

İskemik Kardiyomiyopatide Görüntüleme

Koroner arter hastalığı (KAH) dünya çapında ölüm ve mortalitenin en önemli sebeplerinden biridir.⁶⁰² İskemik kardiyomiyopati, iskeminin neden olduğu miyokart hasarına bağlı kalbin pompa fonksiyonlarında bozulmayla tanımlanan en yaygın kalp hastalığıdır. KAH'da koroner arterlerde plak oluşumuna bağlı olarak kan akımının azalmasıyla birlikte miyokart dokusundaki beslenme bozukluğuna bağlı kalp fonksiyonlarında bozulma meydana gelmektedir.⁶⁰³ İskemik kardiyomiyopatinin tanımı bazı kaynaklarda ciddi KAH varlığında sol ventrikül fonksiyonunun ciddi azalması, ejeksiyon fraksiyonunun %35'in altında olması, bazı kaynaklarda ejeksiyon fraksiyonunun %50'nin altında olması olarak tanımlanır.⁶⁰⁴

İskemik kardiyomiyopati; miyokart iskemisi, miyokart enfarktüsü ve kalp yetersizliğine uzanan klinik durumları içermektedir. İskemik kardiyomiyopatinin patofizyolojik substratı değişkendir, hiberne miyokarttan geri dönüşümsüz skara kadar uzanır. Hiberne miyokart, kalp kasının belirli bir süre boyunca yetersiz oksijen alması sonucu geçici olarak etkisiz hale gelmesi ve işlevini geri kazanabilme potansiyeline sahip olması durumunu tanımlar. Bu durumda, uygun tedavi ve kan akışının sağlanmasıyla kalp kasının işlevi tekrar normale dönebilir.

Farklı tanı testleri, hiberne miyokart varlığını değerlendirmek için yerine geçen tanımlamaları kullanır. Bu tanımlamalar değişebilir ve çeşitli görüntüleme teknikleri, metabolik görüntüleme, skar görüntüleme veya kontraktıl rezerv gibi patofizyolojinin farklı yönleri hakkında bilgi sağlar. Sonuç olarak bu testlerin sonuçları, değerlendirme için seçilen özel görüntüleme tekniğine bağlı olarak değişebilir. Hiberne miyokart tanısında her bir görüntüleme yönteminin güçlü ve zayıf yönlerini dikkate almak önemlidir.

İskemik kardiyomiyopatinin değerlendirilmesinde ekokardiyografi, single-photon emission computed tomography (SPECT), pozitron emisyon tomografi (PET), koroner bilgisayarlı tomografi anjiyografi (KBTA), kardiyak manyetik rezonans (KMR) gibi çeşitli görüntüleme yöntemleri kullanılarak koroner anatomi, miyokardiyal iskemi, miyokardiyal perfüzyon ve doku karakterizasyonu hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir.⁶⁰⁵ Akut ve kronik KAH tanısını doğrulamak ve tedaviyi belirlemek için tercih edilen görüntüleme yöntemi klinik durum, hasta özellikleri, klinikteki yerel uygunluk ve uzmanlığa bağlıdır. Bu derleme, bireysel hasta için en uygun görüntüleme yaklaşımının nasıl seçileceği konusunda rehberlik sağlamayı amaçlamaktadır.

Ekokardiyografi

Duvar hareketi ve yapısal anormalliklerin değerlendirilmesi için kronik koroner sendrom şüphesi olan tüm hastalarda istirahat halinde transtorasik ekokardiyografi önerilir.⁶⁰² Ekokardiyografi hem dinlenme hem de egzersiz veya inotrop veya vazodilatör uygulamasıyla indüklenen stres sırasında duvar hareketi anormallikleri (WMA), bozulmuş kontraktıl yanıt, mikrovasküler perfüzyon veya epikardiyal arterlerdeki akım gibi KAH ile ilgili birkaç yönü tespit etmek için kullanılır.

Miyokardiyal perfüzyonu değerlendirmeye dayanan tetkikler iskeminin saptanmasında daha duyarlıyken duvar hareket anormalliklerini değerlendirmeye dayanan tetkikler daha yüksek özgüllüğe sahiptir.⁶⁰⁵ Ekokardiyografi; ventrikül volümleri, ejeksiyon fraksiyonu, iskemiye sekonder kapak yetersizlikleri, trombüs değerlendirilmesi; stres ekokardiyografi ile duvar hareket kusuru değerlendirilmesi; strain görüntüleme ile kardiyak fonksiyonların değerlendirilmesi gibi çok yönlü ve klinik açıdan

anlamlı parametreler sunan kolay ulaşılabilir ve yaygın kullanılan bir yöntemdir.

Global sistolik fonksiyon genellikle sol ventrikül ejeksiyon fraksiyonu (LVEF) ölçümü ile değerlendirilir, bu da iki boyutlu (2D) veya üç boyutlu (3D) ekokardiyografi ile nicelendirilebilir. LVEF; kalp yetmezliği, aritmiler, hastane yatışı ve mortalite için önemli bir prediktördür. Tedavi stratejisinin ve primer profilaksi için implante edilebilir kardiyak defibrilatör (ICD) gereksiniminin belirlenmesinde kullanılır.^{537,606} Kardiyak hacimlerin de ejeksiyon fraksiyonundan bağımsız olarak tanısı ve prognostik önemi vardır. Sol ventrikül dilatasyonu kötü prognozla ilişkili bulunmuştur.⁶⁰⁷

Sol ventrikül volüm ve fonksiyonlarının değerlendirilmesi için önerilen yöntemler modifiye biplane Simpson, area-length ve 3D ekokardiyografidir. Modifiye biplane Simpson metodu kullanılması en çok önerilen yöntemdir. Bu yöntemde ejeksiyon fraksiyonu, apikal dört ve iki boşluk görüntülerden hesaplanan sol ventrikül diyastol ve sistol sonu hacimlerinden elde edilir.^{2,3} Görüntü kalitesinin iyi olduğu durumlarda 3D ekokardiyografide hacimler iki boyutlu yöntemlere göre daha yüksek doğruluk oranına sahip ve KMR'ye daha yakın sonuçlar vermektedir.^{3,608}

Global sol ventrikül fonksiyonunu değerlendirmenin yanı sıra bölgesel sistolik fonksiyon da değerlendirilmelidir. Bölgesel sistolik fonksiyon genellikle duvar kalınlaşmasının görsel yorumuyla değerlendirilir. İskemik kardiyomiyopatide çoğunlukla segmenter duvar hareket kusuru gözlenmektedir. Sol ventrikül segmenter fonksiyonlarının değerlendirilmesi için 17 segment modeli önerilmekle birlikte sol ventrikül apeksinin kalınlaşması net değerlendirilemediğinden klinik pratikte 16 segment modeli kullanılmaktadır.

