

DOĞUMSAL KALP HASTALIKLARININ TANISINDA ve POSTOPERATİF DEĞERLENDİRMESİNDE MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEME

Prof. Dr. H. Barış DİREN, Y. Doç. Dr. Ümit BELET

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Samsun

Özet

Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) tetkik yöntemi; teknolojik gelişimini sürdürürken özellikle kalp ve damar hastalıklarının tanısında non-invaziv bir görüntüleme yöntemi olarak giderek artan oranlarda geniş bir kullanım alanı bulmaya başlamıştır. Bu inceleme tekniğinin özellikleri ve kalp-damar hastalıklarının değerlendirilmesinde sağladığı kolaylıklara yönelik son yıllarda son derece önemli çalışmalar yayınlanmaktadır. Bu derlemede MRG tetkik yönteminin doğumsal kalp hastalıklarının değerlendirilmesindeki yeri ve uygulama özellikleri yanında, cerrahi girişim uygulanan hastaların yaşam boyu takiplerindeki yeri ve katkıları son literatür bilgileri ışığında irdelenmiştir. (Türk Kardiyol Dern Arş 2003;31:687-99)

Anahtar kelimeler: Doğumsal kalp hastalıkları, kardiyak MR, manyetik rezonans görüntüleme, sine-kardiyak MR

Summary

Magnetic Resonance Imaging in the Evaluation of Congenital Heart Diseases and Postoperative Follow-up

Magnetic resonance imaging, with its lasting technological development has been widely used in the diagnosis of heart and vessel diseases as a non-invasive imaging method in an increasing manner. Salient data were accumulated in recent years on the characteristics and advantages of this imaging technique in the evaluation of cardiovascular diseases.

In this article, the role and practice of MRI in the diagnosis of congenital heart diseases as well as its importance in life-long follow-up and recheck of those patients operated in the early pediatric age were presented with a review of the literature. (Arch Turk Soc Cardiol 2003;31:687-99)

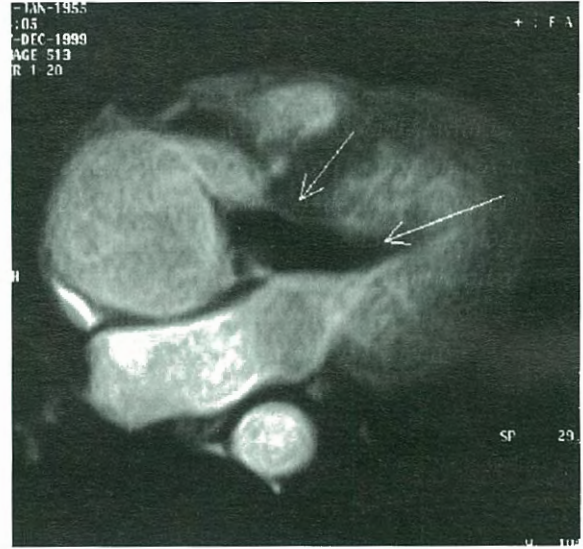
Key words: Congenital heart diseases, cardiac MR, cine-cardiac MR, magnetic resonance imaging

Manyetik rezonans görüntüleme (MRG)'nin kalp damar hastalıklarına yönelik en etkin uygulama alanlarının başında doğumsal kalp ve damar hastalıklarının non-invazif değerlendirilmesi

amacıyla yapılan kardiyak MR incelemeleri gelmektedir. Bu grup hastalıklarda MRG; kardiyak anatomi ve fonksiyonun etkin bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanıyarak kalp-damar

anomalilerinin erken tanı ve cerrahi tamir sonrası takiplerinde, non-invazif bir görüntüleme yöntemi olarak giderek klinik önemini arttırmaktadır⁽¹⁾. Karşılaştırmalı klinik araştırmalar, kompleks kardiyovasküler hastalığın cerrahi olarak düzeltilmesinden sonra, biventriküler fonksiyon ve büyük damar akımının değerlendirilmesinde MRG'nin diğer görüntüleme tekniklerine üstünlüğünü göstermiştir⁽¹⁾. Bu tür hastalarda ekokardiyografi; kosta ve göğüs deformasyonları, postoperatif skar dokusu varlığı ve interpoze akciğer dokusunun varlığı nedeni ile yetersiz kalabilmektedir. İnvazif olması ve radyasyona bağlı kısıtlılıkları nedeniyle kardiyak katete-rizasyon da postoperatif kardiyak anomalilerin rutin takibi için uygun değildir. Bununla birlikte değişik klinik tablolarda pulmoner basınçlar ve vasküler dirençle ilgili fizyolojik ölçüm değerlerine gereksinim duyulması halinde kardiyak kateterizasyon tek inceleme yöntemi olarak öne-mini korumaktadır. Kardiyak MRG, özellikle kompleks kalp damar anomalilerinin postoperatif değerlendirilmeleri ve takibinde ortaya koyacağı son derece yüksek çözünürlüğe sahip çok planlı anatomik görüntüler yanında, Cine-MR kayıtları, MR-Anjiyografi ve gerekli durumlarda uygulanabilecek perfüzyon-diffüzyon görüntüleme yöntem-leri ile invazif işlemlerin sayısını azaltmaya yar-dımcı olmaktadır⁽²⁾. Doğumsal kalp damar anomalilerinin değerlendirilmesine yönelik kardiyak MRG incelemelerinde spin-eko sekansları; kardiyak ve vasküler anatomisinin değerlendirilmesinde kullanılırken, gradient-eko sekansları, kanı "beyaz" gösterme özelliği ve hızlı görüntüleme yapabilmeleri nedeniyle ventriküler fonksiyonun değerlendirilmesi, stenozlardaki akım fenomeninin irdelenmesi ve valvüler hastalığı göstermede kullanılır⁽³⁾ (Şekil 1). Yine bu grup hastalarda büyük damarlardaki ve kapaklardan geçen akımın ölçülmesi; özellikle Doppler-eko ile rutin olarak ulaşılamayan vasküler alanlarda "akım izlenmesi-Flow mapping" tekniği ile kolaylıkla yapılabilir⁽⁴⁾. MRG ile aorta ve pulmoner dolaşımdaki akım direkt olarak ölçülebilir, böylece aortiko-pulmoner şant lezyonlarının değerlendirilmesi yapılabilir.

Örneğin, atriyal düzeydeki soldan sağa şantlar; aorta ve pulmoner arterdeki atım hacmi ölçülerek değerlendirilebilir.

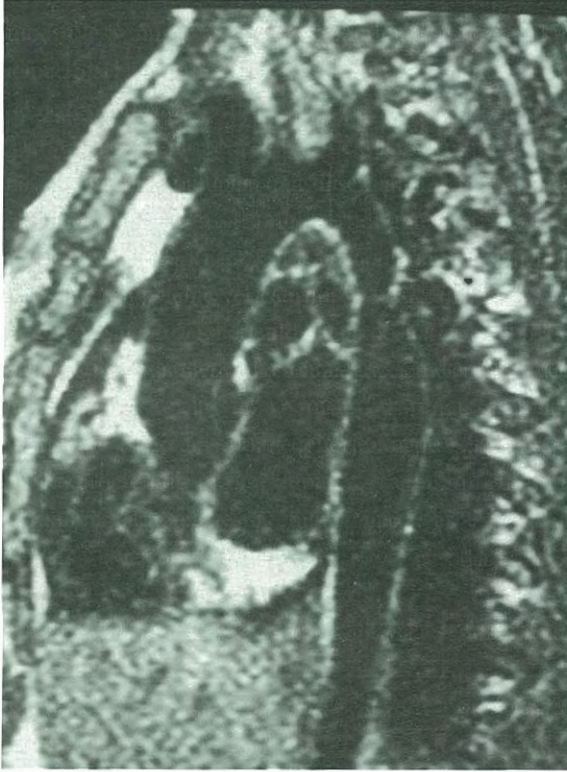


Şekil 1: Aort kapak yetersizliği. EKG tetiklemeli sine gradient eko uzun aks MR serisinde aort kapağından sol ventrikülüne gelişen geri akım sinyalsiz bir hat şeklinde izleniyor (oklar)

Doğumsal kalp damar anomalilerinde genel olarak MRG'nin uygulama alanları yanında, bazı özgün hastalık tablolarına yönelik özel endikasyonları ve buna dayalı uygulamalar da söz konusudur. Aşağıda bu grup hastalıklarda MRG uygulamaları sunulmuştur.

