

ORJİNAL YAZI

Renal Arter Stenozunu Saptamada Doppler Ultrasonografi ve Üç Boyutlu Kontrastlı Manyetik Rezonans Anjiyografinin Etkinliği

Oktay ALĞIN*, Nurullah DOĞAN*, Efnan ŞENTÜRK**, Naile Bolca TOPAL*

* Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Bursa.

** Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi, İç Hastalıkları Anabilim Dalı, Bursa.

ÖZET

Bu retrospektif çalışmada renovasküler hipertansiyonlu olgularda, renal arter stenozunu saptamaya yönelik doppler ultrasonografi (US) ve üç boyutlu kontrastlı manyetik rezonans anjiyografinin (3B-MRA) tanısal etkinliğini saptamayı amaçladık. Renal arter stenozu şüphesi olan, yaşları 31-77 arasında değişen, 36'sı erkek, 28'i kadın toplam 64 olgu çalışmaya dahil edildi. Tüm olgularda doppler US ve 3B-MRA ile renal arterlerde darlık araştırıldı. Doppler US ya da 3B-MRA ile değerlendirilen tüm hastalara altın standart olarak kabul edilen Dijital Subtraction Anjiyografi (DSA) tetkiki uygulandı. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirildi. Yetersiz tetkik nedeniyle 12 hasta (23 renal arter) çalışma dışı bırakıldı. Çalışmaya dahil edilen 102 renal arterin doppler US'de 82'sinde, 3B-MRA'da ise 70'inde stenoz saptandı. DSA'da da 65 renal arterde darlık izlendi. Tüm bu bulgulara göre Doppler US'nin duyarlılığı % 97, özgüllüğü %49 bulundu. 3B-MRA'nun duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla %97 ve %81 idi. Doppler US renal arter stenozu şüphesi olan olgularda; kontrast madde gerektirmeyen ve radyasyon içermeyen, non-invaziv bir tarama yöntemidir. Doppler US'de stenoz saptanan olgularda kontrastlı 3B-MRA ile değerlendirme, yalancı pozitif sonuçları engelleyebilir.

Anahtar Kelimeler: Renal arter stenozu. Doppler ultrasonografi. Manyetik rezonans anjiyografi.

The Diagnostic Value of Doppler Ultrasonography and Three-Dimensional Gadolinium-Enhanced Magnetic Resonance Angiography for Detecting Renal Artery Stenosis

ABSTRACT

The aim of our retrospective study was to compare the value of doppler sonography (US) and three-dimensional gadolinium-enhanced MR angiography (3D-MRA) for detecting renal artery stenosis. Sixty-four patients (36 men, 28 women), suspected of having renal artery stenosis with clinical and laboratory findings were enrolled in this study. 102 renal arteries were evaluated with doppler US, contrast-enhanced 3D-MRA and selective renal artery digital subtraction angiography (DSA) respectively. Doppler US and MR angiographic findings were compared with DSA which is the gold standard technique for the diagnosis of renal artery stenosis. Stenosis in renal artery was detected in 82 renal arteries by Doppler US. Visible narrowing of renal artery was present in 70 arteries on source and MIP images by MRI. Stenosis was found in 65 arteries by DSA. According to these findings doppler US had a sensitivity of 97% and specificity of 49% compared to DSA. Magnetic resonance angiography was the more accurate screening test with sensitivity of 97%, specificity of 81% compared doppler US. Doppler US offers many advantages as it is a rapid, non-invasive screening method in the diagnosis of renal artery stenosis, also it is does not need any contrast agents. 3D-MRA allows more accurate evaluation of patients with stenosis on doppler US without the known risks associated with nephrotoxic contrast agents, ionizing radiation or arterial catheterization and it may be usefull tool to preventing false positive tests.

Key Words: Renal artery stenosis. Doppler ultrasonography. Magnetic resonance angiography.

