

# Manyetik Rezonans Görüntüleme ile Kardiyak Fonksiyonların Değerlendirilmesi

Mehmet Öztürk , Mustafa Koplay 

## ÖĞRENME HEDEFLERİ

- Kardiyak fonksiyonları değerlendirmede MRG teknikleri
- Hasta hazırlanması ve görüntü elde edilmesi
- Sol ventrikülün global fonksiyonlarının ölçümü
- Bölgesel ventriküler fonksiyonun değerlendirilmesi
- Sağ ventrikül fonksiyonlarının değerlendirilmesi
- Miyokardiyal Tagging tekniği
- Diyastolik fonksiyonun değerlendirilmesi

Öztürk M, Koplay M. Manyetik Rezonans Görüntüleme ile Kardiyak Fonksiyonların Değerlendirilmesi. Trd Sem 2018; 6: 133-141.

## Giriş

İskemik kalp hastalığı, gelişmiş ülkelerde morbidite ve mortalitenin önde gelen nedenleri arasındadır [1]. İskemik kalp hastalığında non-invaziv kardiyak görüntülemenin amacı, kardiyak fonksiyonları doğru ve tekrarlanabilir şekilde değerlendirmektir. Ortaya çıkan veriler kalp fonksiyonları hakkında efektif bilgiler sağlamalıdır [2]. Günümüzde kardiyak fonksiyonların değerlendirilmesinde kullanılan non-invaziv yöntemlerin başında ekokardiyografi (EKO) gelmektedir. Radyasyon içermemesi, kısa inceleme süresi, düşük maliyeti, hasta başında uygulanabilirliği, farklı planlarda inceleme imkânı sunması ve tekrarlanabilirliği önemli avantajlarıdır [3]. Kullanıcıya bağımlı olması, tecrübe gerektirmesi ve sağ ventrikül

fonksiyonlarını değerlendirmede kısıtlı olması ise dezavantajlarıdır.

Son yıllarda manyetik rezonans görüntülemenin (MRG) kardiyak fonksiyonları değerlendirmede kullanımı giderek artmaktadır. MRG mükemmel temporal ve uzaysal rezolüsyona sahip olup multiplanar görüntüleme ile doğruluğu yüksek ve tekrarlanabilir kantitatif ölçümler sağlamaktadır [4, 5]. Günümüzde MRG ventriküler fonksiyonun non-invaziv değerlendirilmesinde altın standart olarak kabul edilmektedir [6-8]. Ventriküler fonksiyon değerlendirmesinde temel amaç kalbin global fonksiyonlarının kantitatif gösterilmesi ve bölgesel hareket bozukluğu bulunan segmentlerin tespitidir. Fonksiyonel değerlendirme enfarkt sonrası iyileşme döneminde, sol ventrikül hipertrofinde, kronik kalp yetmezliğinde ve

Selçuk Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Konya, Türkiye

✉ Mustafa Koplay • koplaymustafa@hotmail.com

sol ventriküler disfonksiyonu olan hastalarda değerli veriler sağlamaktadır [9]. MRG tanısal bulgular sağlayarak kardiomyopatilerin [dilate, hipertrofik, restriktif ve aritmojenik sağ ventriküler displazisi] ayırıcı tanısına katkı yapmaktadır [10]. Koroner arter hastalığı sonucu ortaya çıkan iskemi-enfarkta bağlı ventriküler disfonksiyon MRG ile gösterilebilir. Hastalığın tanısı, evrelendirilmesi, medikal tedavinin seçimi ve cerrahi zamanının belirlenmesinde önemlidir. Kardiyak MRG (KMRG) doğumsal kardiyak anomalilerde morfolojinin yanı sıra operasyon öncesi ve sonrası fonksiyonel değerlendirmede de etkili bir radyolojik yöntemdir. MRG ile kardiyak morfoloji ve ventrikül fonksiyonlarının değerlendirilebilmesi için kardiyak anatominin ve MRG tekniklerinin iyi bilinmesi gereklidir.

## 1. Kardiyak Fonksiyonları Değerlendirmede MRG Teknikleri

Kardiyak MRG (KMRG) kullanılarak kalp fonksiyonlarının değerlendirilmesi son dönemde önemli gelişmelere kaydetmiştir. İlk olarak konvansiyonel spin-eko (SE) tekniği, ventriküler hacmi ve miyokard kitlesini ölçmek için kullanılmıştır [11]. Ancak bu yöntem sine görüntüleme imkanına sahip olmayıp oldukça zaman alıcıdır. Günümüzde ise multi-segmented spoiled gradient echo (GE) veya multi-segmented steady state free precession (SSFP=TRU-FİSP) gibi hızlı GE sekanları kullanılmaktadır. SSFP ise spoiled GE sekanının yerine kullanılmaya başlanmıştır. Kan ile miyokard dokusu arasında sağlanan yüksek kontrast sayesinde gerçeğe yakın fonksiyonel değerlendirme sağlamıştır.

