

Renal arter stenozlarında üç boyutlu kontrastlı MR anjiyografi: DSA ile karşılaştırma

Banu Yağmurlu, Ayşe Erden, İlhan Erden, Suat Fitoz, Sadık Bilgiç

AMAÇ

Hipertansif olgularda, renal arter stenozunu saptamaya yönelik üç boyutlu kontrastlı manyetik rezonans anjiyografinin tanısal duyarlılık ve özgüllüğünü saptamak.

GEREÇ VE YÖNTEM

Renal arter stenozu şüphesi olan, yaşları 27-75 arasında değişen, 18'i erkek, 8'i kadın olmak üzere toplam 26 olgu çalışma kapsamına alındı. Tüm olgular üç boyutlu kontrastlı MR anjiyografi ve sonrasında selektif renal arter dijital subtraksiyon anjiyografi (DSA) ile değerlendirildi. MR anjiyografi bulguları, altın standart kabul edilen DSA bulgularıyla karşılaştırıldı.

BULGULAR

MR anjiyografi ile görüntülenen toplam 56 adet renal arterin 24'ünde stenoz saptandı, 2 adet renal arter ise tıkalı olarak değerlendirildi. DSA bulgularıyla karşılaştırıldığında bu stenozların birinde yalancı pozitiflik, birinde yalancı negatiflik kaydedilirken, bir aksesuar renal arter MR anjiyografi ile görüntülenemedi. Diğer stenozlar ve oklüzyonlar DSA ile uyumlu idi. MR anjiyografi ile çok ince kalibredeki bir aksesuar renal arter stenozu saptanamadı. Normal kalibredeki bir renal arterde ise ostium düzeyinde, türbülans akıma bağlı oluşan "dephasing" artefaktı stenoz olarak yorumlandı. Tüm bu bulgulara göre üç boyutlu kontrastlı renal arter MR anjiyografinin duyarlılığı %95, özgüllüğü %96, doğruluk oranı ise %96 olarak bulundu.

SONUÇ

Kontrastlı renal arter MR anjiyografi, renal arter stenozu şüphesi olan olgularda, nefrotoksik ajanların, iyonizan radyasyonun ve arteriyel kateterizasyonun bilinen riskleri olmaksızın değerlendirmeye olanak tanıyan, hızlı, non invaziv ve objektif bir tarama yöntemidir. Duyarlılık, özgüllük ve tanısal doğruluk değerleri oldukça yüksektir.

Kardiyovasküler hastalık, böbrek yetmezliği ve serebrovasküler olay gelişiminde belirgin bir risk faktörü olan hipertansiyon, popülasyonda oldukça sık görülen bir patolojidir. %90 oranında altta yatan sebep ortaya konamaz ve bu grup, primer hipertansiyon olarak bilinir. Sekonder hipertansiyonda ise etken bellidir ve ortadan kaldırılması ile tedavi mümkündür. Dolayısı ile hipertansif popülasyonda sıklığı %0.5-5 arasında değişen renovasküler hipertansiyonun primer hipertansiyondan ayırımı, girişimsel radyolojik veya cerrahi yöntemlerle tedavi edilebilir olması bakımından büyük önem taşımaktadır (1). Renal arter stenozu (RAS) tanısında DSA halen altın standart yöntemdir, ancak invaziv oluşu nedeni ile günümüzde pek çok non invaziv tarama yöntemi anjiyografiye alternatif olarak giderek artan sıklıkta kullanılmaktadır. Bu yönüyle üç boyutlu (3B) kontrastlı renal arter MR anjiyografi (MRA), konvansiyonel MRA tekniklerine göre belirgin üstünlükleri olan, bunun yanı sıra iyotlu kontrast madde enjeksiyonu, arteriyel girişim ve iyonizan radyasyonun bilinen risklerini içermeyen bir non invaziv görüntüleme yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır (2). Kısa sürede uygulanabilirliği, renal vasküler anatomiyi distal segmental dallara dek ortaya koyabilmesi ve sonuçta RAS'ı yüksek duyarlılık ve özgüllükle saptayabilmesi kontrastlı MRA'yı diğer tarama yöntemlerine üstün kılmaktadır (3).