Geliş Tarihi: 24.04.2008

Kabul Tarihi: 28.10.2008

Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi,
Radyoloji Bölümü,
16059 Görükle/Bursa/Türkiye
İş Tel: 0224 2953320
Faks: 0224 4428142
e-mail: droktayalgin@gmail.com

Toplumda oldukça sık görülen bir patoloji olan hipertansiyon, kardiyovasküler hastalık, böbrek yetmezliği ve serebrovasküler olay gelişiminde önemli bir risk faktörüdür. %95 oranında etyoloji ortaya konulamaz ve bu grup, primer hipertansiyon olarak adlandırılır. Sekonder hipertansiyonda ise etken bellidir ve çoğu zaman tedavisi mümkündür. Bu grupta yer alan ve hipertansif popülasyonda sıklığı %1-5 arasında değişen renovasküler hipertansiyonun, primer hipertansiyondan ayırımı, girişimsel radyolojik veya cerrahi yöntemlerle tedavi edilebilir olması bakımından büyük önem taşımaktadır¹⁻³.

Renal arter stenozu (RAS) tanısında dijital subtraksiyon anjiyografi (DSA) halen altın standart yöntemdir⁴. Ancak invaziv oluşu nedeni ile günümüzde yerini Doppler ultrasonografi (US) ve üç boyutlu kontrastlı MR anjiyografi (3B-MRA) gibi non-invaziv tarama yöntemlerine bırakmaktadır⁵. Doppler US kontrast madde gerektirmemesi, görece ucuz ve non-invaziv olması gibi önemli avantajlara sahiptir. Obez ya da koopere olamayan hastalarda yetersiz kalması ve ayrıca deneyim gerektirmesi de doppler US'nin dezavantajlarıdır⁶. 3B-MRA ise obez hastalarda tercih edilen, non-invaziv bir tetkiktir. Metalik protez, pacemaker kullanan yada klostrofobisi olan hastalarda uygulanamaması bu yöntemin dezavantajlarıdır⁵.

Bu çalışmanın amacı renovasküler hipertansiyonlu olgularda, renal arter stenozunu saptamada, doppler US ve 3B-MRA'nin tanısal etkinliğini saptamaktır.

Gereç ve Yöntem

Şubat 2005- Eylül 2007 tarihleri arasında RAS ön tanılı, yaşları 31-77 arasında değişen (ortalama yaş: 52) toplam 64 (36 erkek, 28 kadın) olgunun 125 renal arterine yönelik olarak yapılan Doppler US, 3B-MRA ve DSA incelemeleri retrospektif olarak tarandı. Tüm olgulardan belirtilen tetkikler öncesi aydınlatılmış onam formu alındı. Nefes tutamama yada obezite nedeniyle optimal ölçüm yapılamayan 15 renal arter yetersiz tetkik olarak değerlendirilerek çalışma dışı bırakıldı. Tüm Doppler US incelemeleri renkli Doppler ultrasonografi cihazı (Aplio, Toshiba Tokyo, Japonya) ile 3-6 MHz. broadband konveks prob (PLT 3.75 Toshiba Tokyo, Japonya) kullanılarak yapıldı. İncelenen her arterin orifis, orta ve distal kesimlerinden, uygun açı kullanılarak (45-60°) peak sistolik hız (PSH) ve end-diastolik hız (EDH) ölçüldü. Ayrıca renal arterlerin interlober dallarından ortalama rezitif indeks (RI) ölçümü yapıldı. Abdominal aortadan uygun açı ile PSH ölçümü yapıldı. Renal arter PSH'ı aort PSH'ına bölünerek renoaortik oranı (RAO) hesaplandı. İncelenen arterin herhangi bir segmentinde RAO>3.5 ya da PSH>180 cm/sn olması patolojik kabul edildi. İnceleme süresi yaklaşık olarak 30 dakika idi.

Doppler US ile değerlendirilen ve MR inceleme için kontrendikasyonu bulunmayan tüm hastalara 3B-MRA incelemesi yapıldı. Tüm 3B-MRA incelemeleri 1.5. Tesla MR sisteminde (Magnetom Vision, Siemens, Erlangen, Almanya), body-array sarmal ile elde edildi. Renal arterlerin lokalizasyonları koronal ve aksiyel planlarda alınan half-fourier acquisition single-shot turbo spin-echo (HASTE) sekansıyla tespit edildi (TR/TE:1100/88, kesit sayısı 15, kesit kalınlığı 4 mm, FOV 250×250, matrix 256×256, inceleme süresi 17 sn). İntravenöz (İV) yolla 2 ml Gadolinium-DTPA (Magnevist) verilmesini takiben abdominal aortaya yönelik T1 ağırlıklı multifaz gradyent-eko test