Spin-eko tekniğinin eksik yönleri GE sekanının geliştirilmesiyle telafi edilmiştir. Spoiled GE'da kısa tekrarlamaya süresi ve küçük flip açılarının kullanımıyla kalp döngüsünün değişik fazlarının görüntülenmesi sonucu kardiyak dinamik anlaşılmaya başlanmıştır. Bu yöntemde her bir kesit tek bir nefes tutma boyunca oluşturulduğundan tarama süresi ve solunum hareketlerine bağlı artefaktlar azal-

mıştır [12]. **SSFP sol ventrikül kavitesi ve miyokard arasında yüksek kontrast ve düşük sinyal gürültü oranı sağladığı ve akım artefaktlarını azalttığı için ventriküler fonksiyon değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [13].**

## 2. Hasta Hazırlanması ve Görüntü Elde Edilmesi

Tetkik öncesinde hastaya çekim esnasında hareketsiz kalması, çok sayıda ve hep aynı seviyede nefes tutması gerektiği ifade edilmektedir. Aksi halde harekete bağlı görüntülerde bulanıklaşma ortaya çıkmaktadır. Yine kalp ve çevre yapıların özellikle düşük ve orta manyetik alan gücüne sahip cihazlarda kontrast çözünürlüğü güçleşmektedir. Güçlü manyetik alanlı cihazlarda düşük tekrarlamaya ve eko zamanı değerleriyle çalışıldığından daha geniş bir kontrast çözümüleme aralığında görüntüler oluşturulmaktadır. Görüntüleme sırasında kalbin hareketten arındırılması kardiyak siklusun belli bir fazında tekrarlayan görüntülerin alınmasını sağlayan kardiyak tetikleme çekim ile mümkündür. Kardiyak siklusun düzenli ve sürekli tekrarlayan özelliği sayesinde değişik kardiyak fazlarda alınan görüntülerde bulanıklaşma en aza indirilmektedir.

Kardiyak görüntüleme temel planlar; dört boşluk, iki boşluk, kısa aks, sol ve sağ ventrikül çıkış yolu olarak ifade edilir. Öncelikle, aksiyal, koronal ve sagittal planlarda pilot görüntüler elde olunduktan sonra, bu görüntülerden kardiyak aks oryantasyonları belirlenerek, kısa ve uzun aks temel kardiyak planlarda görüntüler elde edilir. Aksiyal kesitler elde edildikten sonra, daha yüksek uzaysal ve zamansal çözünürlük dinamiği sağlayan SSFP sineleri ile gerçek çift-oblik kardiyak düzlemlerde [dikey uzun eksen, kısa eksen ve yatay uzun eksen gibi] bir dizi görüntü elde edilir [14].

Paraseptal uzun eksen (iki odacıklı veya dikey uzun eksenli) görünümü, orta ventriküler seviyedeki aksiyel bir görüntüden, ventral ventrikül septumuna paralel olarak, sol ventrikül (SV) apeksinden mitral kapakçığın merkezinden gelen düzlem boyunca tarama yaparak

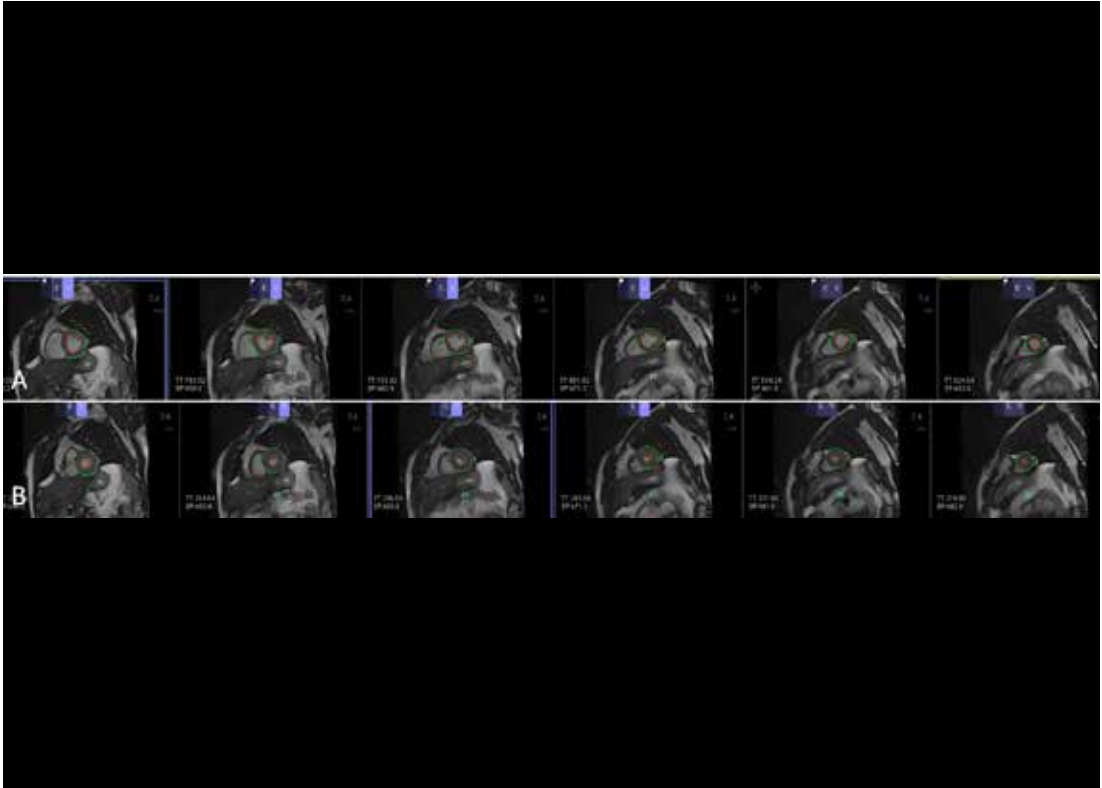
tanımlanır. Paraseptal uzun eksenli görünümünden, ortadaki sağ ve sol ventriküllerin bir kısa eksenli görüntüsünü elde etmek için dikey uzun eksene dik ve mitral anulusa paralel olarak orta ventriküler düzeyde tanımlama ile başka bir seri elde edilir. Yatay longitudinal eksen (dört odacık) görünümü ise anterolateral anterior sağ ventrikül serbest duvarının ve sağ ventrikül diyafragmatik duvarın birleşmesinden anterolateral papiller kas alt sınırının hemen altındaki bir noktaya uzanan düzlem boyunca tanımlanır [12, 14].