Gereç ve yöntem

Ocak-Temmuz 2000 tarihleri arasında RAS ön tanısı ile gelen, yaşları 27-75 arasında değişen, 18 erkek, 8 kadın olmak üzere toplam 26 olgunun renal arterleri, 3B kontrastlı renal arter MRA ve kateter anjiyografi ile incelenmiştir. MR anjiyogramlar 1.5 Tesla Signa Horizon EchoSpeed görüntüleme sisteminde (GE Medical Systems, Milwaukee, Wisconsin, USA) elde edilmiş olup renal arterleri, aortik orifisten renal hilusa dek içeren bir görüntüleme hacmi, 3B-FSPGR (fast spoiled gradient recalled) sekansı kullanılarak taranmıştır (Resim 1). Kontrast madde otomatik enjektör (Medrad, Spectris, USA) yardımı ile belirli doz ve hızda verilmiştir. Kullanılan parametreleri içeren görüntüleme protokolü Tablo 1'de sunulmaktadır.

Sistem yazılımında mevcut olan "smart prep" otomatik tetikleme ile süperior mezenterik arterin orifisi düzeyinde, aksiyal pilot görüntülerde aortaya intralüminal işaretleme yapılmış (Resim 2) ve bu sayede kontrastın renal arterlerde optimal düzeyde yakalanması sağlanmıştır. Kontrastın renal arterlere ulaşmasını takiben, olgulara nefes tutturul-

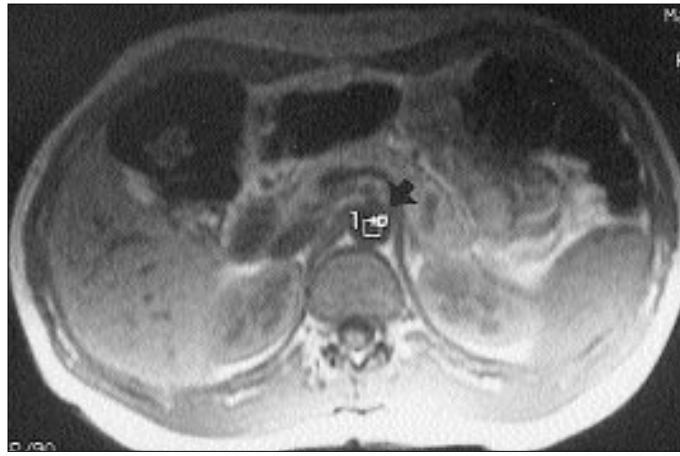
B. Yağmurlu (E), A. Erden, I. Erden, S. Fitoz, S. Bilgiç
Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radiyolojik Anabilim Dalı

Bu çalışma 17. Türk Radyoloji Kongresi'nde (27-31 Ekim, İstanbul) sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

Gelişi: 27.11.2001 / Kabulü: 09.07.2002



Resim 1. Sagittal düzlemde pilot görüntü üzerine yerleştirilen ve renal arterleri aortik orifisten renal hilusa dek içeren görüntüleme hacmi ("slab") izleniyor.



Resim 2. Süperior mezenterik arterin aortadan çıkış düzeyinde aorta lümenine yerleştirilen "tracker" vokseli (ok) görülüyor.

muştur (Grafik 1). Elde edilen ham görüntülerden multiplanar reformasyon ile MIP (maksimum intensite projeksiyon) görüntüler oluşturulmuştur.

Tüm olgulara selektif renal arter DSA uygulanmış (Multistar T.O.P. Siemens Medical Systems, Erlangen, Germany) ve MRA bulguları DSA sonuçları ile kıyaslanarak MRA'nın renal arter stenozunu saptamadaki duyarlılık ve özgüllüğü belirlenmiştir.