İskemik kardiyomiyopatide istirahat ekokardiyografide segmentler 1: normal ya da hiperkinetik; 2: hipokinetik; 3: akinetik ve 4: diskinetik-anevrizmatik olarak değerlendirilebilir. Dinlenme halindeki (resting) end diyastolik duvar kalınlığının 6 mm'den az olması, iyileşme olasılığı düşük olan skarı yansıtır ve revaskülarizasyon sonrası fonksiyonlarını geri kazanmaları muhtemel değildir.^{2,3,608,609} Dinlenme koşullarında, ciddi koroner darlık veya kollateral bağımlılığı durumunda, miyokardın sadece endokardiyal kısmının hipoperfüzyonu ile hipokinezi ve hatta akinezi meydana gelebilir. Dinlenme sırasında akinezi veya diskinezi, transmural akım azalması veya önceki miyokart enfarktüsüne bağlı olabilir.⁶⁰²

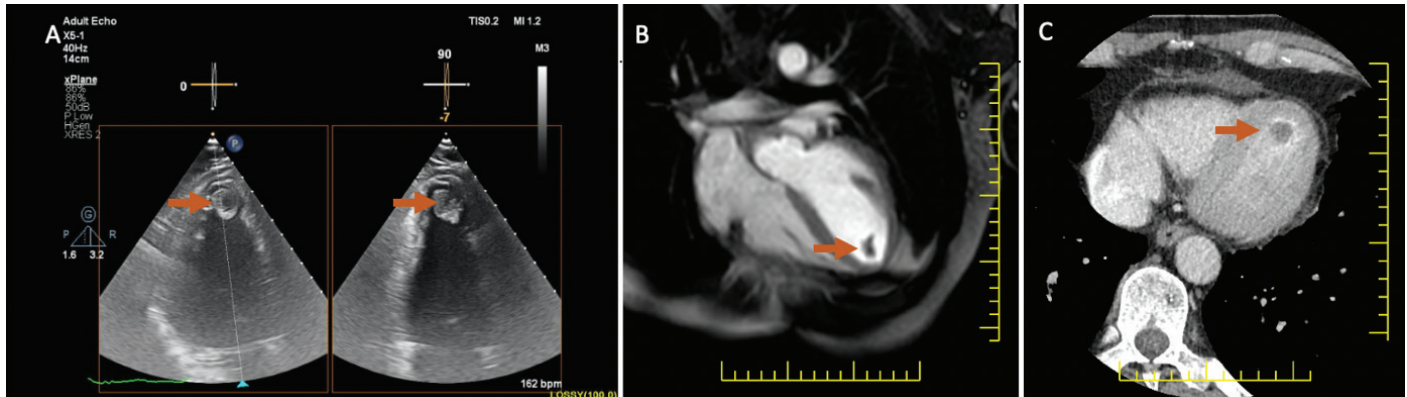
İskemik kardiyomiyopatili hastalarda, TDI hızı (a'), primer koruma için ICD'ye sahip hastalarda ventriküler taşikardi, ventriküler fibrilasyon ve kardiyovasküler mortalite oluşma olasılığı için değerli prognostik bilgiler verebilir.⁶¹⁰

İskemik kardiyomiyopatide embolik olaylarla sonuçlanabilen sol ventrikül trombüsleri gelişebilmektedir. Trombüs varlığı ekokardiyografi ile değerlendirilebilir ancak zayıf akustik pencere durumlarında ya da şüphenin varlığında kontrast ekokardiyografi ile değerlendirme yapılabilir. Kontrast ekokardiyografi duvar hareket bozukluklarını değerlendirmede de yarar sağlamaktadır. Ekokardiyografinin kısıtlı olduğu olgularda ek görüntüleme modalitelerine başvurulabilmektedir. Sol ventrikül trombüsünün farklı modalitelerle görüntülenmesi Şekil 107'de gösterilmiştir.

Miyokardiyal kontrast ekokardiyografi miyokardiyal perfüzyonun noninvaziv değerlendirilmesinde kullanılan bir görüntüleme modalitesidir. İki veya daha fazla bitişik segmentin dinlenme sırasında yeterince görüntülenemediği veya stres sırasında yeterince görüntülenemeyeceği durumlarda, onaylanmış ultrason kontrast ajanların yani ultrason kontrastı veya mikrobarcıklar kullanımı önerilir. İskemik kardiyomiyopatili hastalarda hiberne miyokardın değerlendirilmesinde ve fonksiyonların iyileşmesinin öngörülmesinde SPECT'e üstün bulunmuştur.⁶¹¹

Strain ve strain rate, sol ventrikül fonksiyonlarını değerlendirmek amacıyla ejeksiyon fraksiyonuna yardımcı parametreler olarak önerilmektedir.² Miyokardiyal strain, miyokardın kalp döngüsündeki deformasyonunun fraksiyonel değişiminin hesaplanmasına dayanmaktadır. Bu değişimin hızı ise strain rate olarak tanımlanmaktadır. Bu deformasyon longitudinal, sirkumferansiyel ve radyal olarak gerçekleşir. Sistolde longitudinal strain baskındır. İskemik kardiyomiyopatide endokart iskemiye daha duyarlı olduğundan global longitudinal strain (GLS) en duyarlı olanıdır ve en erken etkilenen parametrelerdendir.⁶¹²

Literatürde de en fazla GLS'ye ait veriler bulunmaktadır ve bu veriler ışığında klinik pratikte de GLS kullanılmaktadır.⁶¹³ Yapılan çalışmalarda GLS'nin KAH hastalarının belirlenmesinde ejeksiyon fraksiyonundan daha faydalı olduğu; ayrıca mortalite ve kalp yetmezliği gibi kötü sonuçlarla ilişkili olduğu gösterilmiştir.^{614,615} Yirmi dört çalışmayı kapsayan bir meta-analizde GLS için ortalama normal aralık GLS % -19,7 (%95 güven aralığında: % -20,4 ila -18,9) olarak bildirilmiştir.⁶¹⁶ Kılavuzlarda



Şekil 107. İskemik kardiyomiyopatili bir hastanın akinetik ve incelmış sol ventrikül apeksindeki trombüsünün (kırmızı oklar) ekokardiyografi (A), kardiyak manyetik rezonans (B) ve koroner bilgisayarlı tomografi (C) ile gösterilmesi.

net bir değer belirtilmese de %20'nin üzerindeki değerlerin muhtemel normal olacağı eğilimi vardır.³ Strain rate için normal aralık ise 1/saniye-4/saniyedir.⁶¹³