Aort Koarktasyonu: Günümüzde çocuklarda ve yetişkinlerde aort koarktasyonunun değerlendirilmesinde MRG'nin en etkin non-invazif tetkik yöntemi olduğu düşünülmektedir. Arkus hipoplazisi, bikuspid aortik kapak ve ventriküler septal defekt gibi eşlik eden anomaliler de aynı inceleme serisinde MRG ile değerlendirilebilir. MRG; kolayca uygulanabilen spin-eko T1 ağırlıklı anatomik görüntüleme serilerinin kullanımı ile koarktasyon yerini, arkus damarlarının tutulumunu, poststenotik dilatasyonu ve genişlemiş kollateral damarları kolaylıkla gösterir (Şekil 2). MRG bu grup olgularda aynı zamanda cerrahi tamir sonrası restenozun ve postoperatif psödoanevrizma gibi

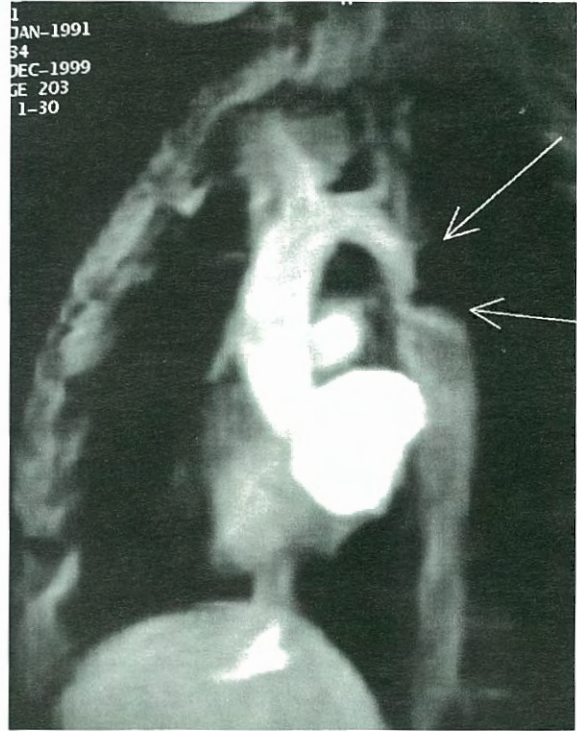
komplikasyonların değerlendirilmesi için de çok uygundur⁽⁵⁾.



Şekil 2: Aort koarktasyonu. Oblik sagittal planda elde olunmuş EKG tetiklemeli spin eko T1-ağırlıklı görüntüde aorttaki dar segment ve poststenotik genişleme net bir şekilde izlenebilmektedir

Toraksik aortayı daha ayrıntılı değerlendirmek için MR-anjiyografi, oldukça yararlı bir tekniktir. İntravenöz paramanyetik kontrast madde tatbiki ile özel inceleme serileri kullanılarak elde olunan "kontrastlı MR-anjiyografi" uygulamaları büyük çocuklarda ve yetişkinlerde artık rutin olarak yapılmaktadır⁽⁶⁾. Özel MR serilerinin geliştirilmesi sonucunda toraksik aortayı 20 saniyede görüntüleyebildiğimiz bu uygulamalar, bir çok merkezde rutin izlemler ve eko ile birlikte yapılan değerlendirmelerde kardiyak kateterizasyonun yerini almış bulunmaktadır (Şekil 3). Herhangi bir kontrast madde kullanmadan da Gradient-eko serileri ile elde olunan Cine-MR uygulamaları ile, koarktasyondan geçen jet akımı direkt olarak

tanımlanabilir ve bunun oluşturduğu akım sinyalsizliği (flow void) 'nin görüntü uzunluğuna bakılarak stenozun şiddeti tahmin edilebilir⁽⁷⁾.

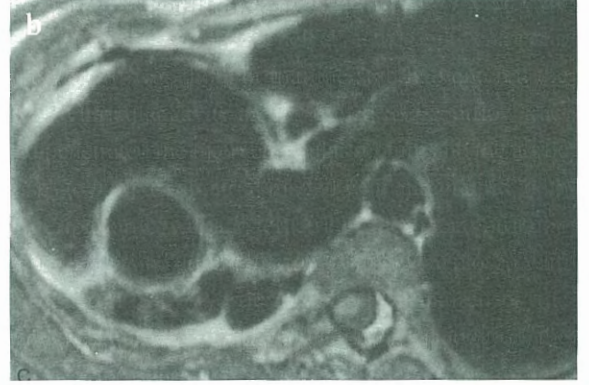
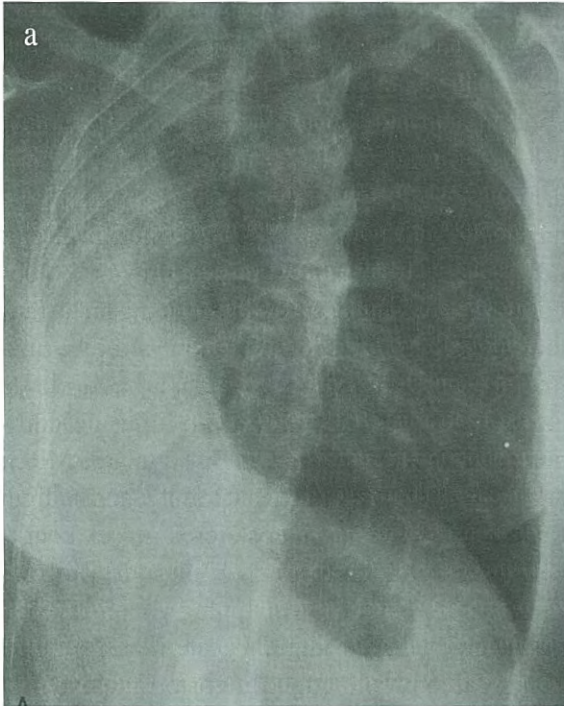


Şekil 3: Aort koarktasyonu. Hızlı görüntüleme serileri ile intravenöz paramanyetik kontrast madde enjeksiyonunu takiben elde olunan MR-anjiyogramda aorttaki darlık izleniyor

Psödokoarktasyon: Hemodinamik olarak belirgin bir obstrüksiyon olmadan isthmus düzeyinde daralma nonobstructing koarktasyon veya psödokoarktasyon olarak adlandırılmaktadır. Fetal dönemde ana akım arteryel duktus boyunca olduğundan bu normal bir bulgudur. Duktusun kapanmasından sonra, bu segment normal boyu-tuna ulaşmalıdır. Bu malformasyonda, arkus aorta da elongedir ve bu nedenle aorta kıvrılmış bir görünümle karakterize olmaktadır. Bu hastalarda MRG; arkus aorta anatomisini ve anatomik anormalliğin fonksiyonel sonuçlarını göstererek gerçek koarktasyon'la psödokoarktasyon'un ayırt edilmesinde yardımcıdır. Flow mapping yöntemi ile bir basınç gradienti olmadığını gösterilmesi yanında kollateral akım olmadığını gösterilmesi ayırıcı

tanının kardiyak kateterizasyona gerek kalmadan yapılmasını sağlayabilmektedir⁽⁸⁾.

