyonel spiral BTA ile segmental dallar düzeyine kadar olan pulmoner arter dalları rahatlıkla değerlendirilebilir (6,12). Multidedektör BTA'nın avantajı ise yüksek çözünürlüklü protokol uygulanması ile subsegmenter pulmoner arter dallarının da rahatlıkla gösterilebilmesidir (1,12,13). Nefesini tutamayan hastalarda ise yüksek hızlı protokol uygulanabilir. Bu durumda da yine görüntü kalitesi konvansiyonel spiral BT'den daha üstündür (1). Pulmoner arterlerin değerlendirilmesinden yaklaşık 2 dakika sonra yüksek hızlı protokol kullanılarak alt ekstremitte venleri de incelenerek pulmoner emboliye neden olan venöz trombüsler saptanabilir (12,14).

Pulmoner tromboemboli dışında pulmoner arter anevrizmaları, pulmoner arteriyovenöz malformasyonlar, anormal pulmoner venöz dönüş, pulmoner sekestrasyondaki aberran arteriyel beslenme ve pulmoner venöz va-

risler gibi diğer pulmoner vasküler patolojiler de multidedektör BT ile invazif yöntemlere gerek kalmadan değerlendirilebilir (1,15,16) (Resim 1).

Aorta

Aort diseksiyonunun saptanmasında ve sınıflandırılmasında BTA sık olarak kullanılmaktadır (6). İntimal diseksiyonun gösterilmesinde aksiyel görüntüler çoğu zaman yeterlidir, ancak özellikle arkus aortada multiplanar rekonstrüksiyonlar mutlaka değerlendirilmelidir (6,17). Multidedektör BTA tüm abdominal aortayı gösterebilmesi nedeni ile konvansiyonel spiral BTA'ya göre aort diseksiyonunun değerlendirilmesinde üstündür (1,18). Daha önce de belirtildiği gibi multidedektör BTA ile geniş bir volüm daha yüksek uzaysal çözünürlükte taranabilir. Bu nedenle diseksiyonun aortanın dallarına uzanımı bu yöntemle daha rahat saptanabilir (1,18). Ayrıca ince kolimasyon kullanıldığı için oluşturulan multiplanar rekonstrüksiyonların görüntü kalitesi daha iyidir (1,18).

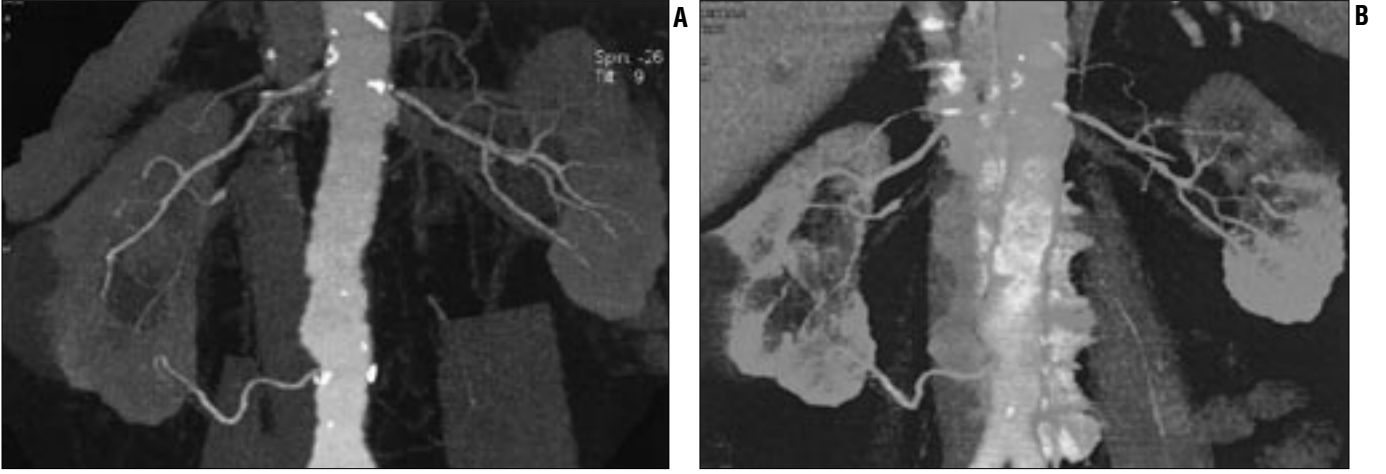
Aort anevrizmalarının yerleşimi, boyutları ve mural trombüsün varlığı gibi sorular konvansiyonel spiral BTA ile kolaylıkla değerlendirilebilmektedir (6,19). Aort anevrizmalarının değerlendirilmesinde önemli noktalar anevrizmanın proksimal uzanımı, renal arterler, süperior ve inferior mezenterik arterler ile olan ilişkisini saptamaktır. konvansiyonel spiral