Ventriküler hacim hesaplanmasında temel olarak kısa aks ardışık görüntüler, miyokard duvar hareketlerini değerlendirmek için kısa aks, iki boşluk ve 4 boşluk görüntüler kullanılır. Fonksiyonel KMRG ile ventriküllerin duvar hareketleri gerçek zamanlı değerlendirilerek bölgesel kontraksiyon bozuklukları saptanabilmektedir. Kısa eksen kesitleri, mitral anulustan SV apeksinin hemen distalinde bir noktaya

kadar elde edilir. Proksimalin bazale distalin apekse yerleştirilmesi, derin bir nefes alma veya ilk tanımlayıcı görüntülere göre pozisyon değiştirmesi durumunda bile tüm SV'in görüntülenmesini sağladığı için önemlidir [12, 14].

### 3. Global Sol Ventrikül Fonksiyonlarının Ölçümü

Kardiyak MRG ile SV global fonksiyonlarını değerlendirme ventrikül hacmi ve duvar kalınlığı, EF ve miyokardiyal kitlenin hesaplanmasını içermektedir. Ventrikül hacmi, end-diyastol (ED) ve end-sistol (ES)'de elde edilen görüntüler üzerinden hesaplanır (Resim 1 ve 2). ED ve ES görsel olarak maksimum ED ve minimum ES, SV hacmini veren fazlar olarak belirlenir. Bu iki hacim stroke hacim ve EF'yi hesaplamak için de kullanılır. Stroke hacim kalbin her atımında ED hacimden ES hacmin çıkarılmasıyla, EF ise stroke hacmin ED hacme



Resim 1. A, B. Sol ventrikül fonksiyonlarını değerlendirmek için alınan kısa aks cine görüntülerde end-diyastol (A) ve end-sistol (B) fazlarında endokardiyal (kırmızı çizgi) ve epikardiyal (yeşil çizgi) sınırlar izlenmektedir.

Patient Height: 170 cm Patient Weight: 100 kg Heart Rate: 70 beats/min				
Left Ventricle - Absolute				
Cardiac Function		Normal Range(M)	Unit	
Ejection Fraction:	EF	61.38	56.00 - 78.00	%
End Diastolic Volume	EDV	151.23	77.00 - 195.00	ml
End Systolic Volume	ESV	58.39	19.00 - 72.00	ml
Stroke Volume	SV	52.84	51.00 - 133.00	ml
Cardiac Output	CO	4.5	2.82 - 8.62	l/min
Myocardial Mass (at ED)		269.23	118.00 - 238.00	g
Myocardial Mass (Avg)		238	118.00 - 238.00	g
Filling and Ejection Data				
Peak Ejection Rate:		516.24	n.a.	ml/s
Peak Ejection Time		114.1	n.a.	ms
Peak Filling Rate		313.51	n.a.	ml/s
Peak Filling Time		476.55	n.a.	ms

Resim 2. Fonksiyonel değerlendirme sonrası elde edilen sonuçlar izlenmektedir.

**Tablo 1: Sol ventrikül fonksiyon parametrelerinin cinsiyete göre normal değerleri [19].**

Fonksiyonel Parametre	Referans Aralığı
End-sistolik hacim	Erkek: 47-58 mL Kadın: 36-48 mL
End-diyastolik hacim	Erkek: 146-167 mL Kadın: 118-139 mL
Stroke hacim	Erkek: 99-109 mL Kadın: 81-91 mL
Ejeksiyon fraksiyonu	Erkek: %65-68 Kadın: %66-69
Miyokardiyal kitle	Erkek: 144-148 g Kadın: 105-110 g

bölünmesiyle hesaplanır. Sol ventrikülün fonksiyonel parametrelerinin cinsiyete göre normal değerleri Tablo 1. de özetlenmiştir [15, 16].