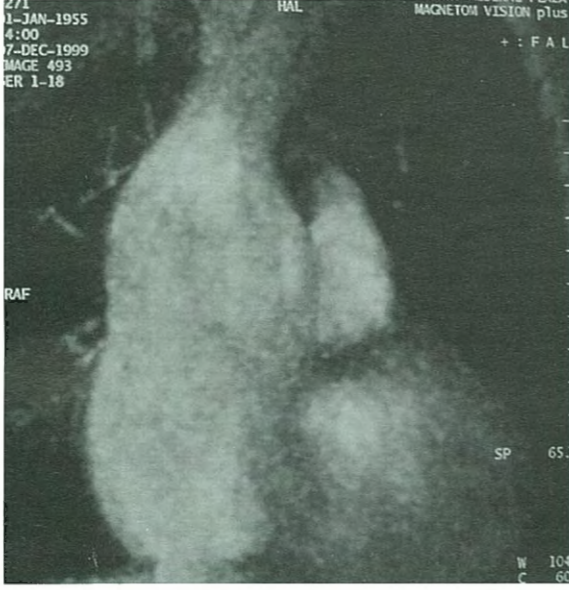
Vasküler halka (ring) anomalisi: Kardiyak MRG vasküler halkaların anatomisini detaylı olarak gösterebilmektedir. Özellikle aortik ark anomalileri ile bronş ağacı ve özofagus gibi çevre yapılar arasındaki ilişkinin ortaya konmasında MRG'nin diğer görüntüleme tekniklerine belirgin bir üstünlüğü vardır. Örneğin bir double (çift) aortik ark olgusunda hem trakea, hem de özofagusu çevreleyen vasküler yapının yol açtığı kompresyonu göstermede MRG mükemmel veriler ortaya koyar. Yine, anormal sol pulmoner arterin sağ pulmoner arterden çıktığı bir vasküler "sling" in tanısı için yardımcı olabilir. Anormal pulmoner damarlar geriye sol akciğere doğru trakea ile özofagus arasından geçerler (pulmoner sling anatomisi). Vasküler havayolu kompresyonu, sağ akciğer agenezisinin de eşlik ettiği hastalarda da bildirilmiştir. İşte bu gibi olgularda MRG, vasküler havayolu kompresyonu ve intrinsik havayolu stenozunun bir arada varlığını ortaya koyması nedeniyle cerrahi planlamada hayati bir önem taşıyabilmektedir⁽⁹⁾ (Şekil 4).



Şekil 4: Vasküler baskı. (A) Direkt akciğer grafisinde sağ pulmoner agenezise sekonder mediastinal yapıların sağ hemitoraksa yer değiştirmesi izleniyor. (B) Spin eko T1-ağrılıklı transvers düzlemde elde olunmuş MR görüntüsünde; sol ana pulmoner arterin trakea ve sol ana bronşun arkasından sol hemitoraksa yer değiştirmesi ve hava yollarına posteriorndan oluşturduğu baskı net olarak görüntülenmektedir (Okular) (Kaynak: Manning WJ, Pennel DJ (Eds). Cardiovascular magnetic resonance. Churchill Livingstone, New York, 2002;4:300)

Marfan Sendromu: Marfan sendromlu hastalarda aort anevrizmasının gelişmesi majör prognostik öneme sahiptir. Aortik anevrizma boyutları belli değerlere ulaştığında, yapılan profilaktik cerrahi yaşam süresinin uzamasına katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle hastaların çoğunda özellikle aort kökünde olmak üzere aort çapındaki değişiklikleri takip etmek için yıllık kontroller gerekir. Rutin olarak bu kontroller ekokardiyografi ile yapılır, fakat hem aort kökünün hem de Marfan sendromundaki özel durumlardan (göğüs deformiteleri gibi) kaynaklanacak engeller nedeniyle güvenilir görüntüleme için Kardiyak MR gerekebilir⁽¹⁰⁾. Bilgisayarlı tomografi de aortayı incelemek için yararlı olabilir fakat aortanın öne ve sola doğru eğilmiş pozisyonu nedeniyle sadece transvers kesitler yeterli olmayacaktır. Oblik transvers kesitler elde edebilmesi yanında EKG tetikleme sayesinde diastolik görüntüler elde etme ihtiyacını karşılaması nedeniyle, aort kökünün görüntülenmesinde kardiyak MR mükemmel bir inceleme yöntemidir⁽¹¹⁾ (Şekil 5). Aort boyutları standart spin eko T1 ağrılıklı

serilerle veya gadolinyumlu MR-Anjiyografi serileri ile noninvaziv şekilde büyük doğrulukla ölçülebilmektedir.

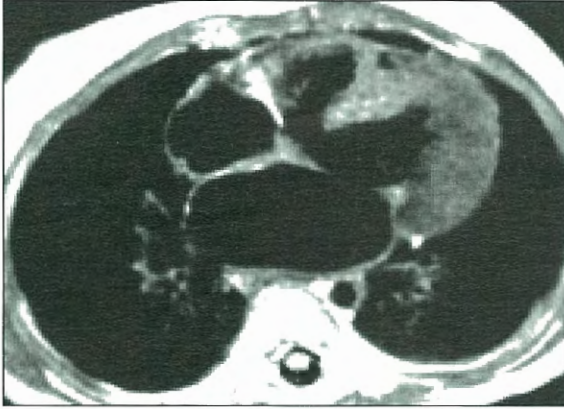


Şekil 5: Marfan sendromu. EKG tetiklemeli hızlı gradient eko serisi ile koronal planda elde olunan MR kesitinde aort kökündeki anevrizmatik genişleme izleniyor

Atrial Septal Defekt: Atriyal septal defekt (ASD) tanısında ekokardiyografi; en hızlı yöntem olması ve kolayca uygulanabilirliği yanında tanı için gerekli tüm bilgileri de ortaya koyabilmesinden dolayı ilk kullanılacak araçtır. MRG, ASD tanısında başvurulacak primer bir tanı yöntemi olmamakla birlikte kompleks kardiyak anomaliler araştırılırken eşlik eden bir ASD'nin varlığı sine gradient-eko teknikleri kullanılarak saptanabilir. Bu inceleme serilerinde septumdaki defekt anatomik olarak görüntülenebileceği gibi septumun sağ atriyal kesiminde soldan sağa şant nedeniyle oluşan jet akıma bağlı düşük sinyalin görülmesi karakteristiktir. Defektin çapı, sine MR görüntülerinden transseptal akımın maksimum genişliği ölçülerek saptanabilir⁽¹²⁾. Bazı hastalarda soldan sağa şantın değerlendirilmesinde MR, şantın bir tarafından diğer tarafına olan akımın şiddetini tespit ederek, patolojinin fonksiyonel önemini derecesinin irdelenmesinde katkı sağlayabilir⁽¹³⁾.

Ventriküler Septal Defekt: ASD de olduğu gibi ventriküler septal defekt (VSD) tanısında da ilk seçilecek yöntem ekokardiyografidir. Ancak yapılan karşılaştırmalı araştırmalar, karmaşık malformasyonlardaki VSD'lerde, patolojinin çevre yapılarla, özellikle de atriyoventriküler (AV) kapaklarla ve büyük arterlerle, uzaysal ilişkisinin ortaya konmasında MRG'nin ekokardiyografiye üstün olduğunu göstermiştir⁽¹⁴⁾. Ayrıca, MRG soldan sağa şantın miktarını da tam olarak belirleyebilir. VSD'nin yerini tespit etmek için spin eko sekansları ile anatomik plan görüntü serileri kullanılır. VSD tiplerinin tanımlanması için 3 ortogonal planda elde olunan kesitlerle VSD'nin şekli ve boyutları net olarak incelenebilir. Büyük damarlarla olan uzaysal ilişkilerin ortaya konmasına gereksinim olduğunda bu görüntülere ek olarak VSD'ye paralel elde edilen oblik görüntüler inceleme serisine eklenmelidir (Şekil 6). Gradient-eko serileri, VSD içinden geçen türbülant kan akımının neden olduğu jeti görmek için kullanılır. MR, aynı inceleme serisinde aorta ve pulmoner trunkus içindeki akım volümlerinin ölçülmesinde de çok uygundur ve bu ölçümlerden şant oranı çıkarılabilir. Böylece soldan sağa şantın hemodinamik önemi objektif verilerle incelenebilir ve VSD'nin tedavi protokolünün oluşturulmasında klinisyene büyük katkı sağlar⁽¹⁵⁾.