BTA bu soruları kolaylıkla yanıtlatabilir (19). Ancak büyük anevrizmalarda taranan volüm de büyük olduğundan z-aksındaki çözünürlük düşük olmaktadır. Bu nedenle örneğin aksesuar renal arterlerin varlığını saptamak zorlaşır (6). Bu açılardan multidedektör BTA konvansiyonel spiral BTA'dan daha üstündür (1,18).

Aort koarktasyonu gibi konjenital anomalilerin saptanmasında ve tedavi sonrası takiplerinde konvansiyonel spiral BTA güvenli bir şekilde kullanılmaktadır (20,21) (Resim 2). Özellikle arkus aorta gibi damarların aksiyel BT planına dik olmadığı durumlarda çap ölçümlerinin multiplanar rekonstrüksiyonlardan yapılması daha doğru olduğundan, daha kaliteli görüntüler oluşturulmasına olanak veren multidedektör sistemler koarktasyonların değerlendirilmesinde daha avantajlıdır. Ayrıca kollateral vasküler yapılar da bu yöntemle daha rahat saptanabilir.

Pelvik ve alt ekstremitte arterleri

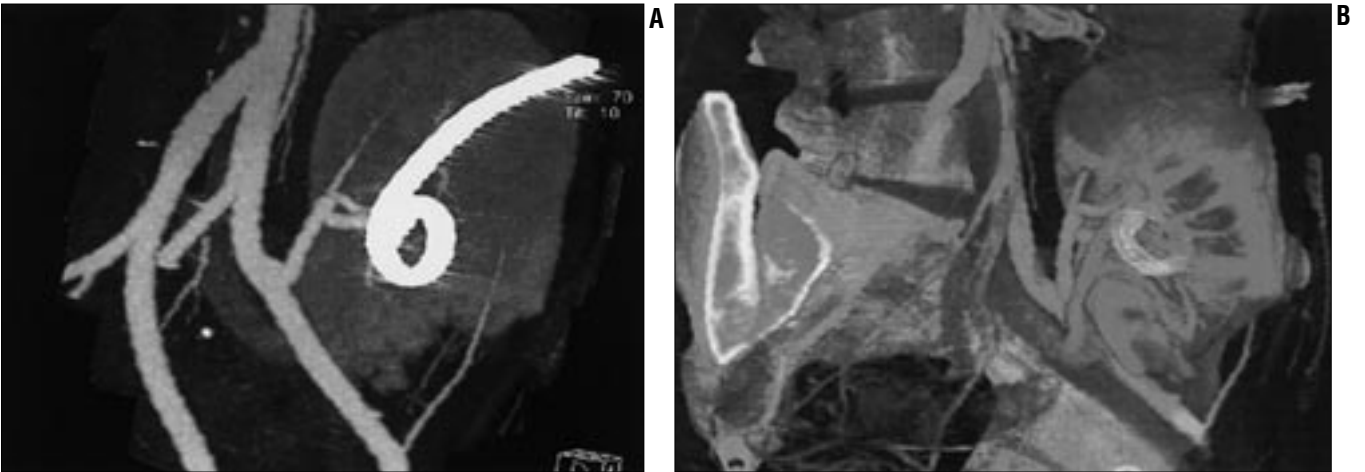
Periferik arter hastalığında pelvik ve alt ekstremitte arterlerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. İnceleme alanının bu kadar geniş olması konvansiyonel spiral BT'nin bu alandaki kullanımını kısıtlayan en önemli etmen olmuştur (6). Bu nedenle konvansiyonel spiral BTA ile sadece kısıtlı bir segmentin değerlendirilmesi ile yeterli uzaysal çözünürlük sağlana-



Resim 3. Hipertansiyonu olan hastada multidedektör BTA'da MIP (A) ve VR (B) görüntülerde her iki ana renal arterin orijinlerinde tam tıkalı olduğu ve ayrıca sağda iki, solda tek olarak izlenen aksesuar arterlerin de orijinlerinde darlıkların varlığı izleniyor.