Kardiyak MRG ile hacim ölçümünde kullanılan Simpson metodunda SV kavitesi uzun eksene dik ardışık seviyelerden kısa-aks görüntüsü alınarak çok sayıda dilimlere (7-10 mm kalınlıkta 8-10 kesit) bölünür ve her dilimin hacmi hesaplanır. Epikardiyal ve endokardiyal konturlar ventrikül duvar boyunca net tanımlanır [17, 18].

Sol ventrikül hacimlerinin ölçülmesinde kullanılan teknikler, ventrikülün birkaç kısa eksenli

kesitlere ayrılmasını içerir. Kısa eksen kesitler ventrikül hacmi ve miyokard kitlesinin belirlenmesi için en güvenilir görüntüleme planı sağlar [19]. Segmentasyondan sonra konturlar ventrikül duvarının epikardiyal ve endokardiyal sınırları boyunca çizilir. Kontur tespiti genellikle otomatik yazılımla yapılır, uygun olmayan şekilde tanımlanmış konturların elle düzeltilmesi gerçekleştirilir. Sınır tespitinden sonra yazılım her bir kesitin ventrikül hacmini hesaplamak için Simpson kuralını uygular. Bu, endokardiyal sınırlar içindeki alanın kesit kalınlığı ve kesitler arasındaki boşluk ile [varsa] çarpılmasıyla elde edilir. Bu prosedür hem ED hem de ES hacmi belirlemek için kullanılır. Kontur çizilirken papiller kasların SV kavitesine dahil edilip edilmemesi konusunda net fikir birliği yoktur.

Miyokard kütlesi için endokardiyal ve epikardiyal sınırlar belirlenerek hacimler hesaplanır. Hacimlerin farkı miyokard özkütlesi (1.04 g/dL) ile çarpılır. SV ED hacminin tekrarlanabilirliği ES hacimden üstün olduğundan ölçümler ED kesitlerinde yapılır [20].

#### 4. Bölgesel Ventrikül Fonksiyonun Değerlendirilmesi

Kardiyak MRG ile bölgesel ventrikül fonksiyon değerlendirilmesi ventrikül duvar kalınlığı ve hareketlerini içermektedir. SV'in bölgesel fonksiyonu kalitatif ve 17 segmentin kalınlaşması ve hareketi şeklinde görsel olarak değerlendirilmektedir. Temel olarak Amerikan Kalp Derneği'nin belirlediği kriterlere dayanan 17 segmentli model kullanılır [21]. Değerlendirme sonucuna göre segment hareketleri normal, hipokinetik, akinetik veya diskinetik diye sınıflandırılır. Hipokinezi bozulmuş kalınlaşma ve hareket, akinezi kalınlaşma ve hareket kaybı, diskinezi ise sistol sırasında segmentin paradoksal dışa doğru hareketi olarak tanımlanır [22]. Bölgesel duvar kalınlaşması belirlenerek kantitatif bölgesel SV fonksiyonunda hesaplanabilir. Segmental duvar kalınlaşmasını belirlemek için miyokardiyal tagging veya (end-sistolik duvar kalınlığı-end diyastolik duvar kalınlığı)x100/end-diyastolik duvar kalınlığı formülü kullanılır.

Duvar kalınlaşmasının kantitatif değerlendirilmesinde ventrikül birden fazla kısa eksenli kesitlere ayrılır ve her bir kesit üzerinde endokardiyal ve epikardiyal konturlar tespit edilir. SV'ün bölgesel fonksiyonun değerlendirilmesinde kavite içindeki papiller kasların dahil edilmesi önerilmektedir [23]. Ventriküler kısa eksen dilimi segment sayısınca bir dizi bölüme tipik olarak sağ ventrikül ekleme noktaları gibi anatomik işaretler temel alınarak ayrılmıştır. Bu noktada, duvar kalınlaşması radyal veya merkez çizgisi yöntemleri ile ölçülebilir. Radyal yöntem miyokardın bir daire olduğunu ve epikardiyumdan çemberin merkezine doğru kordlar oluşturduğunu varsayar. Merkez çizgisi yöntemi ise endokardiyal ve epikardiyal konturlara katılan ve merkez çizgisine dik olan yazılım tarafından üretilen kordların yayılmasını içerir. Her segment için 16-17 kord alınır ve ES ve ED arasındaki kord uzunluğundaki değişim duvar kalınlaşmasını gösterir. Bu tekniğin sınırlamalarından biri, kısa eksenli dilimlerin sadece radyal ölçümler sağlaması ve miyokardiyumun çevresel ve uzunlamasına kısalmasını göz ardı etmesidir. Miyokardiyal Tagging ve üç boyutlu analiz teknikleri bu sınırlamaların üstesinden gelebilmektedir [23].