Sirkumferansiyel strain ile ilgili yapılan bir çalışmada ise sirkumferansiyel strainin de ejeksiyon fraksiyonu, KMR ile belirlenen total miyokardiyal skar ve GLS'ye göre kardiyak olayların daha iyi bir belirleyicisi olabileceğine dair kanıtlar bulunmuştur.⁶¹⁷ Strain, ön yük ve ard yükten etkilenmekteyken; strain rate daha az etkilenmektedir.⁶¹³ Ayrıca strain değerlerinin test değişkenliğinden, teknik faktörlerden ve hastaya ait klinik faktörlerden de etkilenebileceği unutulmamalıdır. Mevcut veriler ışığında strain değerlendirme sol ventrikül fonksiyonu için tek başına kullanımı yeterli görünmemekle birlikte ejeksiyon fraksiyonu gibi parametrelerle birlikte kullanılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

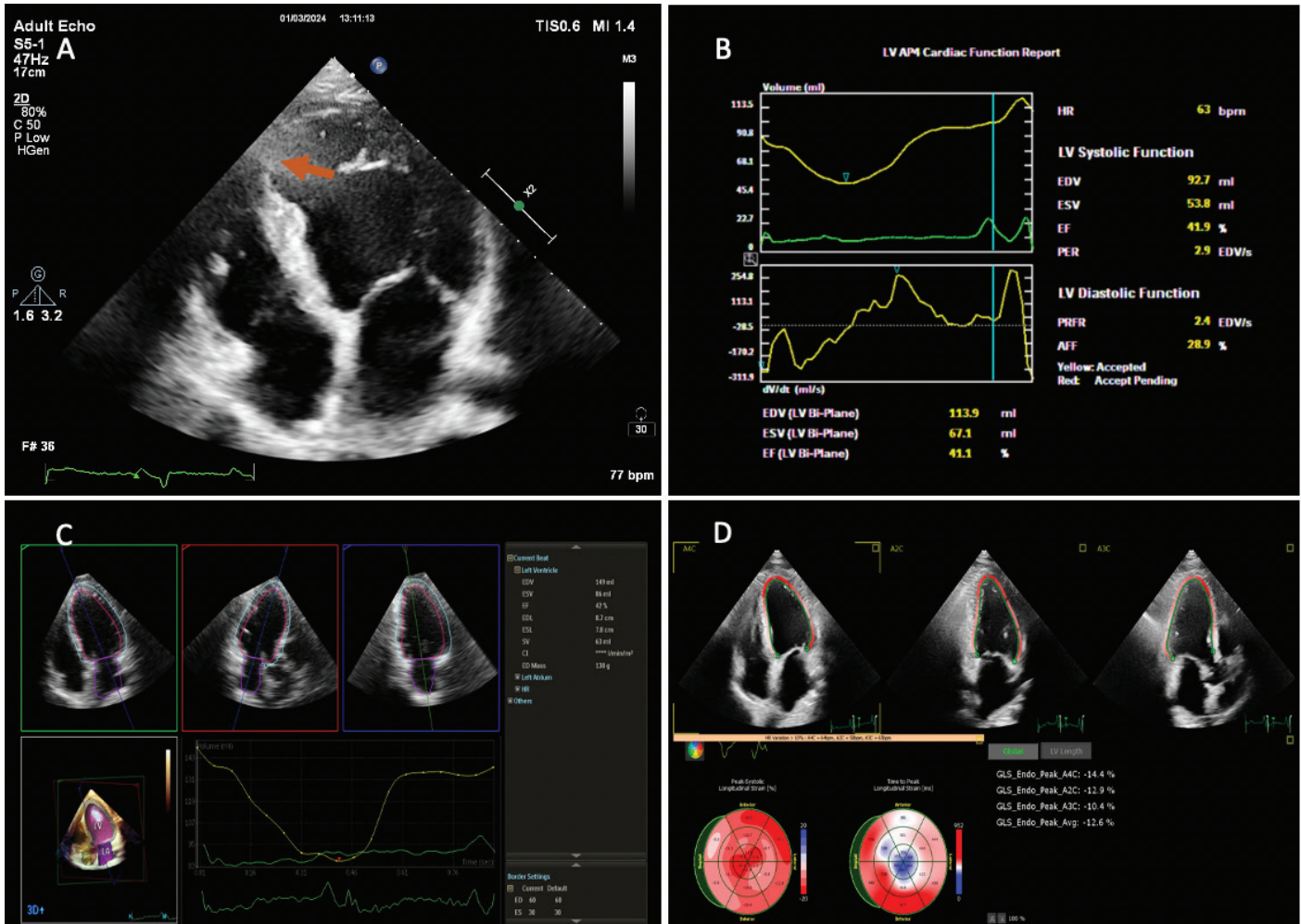
İskemik kardiyomiyopati ile ilgili örnek ekokardiyografi görüntüleri Şekil 108'de gösterilmiştir.

Farmakolojik/egzersiz stres ekokardiyografi, KAH tanısında hem Amerikan hem de Avrupa kılavuzları tarafından önerilmektedir.^{603,618} Kolay ulaşılabilir olması, düşük maliyeti ve radyasyon içermemesi önemli avantajlarındandır. Miyokart iskemisini

miyokart perfüzyonunu değerlendiren yöntemlere kıyasla duvar hareket bozukluklarını saptayarak belirlemektedir. Fiziksel veya farmakolojik ajanlarla yapılabilmektedir.

Anormal bir yanıt için kriterler sadece anormal kasılma ile sınırlı değildir, aynı zamanda bir segmentin stres yanıtında uygun bir kontraktile artışını göstermemesi de önemli bir bulgudur. Egzersiz yapabilen hastalar gerçek bir fizyolojik yanıtı temsil ettiğinden egzersiz stres testinden geçmelidir. Egzersiz stresi, elektrokardiyogram sonuçları, egzersiz kapasitesi, semptomlara kadar geçen süre ve kan basıncı tepkisine dayanarak farmakolojik stresten daha fazla prognostik bilgi sağlar. Farmakolojik stres ekokardiyografisi genellikle egzersiz yapamayan hastalar veya sol dal bloğu varlığı gibi bazı belirli klinik durumlarda tercih edilmektedir.⁶⁰²

İnotropik ajan olarak dobutamin, vazodilatör ajan olarak adenozin ya da dipiridamol kullanılabilir. İşlem sırasında yapılan takiplerdeki kan basıncı ve elektrokardiyogram değişiklikleri ek prognostik destek sağlamaktadır. Zayıf akustik pencereler, optimal olmayan görüntüler ve operatör bağımlılığı önemli kısıtlılıklarıdır. Dobutamin, kontraktil rezervin değerlendirilmesi



Şekil 108. Ekokardiyografi. (A) Apikal dört boşluk görüntüde sol ventrikül apikoseptumunda anevrizma (kırmızı ok). İskemik kardiyomiyopatili bir hastada modifiye biplane Simpson metodu (B) ve üç boyutlu ekokardiyografi (C) ile sol ventrikül ejeksiyon fraksiyonu hesaplanması ve sol ventrikül global longitudinal strain (D) ölçümü.