Anormal Pulmoner Venöz Dönüş: Normal kalpte pulmoner venlerin sol atriyuma girişleri MR ile transverse planda elde olunan serilerde açıkça görülebilir. Total veya parsiyel anormal pulmoner dönüş anomalilerinde pulmoner venler ve bunların sağ atriyum ya da sistemik venlere girişleri ayırt edilebilir (Şekil 7). Vasküler yapıların seyirleri ve kalp kompartmanları ile olan ilişkilerinde ayrıntılı bilgi gerektiğinde kontrastlı MR incelemeleri ile birlikte sine MR serileri anormal pulmoner drenajın gösterilmesinde özellikle yardımcıdır ve konvansiyonel kardiyo-anjiyografik incelemenin yapılmasının sınırlandığı olgularda tercih edilebilecek etkin bir tanı aracı olarak giderek artan bir önem kazanmaktadır⁽¹⁶⁾.



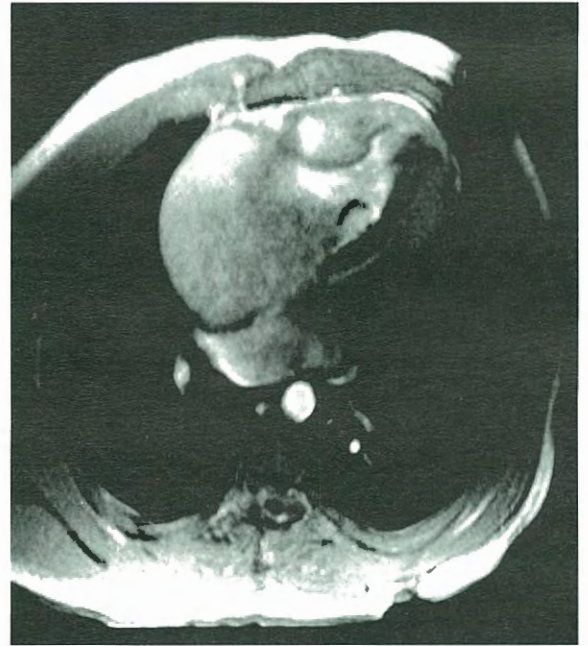
Şekil 6: Ventriküler septal defekt. EKG tetiklemeli T1-ağırlıklı spin eko transvers MR kesitinde interventriküler septumdaki defekt izleniyor



Şekil 7: Anormal pulmoner venöz dönüş. (A) Kontrastlı MR-anjiyografi serisinde elde olunan koronal düzlemleri kesitte sağ atriuma açılan sağ üst ve alt pulmoner venler izleniyor (beyaz oklar). Ayrıca hastada mevcut ASD de bu görüntüde net olarak izlenebilmektedir (içi boş ok). (B) Bir başka hastada EKG tetiklemeli spin eko T1-ağırlıklı transvers düzlemde elde olunmuş MR kesitinde yine sağ atriuma açılan sağ alt pulmoner ven izleniyor

Kalp kapak hastalıkları: Edinsel nedenlerle oluşan fonksiyonel bozukluklar dışında kalan kalp kapak anormallikleri, ya doğrudan bir doğumsal malformasyon olarak ya da doğumsal kompleks kardiyak anomalilerin cerrahi tedavileri sonrasında gelişen bir tablo olarak görülebilirler. MRG'nin avantajı hem anatomik kapak anormalliklerinin gösterilmesi hem de fonksiyonel kapak anormalliklerinin değerlendirilmesi için kullanılabilirliği⁽¹⁷⁾. Sıklıkla görülen anatomik kapak anormallikleri kapaklardan birinin atrezisi, Ebstein anomalisi, bikuspid semilunar kapak, tek AV kapak

ve doğumsal mitral kapak malfor-masyonlarıdır. Bu kapak anormalliklerinin bir sonucu olarak oluşan hem stenoz hem de rejurjitasyon akım izleme (flow mapping) serileri ile MRG' de ölçülebilir (Şekil 8). Stenoz distalinde kan akımının maksimum hızının ölçülmesi stenoz üzerindeki basınç gradientinin tahmin edilmesini sağlar ve stenozun şiddetini gösterir. Bir kapağın yetersizliği söz konusu olduğunda ileri ve geri akım volümü ölçülebilir, böylece regürjite olan volümün ölçülmesini sağlar⁽¹⁸⁾.



Şekil 8: Kalp kapak anomalisi (Ebstein anomalisi). Transvers düzlemde elde olunmuş EKG tetiklemeli sine gradient eko MR görüntüsünde; sağ atriyumda ileri derecede dilatasyon, triküspid kapak yapraklarının sağ ventrikül içine prolapsusu ve triküspid kapak yetersizliği nedeniyle sağ atriyuma kanın rejurjitasyonu görülüyor

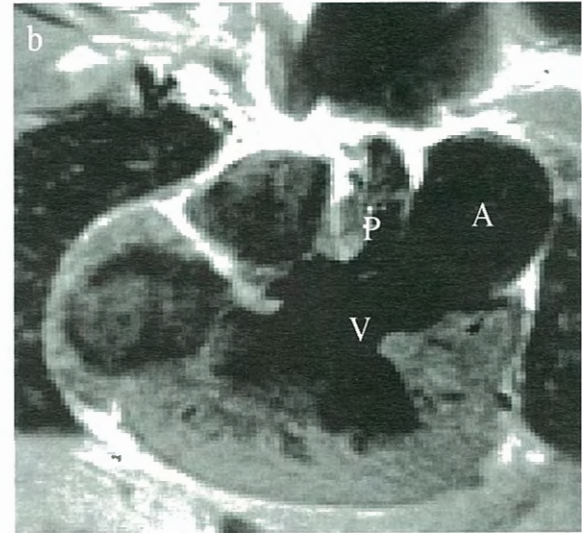
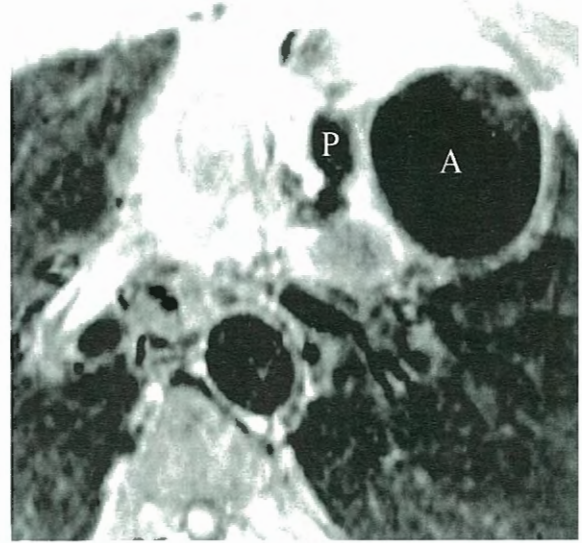
Büyük arterlerin transpozisyonu: Büyük arterlerin transpozisyonu siyanotik konjenital kardiyak malformasyonların en sık görülen nedenlerinden biridir. MRG'nin pek çok çalışmada, transpozisyonun ve atriyo-ventriküler bileşkenin diğer anormalliklerinin pato-anatomisini doğru olarak tanımladığı gösterilmiştir⁽¹⁹⁾. Kalp tabanındaki normal büyük