bolus zamanlama sekansı, (Turbo FLASH) sagittal planda elde edildi. (TR/TE:5.8/2.4, FA: 10°, kesit kalınlığı 10 mm, aynı kesite yönelik her saniyede birer görüntü, inceleme süresi 41 sn). Test bolus sonrası İV yolla 20-30 cc Gadolinium-DTPA (0.2 mmol/kg, Magnevist) verildi. Test bolus sekansında abdominal aortada maksimum kontrast tutululumunun izlendiği saniyede (10-20. sn), 3 boyutlu fast low-angle shot (3B-FLASH) sekansı koronal planda ardışık olarak 2 kez çalışıldı (TR/TE:4.6/1.8 ms, flip angle 30°, efektif kesit kalınlığı 1.75 mm, FOV 400×320 mm, matrix 256×512, çekim süresi 23 sn). 3B-FLASH sekansıyla elde olunan imajlar MR cihazının yazılımında bulunan programlarla analiz edilerek 3 boyutlu reformat imajlar (MIP, MPR) oluşturuldu. Tüm sekanslar olgulara nefes tutturularak alındı. Reformat imajlar ve 3B-FLASH sekansı görüntüleri birlikte değerlendirilerek; renal arterin herhangi bir segmentinde %50 ve üstü dolma defekti, darlık olarak kabul edildi. Solunuma bağlı artefaktlar nedeniyle tetkik kalitesi yetersiz olan 4 olgu (8 renal arter) çalışma dışı bırakıldı.

Doppler US ve 3B-MRA ile değerlendirilen ve kontrendikasyonu olmayan tüm hastalara selektif renal arter DSA incelemesi yapıldı. Tüm DSA incelemelerinde iki düzlemli (Siemens Artist, Erlangen, Almanya) anjiyografi cihazı kullanıldı. Transfemoral yaklaşım ve seldinger tekniğiyle ana femoral artere girilerek öncelikle abdominal aortagram alındı. Daha sonra selektif renal arter imajlar elde edildi. Renal arterin herhangi bir segmentinde %50 ve üstü dolma defekti darlık olarak kabul edildi.

Hasta kaynaklı ve teknik nedenlerle doppler US ve 3B-MRA tetkikleri suboptimal olarak değerlendirilen 12 olgu (23 renal arter) çalışma dışı bırakıldı. Veriler istatistiksel olarak değerlendirildi. Özgüllük ve duyarlılık oranları hesaplandı.

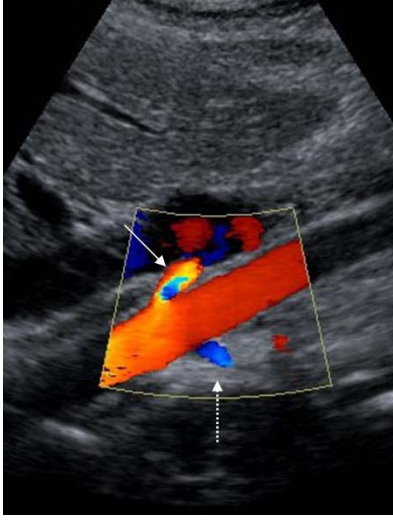
Bulgular

Doppler US ile değerlendirilen 102 renal arterden (52 olgu) 82'sinde darlık saptandı. 20 renal arterde ise darlık izlenmedi. Doppler US'de stenoz bulguları izlenen 82 renal arterin 63'ünde DSA'da da darlık saptandı. Doppler US'de normal olarak değerlendirilen 2 renal arterde DSA'da darlık mevcuttu (yalancı negatif). Doppler US'de normal olarak değerlendirilen 18 renal arter DSA incelemelerde de normal olarak değerlendirildi (resim 1). Doppler US'de darlık bulguları olan 19 olguda DSA'da stenoz izlenmedi (yalancı pozitif).

