

Miyokard Perfüzyonu ve İskemik Kalp Hastalıkları

Fadime Güven, Mecit Kantarcı

ÖĞRENME HEDEFLERİ

- İskemik kalp hastalıklarında görüntüleme yöntemleri
- Kardiyak MRG'nin iskemik kalp hastalıklarında kullanımı
- Kardiyak MRG'de viabilite değerlendirilmesinin klinik önemi ve tedavi seçeneğinin belirlenmesindeki rolü

Güven F, Kantarcı M. Miyokard Perfüzyonu ve İskemik Kalp Hastalıkları. Trd Sem 2018; 6: 152-169

Giriş

Koroner Arter Hastalığı (KAH) veya İskemik Kalp Hastalığının (İKH) temel nedeni koroner arterlerdeki ateroskleroz nedeniyle koroner arteriyel kan akımının azalmasıdır. Bunun sonucunda miyokardın oksijen ihtiyacı ile kan akımı arasında uyumsuzluk meydana gelmekte ve koroner arter hastalığı olarak adlandırılan çeşitli klinik tablolara sebep olmaktadır [1].

İskemik kalp hastalığının tanı ve takibinde miyokard perfüzyon sintigrafisi, manyetik rezonans görüntüleme, multidedektör bilgisayarlı tomografi gibi ileri tanı yöntemleri ile faydalı bilgiler edinilmektedir. Miyokardiyal perfüzyonun değerlendirilmesi, girişimsel ya da cerrahi tedavi modelinin seçilmesinde belirleyici rol oynar [2].

Miyokardiyal perfüzyon tanımı, birim zamanda belirlenmiş miyokard alanından akan kan hacmi olarak yapılabilir. Perfüzyon miktarı

miyokardın oksijen ihtiyacına göre değişiklik gösterebilir. Miyokard oksijen tüketimindeki artış, miyokardiyal perfüzyonda da artış ile kendini gösterir. Miyokardiyal perfüzyon kan akımı ile doğrudan ilişkili olduğundan koroner arterlerde anlamlı bir darlık ya da oklüzyon olması halinde mevcut kan akımı artmış oksijen talebini karşılayamayacak ve bunun sonucunda da miyokardda iske mi gelişecektir.

Miyokardiyal hipoperfüzyon iskemik kalp hastalıklarında ilk basamaklardan biri olup; klinik semptomların ortaya çıkmasından, EKG değişikliklerinden ve miyokardiyal duvar hareket anormallikleri meydana gelmeden önce saptanabilir [3].

İskemik Kalp Hastalıklarında Görüntüleme

İskemik kalp hastalıkları tanısında miyokardiyal perfüzyon görüntülemesi önemli bir rol

üstlenmektedir [3]. Tek Foton Emisyon Bilgisayarlı Tomografi (SPECT), bu konuda uzun yıllardır kullanılan bir görüntüleme yöntemi-
dir. Ancak iyonizan radyasyon içermesi, düşük temporal ve uzaysal çözünürlüğü dezavantaj oluşturmaktadır [4].

Miyokardiyal perfüzyonun değerlendirilmesinde kullanılan diğer bir görüntüleme yöntemi ise Pozitron Emisyon Tomografi (PET)'dir. Bu yöntemin de subendokardiyal iskemiyi görüntülemek için rezolüsyonunun düşük olması, PET cihazının kolay ulaşılabilir olmaması, pahalı ve iyonizan radyasyon içeren bir yöntem olması gibi dezavantajları bulunmaktadır [4].

Kardiyak MRG, kardiyovasküler sistem ile ilgili patolojilerin tanısında ve tedavi sonrası takibinde kullanılabilecek non-invazif tanısal bir yöntemdir [5]. Üç boyutlu görüntüleme yapabilme özelliği ve yüksek çözünürlük sayesinde miyokard fonksiyonunun doğru değerlendirilmesine olanak sağlar. Bunun yanı sıra iyonizan radyasyon içermemesi önemli bir avantajdır [6].

Kardiyak MRG ile miyokardiyal morfolojinin ve ventrikül fonksiyonunun değerlendirilmesi; endokardiyum, miyokardiyum ve epikardiyumun detaylı görüntülenmesi mümkündür. Kardiyak debi ve ejeksiyon fraksiyonunun ölçülebilmesi, koroner arterlerde ve venöz yapılarında kan akım hızı, akım volümü ve rezervi saptanabilmektedir [6].

Klinik uygulamada kardiyak MRG günümüzde iskemik kalp hastalığı, kalp kapak hastalıkları, akut iskemik sendromlar, perikardiyal patolojiler, kardiyomiyopatiler, konjenital kalp hastalıkları, intrakardiyak kitle-trombus gibi patolojilerin tanısında kullanılmaktadır [7].

Stres kardiyak perfüzyon MR görüntüleme ise hem perfüzyonun hem de viabilite ve ventrikül fonksiyonlarının değerlendirilmesinde kullanımı giderek artan invaziv olmayan tetkiklerden biridir. İyonizan radyasyon içermemesi, temporal ve uzaysal çözünürlüğünün yüksek olması ve diğer yöntemlerden farklı olarak subendokardiyal perfüzyonun değerlendirilmesine imkan tanınması önemli avantajlar sağlamaktadır [8].

Miyokardiyal İskemi

Miyokardiyal iskemik, miyokardiyal oksijen ihtiyacı ile miyokarda sunulan oksijen miktarı arasındaki dengesizlik sonucu meydana gelir.

Miyokardiyal iskeminin etiyolojisinde başlıca rol oynayan faktör koroner aterosklerotik arter hastalığıdır. İlâveten kardiyomiyopatiler, aort stenozu, Sendrom X, miyokardiyal köpürleşme, koroner arter embolisi gibi belirgin koroner arter obstrüksiyonunun olmadığı nadir durumlarda ve otoimmün vaskülitlerde de miyokardiyal iskemik görülebilir. İskemiyi takiben “stunning (sersemlemiş miyokard)” olarak bilinen geri dönüşümlü kontraktıl disfonksiyon görülür. Tekrarlayan iskemik epizodları sonucu stunning, “hibernasyon (kış uykusu)” olarak adlandırılan, hala geri dönüşümlü olan disfonksiyone forma dönüşebilir. Kısa iskemik epizodu kalbin, daha sonra gelişebilecek iskemik epizotlarına karşı nispeten dirençli hale gelmesine olanak sağlar [9].

Olguların büyük bir bölümünde stabil anjının kaynağı, koroner arterlerin ateromatöz plaklar nedeniyle daralmasıdır. Normal vasküler yatak maksimal egzersizde direncini düşürerek koroner kan akımını 5-6 kat arttırabilmektedir. Ancak koroner arterdeki lümenal kesit alanının daralması, maksimal egzersizde vasküler yatağın söz konusu direnci düşürme yeteneğini azaltarak, obstrüksiyon düzeyine ve miyokard oksijen ihtiyacına bağlı olmak üzere iskemiyi yol açar. Obstrüksiyonun %40'ın altında olduğu durumda egzersiz esnasında gerekli koroner arter kan akımı genellikle sağlanabilmekle birlikte; %50'nin üzerindeki koroner darlıklarda koroner arter kan akımının egzersiz ve stres durumundaki metabolik ihtiyacı karşılamada yetersiz kalmasına sekonder iskemik meydana gelir [10].

Koroner vasküler yatağın direnci düşürebilme kapasitesi ciddi obstrüksiyonlarda 3 kata kadar yükselebilmektedir. Bu durumda iskemik eşik koroner dolaşımın gelişmişliği, subendokardiyumdan subepikardiyuma doğru perfüzyon alanının transmural tutulumunun derecesi, koroner vasküler yataktaki tonus ve platelet agregasyonu gibi diğer faktörlerden etkilenmektedir [11].

Koroner Arter Hastalığı (İskemik Kalp Hastalığı)

Koroner arter hastalığı ya da diğer bir ifadeyle iskemik kalp hastalığının en sık görülen sebebi, koroner arter lümeninde kan akımında azalmayla sonuçlanan aterosklerotik plaklara bağlı gelişen daralmadır. Koroner arterlerdeki kan akımında azalma, miyokard oksijen ihtiyacı ile kan akımı arasındaki dengesizliğe yol açmaktadır. Bu uyumsuzluk sonucunda koroner arter hastalığı olarak adlandırılan birtakım sendromlar ortaya çıkar. Bu sendromlar; anjina pectoris, akut miyokard enfarktüsü, ani kardiyak ölüm ve kronik iskemik kalp hastalığıdır. Anjina pectoris, egzersizle ve emosyonel stresle ortaya çıkan, istirahatle ya da nitrogliserinle yatışan miyokard iskemisinin neden olduğu, göğüsten çeneye, omuza, sırtta, kola yayılan rahatsızlık hissidir. Akut miyokard enfarktüsü, lokal iske mi ile meydana gelen sınırlı bir alanda gelişen miyokard nekrozunu tanımlar. Ani kardiyak ölüm, iskemik kalp hastalığına bağlı akut semptomların başlangıcından itibaren bir saat içinde ölümün gerçekleştiği durum olup ölüm sebebi genellikle aritmidir. Kronik iskemik kalp hastalığı, zaman zaman araya giren anjina pectoris ve miyokard enfarktüsü ataklarının eşlik ettiği uzun süreli iskemik miyokard harabiyeti sonucu oluşan ilerleyici konjestif kalp yetmezliğinin geliştiği durumu tanımlar [1, 12].

Kardiyak Sendrom X

Kardiyak sendrom X tanımı ilk defa 1973 yılında Kemp tarafından tanımlanmıştır [13]. Bu sendrom genel olarak anjina pectoris ve normal koroner arteriogram birlikteliğini ifade eder [14].

Kardiyak sendrom X tanımı üzerinde günümüzde tam bir uzlaşa sağlanamamış olmakla birlikte son zamanlarda bu sendrom için en çok kabul gören tanım, kardiyak olmayan göğüs ağrıları dışlandıktan sonra, tipik anjina benzeri göğüs ağrısı ve koroner anjiyografide akım kısıtlayıcı darlığın bulunmaması durumudur [15]. Bu sendromun patofizyolojisinde endotel disfonksiyonu önemli bir rol oynamaktadır.

Adenozin veya dipiridamol infüzyonu ile göğüs ağrısı olması endotel disfonksiyonunu gösterebilen önemli bir klinik belirteç olarak kabul edilmektedir [16].

Göğüs ağrısının karakteri ve süresi çok değişken olabilir. Göğüs ağrısı saatlerce sürebileceği gibi kısa süre içinde dalgalanmalar da gösterebilir. Hastaların neredeyse yarısında nitrat tedavisine cevap vermeyen göğüs ağrısı söz konusudur [17].