için düşük dozda infüze edilir ancak birçok durumda, iskemiyi değerlendirmek için orta ve yüksek dozda uygulanabilir. Düşük doz dobutamin ile iyileşmiş fonksiyon hiberne miyokardı işaret ederken, yüksek stres düzeylerinde yeni gelişen duvar hareket bozukluğu veya bifazik cevap indüklenebilir miyokardiyal iskemiyi düşündürür.⁶⁰⁴

KAH'ın tespiti yanında, stres ekokardiyografinin hastanın riskini ve prognozunu tahmin etmede önemli bir rolü vardır. Bu, global iskemik yükün nicelendirilmesine dayanır ve birden fazla skor kullanılarak yapılır: (i) anormal yanıt gösteren segment sayısı; (ii) anormal yanıt gösteren miyokardın yüzdesi ($> \%20$); (iii) global miyokardiyal iskemik şiddet [duvar hareket skoru indeksi (WMSI) $> 1,4$]; (iv) birden fazla koroner bölgede anormal yanıt; (v) erken stres sırasında duvar kalınlaşması anormalliklerinin gelişimi.⁶⁰²

Stres ekokardiyografinin duvar hareket kusuruna ek parametreler ile tanıs ve prognostik açıdan gücünü artırmaya yönelik çalışmalar yapılmış ve ABCDE protokolü geliştirilmiştir.⁶¹⁹ Bu protokolde A istirahat ve stres anındaki duvar hareketleri değerlendirilir. Bu, WMSI ile değerlendirilir. İstirahat WMSI $<$ stres WMSI şeklinde pozitif bir değişim iske mi lehine değerlendirilir. Negatif değişim ise canlılığı ya da rezervi gösterirken hiçbir değişiklik olmaması skar lehine değerlendirilir. İskemisiz stres süresi koroner arter stenozu ciddiyeti ve kötü sonlanımlarla ilişkili bulunmuştur. Stres WMSI, KAH'lı hastalarda mortalite ile ilişkili olduğu gösterilmiştir.^{620,621}

B; akciğer ultrasonografisinde normal olan A çizgilerinin B çizgilerine dönüşmesi ve en az iki B çizgisinin olmasıdır. Bu pulmoner konjesyon ve diyastolik disfonksiyon hakkında bilgi sağlar. B çizgisinde artış da mortalite ile ilişkilendirilmiştir.

C; sol ventrikül kontraktıl rezervi hakkında bilgi sağlayan parametrelerin değerlendirilmesidir. Stres ile normalde ejeksiyon fraksiyonunda artış ve sistol sonu hacminde azalma beklenir. Sistol sonu hacminde $\%10$ ve üzeri artış kötü prognozla ilişkili bulunmuştur.

D; renkli Doppler ve pulse wave Doppler ile koroner akım velositi rezervin (CFVR) ölçülmesiyle koroner mikrovasküler bozukluğun değerlendirilmesidir. Normal yanıt CFVR $> 2,0$ olmasıdır, altındaki değerler anormal yanıt olarak değerlendirilir. KAH'ı olanlarda güçlü bir mortalite prediktörü olduğu bulunmuştur.

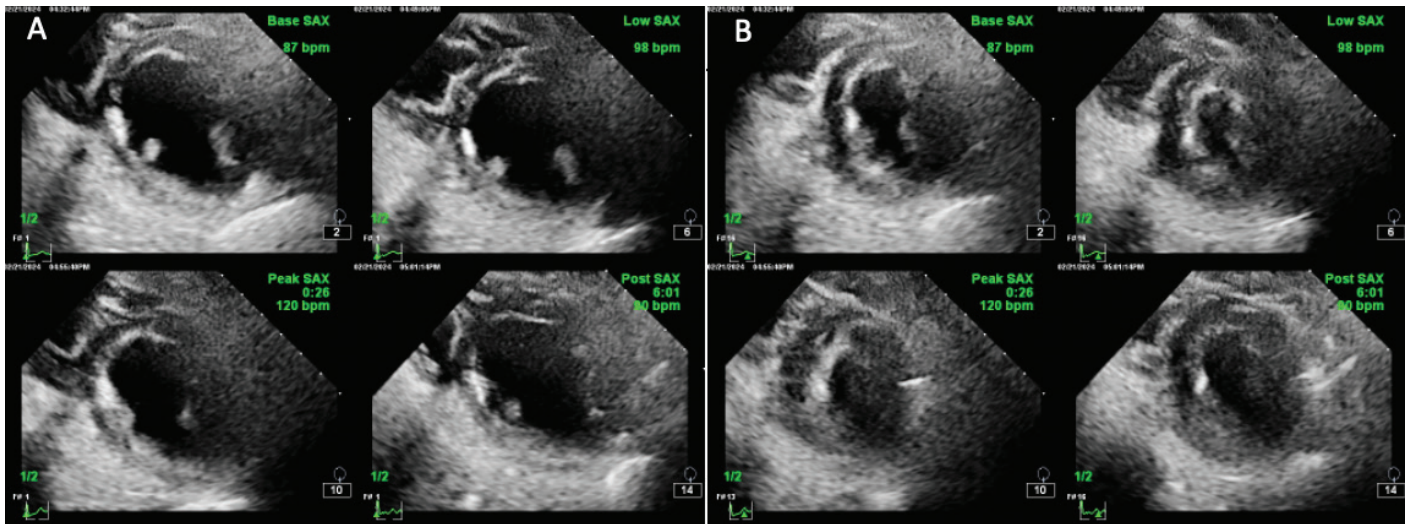
E; kalp hızı rezervi (HRR) egzersiz ve dobutamin stres ekokardiyografide $> 1,80$ olması normal yanıttır. Azalmış HRR'nin KAH'lı hastalarda önemli bir mortalite prediktörü olduğu bulunmuştur.⁶²¹

KAH şüphesi olan bir hastaya yapılan dobutamin stres ekokardiyografi örneği Şekil 109'da gösterilmiştir.

Epikardiyal arteriyel akımın doğrudan ekokardiyografik değerlendirmesi, Doppler ultrason ile mümkün olabilir. Fakat, yalnızca büyük primer damarlar güvenilir bir şekilde görüntülenebilir ve üç ana koroner arterin tamamının görüntülenmesinde yaşanan zorluklar, bu tekniğin geniş klinik kullanımını engelleyen önemli bir kısıtlamadır.⁶⁰²

Sol ventrikül remodellingi ile papiller kasların apikal ve posteriyör yer değiştirmesine bağlı olarak mitral kapağın leafletlerinin koaptasyonu bozulmakta ve mitral yetersizliği meydana gelmektedir. Mitral kapağın anatomik yapısının normal olmasına rağmen gelişen bu mitral yetersizliği sekonder ya da fonksiyonel mitral yetersizliği olarak adlandırılır. Sekonder mitral yetersizliğinin mortalite ile ilişkili olduğu gösterilmiştir.