Bulgular

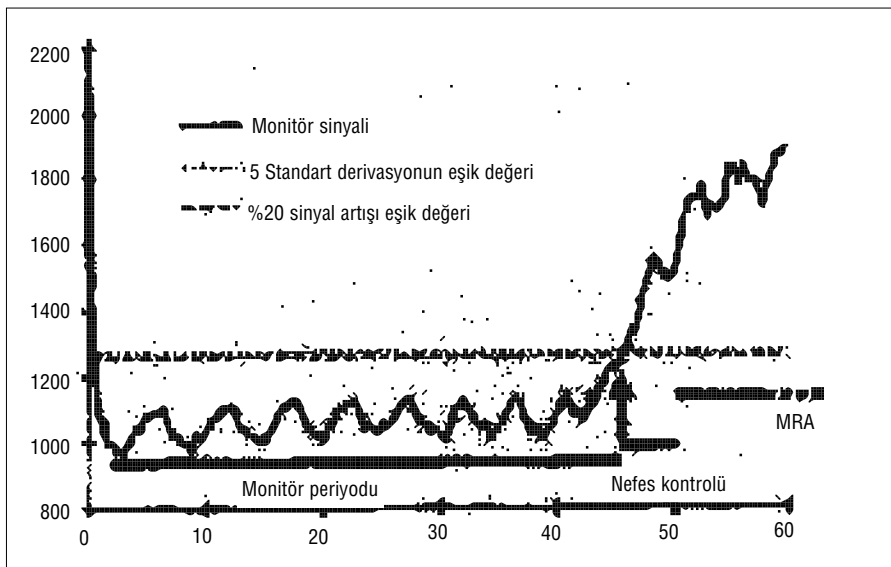
MRA ile 26 olguda toplam 56 adet renal arter görüntülenmiş olup bunların 7'si aortik orijinli aksesuar arterdi. Yirmidört adet renal arterde, tümü ana renal arter proksimal 1/3 kesiminde lokalize olmak üzere, lümen daralması veya sinyal kaybı ile karakterli stenoz saptandı (Resim 3-6). Vizualize olmayan, aortik orifis düzeyinde güdüğü izlenen 2 adet renal arter ise tıkalı olarak değerlendirildi. Bir olguda soliter böbrek izlendi. Dört olguda kronik böbrek yetmezliği mevcuttu ancak 20 ml gadolinyum uygulaması sonrası 24 saatlik takipte böbrek fonksiyon testlerinde (kan üre azotu ve

kreatinin) anlamlı değişiklik kaydedilmedi. Toplam 9 olguda tek veya çift taraflı iliak arter stenozu ve/veya oklüzyonları da ortaya kondu ve DSA öncesi renal arter incelemesi sırasında eş zamanlı alt ekstremitte arteryel inceleme yapılması planlandı.

