

# Kapak Hastalıkları

Hasan Yiğit 

## ÖĞRENME HEDEFLERİ

- Kardiyak MRG'nin kalp kapak hastalıklarının değerlendirilmesindeki rolü
- Kapak hastalıklarının değerlendirilmesinde MR inceleme tekniği
- Kalp kapaklarının en sık görülen doğumsal anomalileri
- Valvüler yetmezlik ve stenozların MRG ile kantifikasyonu
- Prostetik kapakların değerlendirilmesinde MRG'nin rolü

Yiğit H. Kapak Hastalıkları. Trd Sem 2018; 6: 200-217.

## GİRİŞ

Kalp kapaklarının ve kapak hastalıklarının görüntülenmesinde, kapak morfolojisinin ortaya konması, kapak fonksiyonunun değerlendirilmesi, kapak hastalığının diğer kardiyovasküler yapılar ve kardiyak fonksiyon üzerindeki etkilerinin ortaya konması amaçlanmaktadır. Bu değerlendirme ile aynı zamanda kapak hastalığının etiyojisi de ortaya konabilmektedir. Kapak morfolojisinin değerlendirilmesi kapak pozisyonu, yaprakçıkların sayısı, kalınlığı, kapakçıklarda kitle, trombus ya da vejetasyon olup olmadığının değerlendirilmesini içermektedir [1]. Kapak hareketleri, kısıtlı hareket, koaptasyon kusuru, prolapsus, stenoz ya da yetmezlik varlığının ve şiddetinin ortaya konması kapağa yönelik fonksiyonel değerlendirmeyi oluşturmaktadır. Kapak hastalığı varlığında kalp boşluklarının genişliği, yapısı, ventrikül fonksiyonları, kas kütlesi, miyokardiyal per-

füzyon, miyokardiyal fibrozis varlığı, pulmoner arter basıncı ve büyük damarların morfolojisi incelenerek kapak hastalığının diğer kardiyovasküler yapılar ve kardiyak fonksiyon üzerine olan etkisi ortaya konmaktadır [2-4].

Kalp kapaklarının değerlendirilmesi de dahil olmak üzere kalbin değerlendirilmesinde ilk basamak inceleme yöntemi, kolay erişilebilir, kolay uygulanabilir, ucuz ve güvenilir bir yöntem olarak ekokardiyografidir. Transtorasik ekokardiyografi non-invaziv, kolay uygulanabilir ve iyi tolere edilebilir olması nedeniyle temel inceleme yöntemi olsa da özellikle sağ kalp yapılarının değerlendirilmesinde olmak üzere bazı durumlarda uygun inceleme düzlemlerinin ve uygun akustik pencere elde etmenin zor olması yöntemin önemli bir kısıtlılığını oluşturmaktadır. Transözofajiyal ekokardiyografi ile bu sınırlılıkların bir kısmını aşmak mümkündür. Ancak fonksiyonel değerlendirmede uygun düzlemde değerlendirme yapmadaki kı-

Sağlık Bilimleri Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim dalı, Ankara Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara, Türkiye

✉ Hasan Yiğit • hasan.yigit@sbu.edu.tr

sıtlılıklar nedeniyle transtorasik ekokardiyografiye göre doğruluğu daha düşüktür [2]. Aynı zamanda invaziv ve hastalar tarafından zor tolere edilebilir olması yöntemin önemli bir dezavantajdır. Ekokardiyografi yöntemleri kapak stenozylarında ve kapak alanı hesaplamada son derece değerli bir inceleme yöntemi olsa da kapak yetmezliğini değerlendirmede başarısı düşüktür [2]. Yöntemin önemli bir diğer kısıtlılığı uygulayıcının deneyimine bağımlı bir görüntüleme yöntemi olmasıdır [1].

Kalp kapak hastalıklarının değerlendirilmesinde kateter anjiyografi invaziv bir yöntem olması nedeniyle kısıtlı endikasyonlarda tercih edilmektedir. Aynı zamanda iyonizan radyasyon maruziyeti ve iyotlu kontrast madde kullanım gerekliliği yöntemin önemli dezavantajıdır. Bugün için endikasyonlar genellikle pulmoner arter basıncı ölçme ve koroner arter anatomisini görüntüleme olup hastanın klinik bulguları ile non-invaziv görüntüleme bulgularında uyumsuzluk olması durumunda da ileri bir değerlendirme yöntemi olarak anjiyografiye gerek duyulabilmektedir [2]. X-ışını ile görüntülemeye dayanan bir diğer görüntüleme yöntemi olan Bilgisayarlı Tomografi (BT) ile kapakların morfolojisi, fonksiyonu ve kapak hastalıklarının diğer kardiyovasküler yapılarla olan olumsuz etkileri değerlendirilebilirse de BT ile direkt akımın ölçülmesi mümkün değildir. Kateter anjiyografiye benzer şekilde iyonizan radyasyon maruziyeti ve iyotlu kontrast madde kullanım dezavantajı söz konusudur. Kalsifikasyonları ortaya koymada ise MRG'den üstündür [3]. Radyonüklid görüntüleme yöntemleri kalp kapak hastalıklarının değerlendirilmesinde elde edilebilecek bilginin sınırlı olduğu, günümüzde kapak hastalıkları için tercih edilmeyen bir görüntüleme yöntemidir ve benzer şekilde iyonizan radyasyon maruziyeti söz konusudur [2].