Sekonder mitral yetersizliğinin ciddiyeti değerlendirilirken efektif yetersizlik orifis alanı (EROA) ve yetersizlik hacmi prognozla ilişkili bulunmuştur. Proksimal izovelsite yüzey alanı (PISA) yöntemi yetersizlik derecelendirilmesi için en sık kullanılan yöntemdir. Ciddi sekonder mitral yetersizliğinde EROA $0,3 \text{ cm}^2$ ve üzeri olması ya da yetersizlik hacminin 45 mL ve üzeri olması olarak tanımlanmıştır. Mitral kapağın morfolojik özellikleri, sol atriyum ve sol ventrikül boyutları da göz önüne alınmalıdır. Mitral yetersizliği tedavi stratejisinin planlanmasında faydalı olan tenting alanı, koaptasyon açıklığı, koaptasyon derinliği, leaflet uzunluk-



Şekil 109. Dobutamin stres ekokardiyografi. Miyokart iskemisinin değerlendirilmesi için yapılan dobutamin stres ekokardiyografi sırasında bazal, düşük doz dobutamin, pik doz dobutamin ve post stres anlarındaki diyastolde(A) ve sistolde(B) alınan kısa aks görüntüler.

ları gibi parametreler de değerlendirilmektedir. Görüntü kalitesinin iyi olduğu hastalarda 3D görüntüleme ile bu ölçümler daha doğru belirlenebilir.⁶²²

Bütün bu bilgiler ışığında görüntü kalitesinde kısıtlılıklar olsa da ekokardiyografi hala kolay ulaşılabilirliği, geniş kullanım alanı ve düşük maliyetiyle iskemik kardiyomiyopati hastalarında değerlendirme için temel tetkiktir.

Koroner Bilgisayarlı Tomografi Anjiyografi

Konvansiyonel anjiyografi KAH'ı belirlemede referans yöntemdir.^{603,618} KBTA aterosklerozun yaygınlığı, plak karakterizasyonu ve darlık ciddiyetini belirlemede yarar sağlayan bir görüntüleme yöntemidir.⁶²³ Perkütan koroner girişim ve koroner arter bypass greft uygulanmış hastalarda da kullanılabilir. KAH tanısında duyarlılığı oldukça yüksek, özgüllüğü ise %89 olarak bildirilmiştir.⁶²⁴ Avrupa ve Amerikan kılavuzlarında stabil KAH'da tanı algoritmasında yer almaktadır.^{603,618}

Koroner arter kalsifikasyon yükünü ölçmenin en yaygın ve prognostik olarak güvenilir yöntemi, genel koroner arter ateroskleroz yükü için kanıtlanmış bir ölçü olan Agatston skoru ile yapılan ölçümdür. Bu skorda, her dilim için kalsifiye ateroskleroz alanı, yoğunluk ağırlık faktörü ile çarpılarak (yoğunluk arttıkça daha yüksek) ve tüm koroner arter ağında toplanır.⁶⁰² KBTA'da CAD-RADS skorunun KAH yükü ve prognozu belirlemede faydalı olduğuna dair kanıtlar mevcuttur. Ancak iskemik kardiyomiyopatinin progresyonunu değerlendirme konusunda net faydası gösterilmemiştir.^{625,626}

KBTA'nın plak karakterizasyonu hakkında bilgi sağlaması önemli avantajlarından biridir. Plak yükü ve nonkalsifiye plak hacmi gibi kötü prognozla ilişkili faktörleri değerlendirmeye olanak sağlamaktadır.^{627,628} Semptomatik hastalarda, KBTA; koroner arterlerin benzersiz, doğrudan 3D görselleştirmesini sağlayarak lümen daralmasının varlığını, yaygınlığını ve şiddetini değerlendirmeyi sağlar.⁶⁰² Ancak bu bulguların bilgisayarlı tomografi cihazının teknik özelliklerinden etkilenebileceği akılda tutulmalıdır. Ayrıca, KBTA ventriküler trombüs varlığının tespitinde de yardımcı bir modalitedir.

Koroner arter darlığının KBTA ile tespit edilmesi örneği Şekil 110'da gösterilmiştir.

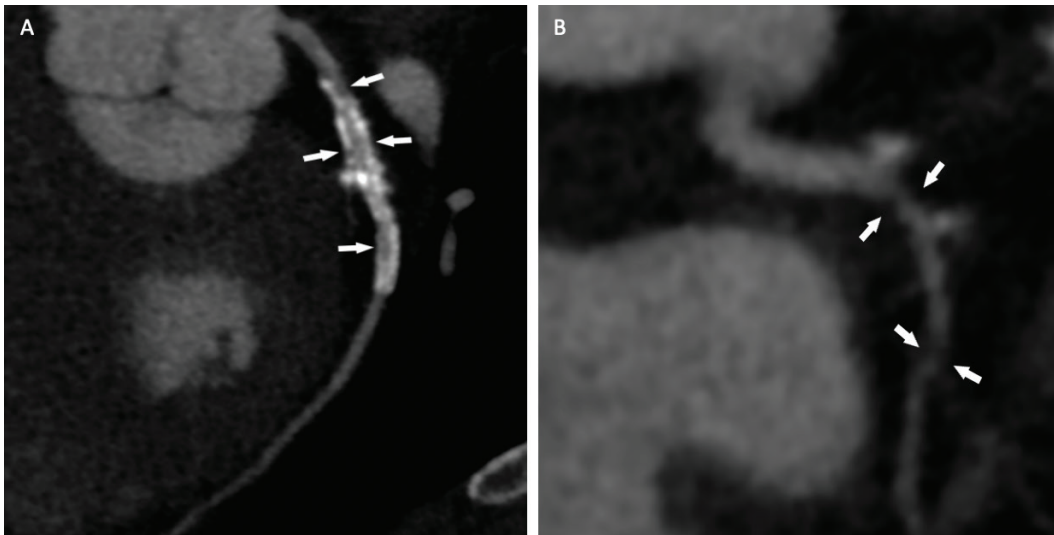
KBTA'nın mevcut özellikleri ile koroner anatomi hakkında bilgi sağlayabilmekle birlikte KAH'ın ciddiyetinin hemodinamik özellikleri hakkında yararı kısıtlıdır. Miyokardiyal iskeminin gösterilmesi için ek tetkiklere ihtiyaç duyulmaktadır. Fraksiyonel akım rezervi (FFR) darlığın distali ve proksimalindeki basınç farkının oranıdır.⁶²⁹ KBTA ile akımlar üstünden FFRct hesaplanabilmektedir. FFRct ile anatomik olarak değerlendirilen plağın fonksiyonel özellikleri de değerlendirilebilmektedir ve böylece KAH'ın ciddiyeti hakkında daha net veriler elde edilmiş olur. Yapılan çalışmalarda FFRct'nin kısa dönem ve bir yıllık kötü sonuçlanımlarda azalma sağladığı gösterilmiştir.^{630,631}