Resim 4. Renal donör adayında multidedektör BTA'da MIP (A) ve VR (B) görüntülerde sağda çift, solda tek renal arter izleniyor.



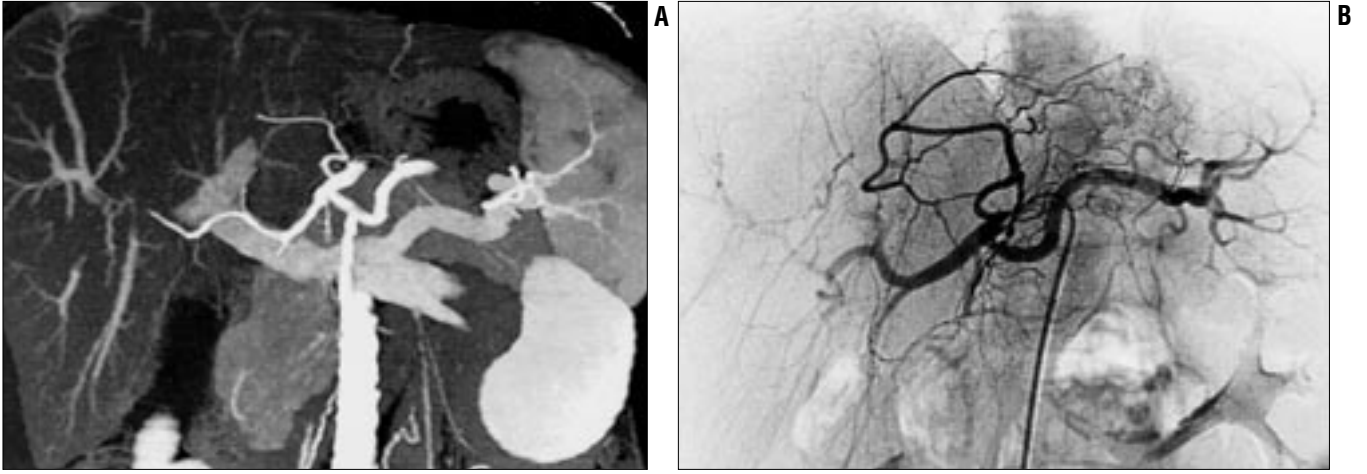
Resim 5. Renal transplantasyonlu hastada multidedektör BTA'da MIP (A) ve VR (B) görüntülerde sol iliak fossadaki greft böbreğin alt polünü besleyen aksesuar arterin tıkalı olduğu ve greft böbrek alt polünde enfarkt geliştiği izleniyor. Ayrıca böbrek toplayıcı sisteminde drenaj kateteri mevcut.

bilir (1,6). Ancak multidedektör BTA ile abdominal aorta ve alt ekstremitte arterleri ayak düzeyine kadar tek bir seferde, hızlı ve yeterli uzaysal çözünürlükte taranabilir (1). Bu nedenle