arter anatomisinin MRG ile değerlendirilmesinde; aorta posteriorda ve pulmoner arterin sağında yer alır. Normal anatominin aksine transpozisyonunda kalp tabanından geçen aksiyal görüntüler aortanın ana pulmoner artere göre anterior pozisyonda olduğunu gösterir. Aorta D-transpozisyonunda pulmoner arterin sağında, L-transpozisyonunda pulmoner arterin solunda yer alır. Büyük damarların transpozisyonu olan hastalarda sagittal görüntüler; morfolojik sağ ventrikülden kaynaklanan anterior aortayı ve morfolojik sol ventrikülden kaynaklanan posterior pulmoner arteri gösterir. Büyük damarların L-transpozisyonundaki anatomik özellikler EKG-gated aksiyal spin-eko MR kesitlerinde net olarak gösterilebilir. Koronal planda sol yerleşimli asendan aorta tipik olarak L-transpozisyonla üst kalp sınırını oluşturur⁽¹⁹⁾ (Şekil9).

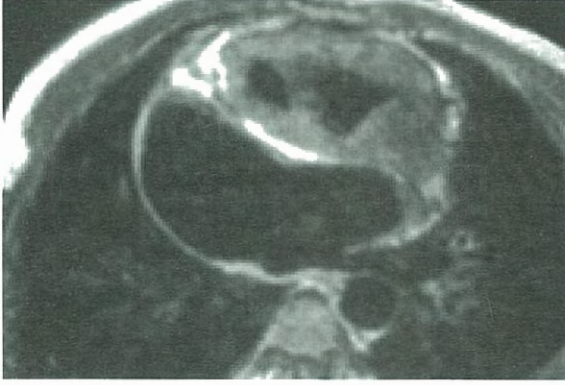
MRG'nin önemli bir avantajı da transpozisyon olgularında, birlikte görülen diğer anomalileri de gösterebilmesidir. Aksiyal sine MR kesitleri atriyal ve ventriküler septal defektlerin varlığını ve şiddetini değerlendirebilir. Ek olarak, valvüller ve subvalvular stenozun şiddeti ve pulmoner arter stenozu veya atrezisi kardiyak manyetik rezonans (KMR) ile saptanabilir. Yine bu hastalarda sol ventrikül ile sağ ventrikül tanımlaması ventrikül duvarının kas kalınlığı ve şeklinin görüntülenmesi ile doğru olarak yapılabilir. Bu açıdan MRG; ventriküler tanımlamanın yapılmasında en kesin yöntem olarak kabul edilmektedir. Bundan dolayı, bir arteriyel switch operasyonu düşünülen çocuklarda ve yetişkinlerde ameliyat öncesi sol ventrikül tanımlamasını yapmak için kardiyak MR incelemesinin yapılması özellikle önerilmektedir⁽²⁰⁾.

Çift çıkışlı sağ ventrikül: Çift çıkışlı sağ ventrikül hem aorta, hem de pulmoner arterin yarısından fazlasının morfolojik sağ ventrikülden kaynaklandığı bir anormal atriyo-ventriküler bağlantı anomalisi olarak tanımlanır. Aksiyal MR görüntülerinde bu anomali tipik olarak

semilunar kapakçık düzeyinde büyük arterlerinin, aorta pulmoner arterin sağında olacak şekilde, yan yana durmalarıyla karakterizedir. Transverse kesitlerde sağ ventrikülün çıkış bölgesinde yan yana duran 2 musküler halkanın görülmesi çift çıkışlı sağ ventrikül anomalisi için tanı koydurucudur⁽²¹⁾ (Şekil 10).



Şekil 9: Büyük damarların transpozisyonu. (A) Transvers düzlemde elde olunmuş EKG tetiklemeli spin eko T1-ağırlıklı görüntüde hipoplastik pulmoner arterin (P) solunda yer alan aorta görülüyor. (B) Aynı teknikte elde olunmuş koronal kesitte geniş VSD (V) ve sol tarafta yerleşen aorta (A) izleniyor



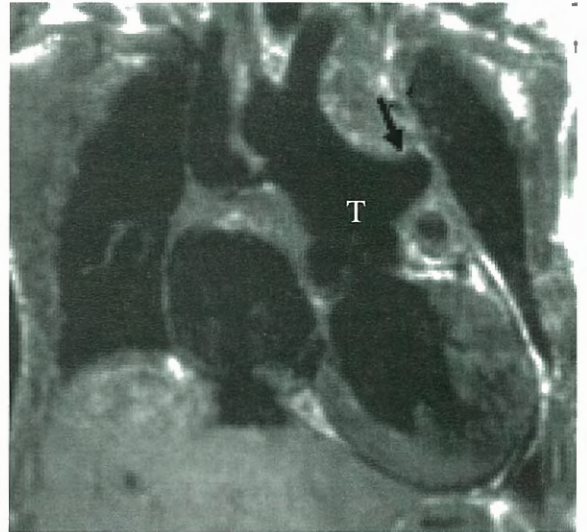
Şekil 10: Çift çıkışlı sağ ventrikül. Transvers düzlemde elde olunmuş EKG tetiklemeli spin eko T1-ağırlıklı MR kesitinde sağ ventrikülden çıkan aort ve ana pulmoner arter net olarak izleniyor (beyaz ok aorta, siyah ok ana pulmoner arter). Her iki damarı çevreleyen musküler yapıya dikkat ediniz.

Koronal görüntüler aorta ve pulmoner arteri semilunar kapaklar düzeyinde yan yana ilişkilerini ve sağ ventrikülden orijinlerini gösterir. Sol ventrikül semilunar kapaklardan ayrıdır ve bu durumda sol ventrikülün tek çıkışı VSD'dir. Yeterli bir cerrahi onarım planı yapmak için VSD'nin büyük damarlarla olan ilişkisini değerlendirmek gerekir. Bu ilişki aksiyel MR görüntülerde açık olarak saptanabilir. MRG, 3 düzlemde elde edebildiği yüksek rezolüsyonlu anatomik görüntülerle VSD'nin büyük damarlara göre boyutunu ve yerleşimini tespit etmekte yanında subpulmoner ve/veya subaortik stenozun irdelenmesinde, büyük damarların uzaysal ilişkilerinin gösterilmesinde ve pulmoner arterlerle arkus aortanın durumunu tanımlamada son derece yararlıdır. Ayrıca, çift çıkışlı sağ ventrikül anomalisinin sağ AV kapak atrezisiyle birlikte görülmesi söz konusu olabilir. Bu durum cerrahiye etkileyeceği için böyle olgularda aksiyel planda her iki AV kapağı göstermek çok önemlidir⁽²¹⁾.