Bu sendromun patofizyolojisinde birçok mekanizma öne sürülmüş olup en fazla kabul edilenler; mikrovasküler disfonksiyon, inflamasyon, östrojen eksikliği ve artmış ağrı sensitivitesidir [18].

Kardiyak sendrom X hastalarında temelde olduğu düşünülen patofizyolojik mekanizma endotel disfonksiyonun yol açtığı mikrovasküler iskemidir. Endotelin damar lümenini döşeyen multifonksiyonel bir organ olduğu ve nitrik oksit gibi birtakım temel kimyasal maddelerle kan akımını düzenlediği bilinmektedir [18].

İnflamasyonun, mekanizması henüz tam olarak anlaşılamamış olmakla beraber, KSX hastalarında mikrovasküler disfonksiyona katkıda bulunarak, sendrom patogenezinde önemli rol oynadığı bilinmektedir [19].

Östrojen Eksikliği

Bu hipotezin ortaya çıkışında etkili olan temel neden KSX hastalarının büyük kısmının perimenopozal/postmenopozal olmasıdır. Menopozun endotel disfonksiyonuyla ilişkisi daha önce gösterilmiştir [20]. Hatta KSX hastalarına verilen östrojen preparatlarının, endotel disfonksiyonunu düzelterek, egzersizle tetiklenen anjina ataklarını azalttığı gösterilmiştir; fakat östrojen tedavisi öncesinde ve sonrasında kalp hızı, egzersiz süresi, ST segment depresyonu gibi parametrelerde anlamlı fark bulunamamıştır [21].

Kardiyak Manyetik Rezonans Görüntüleme

Kardiyak Manyetik Rezonans Görüntüleme, non-invaziv kardiyak diagnostik görüntüleme yöntemlerinden biridir. Son zamanlardaki geliş-

melerle birlikte kardiyovasküler sistemin birçok yönden değerlendirilebilmesine olanak sağlayan bir modalite haline gelmiştir. Kardiyak MRG ile kalbin morfolojik yapısı, ventriküler fonksiyonları, kapak fonksiyonları, akım paternleri, miyokardiyal perfüzyon ve koroner anatomi değerlendirilmekte; miyokardiyal canlılık hakkında da önemli bilgiler edinilebilmektedir [22].

Kardiyak MRG Görüntüleme Düzlemleri

Kardiyak MRG’de kullanılan sekanslar başlıca spin eko ve gradient eko sekanslarıdır.

Spin Eko Sekansları

Spin eko sekanslarında akan kan genelde sinyalsiz olarak izlenirken, miyokard ve yağ dokusu orta - yüksek sinyal intensitededir. Spin eko sekansları morfolojik görüntüleme için uygundur. Tümör, inflamasyon, miyokardiyal doku anormalliklerinin değerlendirilmesinde kullanılabilir. Ancak foksiyonel analiz yapma imkanı yoktur [23].

Gradient Eko Sekansları

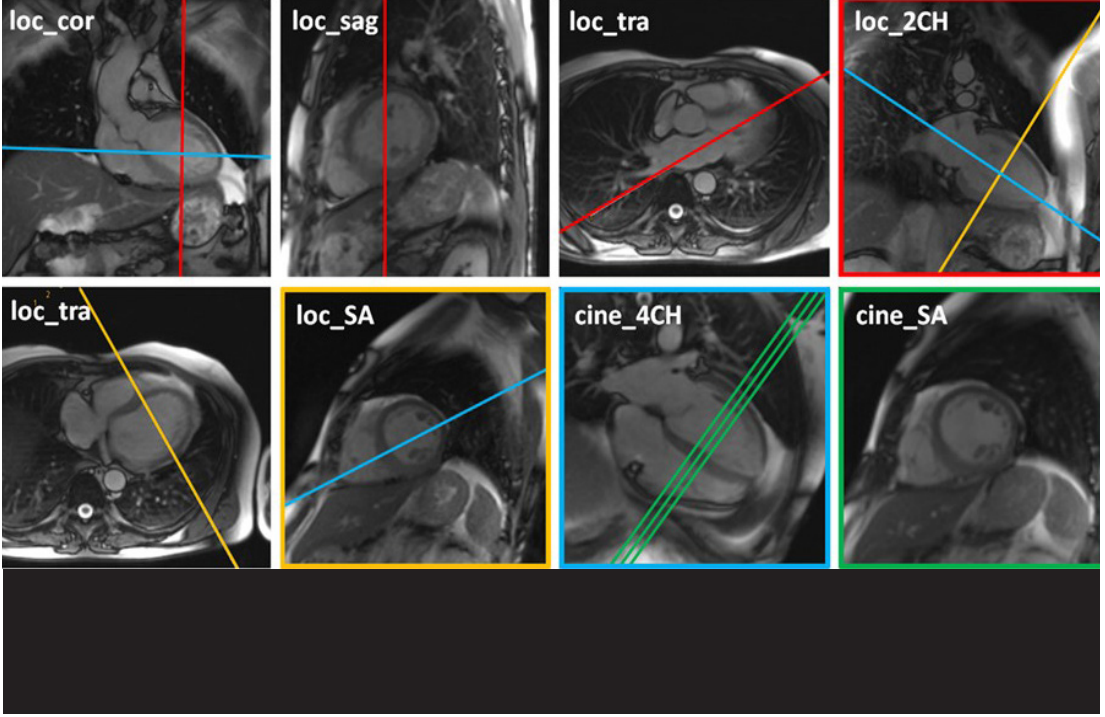
Gradient eko sekansı kan volümü içerisindeki önceden eksite olmuş spinlerin sinyallerini manyetik alan dışına çıkmadan görüntüleyebilecek kadar hızlı olduğundan, spin eko sekansının aksine kan akımını yüksek sinyal intensitesinde gösterir. GRE sekansları ile aynı bölge yüksek tekrarlama hızı ile görüntülenebildiğinden ilgili bölgenin ‘sine’ rekonstrüksiyonları yapılabilir. Böylece 25 ms’den daha kısa resim hızında uzun aks, kısa aks ya da istenen herhangi bir planda sine görüntüleme yapılabilir. Bu sayede GRE sekansları türbülant kan akımını (stenoz, geri akım ya da şant nedeniyle oluşmuş) saptamada kullanılabilir ve sine şeklinde tomografik kesitler olarak görüntülediğinde bu tip lezyonlar kolaylıkla tespit edilir. Bunun dışında sine gradient eko görüntülemeyle sol ve sağ ventrikül fonksiyonları değerlendirilebilir, diyastol sonu ve sistol sonu ventrikül hacimleri ölçülebilir [23].

Kardiyak MRG’de aksiyel, sagittal, koronal planlarda öncü (survey/localizer/scout) görüntüler elde edilmektedir (Resim 1). Burada amaç; bu görüntüler kılavuzluğunda kalbin uzun ve kısa aks görüntülerini oluşturmaktır. Aksiyel düzlemde oluşan yalancı 4 odacık görüntü kesitinde, mitral kapak ortasından apekse doğru alınan dik plan ile “iki boşluk/iki odacık” uzun aks görüntü elde edilir (Resim 2). “İki boşluk” görüntü üzerinden yine mitral kapak ortasından apekse çekilen dik plan ile gerçek “dört boşluk/dört odacık” görüntü elde edilir (Resim 3). Bu görüntülerden ise uzun eksene dik planda mitral kapak ile apeks arasında “kısa aks” görüntüler elde edilir (Resim 4) [24].

Kardiyak MRG Teknikleri

Kardiyak MRG’de, diğer kardiyak görüntüleme modalitelerinde olduğu gibi kalbin elektrik aktivitesi kullanılarak kalp hareketleriyle senkronize görüntüler elde edilebilir. Güvenilir R dalgası tespiti vektör kardiyogram (VKG) kullanımı ile, VKG prospektif tetikleme ve retrospektif eşleşme için kullanılabilir. Prospektif tetikleme tipik olarak kardiyak siklusun tek bir noktasındaki kalbin statik görüntüsü için kullanılır. Görüntü bilgisi diyastolde, kalbin göreceli olarak hareketsiz olduğu R dalgasından sonraki spesifik bir intervalde elde edilir ve yaklaşık 10 saniyelik nefes tutmada tek bir kesit için veri toplanması mümkün olur. Sine MR gibi dinamik bilgi toplandığı durumlarda ise multi-faz veri kazanımı söz konusudur. Retrospektif eşleşme olarak adlandırılan bu durumda genellikle kardiyak siklus boyunca veri kazanımı olur ve VKG retrospektif olarak referans alınarak görüntüler oluşturulur. Kardiyak siklusun 20-30 faza bölündüğü bu yöntemde her faz için bir imaj oluşturulur. Tek kesiti 10 saniyelik nefes tutma ile oluşturulan bu imajlar sine döngü olarak gösterilebilir [22].

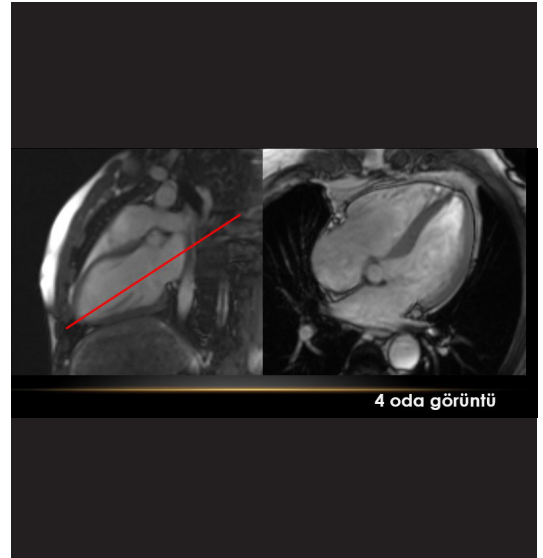
Kardiyak MRG incelemelerinde solunumsal hareketin kontrolü de önemlidir. Görüntülerin çoğu, genellikle 10-15 saniye süren nefes tutma sürecinde elde edilir. İnspiryum sonu nefes tutulması daha konforludur ve hasta daha uzun süre nefes tutulabilir. Bununla birlikte hafif bir



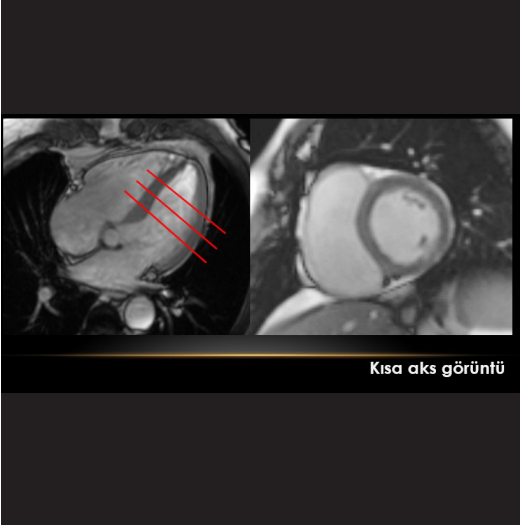
Resim 1. Öncelikle aksiyel, sagittal, koronal planlarda öncü (survey/localizer/scout) görüntüler elde edilmekte ve bu görüntüler kılavuzluğunda kalbin uzun ve kısa aks görüntüleri elde olunmaktadır.