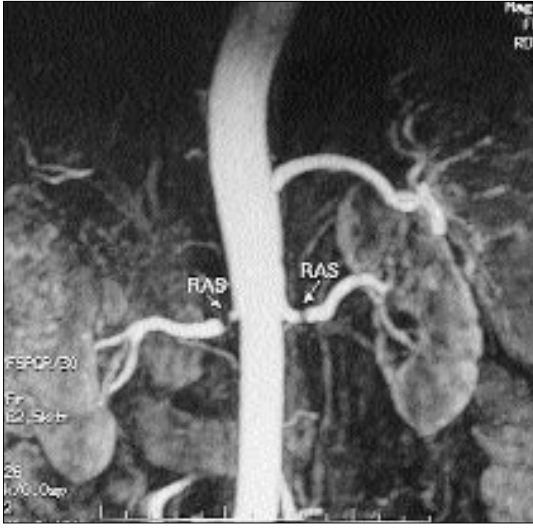
Selektif renal arter DSA'da ise, bu 27 olguda 8'i aksesuar arter olmak üzere toplam 57 adet renal arter saptandı. Yani MR anjiyografik olarak ince kalibredeki bir aksesuar arter net olarak ortaya konamadı. Tanımlanan 57 adet renal arterin 24'ünde stenoz kaydedildi. Bu sayı MRA ile eş gözükse de MR anjiyografik olarak 1 yalancinegatif ve 1 yalancıpozitif stenoz olduğu dikkati çekti. Yalancı pozitif stenoz olan olguda MR anjiyografik olarak saptanan orifis düzeyindeki lüminal daralmanın "dephasing" artefakta ait olduğu düşünüldü (Resim 7). Yalancı negatif stenoz ise çok ince kalibredeki bir aksesuar arterde yine orifis düzeyindeki stenozun MRA ile tespit edilememesine bağlı olarak ortaya çıktı (Resim 8). Diğer 22 arterdeki stenoz ve 2 arterdeki oklüzyon ise DSA ile uyumlu idi. Elde edilen tüm bulgular Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tartışma

MRA vücuttaki pek çok arteryel sistemin görüntülenmesinde kullanılan non invaziv bir tekniktir. Renal arter stenozuna yönelik renal arterlerin görüntülenmesinde daha önceleri kulla-



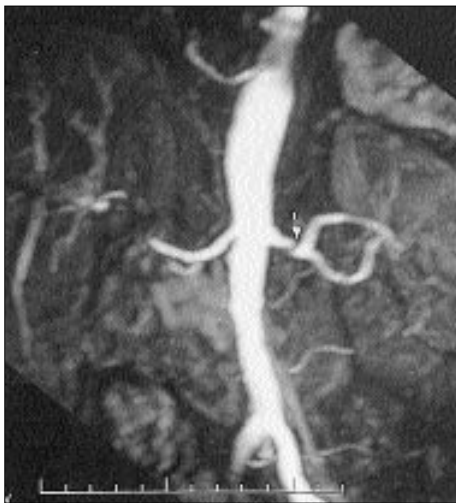
Grafik 1. Okla işaretli düzeyde eşik değeri olan %20'lik bir sinyal artışı izleniyor. Bu artışın cihaz tarafından belirlenmesini takiben hastaya nefesini tutma komutu veriliyor.



Resim 3. Her iki renal arter proksimal bölümlerinde sinyal kaybı ile karakterize stenoz mevcut. MR anjiyografi (A) ve DSA (B) görüntüleri.



Resim 4. Sağ renal arter proksimal bölümünde segmenter stenozla ait lümen daralması ve post-stenotik dilatasyon görülüyor. MR anjiyografi (A) ve DSA (B) görüntüleri.



Resim 5. Koronal plandaki MIP (maksimum intensite projeksiyon) görüntülerde, sol renal arterde segmental arterlerin ayrışım yerinin hemen proksimalinde stenozla işaret eden sinyal kaybı görülüyor (ok) (A). Aynı olgunun DSA incelemesinde bu düzeydeki plak yapısına ait dolum defekti mevcut (ok) (B).

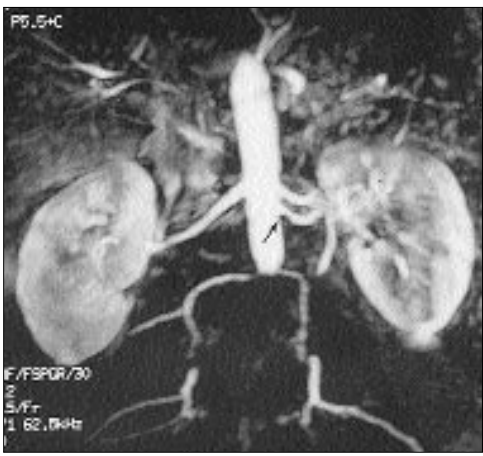
Tablo 1. Kontrastlı renal arter MRA incelemesinde kullanılan parametreler.