### 5. Sağ ventrikül fonksiyonlarının değerlendirilmesi

Kardiyak MRG'de sağ ventrikül fonksiyonu değerlendirilirken kalbin kısa aks görüntülerinden endokardiyal ve epikardiyal sınırlar çizerek ve bu çizimleri uzun aks görüntülerden (dört oda ve iki oda) korele ederek EF, ES ve ED hacimler ve miyokard kütlesi hesaplanabilir. KMRG'nin sağ ventrikül fonksiyonlarını değerlendirmedeki üstünlüğü konjenital kalp hastalığı, primer pulmoner hipertansiyon, aritmojenik sağ ventrikül displazisi ve kronik obstrüktif akciğer hastalığı gibi çeşitli hastalıklarda da gösterilmiştir [24-26]. **Sağ ventrikülün kresentrik, trabeküler yapısı ve büyük bir infundibulumu olması nedeniyle yapısal değerlendirilmesi zordur** [27, 28]. KMRG ile görüntülerin herhangi bir oryantasyonda işlenmesi ve üç boyutlu veri kümeleri oluşturulmasıyla

sağ ventrikülün fonksiyonu ve kütlesi ayrıntılı şekilde değerlendirilmektedir.

Sağ ventrikül ölçümünde bazı noktalar önemlidir. Kitle hesaplanmasında septum SV'ün bir parçası olarak düşünüldüğünden dahil edilmez. Bazen bazal kesitin sağ ventrikülün mü yoksa sağ atriyumun mu bir kısmını içerdiği belirlemek zor olabilir ve sağ atriyum ile ventrikül arasındaki arayüz kısa eksen görüntülerde tanımlanabilir. Bu yüzden sağ ventrikül apeksi ve triküspit annulusu birleştiren hatta dik olan bir enine düzlemin kullanılması faydalıdır. Sağ ventrikülün miyokardı ince olduğundan ölçümü zor olabilir [29].

### 6. Miyokardiyal Tagging Tekniği

İlk olarak Zerhouni ve ark. tarafından tanımlanan KMRG ile miyokardiyal Tagging tekniği farklı şekillerde uygulanmaktadır. **Miyokardiyal tagging tekniğinin esası, kalp üzerinde belli noktaların özel radyofrekans ile uyarılması sonucu geçici bir şekilde manyetik olarak işaretlenmesine dayanmaktadır.** Hızlı GE sekansı ile yapılır. Birbirine dik çok sayıda saturasyon bantları uygulanır. Elde edilen kısa aks görüntülerde saturasyon bantları siyah çizgiler şeklinde görülür. Kontraksiyon yapan normal miyokard segmentin desaturasyon çizgilerinde eğilme/deformasyonlar olur. Tagging doku ile birlikte hareketi sonucu kalbin kasılma ve gevşemesi tanımlanabilmekte ve teşhis konulmasına katkı sağlanmaktadır [30, 31].

Miyokardın bölgesel kontraksiyonunu değerlendirmek için sine fast GRE sekanslarıyla miyokardiyal tagging yöntemi kullanılır. Miyokardiyumun deformasyonu, ventrikülün izo volümetrik kasılma fazı sırasında başlar ve etiketli çizgilerin eşlik eden deformasyonu ile görünür ve ölçülebilir. Miyokardiyal Tagging tekniğinin ortaya çıkışından sonra bir dizi iyileştirme yapılmıştır. Magnetizasyonun spatial modülasyonu olarak bilinen daha hızlı bir yöntem, iki dikey doğrultuda uygulanarak bir grid oluşturabilir. Bu tekniğin bir dezavantajı, doku T1'in relaksasyonu ile ortaya çıkan zayıflamadır. Bu durum magnetizasyon tamamlayıcı spatial modülasyonunun geliştirilmesiyle



düzeltilerek etiket çizgilerinin miyokarda göre kontrastı artırılmıştır [32]. Miyokardiyal Tagging yöntemi hem sol hem de sağ ventrikül fonksiyonunun analizi için kullanılabilir; ancak sağ ventrikülde ince duvar yapısı ve karmaşık geometrisi nedeniyle teknik olarak daha zor uygulanmaktadır [33].

## 7. Diyastolik fonksiyonun değerlendirilmesi

Kardiyak MRG diyastolik fonksiyonu değerlendirmede SSFP puls sekansı ile hacim ölçümü, akım ve hız için faz kontrast çalışmaları ve miyokard değerlendirmesi için ise miyokardiyal tagging kullanılmaktadır. Bölgesel fonksiyon parametreleri arasında miyokardiyal hız ve gerginlik ile birlikte duvar incelmesinin en yüksek oranı ve en yüksek duvar inceme oranına kadar geçen süre yer almaktadır. Hızlı doldurma fazı boyunca zaman içinde ventriküler hacimdeki değişikliklerin karşılaştırılması, en yüksek doluluk oranını verir. En yüksek doluluk oranına kadar geçen süre, son sistolden pik dolum oranının oluştuğu zaman noktasına kadar geçen süre olarak tanımlanır [34].