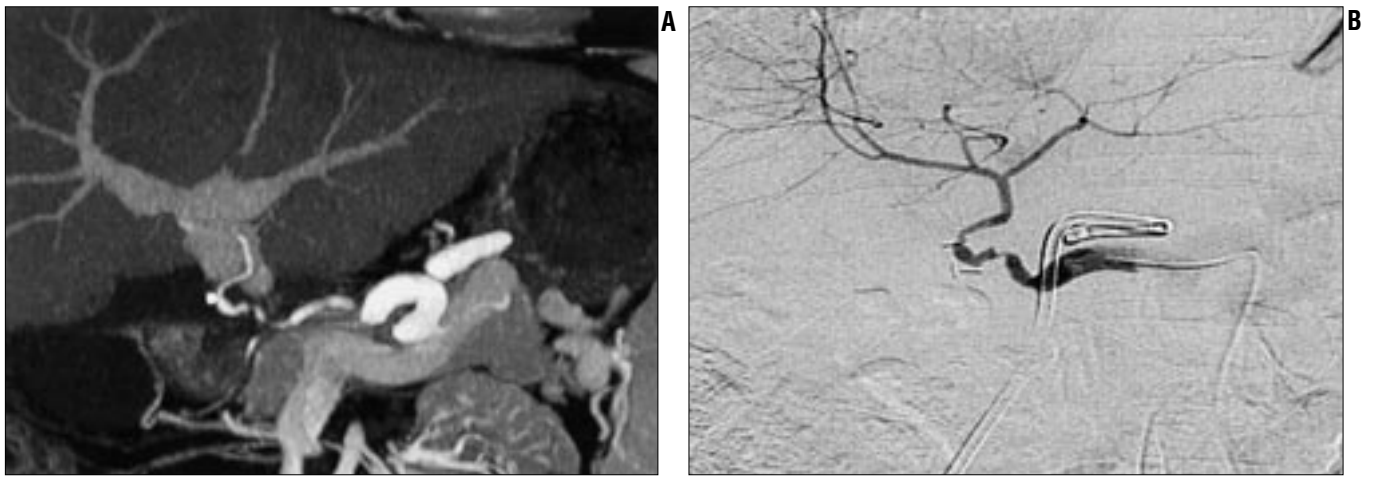
multidedektör teknolojisi sayesinde BTA bu alanda da yaygınlaşmaktadır (1,22).

Renal arterler, çölyak trunkus, mezenterik arterler

Renal arter stenozunun değerlendirilmesinde konvansiyonel spiral BTA yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu



Resim 6. Karaciğer donör adayında multidedektör BTA'da MIP (A) görüntüde ve konvansiyonel anjiyografide (B) sol hepatik arterin sol gastrik arterden orijin aldığı izleniyor.



Resim 7. Karaciğer transplantasyonlu hastada multidedektör BTA'da ince-MIP görüntüde (A) ve konvansiyonel anjiyografide (B) greft karaciğerin hepatik arterinde birkaç düzeyde ciddi stenoz izleniyor.

yöntemle stenozun düzeyi ve derecesi hassas olarak gösterilerek hangi hastaların anjiyoplastiden yarar göreceği konvansiyonel anjiyografiye gerek kalmadan saptanabilir. Yine renal arter stenti bulunan hastalarda gelişebilecek endotelial hiperplazi, parsiyel trombüs formasyonu gibi restenozu yol açabilecek patolojiler hakkında da BTA ile yorum yapılabilir (23-26). Renal konvansiyonel spiral BTA'nın diğer bir yaygın kullanım alanı da transplantasyon öncesinde böbrek verici adaylarının değerlendirilmesidir. Bu yöntemle verici adaylarında böbrek vasküler anatomisi, aksesuar arterler veya erken dallanmanın varlığı rahatlıkla saptanabilir (27,28). Transplantasyon sonrasında alıcıda ortaya çıkabilecek komplikasyonların saptanmasında da konvansiyonel spiral BTA sık olarak kullanılır

maktadır (29,30). Multidedektör BTA sağladığı üstün çözünürlük sayesinde renal arterlerin değerlendirilmesinde ve ince aksesuar renal arterlerin saptanmasında belirgin kolaylık sağlar. Ayrıca daha büyük bir volümün taranabilmesi nedeni ile renal transplantasyon hastalarında hem nativ hem de greft böbreklerin aynı anda yüksek çözünürlükle incelenebilmesine olanak verir (Resim 3-5).