Sekans	3B-FSPGR
Görüntüleme düzlemi	Koronal
Sarmal tipi	Faz dizimli vücut sarmalı
TR (msn)	5.2
TE (msn)	1.5
Sapma açısı	30°
FOV (cm)	26X26
Kesit kalınlığı (mm)	1.2-3
Matriks	256X128
Kesit sayısı	60
NEX	0.75
Süre (sn)	12-16
Kontrast miktarı (ml)	20
Enjeksiyon hızı (ml/sn)	2.5

(TR: Time to repeat, TE: Time to echo, FOV: Field of view, NEX: Number of excitations)



Resim 6. MR anjiyografik MIP (maksimum intense projeksiyon) görüntüde sağ renal arterin aortadan ayrıldığı noktada stenozu ait kalibre kaybı, düzensizlik ve hafif sinyal azalması (ok) mevcut (A). DSA görüntülerinde sağ renal arter orifisinde MR anjiyografi ile uyumlu darlık görülüyor (ok) (B).



Resim 7. Sağ böbrek aortadan ayrılan tek, sol böbrek ise iki renal arterle besleniyor. Her iki tarafta üst polü besleyen renal arterler normal olarak değerlendirilirken MR anjiyografik görüntülerde (A) solda alt polü besleyen renal arter proksimal bölümünde hafif-orta derecede stenozu işaret ettiği düşünülen lümen daralması izleniyor (ok). Ancak DSA (B) görüntülerde bu düzeyde stenoz izlenmemesi nedeni ile sözkonusu lümen daralmasının ostial düzeydeki türbülant akıma bağlı ortaya çıkan "dephasing" artefakta ait olduğu düşünülüyor.

Tablo 2. MRA ve DSA'da saptanan ana ve aksesuar renal arter sayısı ile stenoz-oklüzyon saptanan olgular.

Yöntem	Olgu	Renal arter sayısı	Aksesuar renal arter sayısı	Stenoz	Oklüzyon
MRA	26	56	7	24	2
DSA	26	57	8	24	2

MRA ve DSA ile saptanan stenotik renal arter sayısı eş gözükse de birer adet yalancı negatif ve pozitif stenoz mevcuttur. Bu bulgular doğrultusunda üç boyutlu, kontrastlı, dinamik renal arter MRA'nın duyarlılığı %95, özgüllüğü ve doğruluk oranı %96 olarak bulunmuştur.

nılan konvansiyonel MRA yöntemleri, "time-of-flight" (TOF) ve "phase-contrast" (PC) MRA'dır. Gedroye ve arkadaşları 3B-PC yönteminin duyarlılığını %84, özgüllüğünü %91 olarak bildirmektedir (4). PC MRA yönteminde görüntü kalitesinin yüksek olmasına karşın inceleme süresinin uzunluğu, incelenecek volümün sınırlı olması ve aksesuar arterleri göstermedeki güçlükler yöntemin bilinen dezavantajlarıdır (5,6). 2B-TOF yöntemin-

de ise duyarlılık ve özgüllük Servois ve arkadaşları tarafından sırası ile %70-85 ve %78-86 olarak bildirilmektedir (7). Her iki tekniğin kombinasyonlarında ise bu değerler %87 ve %97'ye çıkmaktadır (8). TOF tekniğinin dezavantajı, hareket halindeki kan protonlarının damar içindeki normal laminer akım profili bozulduğunda değişik yönlere hareketi sonucunda oluşan sinyal kaybıdır. Bu sinyal kaybı, renal arterlerin düşük kalibreli dis-