Bilgisayarlı tomografi perfüzyon, FFRct'den farklı olarak hiperemi yapan bir ajanın kullanılması ile stenotik plağın hemodinamik etkisini değerlendirerek miyokart iskemisini belirlemeyi hedeflemektedir. Statik ve dinamik protokoller ile bilgisayarlı tomografi perfüzyon ölçümleri yapılabilir. Yapılan çalışmalar bilgisayarlı tomografi perfüzyon ölçümlerinin tek başına KBTA ölçümlerine göre tanısallı doğruluğu artırdığı gösterilmiştir.⁶³² Ayrıca FFRct'ye göre özgüllüğü ve pozitif prediktif değeri daha yüksek bulunmakla birlikte daha fazla radyasyon maruziyeti söz konusudur.⁶³²⁻⁶³⁵

Dinlenme ve vazodilatör stres sırasında yapılan bilgisayarlı tomografi ile miyokart perfüzyonu, klinik ortamda şu anda yaygın olarak kullanılmayan ancak umut vadeden yeni bir tekniktir ve temel KBTA çalışmasının ötesinde ek kontrast ve radyasyon gerektirir.⁶⁰²

Nükleer Tıp

KAH'da koroner arterlerdeki stenoz derecesinin tedavi yönetiminde tek başına yeterli bir parametre olmadığı ve darlığın hemodinamik öneminin değerlendirilmesinin faydalı olduğu bilinmektedir.^{603,618} Foton emisyon bilgisayarlı tomografi ve PET en sık kullanılan fonksiyonel değerlendirme sağlayan görüntüleme yöntemleridir.



Şekil 110. Koroner bilgisayarlı tomografi anjiyografi. (A) Sol ön inen arterdeki stent içi orta-ciddi düzey darlıkların (beyaz oklar) ve (B) sirkumfleks arterdeki kritik darlıkların (beyaz oklar) gösterilmesi.

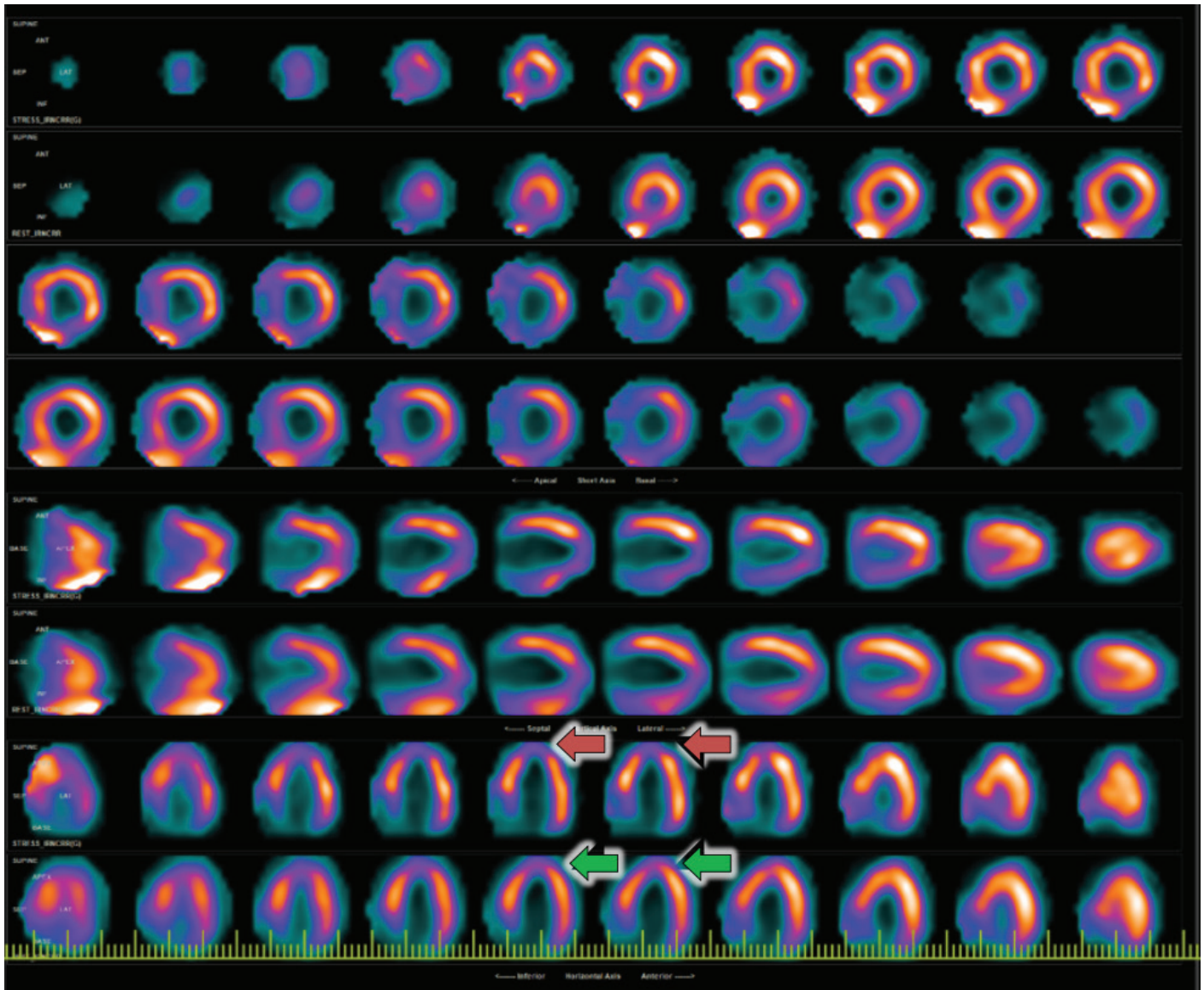
SPECT, Tc99m ve Tl201 gibi radyonüklit ajanlar kullanılmasıyla istirahat ve stres sırasındaki miyokardiyal perfüzyonu değerlendirmektedir. Duyarlılığının %86, özgüllüğünün %74 olduğu bildirilmiştir.⁶³⁶ Negatif SPECT sonuçları istenmeyen kardiyak olaylarda azalma ile ilişkilendirilmiştir. Bu negatif öngörüsüne ek olarak yüksek riskli SPECT sonuçları daha yüksek oranda kardiyovasküler olaylarla ilişkili olduğu bulunmuştur.^{635,637,638}

Çalışmalarda SPECT'in, KAH tanısının yanında risk sınıflamasının, tedavisinin ve prognozunun değerlendirilmesinde de yararlı olduğu gösterilmiştir.^{605,639} Yaygın KAH, mikrovasküler hastalık ve beden kitle indeksi yüksek olan hastalarda tanınal faydası kısıtlıdır.⁶⁰⁵ Miyokart perfüzyon çalışmasının örneği Şekil 111'de gösterilmiştir.