**Kardiyak Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) ekokardiyografinin yetersiz kaldığı durumlarda alternatif non-invaziv bir inceleme yöntemi olmanın yanı sıra birçok durumda ekokardiyografiye alternatif değil, sağladığı ek bilgilerle tamamlayıcı bir inceleme yöntemi olarak öne çıkmaktadır [5]. Özellikle ekokar-**

diyografinin başarısının daha düşük olduğu sağ taraf kapak yapılarının değerlendirilmesinde olmak üzere, istenilen herhangi bir düzlemde görüntü elde edilebilmesi sayesinde ekokardiyografiye göre avantajlıdır [1]. Akımı ihtiyaç duyulan en uygun düzlemlerde değerlendirebilmesi ve kantifiye edebilmesi, kapak alanının direkt planimetri yöntemiyle ölçülebilmesi avantajlarına sahiptir. Ayrıca ventrikül hacimlerinin, kütesinin ve fonksiyonlarının kantitatif değerlendirilmesinde, doğruluğu ve tekrar edilebilirliği ekokardiyografiden yüksek, oldukça değerli bir inceleme yöntemidir. Yöntemde X-ışını gibi iyonizan radyasyon maruziyetinin söz konusu olmaması ve iyotlu kontrast madde kullanılmaması, iyonizan radyasyonun kullanıldığı diğer görüntüleme yöntemlerine göre önemli bir avantajdır. Aynı zamanda oldukça yüksek yumuşak doku kontrast çözünürlüğüne sahip olması ve mutiparametrik doku karakterizasyonu yetenekleriyle (geç kontrastlı görüntüleme, parametrik haritalama vb.) diğer görüntüleme yöntemlerine üstündür [1, 5]. Gerek kontrastsız gerek kontrastlı MR anjiyografi yöntemleri ile vasküler yapıların da ayrıntılı değerlendirilebilmesi mümkündür. Tüm bu nedenlerle kalp kapak hastalıklarının her yönüyle kapsamlı değerlendirilmesinde Kardiyak MRG öne çıkan inceleme yöntemi olmuştur. **Bununla birlikte jet akımların görsel değerlendirmesinde ekokardiyografinin gerisinde olması, temporal ve uzaysal çözünürlüğün sınırlı olması, sine görüntülemenin çok sayıda siklusun ortalamasıyla elde ediliyor olması, pik akım hızlarının olduğundan daha düşük ölçülebilmesi ve akım kantifikasyonunun çeşitli hatalara açık olması kardiyovasküler MRG'nin zayıf olduğu noktaları oluşturmaktadır [1].**

### İnceleme Tekniği

Kardiyak MRG en az 1.5 Tesla manyetik alan gücüne sahip cihazlarda, çok kanallı yüzeyel vücut sargıları ya da kardiyak sargı kullanılarak gerçekleştirilir. Görüntü eldesinin kardiyak siklus ile senkronizasyonu şarttır. Bu amaçla MRG'de genellikle standart elektrokardiyogram (EKG) yerine hastanın göğsüne yerleştiri-

rilen elektrotlarla, vektör kardiyogram (VKG) yöntemiyle kardiyak siklus takip edilmektedir [6]. Bunun çeşitli nedenlerle başarısız olması durumunda hastanın parmağına yerleştirilen bir çevirici yardımıyla periferel puls gating yöntemi de kullanılabilir.

Kapak hastalıklarının kardiyak MRG ile değerlendirilmesinde örnek inceleme protokolü Tablo 1’de yer almaktadır. Kapak morfolojisi beyaz kan görüntüsü oluşturan sine sekanslar ve/veya siyah kan görüntüsü oluşturan hızlı spin eko sekanslar ile görüntülenir. Kapak fonksiyonları beyaz kan görüntüsü oluşturan sine sekansların yanı sıra faz kontrast akım çalışmaları ile ortaya konur. Kardiyak fonksiyonların, ventrikül hacimlerinin ve kardiyak kütleinin değerlendirilmesi için uygun düzlemlerde beyaz kan görüntüsü oluşturan sine sekanslar kullanılır. Büyük vasküler yapıların değerlendirilmesi gerektiğinde MR anjiyografi sekansları protokole eklenebilir. Kalp kapaklarıyla ilişkin kitlelerin değerlendirilmesinde ise Perfüzyon MRG ile erken ve geç dönem kontrastlı görüntüleme yapılır. Gerekliğinde ayrıntılı miyokardiyal değerlendirme için parametrik haritalama, miyokardiyal perfüzyon ve viyabi-

lite (geç kontrastlı görüntüleme) sekanslarına protokole yer verilebilir [7, 8].