tal bölümlerinde ve büküntülü veya stenozu ikincil oluşan türbülant akımda belirginleşmektedir (9). Prince ve arkadaşları bunu ortadan kaldırmak için görüntülenene volüm içindeki kanın sinyal intensitesini arttırmak amacı ile yüksek doz gadolinyum kullanımını önermiş ve 3B-TOF sekansında aorta ve dallarında sinyalin arttığını gözlemiştir (10). Bu yöntem ile yapılan çalışmalarda duyarlılık ve özgüllük oranları %94 ve %98'e kadar çıkmaktadır (11). Yöntemin en önemli teknik özelliği intravenöz olarak enjekte edilen ve kanın T1 relaksasyon süresini kısaltarak çevre dokularla kan arasında etkin bir kontrast yaratan paramanyetik ajanlar kullanılmasıdır. Paramanyetik ajanın görüntülenmek istenen vasküler sistemden ilk geçişi sırasında saniyelerle ifade edilen çok kısa sürelerde görüntü elde edilmesi ise bir diğer önemli özelliğidir (3).



Resim 8. Aksiyel MIP (maksimum intensite projeksiyon) görüntülerde, sağ renal arterde okla işaretli düzeyde stenoza işaret eden sinyal kaybı izleniyor. Ayrıca bu arterin posteriorunda lokalize çok ince kalibrede bir aksesuar arter mevcut (*siyah ok*) (A). DSA'da aksesuar arterin selektif incelenmesinde MR anjiyografik görüntülerde saptanamayan stenoza ait lümen daralması görülüyor (*ok*) (B).

Kontrastlı 3B-MRA, tanımlanan yüksek oranlar sayesinde klinik uygulamalarda hızla kabul görmüş ve günümüzde rutin kullanıma geçmiştir. Çalışmamızda da oldukça yüksek olarak bulunan duyarlılık oranları sayesinde, en sık RAS sebebi olarak bildirilen proksimal yerleşimli aterosklerotik lezyonların ortaya konmasında etkin bir non invaziv tarama yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak yine de incelemenin bazı teknik sınırlamaları ve artefaktları mevcuttur. Doğru tanısal yaklaşım için bunların bilinmesi şarttır. Hızlı gradyent eko görüntüleme ve ekoplanar teknoloji, inceleme süresini oldukça kısaltmış, rutin olarak kullanılan yüzey sarmalları sinyal-gürültü oranını dolayısı ile görüntü kalitesini arttırmıştır. Bu sayede çok ince kalibredeki aksesuar arterlerin bile görüntülenmesi mümkün olmaktadır. Ancak çalışmamızda da olduğu gibi aksesuar arterlerdeki stenozların doğru tanıma oranı halen düşüktür. Bunun başlıca sebebi ince kalibredeki aksesuar arterlerde görüntü rezolüsyonunun sınırlayıcı faktör olmasıdır (12). İnce kalibredeki lümeninde spasyal presatürasyon ve gadolinyumun T1 kısaltıcı etkisi azalacağından yeterli saturasyon sağlanama-

yacak ve stenoz değerlendirilmesi güçleşecektir (12). İntrarenal ve segmental dallarda stenoz oldukça nadir görülür ve sıklıkla genç non azotemik hipertansif olgularda veya fibromusküler displazide (FMD) izlenir. Çalışmamızda bu düzeyde bir stenoz tespit edilmemekle birlikte bu düzeydeki stenozlarda da tanısal güçlükten bahsedilmektedir (12). Bu nedenle genç yaş olgu grubunda veya FMD şüphesinde MRA normal olsa dahi klinik olarak RAS şüphesinin devamında kateter anjiyografi önerilmektedir (12).