Çölyak trunkus ve mezenterik arterlerin değerlendirilmesi, hepatik veya pankreatik transplantasyon veya tümör cerrahisinin planlanmasında, transplantasyon sonrası takipte, gastrointestinal cerrahi öncesinde, çölyak stenoz, splenik arter anevrizması veya intestinal iskemi olguları gibi çok çeşitli klinik durumlarda gerekli olabilir. Konvansiyonel spiral BTA tüm bu olgularda başarı ile uygulanmaktadır

(31-37). Multidedektör BTA ise bu alanlarda yeni kullanılmaya başlanan bir yöntem olmasına rağmen üstünlükleri hemen ortaya çıkmıştır (38-45). Daha ince çaplı vasküler yapıların saptanabilmesi, aksiyel BT kesitlerine dik olarak ilerlemeyen vasküler yapıların daha kaliteli olarak MPR, MIP ve VR yöntemlerle değerlendirilmesinin kolaylığı ve inceleme süresinin kısa olması nedeniyle saf arteryel faz görüntülerinin elde edilebilmesi sonucu süperpozisyonların önlenmesi multidedektör teknolojisinin üstünlükleridir (Resim 6,7).

Koroner arterler

İnvazif olmayan görüntüleme yöntemlerine en çok gereksinim duyulan alanlardan biri de koroner arterlerin değerlendirilmesidir. Kalbin pulsas-

yonlarının neden olduğu hareket artefaktları nedeniyle konvansiyonel spiral BTA ve MRA gibi invazif olmayan yöntemler ancak sınırlı bilgi sağlamaktadır. Multidedektör BT teknolojisinin sağladığı yüksek hızlı görüntülemenin bu konuda yeni olasılıklar ortaya sunabileceği düşünülmüş ve bu konuda çalışmalar yapılmıştır. Ancak bu çalışmaların sonucunda EKG eşliğinde yapılan multidedektör BT, koroner anjiyografinin görüntü kalitesini artırmakla birlikte sadece proksimal koroner arter segmentlerinin optimal değerlendirilebilmesi ve yüksek kalp hızlarında iyi sonuçlar vermemesi nedeniyle bu yöntemin henüz yeterli düzeyde olmadığı savunulmuştur (46-49). Buna rağmen bu konudaki çalışmalar çok yenidir ve ileride ortaya çıkabilecek yeni teknikler ile birlikte

multidedektör BT koroner anjiyografinin yerinin gelişeceği düşünülmektedir.

Sonuç

Günümüzde BTA vasküler görüntüleme de güvenilir sonuçlarıyla yaygın

olarak kullanılmaktadır. Multidedektör teknolojisinin sağladığı yüksek hız ve yüksek çözünürlük sayesinde BTA'nın daha da yaygınlaşacağını ve pek çok klinik uygulamada multidedektör BTA'nın altın standart olarak kabul edileceğini düşünüyoruz.

MULTI-DETECTOR CT ANGIOGRAPHY: TECHNIQUE AND CLINICAL APPLICATIONS

Conventional angiography, which is the gold standard in vascular imaging, is invasive and has several known potential complications. Therefore, in recent years, less invasive techniques such as computed tomography (CT), angiography and magnetic resonance angiography (MRA) have become more widely used. With the advent of multi-detector technology, multi-detector CT angiography has replaced conventional angiography in most clinical circumstances. In this manuscript, the technique and clinical applications of multi-detector CT angiography are discussed with various examples.