Resim 2. Aksiyel düzlemde oluşan yalancı 4 odacık görüntü kesitinde, mitral kapak ortasından apekse doğru alınan dik plan ile 'iki boşluk/iki odacık' uzun aks görüntü elde edilir



Resim 3. İki boşluk' görüntü üzerinden yine mitral kapak ortasından apekse çekilen dik plan ile elde olunan gerçek 'dört boşluk/dört odacık' görüntüsü



Resim 4. Uzun eksene dik planda mitral kapak ile apeks arasında elde olunan 'kısa aks' görüntüler

ekspiryum sonunda nefes tutulması, kesit uyumsuzluğunu minimize edebilir. Nefes tutma süresi oksijen uygulaması ile desteklenebilir [22].

Black-Blood Teknikleri

Kalp morfolojisi ile ilgili bilgi esasında kan ile miyokard dokusu arasındaki doğal kontrast nedeniyle, kardiyak siklusla eşleşmiş (gated) SE sekansı ile elde edilir [25]. Radyofrekans (RF) ile presaturasyon ve echo time (TE)'in kısa tutulması kan sinyallerini minimize eder ve böylece SE'da kontrast artar. Ancak kazanım zamanı uzadığından solunum ve diğer hareket artefaktları oluşur. Fast spin eko (FSE) veya turbo spin eko (TSE) gibi sekanslar görüntüleme süresini kısaltan tekniklerdir. Bunlar hızlı görüntüleme sağlamalarına karşın yumuşak doku kontrastı SE tekniklerden biraz düşük olabilir. FSE ya da TSE ile inceleme zamanı kısaltılabilmektedir [25-27].

Multislice EKG-tetiklemeli SE ile multipl anatomik alandan görüntü elde edilir ve hareket artefaktları önemli ölçüde azaltılır. SE sekansının dezavantajı her kesitin kardiyak siklusun farklı evrelerinden elde edilmesidir. Morfolojik görünüm, miyokardial doku karakterizasyonu (kontrastlı ve kontrastsız), sol ventrikül kitlesi, duvar kalınlığı ve ventrikül içi trombüs değerlendirmesi için kullanılır [28, 29].

Bright-Blood Teknikleri

Bu teknikler ile morfolojik ve fonksiyonel bilgiler sağlanabilir. Multipl ardışık kesitlerle kardiyak hareketler dinamik olarak izlenebilir. GRE görüntüleme kısa TE ve kısa TR kullanılması nedeniyle kardiyak inceleme için tercih edilen yöntemdir. Time-of-flight etkisi ve ayrıca relatif olarak uzun T2 etkisi nedeniyle kan komşu miyokard ile karşılaştırıldığında parlak görünür. GRE sekansında 90 dereceden küçük açıda tek RF puls ve çok kısa TR değerleri kullanılır. Bu nedenle dokuda her zaman longitudinal magnetizasyonla birlikte transvers manyetizasyon da bulunacaktır. Bu duruma Steady State Free Precession (SSFP) denmektedir. SSFP'de görüntü kontrastı dokunun T1/T2 oranına bağlıdır. Dokuların T2 sürelerinin farklılığı ön plana çıkmaktadır. SSFP sekansında miyokardiyum ve ventriküler kavite arasındaki kontrast "segmente k-space fast GRE" ile karşılaştırıldığında daha iyidir. Sinyal-gürültü oranı ve kontrast gürültü oranı konvansiyonel tekniklerle elde edilenlerden daha yüksektir [30-34].

Kardiyak MRG'nin İskemik Kalp Hastalıklarında Kullanımı

Kalp yetmezliğinin etiyolojisinde iskemik kalp hastalıkları vakaların 2/3'ünü oluşturmaktadır.

Akut MI sonrası miyokard canlılığının erken tanınması klinik olarak önemlidir, etkilenen bölümlerin revaskülarizasyon sonrası iyileşme ve tekrar işlevsel olma potansiyeli vardır [35].

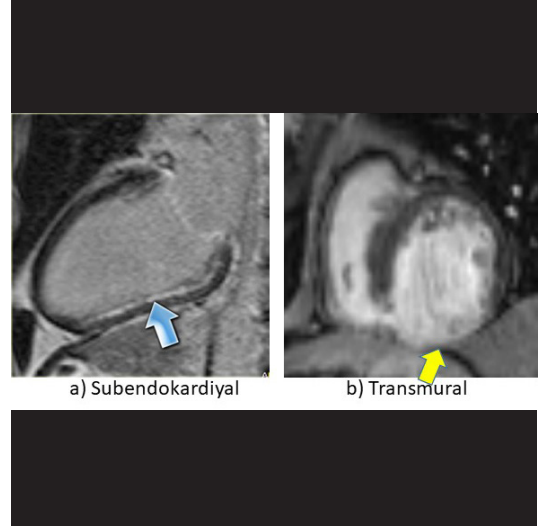
MRG koroner arter hastalıklarının ve miyokardın değerlendirilmesinde son yıllarda yeni bir yaklaşım kazanılmasını sağlamıştır. İskemik kalp hastalıklarının görüntülenmesinde kullanılmakta olan ekokardiyografi ve radyonüklid görüntüleme gibi non-invazif yöntemler sensitivite ve spesifite düşük olduğundan kesin tanı için çoğunlukla invaziv konvansiyonel koroner anjiyografi gerekmektedir. Kardiyak MRG iskemik kalp hastalıklarında ilave veriler sunmaktadır. MRG'deki teknik ilerlemeler, yüksek uzaysal çözünürlük ve mü-

kemmel yumuşak doku kontrastı ile miyokardiyal dokunun karakterizasyonuna, üç boyutlu görüntüleme sayesinde sol ventrikül kitle ve volümünün değerlendirilmesine, infarkt alanı ve canlı doku ayırımına, bölgesel duvar hareket bozukluklarının ve sistolik-diyastolik duvar kalınlığının değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Kardiyak anatomi, perfüzyon-fonksiyon değerlendirmesi ve koroner anjiyografi tek bir inceleme ile yapılabilir. İlave ekstrasellüler kontrast madde verilmesinden sonra yapılan geç kontrastlı inceleme sayesinde miyokard canlılığının değerlendirilmesinde ve cansız dokunun transmural uzanımının gösterilmesinde duyarlılığı oldukça yüksektir (Resim 5) [36, 37].

Kardiyak Fonksiyonun Bölgesel ve Global Değerlendirilmesi

Sol Ventrikül Duvar Hareketleri ve Duvar Kalınlığı

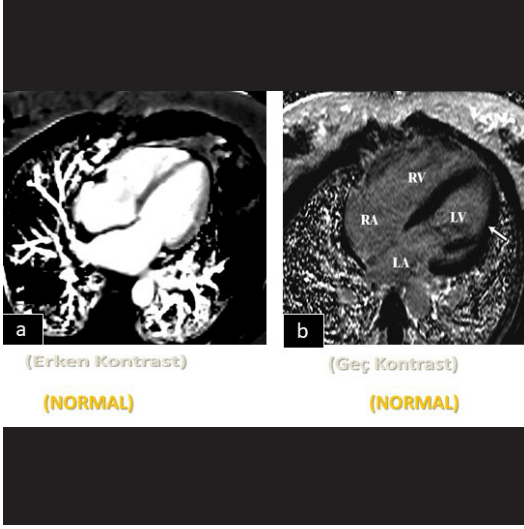
Skar dokusunda diyastol sonu duvar kalınlığı canlı dokuya göre belirgin şekilde incelmış olarak izlenir. Canlı doku için eşik değer miyokard infarktüsünden (MI) 4 ay sonra 5.5 mm üzerindedir. MI'den yaklaşık 6 hafta sonra miyokardiyal duvarda incelmeye başlar. Yani diyastol sonu duvar kalınlığı yalnızca kronik MI'de canlılık kriteri olarak kullanılabilir. Yöntemin sensitivitesi yüksek ancak spesifitesi nispeten düşüktür [38]. Kronik skarda incelmış ve akinetik miyokardiyumun MRG bulguları ile PET ve SPECT ile elde edilen bulgular karşılaştırılmış ve transmural skar tanımlamada diyastol sonu duvar kalınlığı için sınır; normal bireylerden elde edilen ortalama değerler ile hastalarda patolojik inceleme ve SPECT ile uyumlu bulunan değerlerin karşılaştırılması sonucu; 5.5 mm olarak belirlenmiştir. PET'de de 5.5 mm ve daha ince ölçülen alanlarda radyoaktivite tutulumunda anlamlı azalma bildirilmiştir [39]. Diyastol sonu duvar kalınlığı ve sistolik duvar kalınlaşmasının derecesi miyokard canlılığını değerlendirmede faydalı olabilir. Duvar kalınlığında ve hareketlerinde izlenen herhangi bir anormallik bölgesel miyokard fonksiyonunun



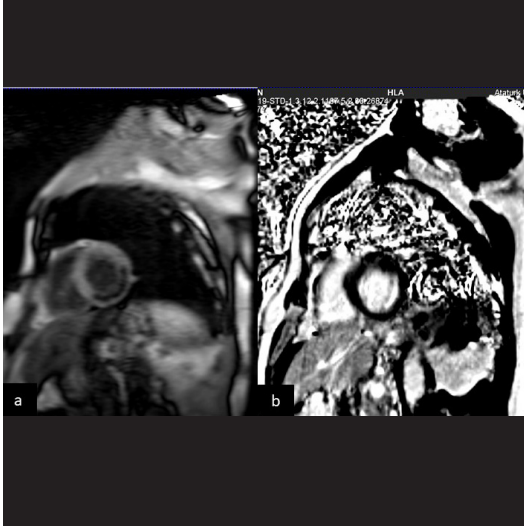
Resim 5. a, b. İnfarkt olan miyokard koroner arter sulama sahasına uyar ve geç kontrastlı görüntüleme hiperintens görülür. Her zaman subendokardiyal başlar (a) ve tıkanmanın süresine göre epikarda doğru ilerleyerek transmural tutulumu yol açar (b)

azaldığının göstergesidir. Sine MR ile duvar hareketlerinin ve kalınlaşmasının gösterilmesi şüpheli ya da bilinen koroner arter hastalığının tespiti veya karakterizasyonunda önemli yer tutar [40].