Tanımlanan teknik sınırlamalar dışında en sık görülen artefaktlar zamanlama hatalarına bağlı gelişir. İntravenöz kontrast ajanının görüntülenmek istenen vasküler sistemde arteriyel fazda yakalanması görüntü kalitesi için şarttır. Erken enjeksiyonlarda yeterli arteriyel sinyal elde edilemezken, geç enjeksiyonlarda venöz dönüşü bağli ilgili sistem venlerinin kontrastlanması, arterler ile süperpozisyona neden olarak yorumu güçleştirilmektedir. Çalışmamızda kullandığımız otomatik tetikleme ile bu zamanlama optimal şekilde ayarlanabilmektedir. Ancak yine de çalışmamıza dahil dolaşımın hızlı olduğu genç olgu grubunda, sıklıkla sol renal vende olmak

üzere venöz yapıların kontrastlanması, otomatik tetikleme için yerleştirilen "tracker" vokselinin SMA düzeyinden daha proksimale konması ile aşılmaya çalışılmıştır. Ayrıca cihazın kontrastı tespit etmesini takiben nefes kontrolünün sağlandığı yaklaşık 8 saniyelik süre bu amaç için kısaltılmıştır. Ancak yine de venöz dönüş gerçekleşmişse ham görüntüler ile korele değerlendirme yapılmıştır. Burada dikkat edilmesi gerekli nokta özellikle tek taraflı erken venöz dönüşün, arter-yovenöz bir malformasyona ait olabileceğidir (3,13).

Çalışmamızdaki olgularda sıklıkla rastladığımız bir diğer sınırlama, respiratuar artefaktlardır. Apnenin optimal sağlanamamasına bağlı oluşan çift kontur görünümü ve özellikle orifis düzeyinde netliğin kaybolması yalnızca stenoz görüntülerine neden olmaktadır (13). Ancak obstrüktif veya restriktif akciğer patolojisi olan olgularda inceleme süresi kısaltılmış olup bu olgularda solunum hareketinin ani ve derin değilse görüntü kalitesini fazla bozmadığı gözlenmiştir.

Çalışmamızdaki olgulardaki bir diğer gözlemimiz, stenoz düzeylerinde oluşan abartılı sinyal kaybının, stenoz derecesini doğru tayinini engellemesidir. Kontrastlı inceleme ile sözkonusu sinyal kayıpları büyük oranda engellenmekle birlikte, şiddetli stenoz veya orifis düzeyi gibi türbülant akımın olduğu bölgelerde bir miktar "dephasing" yani sinyal kaybı olmaktadır (13-15). Nitekim çalışmamızdaki bir olgunun proksimal renal arterinde bu mekanizma ile oluştuğunu düşündüğümüz sinyal kaybı stenoz olarak yorumlanmış ancak DSA'da normal olarak değerlendirilmiştir. Özellikle orifiste lokalize lümen daralması şeklinde izlenen hafif sinyal kayıplarında, "dephasing" artefakt yönünden dikkatli olunmalıdır. Çalışmamızın bir sonucu olarak gözlemimiz, arter seyrinde devamsızlığa yol açan sinyal kayıplarının stenozun güvenilir bulgusu olduğudur.

Sonuç olarak üç boyutlu kontrastlı, dinamik renal arter MRA, RAS yönünden kateter anjiyografiye alternatif, etkin bir non invaziv tarama yöntemi-

midir. Tek seferlik nefes kontrolü sayesinde oldukça kısa sürede alınan yüksek rezolüsyonlu görüntüler, objektif bir tanısal yaklaşıma ve bunun sonucunda da yüksek duyarlılık, özgüllük ve tanısal doğruluk oranlarına olanak vermektedir.