**Klinik olarak diyastolik fonksiyonun belirlenmesinde en sık kullanılan yöntem miyokardiyal tagging yöntemidir.** Miyokardiyal Tagging teknikleri ile kalp döngüsünde farklı zamanlarda küresel ve bölgesel miyokardiyal strain güvenilir bir şekilde üç boyutta ölçülebilir. Strain analizinin, farmakolojik stresle kullanıldığında, iskeminin erken tespitinde faydalı olduğu gösterilmiştir [35]. Diyastolik fonksiyonun değerlendirilmesi için tanımlanan yöntemler değişik kalp patolojilerinde kullanılmaktadır. Hipertrofik kardiyomyopatinin şiddeti, hızlı doldurma zamanı ve en yüksek duvar incemesine kadar geçen süre kullanılarak belirlenebilir [36]. Hipertansiyon ve aort stenozu gibi ventrikülün aşırı yüklenmesine neden olan hastalıkların en erken belirtilerinden olan diyastolik disfonksiyon saptanabilir. Hipertansiyonda kompensatuvar hipertrofiye bağlı olarak ortaya çıkan gecikmiş miyokard gevşemesi, KMRG'de hız-kodlama yöntemleriyle ölçülmektedir [37].

Sonuç olarak, günümüzde KMRG kalp fonksiyonlarını değerlendirmede standart non-invaziv yöntem haline gelmiştir. Ventriküler fonksiyonlar hakkında kalitatif, kantitatif ve tekrarlanabilir veriler sağlamaktadır. Gelecekte teknolojik gelişmelerin ve klinik deneyimin artmasıyla daha yaygın kullanım alanı bulacaktır.

## Kaynaklar

- [1]. Murray CJ, Lopez AD. Alternative projections of mortality and disability by cause 1990-2020: Global Burden of Disease Study. *Lancet* 1997; 349: 1498-504. [\[CrossRef\]](#)
- [2]. Saeed M, Van TA, Krug R, Hetts SW, Wilson MW. Cardiac MR imaging: current status and future direction. *Cardiovasc Diagn Ther* 2015; 5: 290-310.
- [3]. Thomson HL, Basmadjian AJ, Rainbird AJ, Razavi M, Avierinos JF, Pellikka PA, et al. Contrast echocardiography improves the accuracy and reproducibility of left ventricular remodeling measurements: a prospective, randomly assigned, blinded study. *J Am Coll Cardiol* 2001; 38: 867-75. [\[CrossRef\]](#)
- [4]. Higgins CB. Prediction of myocardial viability by MRI. *Circulation* 1999; 99: 727-9. [\[CrossRef\]](#)
- [5]. Sandstede JJ. Assessment of myocardial viability by MR imaging. *Eur Radiol* 2003; 13: 52-61.
- [6]. White JA, Patel MR. The role of cardiovascular MRI in heart failure and the cardiomyopathies. *Cardiol Clin* 2007; 25: 71-95. [\[CrossRef\]](#)
- [7]. Messroghli DR, Bainbridge GJ, Alfakih K, Jones TR, Plein S, Ridgway JP, et al. Assessment of regional left ventricular function: accuracy and reproducibility of positioning standard short-axis sections in cardiac MR imaging. *Radiology* 2005; 235: 229-36. [\[CrossRef\]](#)
- [8]. Epstein FH. MRI of left ventricular function. *J Nucl Cardiol* 2007; 14: 729-44. [\[CrossRef\]](#)
- [9]. Ghali JK, Liao Y, Cooper RS. Influence of left ventricular geometric patterns on prognosis in patients with or without coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1998; 31: 1635-40. [\[CrossRef\]](#)
- [10]. Gaudron P, Eilles C, Kugler I, Ertl G. Progressive left ventricular dysfunction and remodeling after myocardial infarction. Potential mechanisms and early predictors. *Circulation* 1993; 87: 755-63. [\[CrossRef\]](#)
- [11]. Pattynama PM, Doornbos J, Hermans J, van der Wall EE, de Roos A. Magnetic resonance evaluation of regional left ventricular function. Effect of through-planemotom. *Invest Radiol* 1992; 27: 681-5. [\[CrossRef\]](#)
- [12]. Sarwar A, Shapiro MD, Abbara S, Cury RC. Cardiac magnetic resonance imaging for the evaluation of ventricular function. *Semin Roentgenol* 2008; 43: 183-92. [\[CrossRef\]](#)
- [13]. Bloomgarden DC, Fayad ZA, Ferrari VA, Chin B, Sutton MG, Axel L. Global cardiac function using fast breath-hold MRI: validation of new acquisition and analysis techniques. *Magn Reson Med* 1997; 37: 683-92. [\[CrossRef\]](#)