PET, SPECT'e göre daha yüksek uzaysal ve zamansal çözünürlükle daha iyi miyokardiyal iskemi değerlendirmesi sağlamak-

tadır. Bu özellikleri ile SPECT'in tanınal kısıtlılığı olduğu çoklu damar hastalığı ve ana koroner lezyonlarında daha yüksek tanınal doğruluk sağlamaktadır.^{640,641} Duyarlılığının %90, özgüllüğünün %89 olduğu bildirilmiştir.⁶⁴² Miyokart kan akımındaki azalmayı tespit etmek için en sık kullanılan radyonüklitler 82 rubidyum ve 13N-amonyaktır; 15O-H₂O ise altın standarttır.^{640,643} Normal olmayan PET sonuçlarının kötü kardiyovasküler sonuçlarla ilişkisinin gösterilmesi prognostik açıdan değerini de ortaya koymuştur.⁶⁴⁴

İskemi dışında miyokardiyal canlılığın değerlendirilmesi için 18F-florin deoksiglukoz (18F-FDG) PET yöntemi kullanılmaktadır. Sol ventrikül disfonksiyonu gelişmiş KAH'da revaskülarizasyon için canlı doku varlığının değerlendirilmesi önemli bir parametredir. Literatürde canlı doku araştırılmasında PET'in dobutamin stres



Şekil 111. Miyokart perfüzyon sintigrafisi. Apikal duvar iskemisi gösteren miyokart perfüzyon sintigrafisi görüntüleri. İkili sıralar halinde dizilmiş resim serilerinden üstteki sıralar stres, alttaki sıralar dinlenme aşamalarını göstermektedir. Enine kesitlerde apikal segmente denk gelen alanda stres sırasındaki az tutulumun (kırmızı oklar) dinlenme görüntülerinde düzelmesi (yeşil ok) iskemi varlığı düşündürmektedir.

ekokardiyografi ve SPECT'e daha üstün olduğunu bildiren veriler mevcuttur.⁶⁴⁵ Yapılan bir meta-analiz miyokardiyal canlılık için 18F-FDG'nin en yüksek duyarlılığa sahip olduğunu, dobutamin stres ekokardiyografinin de en yüksek özgüllüğe sahip olduğunu göstermiştir.⁶⁴⁶

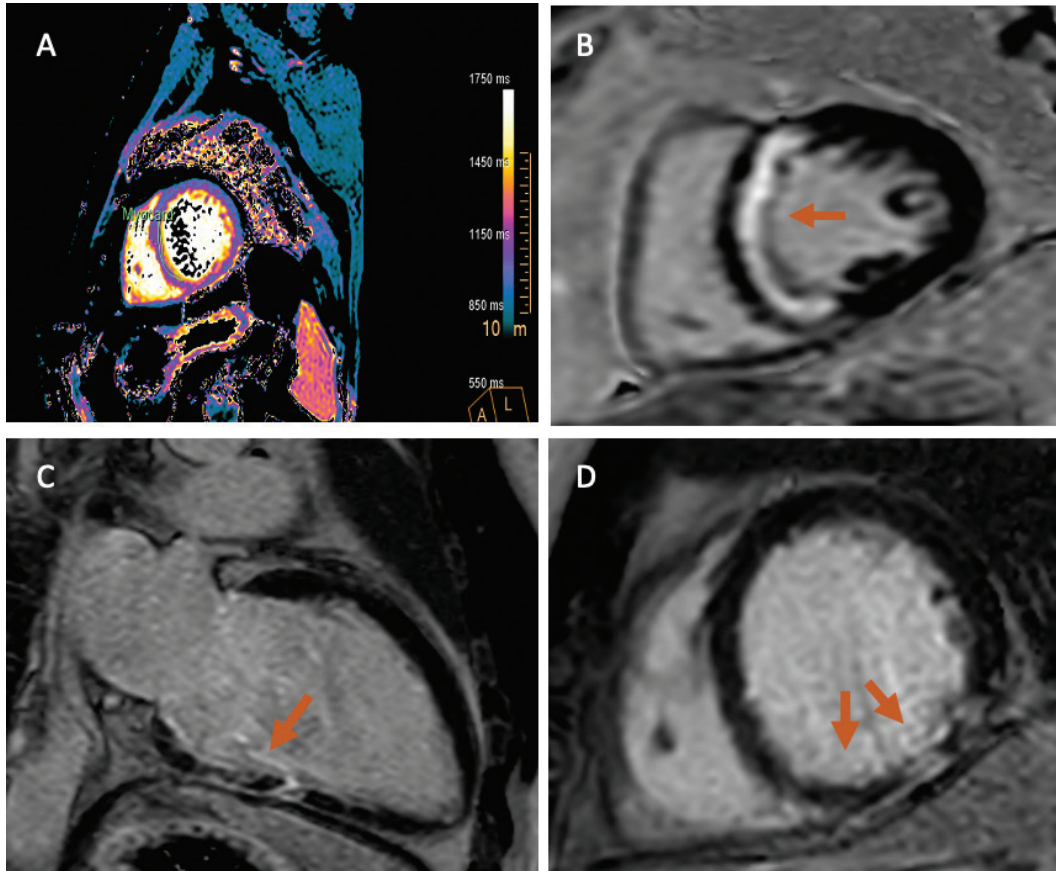
Tüm çağdaş kamera bilgisayar sistemleri, yüksek tekrarlanabilirlikte LVEF değerleri elde etme kapasitesine sahip tamamen otomatik yazılıma sahiptir. Radyonüklit ventrikülografi, ayrıca gated kan havuzu görüntüleme olarak da bilinir, ilk geçiş veya denge-gated teknikler kullanılarak gerçekleştirilebilir.⁶⁰² Ulaşılabilirliği ve maliyeti rutin kullanımında kısıtlamalar oluşturmaktadır. Stres ekokardiyografi ve KMR ile kıyaslandığında da radyasyon maruziyeti akıldan tutulmalıdır.

Kardiyak Manyetik Rezonans Görüntüleme

KMR görüntüleme, bilinen veya şüphelenilen KAH olan hastaların değerlendirilmesi için geniş bir yöntem yelpazesi sunar, bunlar arasında global ve bölgesel ventriküler fonksiyonun değerlendirilmesi, miyokart perfüzyonu, skar ve canlılık bulunmaktadır. KMR görüntüleme iskemiye tespit etmeye yarayan fonksiyonel bir test olmakla birlikte geç gadolinyum tutulumunun değerlendirilmesiyle miyokardiyal canlılık hakkında bilgi sağlayabilmektedir.