Key words: • tomography, spiral computed • angiography • vascular diseases

TURK J DIAGN INTERVENT RADIOL 2003; 9:139-145

Kaynaklar

1. Prokop M. Multislice CT angiography. *Eur J Radiol* 2000; 36:86-96.
2. Rubin GD, Shiau MC, Schmidt AJ, et al. Computed tomographic angiography: historical perspective and new state-of-the-art using multi detector-row helical computed tomography. *J Comput Assist Tomogr* 1999; 23:83-90.
3. Klingenberg-Regn K, Schaller S, Flohr T, et al. Subsecond multi-slice computed tomography: basics and applications. *Eur J Radiol* 1999; 31:110-124.
4. Rubin GD, Dake MD, Semba CP. Current status of three-dimensional spiral CT scanning for imaging the vasculature. *Radiol Clin North Am* 1995; 33:51-70.
5. Prokop M, Schaefer-Prokop C, Galanski M. Spiral CT angiography of the abdomen. *Abdom Imaging* 1997; 22:143-153.
6. Kalender WA, Prokop M. 3D CT angiography. *Crit Rev Diagn Imaging*. 2001; 42:1-28.
7. Macari M, Israel GM, Berman P, et al. Infrarenal abdominal aortic aneurysms at multi-detector row CT angiography: intravascular enhancement without a timing acquisition. *Radiology* 2001; 220:519-523.
8. Van Hoe L, Marchal G, Baert AL, et al. Determination of scan delay time in spiral CT-angiography: utility of a test bolus injection. *J Comput Assist Tomogr* 1995; 19: 216-220.
9. Randoux B, Marro B, Koskas F, et al. Carotid artery stenosis: prospective comparison of CT, three-dimensional gadolinium-enhanced MR, and conventional angiography. *Radiology* 2001; 220:179-185.
10. Marks MP, Napel S, Jordan JE, et al. Diagnosis of carotid artery disease: preliminary experience with maximum-intensity-projection spiral CT angiography. *AJR* 1993; 160:1267-1271.
11. Cumming MJ, Morrow IM. Carotid artery stenosis: a prospective comparison of CT angiography and conventional angiography. *AJR* 1994; 163:517-523.
12. Garg K. CT of pulmonary thromboembolic disease. *Radiol Clin North Am* 2002; 40:111-122.
13. Raptopoulos V, Boiselle PM. Multi-detector row spiral CT pulmonary angiography: comparison with single-detector row spiral CT. *Radiology* 2001; 221:606-613.
14. Ciccotosto C, Goodman LR, Washington L, et al. Indirect CT venography following CT pulmonary angiography: spectrum of CT findings. *J Thorac Imaging* 2002; 17:18-27.
15. Lawler LP, Fishman EK. Multi-detector row CT of thoracic disease with emphasis on 3D volume rendering and CT angiography. *Radiographics* 2001; 21:1257-1273.
16. Vanherreweghe E, Rigauts H, Bogaerts Y, et al. Pulmonary vein varix: diagnosis with multi-slice helical CT. *Eur Radiol* 2000; 10:1315-1317.
17. Zeman RK, Berman PM, Silverman PM, et al. Diagnosis of aortic dissection: value of helical CT with multiplanar reformation and three-dimensional rendering. *AJR* 1995; 164:1375-1380.
18. Rubin GD, Shiau MC, Leung AN, et al. Aorta and iliac arteries: single versus multiple detector-row helical CT angiography. *Radiology* 2000; 215:670-676.
19. Costello P, Gaa J. Spiral CT angiography of abdominal aortic aneurysms. *Radiographics* 1995; 15:397-406.
20. Becker C, Soppa C, Fink U, et al. Spiral CT angiography and 3D reconstruction in patients with aortic coarctation. *Eur Radiol* 1997; 7:1473-1477.
21. Schaffler GJ, Sorantin E, Groell R, et al. Helical CT angiography with maximum intensity projection in the assessment of aortic coarctation after surgery. *AJR* 2000; 175:1041-1045.
22. Rubin GD, Schmidt AJ, Logan LJ, et al. Multi-detector row CT angiography of lower extremity arterial inflow and runoff: initial experience. *Radiology* 2001; 221:146-158.
23. Galanski M, Prokop M, Chavan A, et al. Renal arterial stenoses: spiral CT angiography. *Radiology* 1993; 189:185-192.
24. Kaatee R, Beek FJ, de Lange EE, et al. Renal artery stenosis: detection and quantification with spiral CT angiography versus optimized digital subtraction angiography. *Radiology* 1997; 205:121-127.
25. Beregi JP, Elkohen M, Deklunder G, et al. Helical CT angiography compared with arteriography in the detection of renal artery stenosis. *AJR* 1996; 167:495-501.
26. Wittenberg G, Kenn W, Tschammler A, et al. Spiral CT angiography of renal arteries: comparison with angiography. *Eur Radiol* 1999; 9:546-551.
27. Cochran ST, Krasny RM, Danovitch GM, et al. Helical CT angiography for examination of living renal donors. *AJR* 1997; 168:1569-1573.
28. Pozniak MA, Balison DJ, Lee FT, et al. CT angiography of potential renal transplant donors. *Radiographics* 1998; 18:565-587.
29. Hofmann LV, Smith PA, Kuszyk BS, et al. Three-dimensional helical CT angiography in renal transplant recipients: a new problem-solving tool. *AJR* 1999; 173:1085-1089.
30. Sebastia C, Quiroga S, Boye R, et al. Helical CT in renal transplantation: normal findings and early and late complications. *Radiographics* 2001; 21:1103-1117.
31. Zeman RK, Davros WJ, Berman P, et al. Three-dimensional models of the abdominal vasculature based on helical CT: usefulness in patients with pancreatic neop-