Miyokardiyal duvar hareketleri, farmakolojik stres oluşturularak fonksiyonel olarak değerlendirilebilir. Stunning ve hibernasyon durumunda stres ajanlarına duvar hareket bozukluklarında düzelme ve yanıt gözlenir. Aksine skar dokusundaki hareket bozukluğu stres ajanlarına yanıtsızdır. Çünkü stunning ve hibernasyon durumunda miyokardiyumda canlılık devam etmektedir. Stunned miyokardiyumda hareket ve enerji desteği arasında diskordans oluşmaktadır (mismatch fonksiyon/akım). Eğer stunned miyokardiyumda yüksek dereceli stenoz yok ise istirahatte kan akımı normal olacak, disfonksiyon ise birkaç gün sonra kendiliğinden düzelecektir (Resim 6). Üç damar hastalığında sık görülen hiberne miyokardiyumda, sol ventrikül fonksiyonu global olarak deprese olmuştur. Bu hastalarda belirgin dispne vardır, ama anginal ağrı daha azdır. Ventriküler disfonksiyonun bu tipi sıklıkla kroniktir. Yani kontraktıl disfonksiyon miyokardiyal kan akımındaki kronik azalma ile ilgilidir (match fonksiyon/



Resim 6. Stanning miyokarda hareket /kasılma ile enerji desteği arasında bir inbalans oluşur (mis-match fonksiyon/akım). Günler ya da haftalar içerisinde spontan fonksiyonel düzelme olur



Resim 7. Hiberne miyokarda kontraktıl disfonksiyon miyokardiyal kan akımındaki kronik azalma ile ilgilidir (match fonksiyon/ akım). Fonksiyon ancak normal miyokardiyal akım cerrahi / stent gibi tedavilerle yeniden sağlandığı zaman geriye döner

akım) (Resim 7). Önceden MI öyküsü olabilir ya da olmayabilir. Skar dokusunda canlı doku olmadığından fonksiyonel olarak stres ajanlarına yanıtsızdır (Resim 8) (Tablo 1). Akut ya da kronik MI'da bölgesel canlılığı değerlendirmek ve kontraktilite rezervini saptamak için fonksiyonel stres çalışmaları yapılabilir [38]. Bazen iskemi tespitinde tek başına duvar hareketlerinin değerlendirilmesi yanılsamalara neden olabileceğinden olgunun perfüzyon, fonksiyon ve koroner anjiyografi bulguları bilinmelidir. Miyokard hipertrofisi olan hipertansif hastalarda koroner arter hastalığı olmadan da sol ventrikül fonksiyonu stres esnasında baskılanabilir [41].

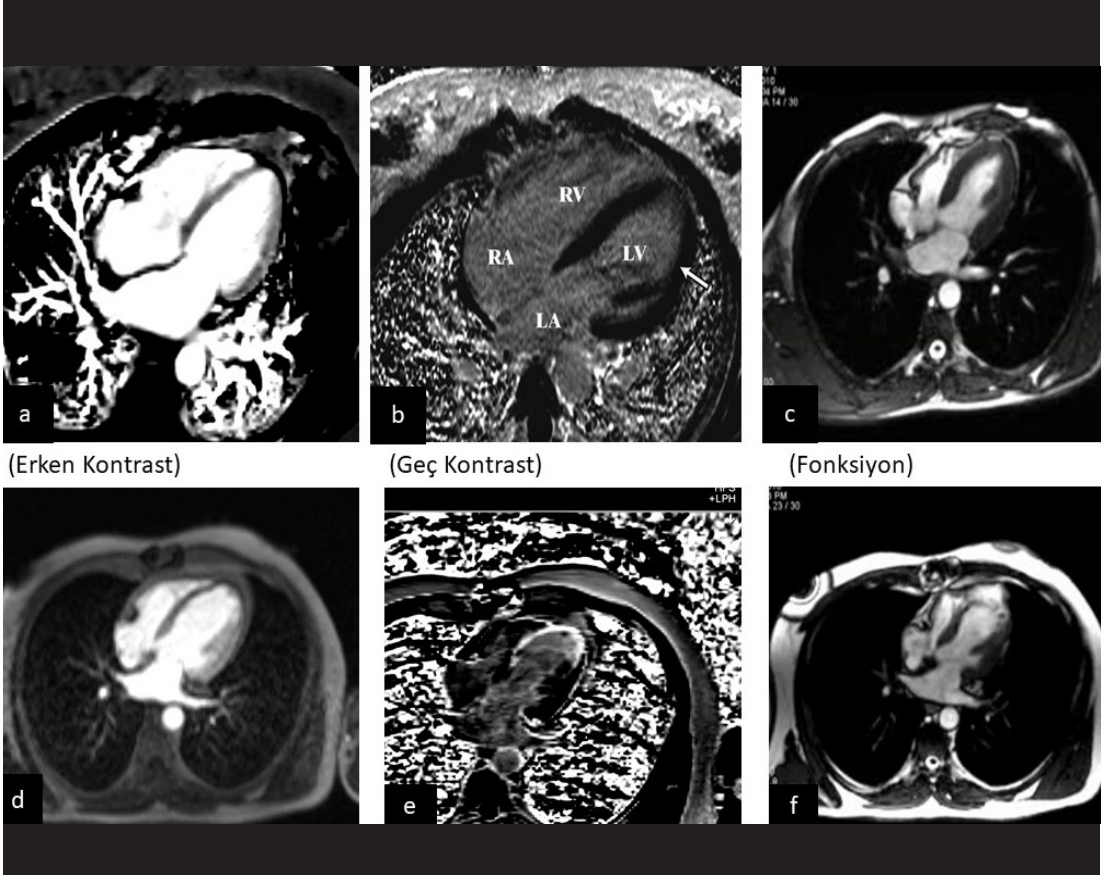
Miyokardiyal Perfüzyon

Miyokardiyal kan akımı oksijen ihtiyacı ile direkt ilişkili olup miyokardiyal perfüzyonun azalması miyokardiyal iskemi ile sonuçlanır. İşte kardiyak MR perfüzyon incelemesi, miyokardın kanlanma bozukluğunu gösterebilmekte ve bu yönüyle koroner anjiyografiye üstünlüğü olduğu bilinmektedir. Miyokardiyal perfüzyon bozukluğu duvar hareket bozukluklarından önce ortaya çıkan ve iskemiye saptamada duyarlılığı daha yüksek olan bir bulgudur [26].

Miyokardiyal perfüzyon ölçümlerinin yapıldığı SPECT veya PET gibi yöntemler nispeten düşük uzaysal rezolüsyona sahiptirler. Ayrıca iyonize edici radyasyon içermeleri ve subendokardiyal perfüzyon defektlerini saptamada yetersizlikleri önemli dezavantajlarıdır. Dolayısıyla miyokardiyal perfüzyonu değerlendirmede MRG, nükleer kardiyoloji testlerine alternatiftir. Her iki yöntem de temelde perfüzyon defektini saptamak için istirahat ve stres altında yapılır. MRG yüksek rezolüsyona sahip olduğu için ekstraselüler kontrast ajanın miyokardiyu-

Tablo 1: Stanning, hibernasyon ve skar durumunda miyokardiyal kan akımı, fonksiyonu ve tedaviye yanıt

	Kan Akımı	Fonksiyon	Tedavi
Stanned miyokard	Normal	Bozulmuş	Günler haftalar içerisinde spontan düzelme
Hibernating	Bozulmuş	Bozulmuş	Miyokardiyal akım yeniden sağlandığında (Bypass, stent...)
Skar	Bozulmuş	Bozulmuş	Miyokard'ın hangi düzeyde etkilendiğine bağlı?



Resim 8. A-F Normal miyokard ve skar dokusunda kardiyak MRG bulguları (A, B, C normal miyokardda sırasıyla erken kontrastlı-geç kontrastlı-fonksiyonel/ D, E, F skar dokusunda sırasıyla erken kontrastlı-geç kontrastlı-fonksiyonel MRG bulguları)

ma geçişi izlenebilmekte ve iskemik kalp hastalarında kardiyak MR perfüzyon görüntüleme güvenle kullanılabilir [42, 43].

MRG’de hasta magnet içinde olduğundan egzersiz stres testinin yapılması mümkün olmamaktadır. Bu nedenle miyokardiyal perfüzyon çalışmalarında stres genellikle farmakolojik ajanlarla oluşturularak yapılmaktadır [44]. Miyokardiyal perfüzyonu değerlendirmek için en sık kullanılan yöntem ekstrasellüler kontrast maddenin ilk geçişi esnasında miyokardiyumun görüntülenmesidir. Perfüzyon ölçümleri için kullanılacak kontrast maddenin taşınması gereken bazı kriterler vardır. Bunlar; yalnızca organ perfüzyonuna bağlı doku konsantrasyonunu göstermeli, sinyal intensitesi lineer olarak artmalı ve yan etkileri olmamalıdır. Kontrast ajanın ilk geçiş kinetiği iskeminin, geç dönemde ise canlılık ve nekrozun değerlendirilmesine

olarak sağlar. İskemiye değerlendirmek için Gadolinium kontrast madde (0.1 mmol/kg) IV yolla verilir. Değerlendirme kontrast maddenin miyokardiyumdan ilk geçişi sırasında görsel olarak veya sinyal-intensite eğrileri elde edilerek yapılır [44, 45].

T1 ağırlıklı kontrast madde kullanılarak yapılan dinamik MRG çekim teknikleri miyokardiyal perfüzyon incelemelerine olanak sağlamaktadır. Paramanyetik ajanların T1 zamanını kısaltması sebebiyle, T1 ağırlıklı perfüzyon MRG çekim tekniklerinde hiperintensite görülür. Normal kanlanan miyokardda kontrast maddenin verilmesini takiben miyokard sinyal intensitesinde artış olur. Ciddi koroner arter stenozu durumunda ilgili arter tarafından beslenen miyokard bölgesinde ise sinyal intensitesi düşük olarak izlenecektir [42, 46].

Miyokardiyal perfüzyonun azalması, epikardiyal arter stenozu sonucu kan akımının zayıflaması sonucu oluşur. İstirahat ve egzersiz ya da farmakolojik olarak oluşturulan stres durumunda miyokardiyal kan akımında oluşan değişiklikler etkilenen koroner arterin fonksiyonel önemini belirler. Buna ek olarak vazodilatör stres ajanları kullanılarak kalpte oluşan perfüzyon defektleri ve perfüzyon rezervi saptanabilmektedir. Kontrast maddenin IV enjeksiyonu yapılarak miyokarddan ilk geçiş esnasında dinamik MR inceleme yapılır.