KMR veri setleri hem sol ventrikül hem de sağ ventrikülün şekli hakkında geometrik varsayımlardan bağımsız hacimsel analiz yapılmasını sağlar. KAH bağlamında, sine görüntüleme, dinlenme sırasında bölgesel ve global ventriküler fonksiyonu, duvar kalınlığını ve sol ventrikül kütlesini belirlemek için kullanılır ve yüksek düzeyde tekrarlanabilirlik sağlar. Kantitatif strain ve strain rate analizleri miyokardiyal etiketleme ve özellik izleme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilebilir fakat görece düşük frame rate klinik değerini sınırlar.⁶⁰²

Stres KMR protokolü, kısa eksen görüntülerle sıklıkla adenoazin ya da dipirimidol gibi stres vazodilatör ajanı ya da dobutamin gibi inotropik bir ajan kullanılarak miyokart perfüzyonunu değerlendirmeyi hedeflemektedir.⁶⁴⁷ KMR'nin avantajı görüntüleme düzlemlerinin oldukça yüksek oranda tekrarlanabilir olması ve görüntü kalitesi ve endokardiyal sınır tanımının tutarlı bir şekilde yüksek olmasıdır. Avrupa Kardiyoloji Kılavuzuna göre perfüzyon defekti olan segment sayısının ikiden fazla olması hastanın kardiyovasküler olay riskini artırmaktadır.⁶⁰³ Stres KMR'nin invaziv FFR ile karşılaştırılmasında kardiyovasküler olaylar açısından benzer sonuçlara sahip olduğu bulunmuştur.⁶⁴⁸ Yine başka bir çalışmada SPECT ile karşılaştırıldığında tanısal açıdan daha iyi olduğuna dair kanıtlar mevcuttur.⁶⁴⁹



Şekil 112. Kardiyak manyetik rezonans görüntüleme. (A) Miyokardiyal hasarı gösteren artmış T1 değerleri. Miyokardiyal skarı gösteren kısa aks görüntülerde septal duvarda subendokardiyal (kırmızı ok) (B), uzun aks iki boşluk görüntülerde posteriyor duvarda subendokardiyal yer yer transmural (kırmızı ok), (C) ve kısa aks görüntülerde inferiyor-inferoseptal duvarda transmural (kırmızı oklar), (D) geç gadolinyum tutulumu (LGE).

Bir meta-analizin sonucuna göre duyarlılığı %87, özgüllüğü %89 olarak tespit edilmiştir.⁶⁵⁰ Negatif sonuçların istenmeyen kardiyovasküler olaylarda artış yapmadan daha az invaziv girişim ihtiyacı ve daha düşük maliyetlerle ilişkili olması stres KMR'nin önemli prognostik katkılarındanndır.⁶⁵¹ İskemi alanın görsel değerlendirilmesinin yanında yarı kantitatif ya da tam kantitatif yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu yeni tekniklerin günlük kullanıma girmesi için ek araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Uzun çekim süreleri, yüksek maliyeti ve stabil olmayan hastalarda kullanımın zorluğu bu tekniğin kısıtlılıklarındanndır.

KMR doku karakterizasyonu avantajına sahiptir. Geç gadolinyum tutulumu (LGE) değerlendirme ile KMR'deki perfüzyon defektinin iskemi ya da skar ayrımının yapılması mümkündür. LGE tutulumunun olmaması perfüzyon defektinin iskemi lehine olduğunu göstermektedir. LGE prognostik değer taşıyan skarın belirlenmesini en iyi şekilde sağlar.⁶⁵² İskemik kardiyomiyopatide ventriküler remodellingin temelinde yatan miyosit hasarı ve nekrozu, fibroblast aktivitesine bağlı kollajen birikimi ve ekstraselüler hacimdeki artıştır.⁶²³ İskemik kardiyomiyopatide LGE tutulum paterni transmuraldan subendokardiyale uzanmaktadır.

T1 haritalama yöntemleri ile fibrozis miktarı değerlendirilir. Miyokardiyal tutulum > %75 olması transmural tutulum olarak tanımlanır.^{653,654} Miyokardiyal LGE tutulumunun olmaması ve < %50 olması miyokardiyal canlılığı destekler ve perkütan koroner girişim veya koroner arter bypass greft sonrası sol ventrikül fonksiyonlarında iyileşme ile ilişkilidir.⁶⁵⁵ Miyokardiyal canlılığın değerlendirildiği 24 çalışmayı içeren bir meta-analizin sonucuna göre LGE'nin sol ventrikül sistolik fonksiyonlarındaki iyileşmeyi öngörmede %95 ile en yüksek duyarlılığa sahip olduğu bulunmuştur.⁶⁵⁶ Aynı zamanda ekstraselüler hacim ölçümü de önemli bir parametredir. Yapılan bir çalışmada artmış ekstraselüler volüm sık kalp yetersizliği ile ilişkili hastane yatışı, tüm nedenli mortalite ve LVEF ile ilişkili bulunmuştur.⁶⁵⁷

İskemik kardiyomiyopatide KMR görüntüleme örneği Şekil 112'de gösterilmiştir.

KMR miyokardiyal iskemi ve canlılık değerlendirilmesine ek olarak sol ventrikül trombusünün tespit edilmesine de katkı sağlamaktadır. İskemik kalp hastalarında sol ventrikül trombusü embolik olaylar ve antikoagülasyon gereksinimi açısından önemli bir durumdur. KMR doku karakterizasyonu avantajıyla sol ventrikül trombusünün ekokardiyografi ile değerlendirilmesindeki kısıtlılıklarını aşmaya katkı sağlamaktadır. Yapılan çalışmalar KMR'nin sol ventrikül trombusünü tespit etmede transtorasik ekokardiyografiye göre daha duyarlı olduğunu göstermektedir.^{658,659} Ayrıca, sine görüntüleme fonksiyonel mitral yetersizliği gibi KAH ile ilişkili kapak patolojilerinin tespitini de sağlar.⁶⁰²

KMR'nin doku karakterizasyonu, miyokardiyal iskemi ve skarın değerlendirilmesi, sol ventrikül trombusünün tespit edilmesindeki önemli katkılarına rağmen uzun çekim süreleri, yüksek maliyeti ve stabil olmayan hastalarda kullanımının zorluğu önemli kısıtlılıklarındanndır.

Sonuç

Tüm görüntüleme yöntemleri sol ventrikül yapı ve fonksiyonu ile ilgili bilgi sağlayabilir ancak ekokardiyografi ve KMR'nin açıkça avantajları vardır. İndüklenebilir iskemisi ve hiberne miyokardi olan hastalarda revaskülarizasyon bölgesel ve global sol ventrikül fonksiyonunu iyileştirebilir. Hiberne miyokardi tanımlayabilmek için çeşitli testler mevcuttur. Bunlardan SPECT hücresel bütünlüğü saptamada duyarlıdır ve geniş bir kullanım alanına sahiptir. Dobutamin stres ekokardiyografide geniş bir kullanım alanına sahiptir fakat duyarlılığı daha düşüktür. Ciddi sol ventrikül disfonksiyonu olan hastalarda PET görüntüleme, hiberne miyokardi değerlendirmede daha faydalı olabilir. Düşük doz dobutamin uyarımı ile birlikte kontrastı artırılmış KMR en doğru teknik olarak görülmektedir.