- [14]. Pujadas S, Reddy GP, Weber O, Lee JJ, Higgins CB. J Magn Reson Imaging. MR imaging assessment of cardiac function. 2004; 19: 789-99.
- [15]. Levy D, Garrison RJ, Savage DD, Kannel WB, Castelli WP. Prognostic implications of echocardiographically determined left ventricular mass in the Framingham Heart Study. N Engl J Med 1990; 322: 1561-6. [\[CrossRef\]](#)
- [16]. Maceira AM, Prasad SK, Khan M, Pennell DJ. Normalized left ventricular systolic and diastolic function by steady state free precession cardiovascular magnetic resonance. J Cardiovasc Magn Reson 2006; 8: 417-26. [\[CrossRef\]](#)
- [17]. Cranney GB, Lotan CS, Dean L, Baxley W, Bouchard A, Pohost GM. Left ventricular volume measurement using cardiac axis nuclear magnetic resonance imaging. Validation by calibrated ventricular angiography. Circulation 1990; 82: 154-63. [\[CrossRef\]](#)
- [18]. Aurigemma GP, Douglas PS, Gaash WG. Quantitative evaluation of left ventricular structure, wall stress and systolic function. The Practice of Clinical Echocardiography. Ed. by Otto CM Second edition. WB Saunders Company 2002; 65-87.
- [19]. Maddahi J, Crues J, Berman DS, Mericle J, Becerra A, Garcia EV, et al. Noninvasive quantification of left ventricular myocardial mass by gated proton nuclear magnetic resonance imaging. J Am Coll Cardiol 1987; 10: 682-92. [\[CrossRef\]](#)
- [20]. Kozerke S, Scheidegger MB, Pedersen EM, Boesiger P. Heart motion adapted cine phase-contrast flow measurements through the aortic valve. Magn Reson Med 1999; 42: 970-8. [\[CrossRef\]](#)
- [21]. Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, Jacobs AK, Kaul S, Laskey WK, et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart: a statement for health care professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. Circulation 2002; 105: 539-42. [\[CrossRef\]](#)
- [22]. Galasko GI, Basu S, Lahiri A, Senior R. A prospective comparison of echocardiographic Wall motion score index and radionuclide ejection fraction in predicting outcome following acute myocardial infarction. Heart 2001; 86: 271-6. [\[CrossRef\]](#)
- [23]. Buller VG, van der Geest RJ, Kool MD, van der Wall EE, de Roos A, Reiber JH. Assessment of regional left ventricular Wall parameters from short axis magnetic resonance imaging using a three-dimensional extension to the improved centerline method. Invest Radiol 1997; 32: 529-39. [\[CrossRef\]](#)
- [24]. Mackey ES, Sandler MP, Campbell RM, Graham TP Jr, Atkinson JB, Price R et al. Right ventricular myocardial mass quantification with magnetic resonance imaging. Am J Cardiol 1990; 65: 529-32. [\[CrossRef\]](#)
- [25]. Blake LM, Scheinman MM, Higgins CB. MR features of arrhythmogenic right ventricular dysplasia. AJR Am J Roentgenol 1994; 162: 809-12. [\[CrossRef\]](#)
- [26]. Weber OM, Higgins CB. MR evaluation of cardiovascular physiology in congenital heart disease: flow and function. J Cardiovasc Magn Reson 2006; 8: 607-17. [\[CrossRef\]](#)
- [27]. Helbing WA, Rebergen SA, Maliepaard C, Hansen B, Ottenkamp J, Reiber JH, et al. Quantification of right ventricular function with magnetic resonance imaging in children with normal hearts and with congenital heart disease. Am Heart J 1995; 130: 828-37. [\[CrossRef\]](#)
- [28]. Gopal AS, Chukwu EO, Iwuchukwu CJ, Katz AS, Toole RS, Schapiro W, et al. Normal values of right ventricular size and function by real-time 3-dimensional echocardiography: comparison with cardiac magnetic resonance imaging. J Am Soc Echocardiogr 2007; 20: 445-55. [\[CrossRef\]](#)
- [29]. Jauhiainen T, Jarvinen VM, Hekali PE. Evaluation of methods for MR imaging of human right ventricular heart volumes and mass. Acta Radiol 2002; 43: 587-92. [\[CrossRef\]](#)
- [30]. Zerhouni EA, Parish DM, Rogers WJ, Yang A, Shapiro EP. Human heart: tagging with MR imaging—a method for noninvasive assessment of myocardial motion. Radiology 1988; 169: 59-63. [\[CrossRef\]](#)
- [31]. Elmalı M. MR Görüntüleme ile Ventrikül Fonksiyonlarının Değerlendirilmesi. Türkiye Klinikleri J Radiol Special Topics 2011; 4: 55-8.
- [32]. Fischer SE, McKinnon GC, Maier SE, Boesiger P. Improved myocardial tagging contrast. Magn Reson Med 1993; 30: 191-200. [\[CrossRef\]](#)
- [33]. Axel L, Montillo A, Kim D. Tagged magnetic resonance imaging of the heart: a survey. Med Image Anal 2005; 9: 376-93. [\[CrossRef\]](#)
- [34]. Fujita N, Hartiala J, O'Sullivan M, et al: Assessment of left ventricular diastolic function in dilated cardiomyopathy with cine magnetic resonance imaging: effect of an angiotensin converting enzyme inhibitor, benazepril. Am Heart J 1993; 125: 171-8. [\[CrossRef\]](#)
- [35]. Garot J, Bluemke DA, Osman NF, Rochitte CE, McVeigh ER, Zerhouni EA. Fast determination of regional myocardial strain fields from tagged cardiac images using harmonic phase MRI. Circulation 2000; 101: 981-8. [\[CrossRef\]](#)
- [36]. Yamanari H, Kakishita M, Fujimoto Y, Hashimoto K, Kiyooka T, Katayama Y, et al. Effect of regional myocardial perfusion abnormalities on regional myocardial early diastolic function in patients with hypertrophic cardiomyopathy. Heart Vessels 1997; 12: 192-8. [\[CrossRef\]](#)
- [37]. Mandinov L, Eberli FR, Seiler C, Hess OM. Diastolic heart failure. Cardiovasc Res 2000; 45: 813-25. [\[CrossRef\]](#)