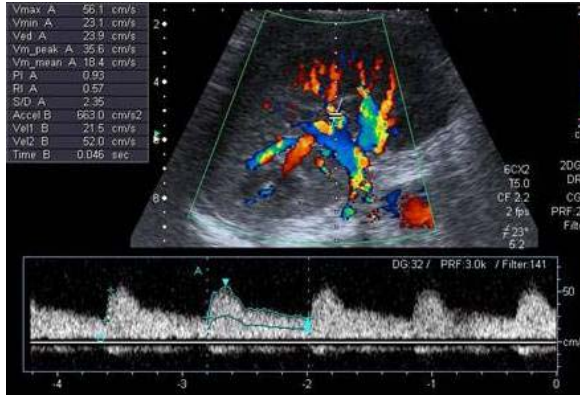
3B-MRA'da 102 renal arterin (52 olgu) 70'inde darlık saptandı (resim 2). MR incelemede darlık izlenen 7 renal arterde DSA'da stenoz saptanmadı (yalancı pozitif). 3B-MRA incelemede normal olarak değerlendirilen 2 renal arterde ise (2 olgu) DSA'da darlık saptandı (yalancı negatif). Bu olgulardan birinde 3B-

Renal Arter Stenozunu Saptamada Doppler Ultrasonografi

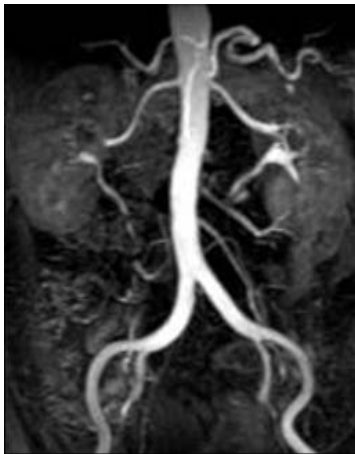
MRA'da optimal görüntülenemeyen aksesuar renal arter mevcuttu ve darlık bu aksesuar renal arterde idi. Diğer olgudaysa Takayasu arteriti mevcuttu ve renal arterin distalinde multiple segmental darlıklar izlenmekteydi (resim3).



A



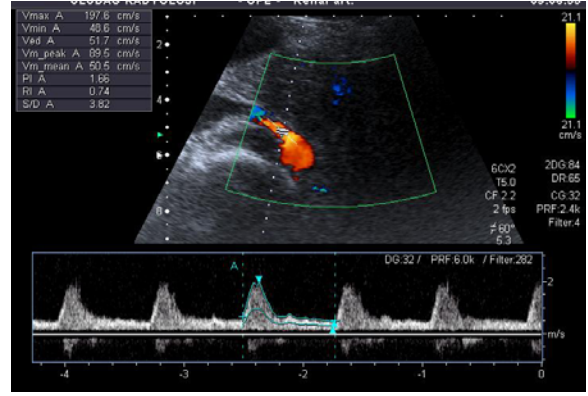
B



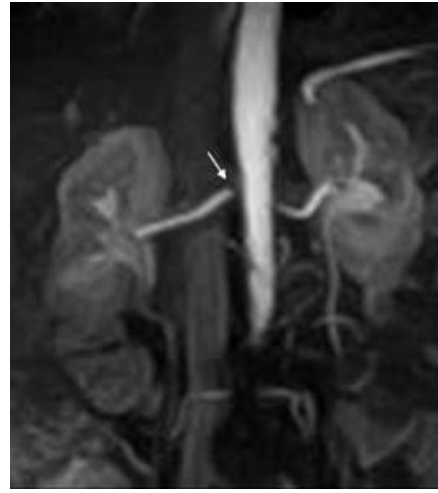
C

Resim 1:

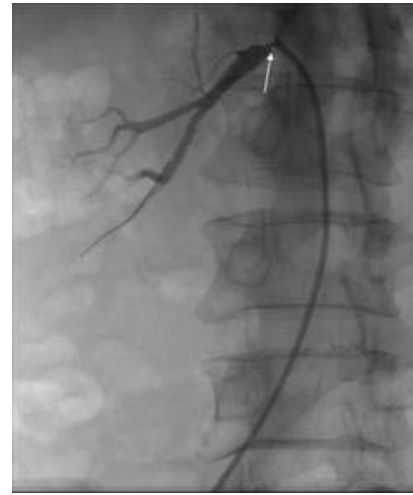
Renkli doppler incelemede bilateral renal arterler (oklar) açık (A). Duplex doppler US'de hız değerleri (56 cm/sn) normal sınırlarda (B). 3B-MRA'da renal arterler normal görünümde (C).