Kapak yerleşimi, yapısı ve hareketleri ile stenoz ya da yetmezliğe bağlı jet akımları ortaya koymada temel sekanslar beyaz kan görüntüsü oluşturan sine sekanslardır. Bu amaçla kullanılan, EKG/VKG gating ve nefes tutma ile elde edilen iki temel sekans Balanced steady state-free precession (b-SSFP) ve Spoiled gradient echo (Spoiled GRE) sekanslarıdır. **Günümüzde b-SSFP sekanslar daha hızlı elde edilebilmeleri ve çok daha iyi kan-miyokart kontrastı oluşturmaları nedeniyle, özellikle 1.5 Tesla MR sistemlerinde Spoiled GRE sekanslara tercih edilmektedir. Ancak akıma duyarlılıklarının daha fazla olması, jet akımları daha iyi gösterebilmesi nedeniyle özellikle kapak hastalıklarında Spoiled GRE sekanslara protokole yer verilebilmektedir [5].** Ayrıca b-SSFP sekansların yüksek manyetik alan gücüne sahip MR sistemlerinde, bant artefaktları başta olmak üzere artefaktlara daha duyarlı olması nedeniyle 3 Tesla sistemlerde Spoiled GRE sekanslar, b-SSFP sekansların halen önemli bir alternatifi konumundadır. b-SSFP ve Spoiled GRE sekansların stenotik ya da regürjitan kapaklardaki

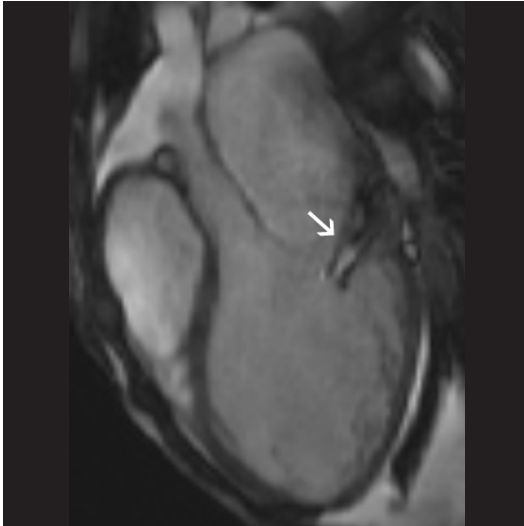
**Tablo 1: Kapak hastalıkları için örnek MR çekim protokolü**

|                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Temel Kardiyak MRG Protokolü (Ventrikül hacimleri ve fonksiyonu)             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Düz aksiyal SSFSE/HASTE ve/veya b-SSFP</li> <li>- Uzun aks 2,3,4 oda ve ventrikül boyunca ardışık kısa aks düzlemlerde b-SSFP / Spoiled GRE</li> </ul>                                                                                                                                         |
| Kapak düzeyinden morfolojik ve fonksiyonel görüntüleme                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- İlgili kapak düzlemine göre paralel ve dik düzlemlerde, ince kesit b-SSFP / Spoiled GRE</li> <li>- (Opsiyonel) Benzer kesit düzlemlerinde T1/T2 ağırlıklı hızlı spin eko görüntüler</li> <li>- (Opsiyonel) Kitle araştırılıyorsa perfüzyon MRG, erken ve geç kontrastlı görüntüleme</li> </ul> |
| Faz kontrast akım çalışmaları                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- İlgili kapak düzlemine/jet akıma uygun in-plane ve through-plane sine faz kontrast görüntüleme</li> <li>- Atriyoventriküler yetmezlik kantifikasyonunda kullanılmak üzere ilgili taraftaki arter proksimalinden through-plane sine faz kontrast görüntüleme</li> </ul>                         |
| Etiyolojiyi ya da sekonder etkilenmeyi ortaya koymaya yönelik ek görüntüleme | <ul style="list-style-type: none"> <li>- (Opsiyonel) Miyokardiyal değerlendirmeye yönelik parametrik haritalama, miyokardiyal perfüzyon, viyabilite (geç kontrastlı görüntüleme)</li> <li>- (Opsiyonel) Büyük damarlara yönelik kontrastlı/kontrastsız MR anjiyografi</li> </ul>                                                        |

jet akımları görüntüleyebilmesi hareketli protonların neden olduğu faz kaybına bağlı sinyal kaybı oluşması esasına dayanır. Bu jet akımlar ya siyah bir çizgi ya da iki siyah çizgi arasında beyaz bir çizgi olarak izlenir [9]. Aradaki beyaz çizgi akımın daha uniform hızdaki bölümünü, siyah kenarlar türbülansın daha yüksek olduğu bölümü temsil eder (Resim 1).