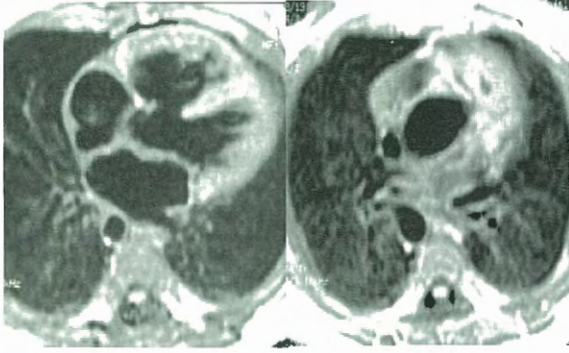
Trunkus arteriozus: Embriyonik trunkusun ayrı aorta ve pulmoner artere bölünmemesinden kaynaklanan bu anomalide, hemen VSD'nin üzerinde semilunar kapakların beklenen pozisyonundan çıkan tek bir büyük damar bulunmaktadır. Aksiyel, sagittal ve koronal düzlemde elde olunacak MR görüntülerinde bu anomali net olarak ve kolayca

gösterilebilir. Anatomik değerlendirme için aksiyel spin-eko serileri yeterlidir. Sagittal ve koronal planlar pulmoner arterlerin trunkustan orijinini göstermede yararlıdır. Ayrıca MR aynı inceleme serisinde, ventrikül boyutunu ve duvar kalınlığını, VSD, sağ aortik ark ve/veya kesintiye uğramış (interrupted) aortik ark gibi eşlik eden anomalileri gösterebilir⁽²²⁾. MRG özellikle Rastelli operasyonu uygulanmış hastalarda sağ ventrikül ile pulmoner arter arasındaki conduit'in kalibrasyonunun postoperatif değerlendirilmesinde en etkili yöntemdir. Conduit'in daralması, sağ ya da sol pulmoner arterlerin orijinindeki stenozlar ve psödoanevrizmalar MR ile kolaylıkla gösterilebilecek komplikasyonlardır⁽²³⁾ (Şekil 11).

Fallot tetralojisi: Tüm kalp ve pulmoner hiluslar boyunca elde olunacak EKG-gated spin-eko ardışık transverse MR kesitlerinden oluşan bir inceleme serisi;⁽¹⁾ Sağ ventrikül hipertrofisini,⁽²⁾ genişlemiş ve anteriora yer değiştirmiş aortayı,⁽³⁾ membranöz VSD'yi ve⁽⁴⁾ infundibulum, pulmoner annülüs, ve ana ve santral pulmoner arterlerdeki birden çok düzeydeki daralmaları gösterir^(1,3) (Şekil 12).



Şekil 11: Trunkus arteriozus. Koronal düzlemde elde olunmuş EKG tetiklemeli spin eko T1-ağırlıklı MR kesitinde kalpten çıkan tek büyük damar şeklinde trunkus izleniyor (T). Pulmoner arter ise bu yapının proksimal segmentinin solundan orijin almaktadır (ok)



Şekil 12: Transvers düzlemde elde olunmuş EKG tetiklemeli spin eko T1-ağırlıklı MR kesitlerinde (A) geniş VSD ile birlikte sağ ventrikül duvarındaki hipertrofi izleniyor. Ayrıca arkus aortanın sağ yerleşimli olması nedeniyle desendan aorta sağ paravertebral lokalizasyonda görülüyor. (B) Aynı olguda daha üst seviyeden elde olunan transvers kesitte asendan aorta geniş olup pulmoner atrezi görülüyor. Desendan aorta çevresinde geniş kollateraller ve buna ikinci gelişmiş aortada oval konfigürasyon dikkati çekiyor

İfundibulum ve pulmoner annulusun ayrıntılı görüntülemesi için sagittal kesitler elde olunmalıdır. Şiddetli pulmoner stenoz ve atrezide genellikle desendan aortadan çıkan ve pulmoner hiluslara uzanan fazla sayıda ve geniş kollateral damarlar vardır. Bu damarlar akıma-hassas transversal sine gradient eko MR kesitlerinde karına düzeyinde gösterilebilir. Santral pulmoner arterlerin stenozu tetralojide siktir⁽²⁴⁾. Bu stenozlar en iyi sağ ve sol pulmoner arterlerin uzun akslarına paralel bir planda elde edilen 3 mm kalınlığındaki çok ince MR kesitleri üzerinde gösterilir. Görüntü düzlemi sağ ve sol pulmoner arterin uzun aksına paralel olmalıdır. Fallot tetralojisi olan yetişkin hastaların çoğunluğu bir ya da daha fazla düzeltici operasyon geçirmiştir. Cerrahiden sonra bu hastaların izleminde MRG ideal bir tekniktir. Sine MR serilerinde sağ ventrikül volümlerini ve ejeksiyon fraksiyonu kolayca izlenebilir. Velocity-encoded sine MR serileri anomalinin total düzeltilmesinden sonra hastaların çoğunda oluşan pulmoner rejurjitasyonu takip etmede

kullanılır⁽²⁴⁾.

Tetralojide sağ ventrikülün fonksiyonel yetersizliği olabilir. Sağ ventrikül kitlesi ve fonksiyonları yani ejeksiyon fraksiyonu ve atım hacmi tüm sağ ventrikülü içeren kalbin kısa aksında elde edilen ardışık sine MR görüntülerinden kolaylıkla hesaplanabilir⁽²⁵⁾. Böyle hesaplanan fonksiyonel yetersizlikleri EKG'deki QRS kompleksinin genişliği ile ilintili olduğu gösterilmiştir.

Kompleks ventriküler anomaliler (Tek ventrikül)

Kardiyak MR incelemesinin kompleks ventrikül anomalilerindeki temel hedefleri;

1. Visseral situsun tespiti
2. Ventriküler halkanın, baskın ventrikül (sağ, sol, veya primitif) morfolojisinin ve rudimenter ventrikülün pozisyonunun değerlendirilmesi
3. AV ve VA bağlantıların tanımlanması
4. İnterventriküler defektin boyutunun tespiti
5. Sistemik ve pulmoner venlerin ve arterlerin bağlantılarının tanımı

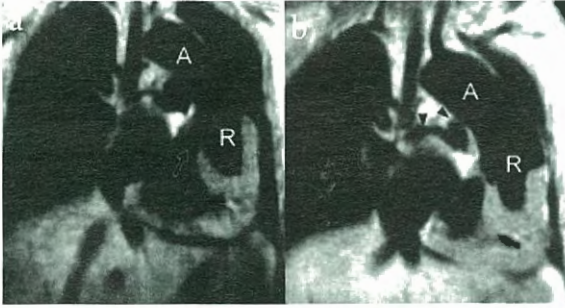
olarak özetlenebilir⁽²⁶⁾. Aksiyal EKG-gated spin-eko MR serileri bu gibi olgularda anomalilerin değerlendirilmesi için en yararlı tekniktir (Şekil 13). Stenozlar ve rejurjitasyon sine MR serilerinde türbülant kan akımı içindeki spinlerin dephasing'inin neden olduğu sinyalsiz alanlar (flow-void) olarak görülür.

Dominant sol ve dominant sağ ventrikül arasındaki ayırım aksiyal ve koronal MR görüntülerinde kolayca yapılabilir. Dominant ve rudimenter ventrikül arasındaki ilişki hem T1 ağırlıklı spin-eko hem de sine MR serileri ile değerlendirilebilir.

Konjenital kalp hastalıklarında postoperatif değerlendirme:

Bugün çeşitli palyatif ve düzeltici işlemlerden sonra yetişkin dönemine kadar yaşayan binlerce konjenital kalp hastalığı olan hasta vardır. Bu hastaların görüntüleme yöntemleriyle düzenli

aralıklarla izlenmesi gerekir. Bu işlem için ilk başvurulanan tetkik genellikle ekokardiyografidir, fakat bu yöntem yetişkinlerde her zaman çok etkili değildir. Dahası pek çok cerrahi işlem suprakardiyak ve de ekstrakardiyak çalışmaları gerektirir. Suprakardiyak yapılar bazen ekokardiyografi ile iyi gösterilemediği için, MRG büyük çocukların ve yetişkinlerin postoperatif izlemlerinde daha kapsamlı ve non-invazif etkin bir görüntüleme yöntemi olarak kabul edilmektedir (27-29).