Kardiyak MR perfüzyon görüntülemenin amacı, kontrast maddenin sol ventriküler miyokardiyumdan ilk geçişi sırasında canlı görüntü oluşturmaktır. Bunun için steady-state free precession (SSFP), gradient recalled echo ve gradient recalled echo – echo planar görüntüleme hibrid sekansları gibi çeşitli puls sekansları kullanılabilir. Tüm sekanslar, T1 ağırlığını sağlamak ve miyokardiyal gadolinium konsantrasyonundaki bölgesel farklılıkları belirginleştirmek amacıyla saturasyon prepulsu içerir. Genellikle, her kalp atımında, 3 ile 5 kısa aks görüntünün elde edildiği miyokardiyal ilk geçişi içeren 40 ile 60 kalp atımlık ardışık görüntüler elde edilir [8]. Perfüzyon defekti görsel olarak değerlendirilebileceği gibi bilgisayar yardımlı renk kodlama veya segmental miyokardiyal perfüzyon eğrileri ile de değerlendirilebilir. İskemik segment istirahat durumunda perfüzyon defekti gösterebileceği gibi normal bulgu da verebilir. Ama stenotik damar farmakolojik stres altında sağlıklı damar gibi yanıt vermeyecektir. Böyle bir durumda vasküler çalma fenomeni sonucu non-stenotik damarlardaki kan akımı ve vasküler direnç artacağından iskemik segment görüntülenebilecektir. Verilen IV kontrast madde ilk geçişte bölgesel kan akımının bir göstergesi olup sonraki fazlar normal kan akımı olan komşu bölgelerden kontrast maddenin diffüzyonu ile ilgilidir [26, 44].

Kardiyak MR Perfüzyon incelemesinde de diğer görüntüleme modalitelerinde olduğu gibi birtakım artefaktlar görülebilmektedir. Bu artefaktlar sıklıkla kardiyak hareketler ve MRG'nin duyarlılık etkilerinden kaynaklanmaktadır. Genellikle sol ventrikül kavitesi ile

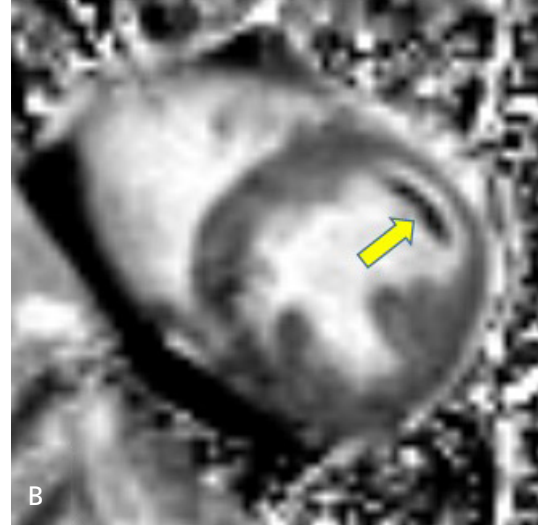
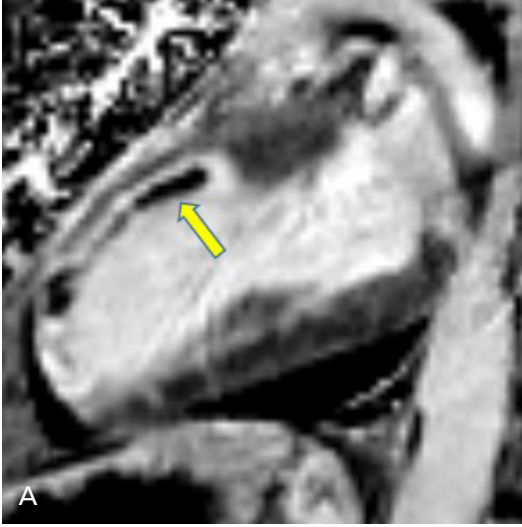
endokard ara yüzünde oluşur. Bu artefaktların önemi gerçek perfüzyon defektlerini taklit edebilmeleridir. Gerçek perfüzyon defektleri ile artefaktları ayırmada kullanılabilecek bazı hususlar bulunmaktadır:

- ✓ Gerçek perfüzyon defektleri koroner arteriyel dağılım bölgelerinde izlenir oysa artefaktlar daha sık olarak faz kodlama doğrultusunda görülürler.
- ✓ Gerçek perfüzyon defektleri ardışık görüntüler boyunca devam eder ve sinyal intensitesi daha homojendir. Artefaktlar ise kontrast maddenin miyokarddan geçişi sırasında ortaya çıkan geçici ve değişken sinyal intensitesinde görünümündedir.
- ✓ Gerçek perfüzyon defektleri genellikle sadece vazodilatör stres varlığında görülür. Buna karşın artefaktlar sıklıkla hem istirahat hem de stres görüntülerde izlenirler. Kardiyak MR perfüzyon incelemesinde hem stres hem de istirahatte elde edilen görüntülerde izlenen perfüzyon defektlerinin artefakt olma olasılığı daha yüksektir. Ancak kritik istirahat iskemisinin bulunduğu durumlarda da bu bulgunun mevcudiyeti söz konusudur. Bu durumda artefaktan farklı olarak perfüzyon defektinde transmural ya da transmurala yakın tutulum izlenmekte olup aynı lokalizasyonda eşlik eden duvar hareket anormallikleri gözlemlenir [8, 47].

Geç Gadolinium Kontrastlanması (GdGK)

GdGK, kardiyak MRG'nin en önemli tekniklerinden olup akut ve kronik miyokard infarktüsü, inflamatuvar-infeksiyöz miyokardiyal hastalıklar ve kardiyak neoplaziler gibi önemli hastalıkların tanısında yol gösterici önemli bir teknik olarak bildirilmektedir [48, 49].

IV kontrast madde enjeksiyonunu takiben alınan GdGK görüntüleri zamanlamaya göre iki temel alt tipe ayrılmaktadır: Erken dönem Gadolinium Kontrastlanması (EdGK) (Gadolinium enjeksiyonu sonrası 5.dakika) ve Geç dönem Gadolinium Kontrastlanması (GdGK) (Gadolinium enjeksiyonu sonrası >10.dakika) [33].



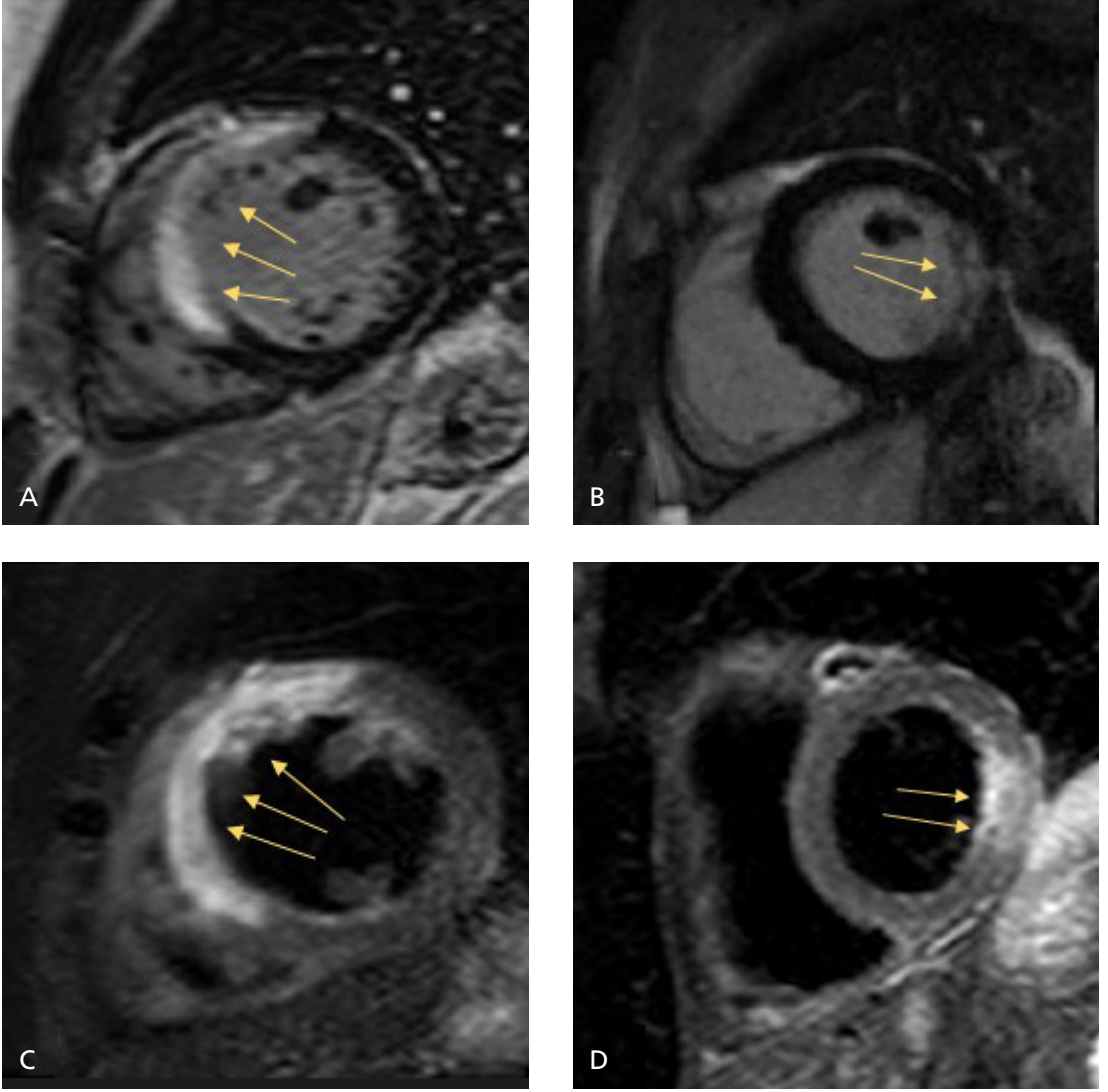
Resim 9. A, B. Sol ventrikül anterior duvarda kontrastlanan hiperintens alan içerisinde core olarak tanımlanan hipointens alanlar görmekteyiz (ok). MVO: MikroVasküler Obstrüksiyonu temsil eden ve kötü prognoz göstergesi olan No reflow fenomeni