A



B



C

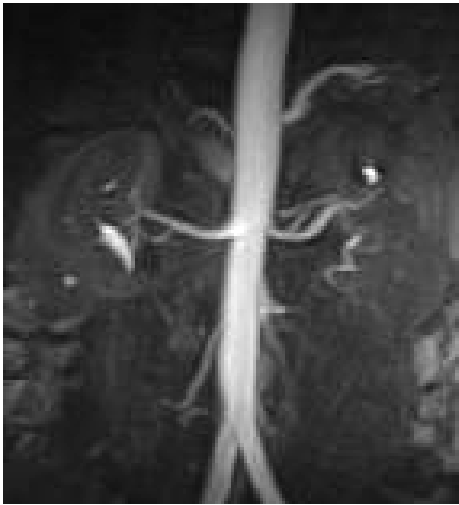
Resim 2:

Doppler US'de sağ renal arterde darlık ile uyumlu hız artışı (198 cm/sn) izlenen olgu (A). 3B-MRA'da sağ renal arter ostiumunda darlık (ok) izleniyor (B). DSA ile belirtilen darlık (ok) doğrulandı (C).

İstatistiksel değerlendirmede Doppler US'nin duyarlılığı %97, özgüllüğü ise %49 olarak hesaplandı. 3B-MRA'nun duyarlılık ve özgüllük değerleri sırasıyla %97 ve %81 idi.



A



B



C

Resim 3:

Gri skala ve Doppler US'de renal arterlerde (oklar) stenoz saptanamayan olgu (A). 3B-MRA'da anlamlı darlık izlenmedi (B). DSA'da sol renal arterde erken bifurkasyon mevcut. Üst polü besleyen renal arterde multiple, segmental darlıklar saptandı (C).

Tartışma

Renal arter stenozu, renal iskemi, hipertansiyon ve son dönemde böbrek yetmezliğine neden olan bir patolojidir. Renal arter stenozunun hipertansiyon veya iskemik hasar yapan eşik değeri belirsiz olup muhtemelen hastadan hastaya farklılık göstermektedir. Lümen çapında %50-60 daralma hemodinamik açıdan anlamlı kabul edilebilir⁷. Ateroskleroz en sık renal arter darlığı sebebi olup, ikinci sebep fibromuskuler hiperplazidir. Renal arter darlığının erken saptanması kalıcı hasarların önlenmesi açısından önemlidir. Günümüzde tedavi, girişimsel radyolojik yöntemlerle yapılmaktadır⁴. Tanıda altın standart DSA olmakla birlikte bu yöntem invaziv olması, radyasyon içermesi ve iyotlu nefrotoksik kontrast madde kullanılması nedenleriyle tarama metodu olarak kullanılamamaktadır. Geçmiş yıllarda renal arter stenozunu saptamada birçok tetkik kullanılmıştır. Bunlardan doppler US ve kaptopril'li sintigrafi fonksiyonel etkilenimi araştıran teknikler olup, diğer tetkikler morfolojik bilgiler vermektedir (BT Anjiyografi, 3B-MRA)⁸. Son yıllarda MR incelemelerin fonksiyonel bilgileri verebileceğini de öne süren çalışmalar mevcuttur^{4,9}.

Doppler US, darlık ile ilgili olabilecek akım anormalliklerini niceliksel olarak saptamak için kullanılabilir. Renal arter stenozu için kullanılan temel belirteç, damarın stenotik bölümündeki akım hızının yükselmesidir. Akım hızı darlığın derecesiyle doğru orantılı olarak artar. Normal renal arterde PSH 74-127 cm/sn aralığında değişir⁷. PSH'nin 180 cm/sn'nin üzerinde olması lümeninde hemodinamik açıdan anlamlı darlığa işaret eder. Ayrıca renal arterdeki PSH'nin aortadaki (renal arterler seviyesinde) PSH'dan 3.5 kat ya da üzerindeki bir oranda yüksek olması da renal arter stenozu için güvenilir bir kriterdir^{2,3,7}.