Şekil 13: Kompleks kardiyak anomali. Koronal düzlemde elde olunmuş EKG tetiklemeli spin eko T1-ağırlıklı MR kesitlerinde (A) geniş bir dominant sol ventrikülün bulboventriküler foramenle (ok) hipoplazik bir sağ ventriküle (R) ilişkilendiği görülmüştür. Ayrıca aorta (A) L-transpozisyon göstermekte olup doğrudan sağ ventrikülden çıkmaktadır. (B) Hastada ayrıca pulmoner valvular atrezi mevcudiyeti ile birlikte ana pulmoner arterin ileri derecede hipoplazik olduğu (ok başları) net olarak ortaya konabilmektedir

MRG, sadece kardiyak ve ekstrakardiyak morfolojiyi gösterebilmekle kalmayıp, aynı zamanda pulmoner arterler ve conduitlerin de içindeki kan akımının incelenmesinde gerekli bulguları net olarak görüntüler. Ekokardiyografi ile karşılaştırıldığında MRG, özellikle büyük arterler düzeyinde uygulanan conduitleri ve anastomozları daha üstün gösterme avantajına sahiptir ve ekokardiyografik incelemeyi güçleştirebilen cerrahi sonrası değişikliklerden veya graft materyalinden etkilenmez. Yine MRG'nin postoperatif pulmoner arteriyel anatomi ve akımın durumunun izlenmesinde son derece etkili olduğu ve ekokardiyografiye üstün olduğu

bulunmuştur.

Mustard işleminin postoperatif takibinde koronal planda elde olunacak sine gradient eko MR serileri, sistemik venöz obstrüksiyonun en sık yeri olan superior sistemik venöz kanalın değerlendirilmesi için özellikle yararlıdır. Sagittal ve aksiyal planlar pulmoner venöz dönüşün obstrüksiyonunu veya pulmoner venöz atriyumun dorsal ve ventral kesimleri arasındaki bağlantıdaki darlığı ortaya koyabilir⁽³⁰⁾.

Mustard ve Senning işlemleri sonrasında MRG; sağ ventrikül kitlesinin, volümlerinin, atım (stroke) volümünün ve ejeksiyon fraksiyonunun değerlendirilmesinde kullanılabilir. Sine MR serileri triküspid regürjitasyonun tespitinde ve şiddetinin kalitatif tahmininde de yararlıdır⁽³¹⁾.

MRG, transpozisyonun cerrahi onarım sonrası hastaların uzun dönem takiplerinde önemli role sahiptir. Atriyal switch işleminden sonra gelişebilecek aldatici sızıntıları, sol ventrikül çıkımındaki obstrüksiyonu ve triküspid regürjitasyonu gibi olası çeşitli komplikasyonları kolayca ve non-invaziv olarak değerlendirmede yararlı olmaktadır. Jatene işleminden sonra büyük damarların anatomisini değerlendirmek için transvers ve sagittal spin-eko görüntüler kullanılır. Bu işlem sıklıkla yenidoğan döneminde gerçekleştirildiğinden ince 3 mm lik kesitler tercih edilir. Postoperatif aortanın pulmoner arter posteriorundaki pozisyonu aksiyal MR kesitlerinde açıkça gösterilebilir. Böylece sağ ve/veya sol pulmoner arterin bir proksimal stenozu net olarak değerlendirilebilir. Ayrıca bu serilerde MRG; sağ ventrikül çıkışındaki daralmalar, aort kökünün dilatasyonu ve supralvalvular aortik stenoz gibi diğer komplikasyonları da gösterebilir. Ekokardiyografi ile karşılaştırıldığında MRG'nin sağ ventrikül çıkımındaki stenozu göstermede eş olduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte, MRG proksimal pulmoner arter stenozunun tespitinde daha üstündür (Yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda bu konuda ekokardiyografinin doğru tanı oranı % 41 MRG'nin ise % 94 olarak bulunmuştur) ⁽²⁴⁾. Fontan işlemi için ana endikasyonlar triküspid atrezi veya ağır stenoz, tek ventrikül ve hipoplastik

sol kalptir. Bu olgularda MRG, atriopulmoner bağlantının boyutunu göstermek ve pulmoner ağaçtaki obstrüksiyonun varlığını tespit etmek için kullanılabilir. Bu amaç için aksiyal ve koronal görüntüler genellikle yeterlidir. Conduitin obstrüksiyonunun yanı sıra, Fontan operasyonunun komplikasyonları olan rezidual atrial septal defektler ve sistemik venöz hipertansiyon MRG ile incelenebilir. Rezidual atrial septal defekt sine MR ile tanınabilir; sistemik venöz hipertansiyon sağ atriyal genişleme, venöz staz, plevral ve peritoneal effüzyonlar ve pulmoner ödeme karakterize olur. Şiddetli sağ atriyal genişleme sol atriyum girişindeki sağ pulmoner venlere bile bası yapabilir. Prognozun bir major göstergesi olarak kabul edildiği için Fontan rekonstrüksiyonuna giden hastalarda pulmoner arterlerin boyutunun tespiti önemlidir. MRG' nin bu hastalarda pulmoner arter boyutunu tespit etmede yararlı olduğu ve ekokardiyografiye üstün olduğu gösterilmiştir⁽³²⁾.

Pulmoner atrezinin onarımı, sağ ventrikül ve ana pulmoner arter arasına bir kapaklı konduit yerleştirilerek de gerçekleştirilebilir (Rastelli conduit). Sagittal MRG görüntüleri sağ ventriküle yapılan proksimal anastomozu ve pulmoner artere yapılan distal anastomozu göstermede en etkilidir. Olası komplikasyonlardan birisi olan conduitin stenozu EKG-gated sine gradient eko serileri ile kolayca görüntülenir⁽³³⁾.

Genel olarak post-operatif doğumsal kalp hastalığının morfolojik değerlendirilmesinde spin-eko MR serileri kullanılırken, sine MR ve "velocity-encoded" sine MR serileri cerrahi kaçakların, konduitlerin ve valvüler fonksiyonun değerlendirilmesini sağlarlar. Transpozisyon için Mustard veya Senning operasyonu geçiren hastalarda, sine MR serileri pulmoner ve sistemik venöz bağlantıları, sağ ventrikül fonksiyonlarının incelenmesini, triküspid ve mitral regürjitasyonlarının değerlendirilmesini yapabilir. Velocity-encoded sine MR ile akım ölçülmesi Mustard veya Senning işleminden sonra venoatriyal bağlantıların değerlendirilmesinde oldukça yararlı olmuştur. Bu teknik aynı zamanda anormal

triküspid akım paternleri gösteren Mustard veya Senning operasyonlu hastalarda triküspid volüm akımını değerlendirmede başarıyla kullanılmaktadır. Velocity-encoded sine MR; Fontan cerrahisinden sonra pulmoner akım volümü ve hızıyla ilgili de kesin bilgiler sağlar ve operasyon sonrası dönemde hastalarda var olan retrograd akım volümünün değerlendirilmesi için kullanılabilir⁽³¹⁾.

Doğumsal kalp hastalığında kalp fonksiyonlarının MRG ile değerlendirilmesi: Tedavi edilmeyen veya onarılmış doğumsal kalp hastalığı olan kişilerde sine MR ve velocity-encoded sine MR teknikleri ile elde olunan inceleme serileri; sol ve sağ ventrikül fonksiyonlarının ve volümetrik akımın incelenmesinde başvurulabilecek etkin ve non-invazif bir tetkik yöntemidir. Standart veya nefes tutularak yapılan sine MR serileri, sine loop olarak izlenen, kardiyak siklus boyunca ardışık görüntüler sağlar. Sine MR normal kan akımının olduğu alanlarda yüksek sinyal intensitesi gösterir. Fakat stenozda, rejurjitasyonda veya şant lezyonlarında gelişen türbülant akım kan havuzu içinde bir sinyal kaybına (flow-void) neden olur, böylece bu lezyonların sine MR serilerinde kolaylıkla görülmesini sağlar. Ayrıca, LV ve RV kitleleri ve fonksiyonu 3-D sine MR kullanılarak tam olarak gösterilebilir. Her iki ventrikülü kapsayan end-diastolik ve end-sistolik kesitlerden elde edilen görüntüler RV ve LV kitesininin, volümlerinin, atım volümünün ve ejeksiyon fraksiyonunun ölçülmesini sağlar⁽³⁴⁾.