Kardiyak MRG'nin en önemli kullanım alanlarından birisi "viabilite görüntülemesi" olarak da bilinen, akut veya kronik miyokardial infarktli vakalarda skarlı miyokard dokusunun değerlendirilmesidir. Bu metot ile skar dokusunun yokluğu, miyokardın canlılığı ve revaskülarizasyon ile kontraktıl fonksiyonunun geri kazandırılabilir olduğu gösterilebilmektedir. Bu yöntemle skar dokusunun lokalizasyonunun ve uzanımının gösterilmesi koroner arter revaskülarizasyon tedavilerinin planlanmasında anahtar rol oynamaktadır [50]. Skarlı miyokardın lokalizasyonu ve endokardial sınıra yakınlığı miyokardial fonksiyonun geri kazanılma potansiyelini öngörmede önemli faktörlerdir. Kardiyak MRG'nin miyokardial viabilitenin değerlendirilmesinde diğer görüntüleme yöntemlerine (PET, SPECT, ekokardiografi) üstünlüğü bildirilmiştir [51]. GdGK ile skarlı dokunun lokalizasyonunun ve uzanımının belirlenmesine ek olarak EdGK görüntülemeler de mikrovasküler obstrüksiyonun (MVO) varlığı ve uzanımı hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. MVO aynı zamanda no-reflow fenomeni olarak da bilinmektedir ve onun varlığı revaskülarizasyon tedavileri için miyokardın fonksiyonel özelliklerinin geri kazandırılması adına negatif belirteçtir [52]. No-reflow fenomeni akut miyokardial infarktüs sonrası erken

dönemde saptanabilir. Bunun geniş çaplı infarkt alanının santralindeki nisbeten daha küçük olan nekrotik alanda hipoperfüze dokudaki kapiller tıkanmaların sebep olduğu intrakapiller kan stazına bağlı olabileceği de bildirilmiştir. Buna bağlı olarak da no-reflow alanları kontrast tutan hiperintens infarkt dokusu içinde hipointens görünmektedirler (Resim 9). No-reflow alanının genişliği kontrast enjeksiyonu ile GGK görüntülerinin alınması arasında zamana göre farklılık göstermektedir; öyle ki görüntüleme ne kadar erken olursa no-reflow alanı o kadar geniş görülür [53].

Deneyssel ve klinik çalışmalar göstermiştir ki; iskemik durumda hasarlanmış hücre membranından potasyum dışarı çıkmakta, buna karşılık ekstrasellüler iyon olan sodyum hücre içine girmektedir. Yine benzer şekilde geç kontrastlanmanın da sodyum ile birlikte hücre içine giren gadolinyum iyonunun buradan dışarı çıkamaması sonucu olduğu bildirilmektedir. Doku kontrastlanma paterni birtakım faktörlere bağlıdır. Bunlar; kontrast ajanın konsantrasyonu, perfüzyonu, intravasküler mesafeden ekstrasellüler mesafeye diffüzyonu ve ekstrasellüler mesafenin genişliği olarak sıralanabilir [51].

Mekanizması ve etkileyen faktörler ne olursa olsun MI'da geç kontrastlanma gösteren miyokard bölgesi kalıcı hasarı yansıtmaktadır.



Resim 10. A-D. Akut MI sonrası yapılan kardiyak MRG incelemelerinde. Geç kontrastlı (A, B) ve T2 ağırlıklı (C, D) MRG görüntülerinde: geç kontrastlanma olan segmentlerde T2 AG'lerde ödematöz sinyal artışı izlenmektedir (oklar)

Ancak akut dönemde kontrast tutan alanın gerçek infarktüs alanından daha geniş olabileceği unutulmamalıdır. GdGK tek başına akut ve kronik infarktüsü ayırt edemez. Bu problem MRG çekimi sırasında miyokardial ödemi gösteren T2-ağırlıklı sekanslar eklenerek aşılabılır (**Resim 10**) [54]. GdGK görüntüleri üzerinden infarkt alanı boyutu ölçümlerinde çok iyi sonuçlar alınmıştır [55, 56]. GdGK ile elde edilen infarkt alanı boyutunun akut enfarktlı olgularda klinik bulgular ile korelasyon gösterdiği gözlenmiştir [57]. Geniş çaplı enfarkt alanlarının saptanmasında ise kardiyak MRG'nin sensitivitesi mev-

cut altın standart yöntem olan SPECT ile benzer bulunmuştur [58]. Ancak unutulmamalıdır ki MRG'nin yüksek uzaysal rezolüsyonu sayesinde GdGK görüntülemeler küçük subendokardial infarktlerin saptanmasında SPECT'e kıyasla belirgin üstünlük sağlamaktadır (%92 MRG sensitivitesine karşılık %28 SPECT sensitivitesi) [59]. Yine bu avantaj sayesinde kardiyak MRG sağ ventrikül enfarktlerinin değerlendirilmesinde de diğer görüntüleme yöntemlerine üstünlük göstermektedir [60].

Yapılan klinik çalışmalarda geç kontrastlanma gösteren bölgenin kalınlığı total miyokard



Geç kontrastlanmada miyokardiyal dokunun:

- %75' inin kontrastlandığı vakalarda iyileşme sadece %1.7'dir.
- %51-75 arasında olan vakalarda, fonksiyonel iyileşme %10;
- %26-50 arasında fonksiyonel iyileşme %42;
- %1-25 arasında fonksiyonel iyileşme %60 oranlarına çıkmaktadır.

Resim 11. İnfarkt olan miyokard geç kontrastlı görüntülerde parlar. Kontrastlanan miyokard dokusu miktarı ile daha sonra beklenen fonksiyonel iyileşme arasında ters orantı söz konusudur

kalınlığına oranlanmıştır. Transmural uzanım %0, <%25, <%50, <%75 ve >%75 olarak gruplandırılmıştır. %50 ye kadar uzanımda miyokardiyal segmentlerin çoğunda duvar hareket bozukluklarının düzeldiği ve <%25 ise global düzelme olduğu tespit edilmiştir [38]. GGK görüntüleme teknikleri transmural uzanımını göstermeye ve total miyokard kalınlığına oranının hesaplanmasına olanak sağlamaktadır (Resim 11). Son yıllarda infarkte dokuya büyük afinitesi olan nekroz spesifik MR kontrast ajanı kullanılmaya başlanmıştır. Oklüde ve reperfüze MI olan hayvan modellerinde Gadophrin-2 nin geri dönüşümlü ve kalıcı hasarı olan miyokardiyumu ayırabildiği gösterilmiştir [61].

Kardiyak MRG'de ilk dönemlerde kullanılan ECG-gated spin echo görüntüleme tekniklerinde belirgin gelişmeler sağlandı. En önemli teknolojik gelişmelerden biri her kardiak siklusta multipl k-space çizgileri alınabilmesini olağan

kılan k-space segmentasyonu oldu. Böylece görüntüleme zamanını azaltarak tek bir nefes tutmada hareket artefaktlarını minimize etmek mümkün olmuş, dolayısıyla yeterli uzaysal çözünürlükte görüntülerin elde edilmesini sağlanmış oldu [62]. Sonrasında normal miyokard ile infarkte miyokard kontrast ayırımını sağlayan sekans olan T1 ağırlıklı inversion recovery gradient eko (GRE) sekans tekniği ile geç kontrastlanma görüntülemeleri klinik olarak yaygın kullanılmaya başlandı. Böylece normal miyokardiumun sinyali sıfırlanarak infarkte alandaki kontrast tutulumunun belirgin hale gelmesi sağlanmış oldu [63].

Kardiyak sendrom X, var olan anginal semptomlara rağmen koroner arter anjiyografi incelemelerinin normal olduğu durumu tanımlar. Bu hastalarda, koroner arter spazmı da saptanmaktadır. Etiyolojisi kesin olarak bilinmemekle birlikte olası sebebin mikrovasküler düzeyde en-

dotelyal disfonksiyon olduğu varsayılmaktadır. Bu olguların 2/3'ünde kontrastlı MR perfüzyon incelemelerinde perfüzyon azalması gözlenmiştir. İlâveten bu hastalarda, beta-bloker tedavisinden sonra kaybolan, geç subendokardiyal kontrast tutulumu da bulunmaktadır [61].

Kardiak stres MRG mikrovasküler disfonksiyonu, yüksek rezolusyonu ve artmış duyarlılığı sayesinde büyük oranda gösterebilmektedir [16]. Hem subendokardiyal hem de subepikardiyal kan akımı hakkında fikir vermektedir.

Geç dönemde kontrast tutan alanın merkezinde siyah bölgenin (central dark zone) izlenmesi no-reflow fenomeni olarak bilinir. No reflow fenomeni saptanan olgularda miyokardiyal hasar sıklıkla daha geniş bir alanı kaplamakta olup erken revaskülarizasyon sonrası tedavi başarısının azalmasının başlıca nedeni olarak bildirilmiştir. Mikrovasküler obstrüksiyonun bulgusu olan hipointens bölgeler yapılan çalışmalarda kalıcı hasar ile ilişkili bulunmuştur. Mikrovasküler obstrüksiyonu göstermede istirahat first-pass perfüzyonu çalışması da kullanılabilecek diğer bir metoddur. Azalmış kan akımı kontrast maddenin miyokardiyumdan ilk geçiş esnasında perfüzyonda azalmaya yol açmaktadır. Böylece koroner arterdeki ciddi stenoz varlığı veya infarkt bölgesindeki mikrovasküler kan akımındaki azalma tespit edilebilir [38].

Sonuç olarak miyokardiyal iskemi görüntülemesinde Kardiyak MRG güvenilirliğini kanıtlamış ve klinik uygulamada rutin olarak kullanılan SPECT ve PET'e kıyasla üstün veya eşit duyarlılık ve seçiciliğe sahip, iyonizan radyasyon içermeyen non-invaziv bir tetkiktir. İlâveten diğer yöntemlerle saptanamayan önemli bir bulgu olan subendokardiyal perfüzyon defeklerini göstermesi ve yüksek uzaysal çözünürlüğü ile kontraksiyon anormalliklerini daha doğru değerlendirme olanağı sunması önemli avantajlar arasında sayılabilir.

Kaynaklar

- [1]. Kumar V, Cotran RS, Robbins SL. Kalp. Nobel tıp kitabevleri. Basic Pathology 2000; 308-339
- [2]. S. Silber, Richartz B.M. Impact of both cardiac-CT and cardiac-MR on the assessment of coronary risk. Z Kardiol 2005; 94: 70-80.