Direnç indeksi (RI) renal arterin PSH ile EDH arasındaki farkın PSH bölünmesiyle hesaplanır $[RI = (PSH - EDH) / PSH]$. RI değerinin artması mikrovasküler dirençteki artışı gösterir ve RAS yanında diğer birçok parankimal hastalık da artabilir. Bu nedenle RI değeri tek başına renal arter stenozu tanısında güvenilir değildir. Normal böbreklerde segmental ve interlober arterler de RI değeri 0.7'yi geçmez⁷. RI değeri tedavi sonrası revaskülarizasyonun etkinliğini (kan basıncı kontrolü veya renal fonksiyonda iyileşme) öngörmeye yararlıdır. Direnç indeksi ≥ 0.8 olan hastaların %97'sinde kan basıncında düzelme, %80'inde renal fonksiyonda iyileşme gözlenmemiştir¹⁰. Ayrıca RI, revaskülarizasyon sonrası açıklık oranının takibinde de yararlıdır^{2,3,11}. Ancak, operatör deneyimi gerektirir.

RAS değerlendirmesinde, akselerasyon zamanı ve akselerasyon indeksi gibi belirteçler de kullanılmış fakat hiçbirisi tek başına özgül bulunmamıştır¹². Elli yaş ve üzeri hastalarda aterosklerozla sekonder gelişen kompliyans azalması da sistolik akselerasyon değere-

Renal Arter Stenozunu Saptamada Doppler Ultrasonografi

rini etkilediğinden, söz konusu grupta akselerasyon değerlerinin normal bulunması RAS'ı ekarte ettirmez^{7,12,13}.

Çalışmamızda RAO, PSH ve RI değerleri temel alınarak yapılan değerlendirmede doppler US'nin duyarlılığı %97, özgüllüğü %49 bulunmuştur. Literatürde doppler US'nin duyarlılığı ve özgüllüğü geniş bir yelpazede (sırasıyla %0-98 ve %90-100 arasında) yer almaktadır^{7,11,13}. Bu farklılıkların sebebi vakaların seçimi, uygulayıcı deneyimi ve kullanılan kriterler olabilir.

Kontrastsız MRA uzun inceleme zamanı, türbülan akımda yanlış pozitiflik oranlarının fazla olması ve aksesuar renal arterleri saptamadaki yetersizlikleri nedeniyle yerini kısa sürede kontrastlı 3B-MRA'ya bırakmıştır^{5,14,15}. Çalışmamızdaki kontrastlı 3B-MRA'nın duyarlılığı %97, özgüllüğü %81 olarak hesaplanmıştır. Literatürde değişik teknikler kullanılarak yapılan birçok çalışma bulunmakta olup kontrastlı MR Anjiyografinin duyarlılığı %88-100, özgüllüğü % 90-94 olarak belirtilmektedir^{4,16}. Kontrastlı 3B-MRA 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 dolayısıyla görüntü kalitesini arttırmıştır. Bu sayede ince çaplı aksesuar arterlerin görüntülenmesi de mümkün olmaktadır. Kaynak imajların dikkatle incelenmesi ince kalibrasyondaki arterlerin değerlendirmesinde yararlıdır.

Çalışmamızda en sık rastladığımız sınırlama nefes tutma problemleri idi. Nefes tutmadaki kooperasyonun yeterli derecede sağlanamamasına bağlı oluşan çift kontur görünümü ve orifis düzeyindeki türbülan akım, yalancı darlık bulgularına neden olabilmektedir¹. Ancak inceleme zamanının yaklaşık 20 saniyelik sekanslardan oluşması nedeniyle tetkik kalitesinde belirgin bir bozulma izlenmemiştir. Diğer bir gözlemimiz, stenoz düzeylerinde oluşan abartılı sinyal kaybının, stenoz derecesinin doğru tayinini engellemesidir. Kontrastlı inceleme ile söz konusu sinyal kayıpları büyük oranda engellenmekle birlikte, şiddetli stenoz veya orifis düzeyi gibi türbülan akımın olduğu bölgelerde, bir miktar sinyal kaybı olmaktadır⁴. Literatürde arter seyri devamsızlığa yol açan sinyal kayıplarının stenozun güvenilir bulgusu olduğu belirtilmektedir¹. Gözlemlerimiz bu bilgiyi desteklemekteydi. Ancak yine de fibromusküler displazi gibi distal veya segmental renal arter tutulumu ihtimali bulunan hastalara 3B-MRA normal olarak değerlendirilse de DSA önerilmektedir^{4,5}.