Ventriküler atım hacmindeki farklılıklar valvüler rejurjitasyonun ve şant lezyonlarının nitelen-dirilmesinde kullanılabilir. Ventriküler volümlerin ve fonksiyonun değerlendirilmesi seri görüntülerde yapılabilir.

Velocity-encoded sine MR aort ve pulmoner arter akımının direkt ölçümünü sağlar ve böylece her iki ventrikülün efektif atım volümleri ölçülebilir. Valvular rejurjitasyonun olmadığı durumlarda bu yöntem şant volümlerinin hesaplanmasında da kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. Gutierrez FR, Siegel MJ, Fallah JH, Poustchi-Amin M: Magnetic resonance imaging of cyanotic and noncyanotic congenital heart disease. *Magn Reson Imaging Clin N Am.* 2002;10:209-35
2. Kinney JB, Rovira MJ, Sahn DJ, Lupinetti FM, Gilman MD, Wexler L: MRI of congenital heart disease: a paradigm of collaboration. New suggestions for a team approach from Madigan Army Medical Center. *J Cardiovasc Magn Reson* 2002;4:369-72
3. De Roos A, Robergen SA, Van der Wall EE: Congenital heart disease assessed with magnetic resonance techniques. In Skorton DJ, Schelbert HR, Wolf GL, Brundage BH (eds). *Marcus Cardiac Imaging, A companion to Braunwald's Heart Disease.* Philadelphia, WB Saunders, 1996
4. Duerinckx AJ. Cardiac MRI for clinicians: an overview. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2001;17:437-43
5. Von Schulthess GK, Higashino SM, Higgins SS, et al: Coarctation of the aorta: MR imaging. *Radiology* 1986; 158:469-74
6. Prince MR, Narasimham DL, Jacoby WT et al: Three-dimensional gadolinium-enhanced MR angiography of the thoracic aorta. *AJR* 1996;166:1387-97
7. Mohiaddin RH, Kilner PJ, Rees S, Longmore DB: Magnetic resonance volume flow and jet velocity mapping in aortic coarctation. *J Am Coll Cardiol* 1993;22:1515-21
8. Steffens JC, Bourne MW, Saluma H, et al: Quantification of collateral blood flow in coarctation of the aorta by velocity encoded cine magnetic resonance imaging. *Circulation* 1994;90:937-43
9. Newman B, Gomdor M: MR evaluation of right pulmonary agenesis and vascular airway compression in pediatric patients. *AJR* 1997;168:55-8
10. Roman MJ, Rosen SE, Kramer-Fox R, Devereux RB: Prognostic significance of the pattern of aortic root dilation in the Marfan syndrome. *J Am Coll Cardiol* 1993;22:1470-6
11. Tempany CM, Zerhouni EA: Clinical magnetic resonance imaging of the vascular system. *Top Magn Reson Imaging* 1990;2:13-30
12. Thiessen P, Sechtem U, Mennicken U, et al: Noninvasive diagnosis of atrial septal defects and anomalous pulmonary venous return by magnetic resonance imaging. *Nuklearmedizin* 1989;28:172-7
13. Hartnell GG, Sassower M, Finn JP: Selective presaturation magnetic resonance angiography: New method for detecting intracardiac shunts. *Am Heart J* 1993;126: 1032-4
14. Didier D, Higgins CB: Identification and localization of ventricular septal defect by gated magnetic resonance imaging. *Am J Cardiol* 1986;57:1363-8
15. Beerbaum P, Körperich H, Barth P, et al: Non-invasive left-to-right shunt in pediatric patients: Phase contrast cine magnetic resonance imaging compared with invasive oximetry. *Circulation* 2001;103:2476-82
16. Ferrari VA, Scott GH, Holland GA, et al: Ultrafast three-dimensional contrast enhanced magnetic resonance angiography and imaging in the diagnosis of partial anomalous pulmonary venous drainage. *J Am Coll Cardiol* 2001;27:1120-8
17. Colletti PM, DeFrance A, Tak T, Boswell WD Jr, Chandraratna PA: Cardiac MRI cine and color Doppler in valvular disease: correlative imaging. *Magn Reson Imaging.* 1991;9:343-7
18. Kinler PHJ, Manzara CC, Mohiaddin RH et al: Magnetic resonance jet velocity mapping in mitral and aortic valve stenosis. *Circulation* 1993;87:1239-48
19. Guit GL, Bluemm R, Rohmer J et al: Levotransposition of the aorta: identification of segmental cardiac anatomy using MR imaging. *Radiology* 1986;161:673-9
20. Geva T, Wesley Vick G III, Wendt RE, Rokey R: Role of spin echo and cine magnetic resonance imaging in presurgical planning of heterotaxy syndrome. *Circulation* 1994;90:348-56
21. Mayo JR, Roberson D, Sommerhoff B, Higgins CB: MRI of double outlet right ventricle. *J Comput Assist Tomogr* 1990;14:336-9
22. Donnely LF, Higgins CB: MR imaging of conotruncal abnormalities. *AJR* 1996;166:925-8
23. Martinez JE, Mohiaddin RH, Kinler PJ et al: Obstruction of extracardiac ventriculopulmonary conduits: Value of nuclear magnetic resonance imaging with velocity mapping and Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1992;20:338-44
24. Duerinckx AJ, Wexler L, Banerjee A et al: Postoperative evaluation of pulmonary arteries in congenital heart surgery by magnetic resonance imaging: Comparison with echocardiography. *Am Heart J* 1994;128:1139-

46

25. Enriquez D, Di Cesare E, Barile A, et al: Cardiac MRI: comparison between single-shot fast spin echo and conventional spin echo sequences in the morphological evaluation of the ventricles. *Radiol Med* 2002;103:34-44
26. Kersting-Sommerhoff BA, Diethelm L, Stanger P et al: Evaluation of complex ventricular anomalies with magnetic resonance imaging. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1990;120:133-42
27. Jung BA, Hennig J, Scheffler K: Single-breathhold 3D-trueFISP cine cardiac imaging. *Magn Reson Med*. 2002;48:921-5
28. Earls JP, Ho VB, Foo TK, Castillo E, Flamm SD: Cardiac MRI: recent progress and continued challenges. *J Magn Reson Imaging*. 2002;16:111-27
29. Steenbeck J, Pruessmann K. Technical developments in cardiac MRI: 2000 update. *Rays*. 2001;26:15-34
30. Sampson C, Kinler PJ, Hirsch R, et al: Venoatrial pathways after the Mustard operation for transposition of the great arteries: Anatomic and functional MR imaging. *Radiology* 1994;193:211-7
31. Rebergen SA, Helbing WA, Van d Wall EE et al: MR velocity mapping of tricuspid flow in healthy children and in patients who have undergone Mustard or Senning repair. *Radiology* 1995;194:505-12
32. Rebergen SA, Chin JGJ, Doornbos J et al: Postoperative pulmonary flow dynamics after Fontan surgery assessment with nuclear magnetic resonance velocity mapping. *J Am Coll Cardiol* 1993;21:123-31
33. Hartnell GG. Breathhold cardiac MRI and MRA. *Int J Card Imaging*. 1999;15:139-50
34. Chuang ML, Hibberd MG, Beaudin RA et al: Importance of imaging method over imaging modality in noninvasive determination of left ventricular volumes and ejection fraction. Assessment by two and three-dimensional echocardiography and MRI. *J Am Coll Cardiol* 2000;35:477-84