- [3]. Janssen CHC, Kuijpers D, Oudkerk M. MR Perfusi-on İmaging for the Detection of Myocardial İschemia. İmaging Decisions 2004; 8: 13-7. [CrossRef]
- [4]. Bayraktaroğlu S, Alper H. Koroner Arter Hastalığı Tanısı ve Prognoz Belirlemede Kardiak Manyetik Rezonans Görüntüleme. Anadolu Kardiyol Derg 2008; Özel Sayı 1: 38-42.
- [5]. Epstein FH. PhD Advances in Nonnuclear Imaging Technologies MRI of left ventricular function. J Nucl Cardiol 2007; 14: 729-44. [CrossRef]
- [6]. Mark Doyle, Gerald M. Pohost Kalbin Manyetik Rezonans Görüntülemesi. Hurst's The Heart 2002; 19: 589-607.
- [7]. Kramer CM. Cardiovascular MRI: The future is now. Electromedia 2001; 2: 1-6.
- [8]. Kim H.W, Klem I, Kim R. J. Detection of Myocardial İschemia by Stres Perfusion Cardiovascular Magnetic Resonance. Cardiology Clinics 2007; 25: 57-70. [CrossRef]
- [9]. Tomai F, Crea F, Chiariello L, Gioffre PA. Ischemic preconditioning in humans: models, mediators, and clinical relevance. Circulation 1999; 100: 559-63. [CrossRef]
- [10]. Gould KL, Kirkeeide RL, Buchi M. Coronary flow reserve as a physiologic measure of stenosis severity. J Am Coll Cardiol 1990;15: 459-74. [CrossRef]
- [11]. Mohlenkamp S, Hort W, Ge J, Erbel R. Update on myocardial bridging. Circulation 2002; 106: 2616-22. [CrossRef]
- [12]. Alishev N, Dursun M. Miyokardiyal İskemi Araştırması Amacıyla Yapılan Dipridamol Stresli Kardiyak Perfüzyon MRG Tetkiki İle Dipridamol Stresli Miyokardiyal Perfüzyon Sintigrafi Bulgularının Karşılaştırılması (Uzmanlık Tezi) İstanbul 2015.
- [13]. Kemp HG. Left ventricular function in patients with the anginal syndrome and normal coronary arteriograms. Am J Cardiol 1973; 32: 375-6. [CrossRef]
- [14]. Zipes DP, Libby P, Bonow RO, et al. Braunwald's heart disease: a textbook of cardiovascular medicine, 8 edn. Saunders-Elsevier, Philadelphia 2008.
- [15]. Cannon RO, Epstein SE. «Microvascular angina» as a cause of chest pain with angiographically normal coronary arteries. Am J Cardiol 1988; 62: 1338-43. [CrossRef]
- [16]. Panting JR, Gatehouse PD, Yang GZ, Grothues F, Firmin DN, Collins P, et al. Abnormal subendocardial perfusion in cardiac syndrome X detected by cardiovascular magnetic resonance imaging. N Engl J Med 2002; 346: 1948-53. [CrossRef]
- [17]. Kaski JC, Russo G. Cardiac syndrome X: an overview. Hosp Pract (Off Ed) 2000;35: 75-6, 79-82, 85-8. [CrossRef]
- [18]. Hurst T, Olson TH, Olson LE, Appleton C. Cardiac syndrome X and endothelial dysfunction: new concepts in prognosis and treatment. Am J Med 2006; 119: 560-6. [CrossRef]
- [19]. Kaski JC. Pathophysiology and management of patients with chest pain and normal coronary arteriograms (cardiac syndrome X). Circulation 2004; 109: 568-72. [CrossRef]
- [20]. Hayward CS, Kelly RP, Collins P. The roles of gender, the menopause and hormone replacement on cardiovascular function. Cardiovasc Res 2000; 46: 28-49. [CrossRef]

- [21]. Albertsson PA, Emanuelsson H, Milsom I. Beneficial effect of treatment with transdermal estradiol-17-beta on exercise-induced angina and ST segment depression in syndrome X. *Int J Cardiol* 1996; 54: 13-20. [\[CrossRef\]](#)
- [22]. Wright J, Bogaert J. The ESC Textbook of Cardiovascular Imaging. SpringerVerlag London Limited/CMR: Basic Principles 2010; 6: 111-120.
- [23]. Topol J.E. Kardiyovasküler Manyetik Rezonans Görüntüleme. James Thomas. Textbook of Cardiovascular Medicine 2008; 897-930.
- [24]. Kim HW, Crowley AL, Kim RJ. A clinical cardiovascular magnetic resonance service: operational considerations and the basic examination. *Cardiol Clin* 2007; 25: 1-13. [\[CrossRef\]](#)
- [25]. Constantine G, Shan K, Flamm SD, Sivananthan MU. Role of MRI clinical cardiology. *Lancet* 2004; 363: 2162-71. [\[CrossRef\]](#)
- [26]. Coelho-Filho OR, Rickers C, Kwong RY, Jerosch-Herold M. MR myocardial perfusion imaging. *Radiology* 2013; 266: 701-15. [\[CrossRef\]](#)
- [27]. Arnold JR, Karamitsos TD, Bhamra-Ariza P, Francis JM, Searle N, Robson MD, et al. Myocardial oxygenation in coronary artery disease: insights from blood oxygen level-dependent magnetic resonance imaging at 3 tesla. *J Am Coll Cardiol* 2012; 59:1954-64. [\[CrossRef\]](#)
- [28]. Wu E, Ortiz JT, Tejedor P, Lee DC, Bucciarelli-Ducci C, Kansal P, et al. Infarct size by contrast enhanced cardiac magnetic resonance is a stronger predictor of outcomes than left ventricular ejection fraction or end-systolic volume index: prospective cohort study. *Heart* 2018; 94: 730-6. [\[CrossRef\]](#)
- [29]. Roes SD, Kelle S, Kaandorp TA, Kokocinski T, Poldermans D, Lamb HJ, et al. Comparison of myocardial infarct size assessed with contrast-enhanced magnetic resonance imaging and left ventricular function and volumes to predict mortality in patients with healed myocardial infarction. *Am J Cardiol* 2007; 100: 930-6. [\[CrossRef\]](#)
- [30]. Masci PG, Ganame J, Strata E, Desmet W, Aquaro GD, Dymarkowski S. Myocardial salvage by CMR correlates with IV remodeling and early st-segment resolution in acute myocardial infarction. *JACC Cardiovasc Imaging* 2010; 3: 45-51. [\[CrossRef\]](#)
- [31]. Wu KC. CMR of microvascular obstruction and hemorrhage in myocardial infarction. *J Cardiovasc Magn Reson* 2012; 14: 68. [\[CrossRef\]](#)
- [32]. Bajwa HZ, Do L, Suhail M, Hetts SW, Wilson MW, Saeed M. MRI demonstrates a decrease in myocardial infarct healing and increase in compensatory ventricular hypertrophy following mechanical microvascular obstruction. *J Magn Reson Imaging* 2014; 40: 906-14. [\[CrossRef\]](#)
- [33]. Biglands JD, Radjenovic A, Ridgway JP. Cardiovascular magnetic resonance physics for clinicians: Part II. *J Cardiovasc Magn Reson* 2012; 14: 66. [\[CrossRef\]](#)
- [34]. Earls JP. Cardiac MRI: Recent progress and future challenges. *Advanced MRI* 2002; 1-10.
- [35]. Timmer SAJ, Teunissen PFA, Danad I, Robbers L, Rajmakers P, Nijveldt R, et al. In vivo assessment of myocardial viability after acute myocardial infarction: A head-to-head comparison of the perfusable tissue index by PET and delayed contrast-enhanced CMR. *J Nucl Cardiol* 2017; 24: 657-67. [\[CrossRef\]](#)
- [36]. Plein S, Ridgway JP, Jones TJ, Bloomer TN, Sivananthan MU. Coronary artery disease: assessment with a comprehensive MR imaging protocol-initial results. *Radiology* 2002; 225: 300-7. [\[CrossRef\]](#)
- [37]. Wright J, Bogaert J. Cardiac magnetic resonance imaging and ischaemic cardiomyopathies: What are the indications? *Presse Med* 2011; 40: 379-89. [\[CrossRef\]](#)
- [38]. Sandstede JJW. Assessment of myocardial viability by MR imaging. *Euro Radiol* 2003; 13: 52-61.
- [39]. Sechtem U, Baer FM, Voth E, Theissen P, Schneider CA. Stress functional MRI: detection of ischemic heart disease and myocardial viability. *J Magn Reson Imaging* 1999; 10: 667-75. [\[CrossRef\]](#)
- [40]. Nagel E, Lehmkuhl HB, Bocksch W, Klein C, Vogel U, Frantz E, et al. Noninvasive diagnosis of ischemia-induced wall motion abnormalities with the use of high-dose dobutamine stress MRI comparison with dobutamine stress echocardiography. *Circulation* 1999; 99: 763-70. [\[CrossRef\]](#)
- [41]. Bremerich J, Buser P, Bongartz G, Müller-Brand J, Grädel C, Pfisterer M, et al. Noninvasive stress testing of myocardial ischemia: comparison of GRE MRI perfusion and wall motion analysis to 99mTc-MIBI-SPECT, relation to coronary angiography. *Eur Radiol* 1997; 7: 990-5. [\[CrossRef\]](#)
- [42]. Barkhausen J, Hunold P, Jochims M, Debatin JF. Imaging of myocardial perfusion with magnetic resonance. *J Magn Reson Imaging* 2004; 19: 750-7. [\[CrossRef\]](#)
- [43]. Atkinson DJ, Burstein D, Edelman RR. First-pass cardiac perfusion: evaluation with ultrafast MR imaging. *Radiology* 1990; 174: 757-62. [\[CrossRef\]](#)
- [44]. Nagel E, Al-Saadi N, Fleck E. Cardiovascular magnetic resonance: myocardial perfusion. *Herz* 2000; 4: 409-16. [\[CrossRef\]](#)
- [45]. Lipton MJ, Bogaert J, Boxt LM, Reba RC. Imaging of ischemic heart disease. *Eur Radiol* 2002; 12: 1061-80. [\[CrossRef\]](#)
- [46]. Sensky PR, Jivan A, Hudson NM, Keal RP, Morgan B, Tranter JL et al. Coronary artery disease: combined stress MR imaging protocol-one-stop evaluation of myocardial perfusion and function. *Radiology* 2000; 215: 608-14. [\[CrossRef\]](#)
- [47]. Saeed M, Liu H, Liang CH, Wilson MW. Magnetic resonance imaging for characterizing myocardial diseases. *Int J Cardiovasc Imaging* 2017; 33: 1395-414. [\[CrossRef\]](#)
- [48]. Mahrholdt H, Wagner A, Judd RM, Sechtem U, Kim RJ. Delayed enhancement cardiovascular magnetic resonance assessment of non- ischaemic cardiomyopathies. *Eur Heart J* 2005; 15: 1461-74. [\[CrossRef\]](#)
- [49]. Kim HW, Farzaneh-Far A, Kim RJ. Cardiovascular magnetic resonance in patients with myocardial infarction. *J Am Col Card* 2009; 55: 1-16. [\[CrossRef\]](#)
- [50]. Kim R, Wu E, Rafael A, Chen EL, Parker MA, Simonetti O, et al. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med* 2000; 343: 1445-53. [\[CrossRef\]](#)
- [51]. Thomson LEJ, Kim RJ, Judd RM. Magnetic resonance imaging for the assesment of myocardial vi-