Sonuç

Kontrastlı 3B-MRA, renal arter stenozunu araştırmada kateter anjiyografiye alternatif, etkin bir non-invaziv tarama yöntemidir. Nefes tutmalı sekanslar 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. Doppler US ise 3B-MRA'ya oranla genelde daha düşük duyarlılık ve özgüllük oranlarına sahip olup, radyoloğun deneyimine ve hasta kaynaklı faktörlere bağlı olarak duyarlılık ve özgüllüğü değişmektedir. MR cihazının bulunmadığı merkezlerde doppler US'nin primer tarama yöntemi olarak kullanılmasını öneriyoruz. Ayrıca uygun hasta grubunda maliyetinin MR'a oranla daha düşük olması nedeniyle doppler US ilk tetkik olarak seçilmelidir.

Kaynaklar

1. Yağmurlu B, Erden A, Erden İ, Fitoz S, Bilgiç S. Renal arter stenozlarında üç boyutlu kontrastlı MR anjiyografi: DSA ile karşılaştırma. Tanısal ve Girişimsel Radyoloji 2002; 8: 527-32.
2. Parenti GC, Palmarini D, Bilzoni M, Campioni P, Mannella P, Ginevra A. Role of color-Doppler sonography in the follow-up of renal artery stenting. Radiol Med. 2008; 113: 242-48.
3. Zeller T, Bonvini RF, Sixt S. Color-coded duplex ultrasound for diagnosis of renal artery stenosis and as follow-up examination after revascularization. Catheter Cardiovasc Interv. 2008; 71: 995-9.
4. Schneider G, Prince MR, Meaney JFM, Ho VB. Magnetic Resonance Angiography. 1st edition. NewYork: Springer-Verlag; 2005. 209-36.
5. Law YM, Tay KH, Gan YU, Cheah FK, Tan BS. Gadolinium-enhanced magnetic resonance angiography in renal artery stenosis: Comparison with digital subtraction angiography. Hong Kong Med J. 2008; 14: 136-41.
6. Nchimi A, Biquet JF, Brisbois D, Reginster P, Bouali K, Saive C, Magotteaux P. Duplex ultrasound as first-line screening test for patients suspected of renal artery stenosis: prospective evaluation in high-risk group. Eur Radiol 2003; 13: 1413-19.
7. Zwiebel WJ, Pellerito JS. Introduction to vascular ultrasonography. New York: Elsevier; 2006. 612-31.
8. Bongers V, Bakker J, Beutler JJ, Beek FJA, De Klerk JMH. Assessment of Renal Artery Stenosis: Comparison of Captopril Renography and Gadolinium-Enhanced Breath-Hold MR Angiography. Clinical Radiology 2000; 55: 346-52.
9. Michaely HJ, Sourbron S, Dietrich O, Attenberger U, Reiser MF, Schoenberg SO. Functional renal MR imaging: an overview. Abdom Imaging 2007; 32: 758-71.
10. Radermacher J, Chavan A, Bleck J, Vitzthum A, Stoess B, Gebel MJ, et al. Use of Doppler ultrasonography to predict the outcome of therapy for renal-artery stenosis. N Engl J Med 2001; 344: 410-17.
11. Dogan A, Türker Y. Renal artery stenosis: diagnosis and treatment. Türk Kardiyol Dern Arş 2006; 34: 447-56.
12. Demirpolat G, Ozbek SS, Parıldar M, Oran I, Memis A. Reliability of intrarenal Doppler sonographic parameters of renal artery stenosis. J Clin Ultrasound 2003; 31: 346-51.
13. Dawson DL. Noninvasive assesment of renal artery stenosis. Semin Vasc Surg 1996; 9: 172-81.

14. Prince MR, Yucel EK, Kaufman JA, Harrison DC, Geller SC. Dynamic gadolinium-enhanced threedimensional abdominal MR arteriography. *J Magn Reson Imaging* 1993; 3: 877–81.
15. Mittal TK, Evans C, Perkins T, Wood AM. Renal arteriography using gadolinium enhanced 3D MR angiography—clinical experience with the technique, its limitations and pitfalls. *The British Journal of Radiology* 2001; 74: 495–502.
16. Qanadli SD, Soulez G, Therasse E, Nicolet V, Turpin S, Froment D, Courteau M, Guertin MC, Oliva VL. Detection of Renal Artery Stenosis: Prospective Comparison of Captopril-Enhanced Doppler Sonography, Captopril-Enhanced Scintigraphy and MR Angiography. *AJR* 2001; 177: 1123–29.