## Manyetik Rezonans Görüntüleme ile Kardiyak Fonksiyonların Değerlendirilmesi

Mehmet Öztürk, Mustafa Koplay

### Sayfa 134

SSFP sol ventrikül kavitesi ve miyokard arasında yüksek kontrast ve düşük sinyal gürültü oranı sağladığı ve akım artefaktlarını azalttığı için ventriküler fonksiyon değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

### Sayfa 136

Kardiyak MRG ile hacim ölçümünde kullanılan Simpson metodunda SV kavitesi uzun eksene dik ardışık seviyelerden kısa-aks görüntüsü alınarak çok sayıda dilimlere (7-10 mm kalınlıkta 8-10 kesit) bölünür ve her dilimin hacmi hesaplanır.

### Sayfa 136

Segmental duvar kalınlaşmasını belirlemek için miyokardiyal tagging veya (end-sistolik duvar kalınlığı-end diyastolik duvar kalınlığı) $\times 100$ /end-diyastolik duvar kalınlığı formülü kullanılır.

### Sayfa 137

Sağ ventrikülün kresentrik, trabeküler yapısı ve büyük bir infundibulumu olması nedeniyle yapısal değerlendirilmesi zordur.

### Sayfa 137

Myokardiyal tagging tekniğinin esası, kalp üzerinde belli noktaların özel radyofrekans ile uyarılması sonucu geçici bir şekilde manyetik olarak işaretlenmesine dayanmaktadır.

### Sayfa 138

Klinik olarak diyastolik fonksiyonun belirlenmesinde en sık kullanılan yöntem miyokardiyal tagging yöntemidir.



## Manyetik Rezonans Görüntüleme ile Kardiyak Fonksiyonların Değerlendirilmesi

Mehmet Öztürk, Mustafa Koplay

- Kardiyak MRG hangi kalp patolojilerinin tanı ve takibinde faydalıdır?
  - Kalbin bölgesel hareket bozukluğu bulunan segmentlerinin tespitinde
  - Kardiomyopatilerin ayırıcı tanısında
  - İskemi-enfarkt sonrası ortaya çıkan ventriküler disfonksiyonu saptamada
  - Hepsi
- Kardiyak MRG' de ejeksiyon fraksiyonu nasıl hesaplanır?
  - Kalbin her atımında end-diyastolik hacimden end-sistolik hacmin çıkarılmasıyla
  - Hacimler farkının miyokard özkütlesi ile çarpılmasıyla
  - Stroke hacmin end-diyastolik hacme bölünmesiyle
  - Epikardiyal ve endokardiyal sınırların tanımlanmasıyla
- Kardiyak MRG' de segmental duvar kalınlaşması nasıl hesaplanır?
  - Hacimler farkının miyokard özkütlesi ile çarpılmasıyla
  - Epikardiyal ve endokardiyal sınırların tanımlanmasıyla
  - Stroke hacmin end-diyastolik hacme bölünmesiyle
  - $(\text{end-sistolik duvar kalınlığı} - \text{end diyastolik duvar kalınlığı}) \times 100 / \text{end-diyastolik duvar kalınlığı}$  formülüyle
- Sağ ventrikül fonksiyonlarının değerlendirilmesi ile ilgili aşağıdakilerden hangisi YANLIŞTIR?
  - Yapısı sol ventriküle göre daha basit olduğundan değerlendirilmesi kolaydır.
  - Miyokardı ince olduğundan ölçümü zor olabilir.
  - Kalbin kısa aks görüntülerinden endokardiyal ve epikardiyal sınırlar çizilir.
  - Kitle hesaplanmasında septum dahil edilmez.
- Diyastolik fonksiyonun değerlendirilmesi ile ilgili hangisi DOĞRUDUR?
  - Miyokard değerlendirmesi faz kontrast çalışmaları ile yapılır.
  - Diyastolik fonksiyonun belirlenmesinde en sık kullanılan yöntem miyokardiyal tagging yöntemidir.
  - Hacim ölçümünde miyokardiyal tagging oldukça faydalıdır.
  - Hipertrofik kardiomyopatinin şiddeti belirlenemez.