- ability. *J Magn Reson Imaging* 2004; 19: 771-88. [\[CrossRef\]](#)
- [52]. Kloner RA, Ganote CE, Jennings RB. The "No-Ref-low" Phenomenon after Temporary Coronary Occlusion in the Dog. *J Clin Invest* 1974; 54: 1496-508. [\[CrossRef\]](#)
- [53]. Kim RJ, Fieno DS, Parrish TB, Harris K, Chen E, Simonetti O, et al. Relationship of MRI Delayed Enhancement to Irreversible Injury, Infarct Age, and Contractile Function. *Circulation* 1999; 100: 1992-2002. [\[CrossRef\]](#)
- [54]. Abdel-Aty H, Zagrosek A, Schulz-Menger J, Taylor AJ, Messroghli D, Kumar A, et al. Delayed enhancement and T2-weighted cardiovascular magnetic resonance imaging differentiate acute from chronic myocardial infarction. *Circulation* 2004; 109: 2411-6. [\[CrossRef\]](#)
- [55]. Mahrholdt H, Wagner A, TA, Elliott MD, Bonow RO, Kim RJ, et al. Reproducibility of chronic infarct size measurement by contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *Circulation* 2002; 106: 2322-7. [\[CrossRef\]](#)
- [56]. Thiele H, Kappl MJ, Conradi S, Niebauer J, Hambrecht R, Schuler G. Reproducibility of chronic and acute infarct size measurement by delayed enhancement-magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 2006; 47: 1641-5. [\[CrossRef\]](#)
- [57]. Ingkanisorn WP, Rhoads KL, Aletras AH, Kellman P, Arai AE. Gadolinium delayed enhancement cardiovascular magnetic resonance correlates with clinical measures of myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 2004; 43: 2253-9. [\[CrossRef\]](#)
- [58]. Klein C, Nekolla SG, Bengel FM, Momose M, Sammer A, Haas F. Assessment of myocardial viability with contrast-enhanced magnetic resonance imaging: comparison with positron emission tomography. *Circulation* 2002; 105: 162-7. [\[CrossRef\]](#)
- [59]. Wagner A, Mahrholdt H, Holly TA, Elliott MD, Bonow RO, Kim RJ, et al. Contrast-enhanced MRI and routine single photon emission computed tomography (SPECT) perfusion imaging for detection of subendocardial myocardial infarcts: an imaging study. *Lancet* 2003; 361: 374-9. [\[CrossRef\]](#)
- [60]. Kumar A, Abdel-Aty H, Kriedemann I, Schulz-Menger J, Gross CM, Dietz R, et al. Contrast-enhanced cardiovascular magnetic resonance imaging of right ventricular infarction. *J Am Coll Cardiol* 2006; 48: 1969-76. [\[CrossRef\]](#)
- [61]. Edelman ER. Contrast-enhanced MRG imaging of the heart: overview of the literature. *Radiology* 2004; 232: 653-68. [\[CrossRef\]](#)
- [62]. Edelman RR, Wallner B, Singer A, Atkinson DJ, Saini S. Segmented turbo-FLASH: method for breath-hold MR imaging of the liver with flexible contrast. *Radiology* 1990; 177: 515-21. [\[CrossRef\]](#)
- [63]. Simonetti OP, Kim RJ, Fieno DS, Hillenbrand HB, Wu E, Bundy JM, et al. An improved MR imaging technique for the visualization of myocardial infarction. *Radiology* 2001; 218: 215-23. [\[CrossRef\]](#)

Miyokard Perfüzyonu ve İskemik Kalp Hastalıkları

Fadime Güven, Mecit Kantarcı

Sayfa 152

Miyokardiyal perfüzyon tanımı, birim zamanda belirlenmiş miyokard alanından akan kan hacmi olarak yapılabilir. Perfüzyon miktarı miyokardın oksijen ihtiyacına göre değişiklik gösterebilir. Miyokard oksijen tüketimindeki artış, miyokardiyal perfüzyonda da artış ile kendini gösterir. Miyokardiyal perfüzyon kan akımı ile doğrudan ilişkili olduğundan koroner arterlerde anlamlı bir darlık ya da oklüzyon olması halinde mevcut kan akımı artmış oksijen talebini karşılayamayacak ve bunun sonucunda da miyokardda iskemi gelişecektir.

Sayfa 154

Kardiyak Manyetik Rezonans Görüntüleme, non-invaziv kardiyak diagnostik görüntüleme yöntemlerinden biridir. Son zamanlardaki gelişmelerle birlikte kardiyovasküler sistemin birçok yönünden değerlendirilebilmesine olanak sağlayan bir modalite haline gelmiştir. Kardiyak MRG ile kalbin morfolojik yapısı, ventriküler fonksiyonları, kapak fonksiyonları, akım paternleri, miyokardiyal perfüzyon ve koroner anatomi değerlendirilmekte; miyokardiyal canlılık hakkında da önemli bilgiler edinilebilmektedir.

Sayfa 158

Miyokardiyal duvar hareketleri, farmakolojik stres oluşturularak fonksiyonel olarak değerlendirilebilir. Stunning ve hibernasyon durumunda stres ajanlarına duvar hareket bozukluklarında düzelme ve yanıt gözlenir. Aksine skar dokusundaki hareket bozukluğu stres ajanlarına yanıtsızdır. Çünkü stunning ve hibernasyon durumunda miyokardiyumda canlılık devam etmektedir.

Sayfa 162

Kardiyak MRG'nin en önemli kullanım alanlarından birisi "viabilite görüntülemesi" olarak da bilinen, akut veya kronik miyokardial infarktlı vakalarda skarlı miyokard dokusunun değerlendirilmesidir. Bu metot ile skar dokusunun yokluğu, miyokardın canlılığı ve revaskülarizasyon ile kontraktıl fonksiyonunun geri kazandırılabilir olduğu gösterilebilmektedir. Bu yöntemle skar dokusunun lokalizasyonunun ve uzanımının gösterilmesi koroner arter revaskülarizasyon tedavilerinin planlanmasında anahtar rol oynamaktadır. Skarlı miyokardın lokalizasyonu ve endokardial sınıra yakınlığı miyokardial fonksiyonun geri kazanılma potansiyelini öngörmeye önemli faktörlerdir.

Sayfa 164

Kardiyak sendrom X, var olan anginal semptomlara rağmen koroner arter anjiyografi incelemelerinin normal olduğu durumu tanımlar. Bu hastalarda, koroner arter spazmı da saptanmamaktadır. Etiyolojisi kesin olarak bilinmemekle birlikte olası sebebin mikrovasküler düzeyde endotelial disfonksiyon olduğu varsayılmaktadır. Bu olguların 2/3'ünde kontrastlı MR perfüzyon incelemelerinde perfüzyon azalması gözlenmiştir. İlaveten bu hastalarda, beta-bloker tedavisinden sonra kaybolan, geç subendokardiyal kontrast tutulumu da bulunmaktadır

Miyokard Perfüzyonu ve İskemik Kalp Hastalıkları

Fadime Güven, Mecit Kantarcı

1. Stres kardiyak perfüzyon MR görüntülemenin diğer görüntüleme yöntemlerine üstünlüğü hangi seçenekte belirtilmiştir?
 - a. Miyokardiyal viabilite ve ventrikül fonksiyonlarının değerlendirilmesinde faydalı bilgiler sağlaması
 - b. İyonizan radyasyon içermemesi
 - c. Temporal ve uzaysal çözünürlüğünün yüksek olması
 - d. Subendokardiyal perfüzyonun değerlendirilmesine imkan tanınması
 - e. Kullanımı giderek artan invaziv olmayan tetkiklerden biri olması
2. Kardiyak Sendrom X ile ilgili hangisi SÖYLENEMEZ?
 - a. Var olan anginal semptomlara rağmen koroner arter anjiyografi incelemelerinin normal olduğu durumu tanımlar
 - b. Etiyolojisi kesin olarak bilinmemekle birlikte olası sebebin mikrovasküler düzeyde endotelial disfonksiyon olduğu üzerinde durulmaktadır
 - c. Beta-bloker tedavisinden sonra kaybolan, geç subendokardiyal kontrast tutulumu söz konusudur
 - d. Bu hastalarda, normal koroner anjiyograma ek olarak koroner arter spazmı da saptanmamaktadır
 - e. Olguların hiçbirinde kontrastlı MR perfüzyon incelemelerinde perfüzyon azalması gözlenmemiştir.
3. Kardiyak MRG'de gözlenen iskemik kalp hastalıkları bulguları dikkate alındığında hangisi YANLIŞTIR?
 - a. Miyokardiyal duvar hareketleri, farmakolojik stres oluşturularak fonksiyonel olarak değerlendirilebilir
 - b. Skar dokusundaki hareket bozukluğu stres ajanlarına yanıt verebilir
 - c. Stunning ve hibernasyon durumunda stres ajanlarına duvar hareket bozukluklarında düzelme ve yanıt gözlenir
 - d. Skarlı miyokardın lokalizasyonu ve endokardial sınıra yakınlığı miyokardiyal fonksiyonun geri kazanılma potansiyelini öngörmeye önemli faktörlerdir
 - e. Kardiyak MRG ile kalbin morfolojik yapısı, ventriküler fonksiyonları ve miyokardiyal canlılık hakkında önemli bilgiler edinilebilmektedir.
4. Kardiyak MR Perfüzyon incelemesinde görülen artefaktlar ile gerçek perfüzyon defektlerini ayırmada kullanılabilecek parametrelerle ilgili hangisi SÖYLENEMEZ?
 - a. Kardiyak MR perfüzyon incelemesinde artefakt da gerçek perfüzyon defekti de hem stres hem de istirahatle elde edilen görüntülerde izlenebilir
 - b. Gerçek perfüzyon defektleri ardışık görüntüler boyunca devam eder ve sinyal intensitesi daha homojendir
 - c. Artefaktlar kontrast maddenin miyokarddan geçişi sırasında ortaya çıkan geçici ve değişken sinyal intensitesinde görünümündedir.
 - d. Gerçek perfüzyon defektleri koroner arteriyel dağılım bölgelerinde izlenirken artefaktlar daha sık olarak faz kodlama doğrultusunda görülürler.
 - e. Gerçek perfüzyon defektinde transmural ya da transmurala yakın tutulum izlenmekte olup aynı lokalizasyonda eşlik eden duvar hareket anormallikleri gözlemlenir
5. Koroner arterlerdeki kan akımında azalma sonucu ortaya çıkabilecek sendromlardan hangisi YANLIŞTIR?
 - a. Anjina pectoris
 - b. Akut miyokard enfarktüsü
 - c. Kronik obstrüktif akciğer hastalığı
 - d. Kronik iskemik kalp hastalığı
 - e. Ani kardiyak ölüm