- lasms. *AJR* 1994; 162:1425-1429.
32. Winter TC, Nghiem HV, Freeny PC, et al. Hepatic arterial anatomy: demonstration of normal supply and vascular variants with three-dimensional CT angiography. *Radiographics* 1995; 15:771-780.
 33. Winter TC, Freeny PC, Nghiem HV, et al. Hepatic arterial anatomy in transplantation candidates: evaluation with three-dimensional CT arteriography. *Radiology* 1995; 195:363-370.
 34. Winter TC, Nghiem HV, Schmiedl UP, et al. CT angiography of the visceral vessels. *Semin Ultrasound CT MR* 1996; 17:339-351.
 35. Johnson PT, Heath DG, Kuszyk BS, et al. CT angiography with volume rendering: advantages and applications in splanchnic vascular imaging. *Radiology* 1996; 200:564-568.
 36. Raptopoulos V, Steer ML, Sheiman RG, et al. The use of helical CT and CT angiography to predict vascular involvement from pancreatic cancer: correlation with findings at surgery. *AJR* 1997; 168:971-977.
 37. Nghiem HV, Dimas CT, McVicar JP, et al. Impact of double helical CT and three-dimensional CT arteriography on surgical planning for hepatic transplantation. *Abdom Imaging* 1999; 24:278-284.
 38. Horton KM, Fishman EK. 3D CT angiography of the celiac and superior mesenteric arteries with multidetector CT data sets: preliminary observations. *Abdom Imaging* 2000; 25:523-525.
 39. Katyal S, Oliver JH, Buck DG, et al. Detection of vascular complications after liver transplantation: early experience in multislice CT angiography with volume rendering. *AJR* 2000; 175:1735-1739.
 40. Fishman EK, Horton KM, Urban BA. Multidetector CT angiography in the evaluation of pancreatic carcinoma: preliminary observations. *J Comput Assist Tomogr* 2000; 24:849-853.
 41. McNulty NJ, Francis IR, Platt JF, et al. Multi-detector row helical CT of the pancreas: effect of contrast-enhanced multiphase imaging on enhancement of the pancreas, peripancreatic vasculature, and pancreatic adenocarcinoma. *Radiology* 2001; 220:97-102.
 42. Horton KM, Fishman EK. Multi-detector row CT of mesenteric ischemia: can it be done? *Radiographics* 2001; 21:1463-1473.
 43. Kamel IR, Kruskal JB, Pomfret EA, et al. Impact of multidetector CT on donor selection and surgical planning before living adult right lobe liver transplantation. *AJR* 2001; 176:193-200.
 44. Takahashi S, Murakami T, Takamura M, et al. Multi-detector row helical CT angiography of hepatic vessels: depiction with dual-arterial phase acquisition during single breath hold. *Radiology* 2002; 222:81-88.
 45. Brancatelli G, Katyal S, Federle MP, et al. Three-dimensional multislice helical computed tomography with the volume rendering technique in the detection of vascular complications after liver transplantation. *Transplantation* 2002; 73:237-242.
 46. Nieman K, Oudkerk M, Rensing BJ, et al. Coronary angiography with multi-slice computed tomography. *Lancet* 2001; 357:599-603.
 47. Kopp AF, Schroeder S, Kuettner A, et al. Coronary arteries: retrospectively ECG-gated multi-detector row CT angiography with selective optimization of the image reconstruction window. *Radiology* 2001; 221:683-688.
 48. Hong C, Becker CR, Huber A, et al. ECG-gated reconstructed multi-detector row CT coronary angiography: effect of varying trigger delay on image quality. *Radiology* 2001; 220:712-717.
 49. Vogl TJ, Abolmaali ND, Diebold T, et al. Techniques for the detection of coronary atherosclerosis: multi-detector row CT coronary angiography. *Radiology* 2002; 223:212-220.