Kaynaklar

1. Taylor JW. Clinical Applications of Doppler Ultrasound 2. nd edition, Singapore: Raven Press, 1995; 164-171.
2. Fenlon HM, Yücel EK. Advances in abdominal, aortic and peripheral contrast-enhanced MR angiography. MRI Clin Nort Am 1999; 7:319-336.
3. Prince MR. 3D Contrast enhanced MR Angiography. 2 nd edition. Germany: Springer, 1999; 3-41:89-107.
4. Gedroye P, Neerhut R, Negus R et al. MRA of renal artery stenosis. Clin Radiol 1995; 50:436-439.
5. De Cobelli F, Vanzulli A, Sirono S et al. Renal artery stenosis. Evaluation with breath-hold three-dimensional dynamic gadolinium enhanced versus three-dimensional phase-contrast MRA. Radiology 1997; 205:689-695.
6. Hany TF, Debatin JF, Leung D, Pfammatter T. Evaluation of the aortoiliac and renal arteries: Comparison of breath-hold contrast-enhanced 3D MRA with conventional catheter angiography. Radiology 1997; 204:357-362.
7. Servois V, Laissy JP, Ferger C et al. Two-dimensional TOF MRA of renal arteries without maximum intensity projection: A prospective comparison with angiography in 21 patients screened for renovascular hypertension. Cardiovasc Intervent Radiol 1994; 17:138-142.
8. Debatin JF, Spitzer CE, Grist TM et al. Imaging of the renal arteries: Value of MR angiography. AJR 1991; 157:981-990.

THREE-DIMENSIONAL CONTRAST ENHANCED MRA IN RENAL ARTERY STENOSIS: COMPARISON WITH DIGITAL SUBTRACTION ANGIOGRAPHY

PURPOSE: To evaluate the diagnostic value of three dimensional dynamic gadolinium-enhanced renal artery MR angiography in hypertensive cases to detect renal artery stenosis.

MATERIALS AND METHODS: Twenty-six patients, 18 men and 8 women, suspected of having renal artery stenosis with clinical and laboratory findings were enrolled in this study. All cases were evaluated with three-dimensional contrast-enhanced renal artery MR angiography and selective renal artery digital subtraction angiography (DSA) respectively. MR angiographic findings were compared with DSA which is the gold standard technique for the diagnosis of renal artery stenosis.

RESULTS: A total of 56 renal arteries were visualized by MR angiography, where 24 of them were found to be stenotic and 2 of them occluded. One false-negative and one false-positive result were encountered with MR angiography, but all other stenoses as well as the occlusions were confirmed with DSA. MR angiography failed to diagnose the stenosis of a low-calibrated accessory renal artery. A signal loss due to a dephasing artifact caused by the turbulent flow at the ostium was misinterpreted as stenosis. According to these findings gadolinium-enhanced renal artery MR angiography had a sensitivity of 95%, specificity of 96% and an accuracy of 96% compared to DSA.

CONCLUSION: Contrast-enhanced renal artery MR angiography allows accurate evaluation of patients suspected to have renal artery stenosis without the known risks associated with nephrotoxic contrast agents, ionizing radiation or arterial catheterization. It offers many advantages as it is a quick, non-invasive, objective screening method in the diagnosis of renal artery stenosis and is reliable with high sensitivity-specificity rates.

TURK J DIAGN INTERVENT RADIOL 2002; 8:527-532

9. Thornton J, Callaghan JO, Walshe, O'Brien E, Varghese JC, Lee MJ. Comparison of digital subtraction angiography with gadolinium-enhanced MR angiography in the diagnosis of renal artery stenosis. Eur Radiol 1999; 9:930-934.
10. Prince MR. Gadolinium enhanced MRA. Radiology 1994; 191:155-164.
11. Prince MR, Narasimham DL, Stanley JC et al. Gadolinium enhanced MRA of abdominal aortic aneurysms. J Vasc Surg 1995; 14:656-669.
12. Rieumont MJ, Kaufmann JA, Geller SC et al. Evaluation of renal artery stenosis with dynamic gadolinium enhanced MRA. AJR 1997; 169:39-44.
13. Lee VS, Martin DJ, Krinsky GA, Rofsky NM. Gadolinium enhanced MRA: Artifacts and pitfalls. AJR 2000; 175:197-205.
14. Prince MR. Renal and mesenteric MR angiography. RSNA Categorical Course in Diagnostic Radiology: Body MR 1999; 131-151.
15. Thornton MJ, Thornton F, O'Callaghan J et al. Evaluation of dynamic gadolinium enhanced breath-hold MRA in the diagnosis of renal artery stenosis. AJR 1999; 173:1279-1283.