Bu jetlerin görülebilirliği sekans yapısına ve parametrelerine bağlıdır. Fonksiyonel görüntülemelerde daha çok tercih edilen b-SSFP sekansında, Spoiled GRE sekansa göre bu jetleri görmenin daha zor olması bu sekansın TE süresinin daha kısa olmasıyla ilgilidir. Spoiled GRE sekansı daha uzun TE zamanı ile hareketli spinlere bağlı faz kaybına daha duyarlıdır ve bu sayede stenoz ya da yetmezliğe bağlı jet akımlar daha büyük ve belirgin görünür [10, 11].

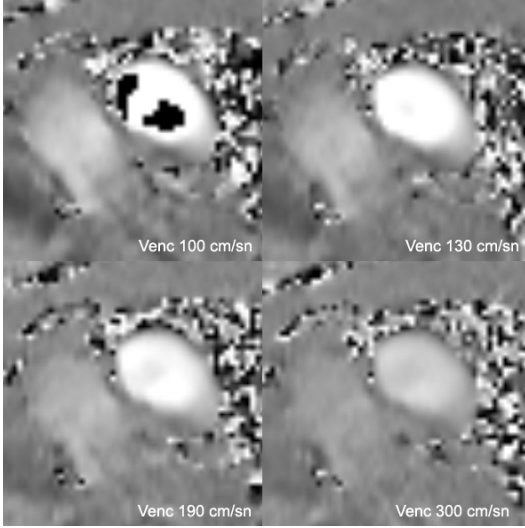
Sine faz kontrast akım görüntüleme direkt akım kantifikasyonuna olanak sağlaması nedeniyle kalp kapaklarındaki stenoz ya da yetmezliğin değerlendirilmesinde önemli bir yere sahiptir. Yön ve hız kodlamalı sine gradient eko sekanslarla, EKG gating ve nefes tutma ile gerçekleştirilir. Navigatör tabanlı yöntemle nefes tutmadan da elde edilebilir ve bu durumda



**Resim 1.** b-SSFP 3 oda görüntüde sistolde mitral kapakta oblik seyirli regürjitan jet akım izlenmekte (ok). Türbülansın fazla olduğu dış kısımlar iki siyah çizgi şeklinde izlenirken akımın daha uniform hızda olduğu santral bölüm beyaz izlenmekte.

daha iyi bir zamansal ve uzaysal çözünürlük elde edilebilir [7, 12]. İki boyutlu sine faz kontrast görüntülemelerde magnitüd ve faz görüntü olmak üzere en az iki farklı görüntü oluşturulur [1]. Magnitüd görüntü hareketli ve statik dokuların bir arada izlendiği, daha çok anatomik oryantasyon için kullanılan görüntüdür. Faz görüntüler ise akımın yönü ve hızı hakkında bilgi vermektedir. Akım kodlandığı düzlemdeki akım, yönüne göre siyah ya da beyaz renkle kodlanırken hareketin olmadığı dokular gri renkte gözükecektir. Beyazlık ya da siyahlığın şiddeti akım hızı ile orantılıdır. Görüntüleme sırasında dikkat edilmesi gereken nokta, Velocity encoding (Venc) değeri adı verilen, incelenecek düzeydeki tahmini akım hızına uygun bir hız kodlaması aralığı seçilmesi gerektiğidir. Bu değer aliasing adı verilen artefakt oluşmadan kodlanabilecek maksimum hızı gösterir [13]. **İncelenen düzeydeki akım hızının biraz üzerindeki Venc değerinde en iyi sinyal elde edilir. Bu düzeydeki hızdan düşük Venc değeri seçilmesi halinde aliasing denilen artefakt oluşur ve sağlıklı değerlendirme yapılamaz. Çok yüksek Venc değerlerinde ise sinyal/gürültü oranı düşer.** Bu nedenle incelenecek bölgedeki hızı tahmin etmek, elde edilen görüntüde aliasing ya da yetersiz sinyal olması durumunda Venc değerini değiştirerek sekansı tekrar etmek gereklidir. Bazı MR sistemlerinde en uygun Venc değerini tespit etmek için, farklı hızlarda hızlı ön görüntülemelerden oluşan “Venc Scout” yazılımı yer alır (Resim 2). Bu yöntemde hızlı ön taramayla incelenecek düzeydeki hız en uygun Venc değeri saptanır ve asıl inceleme bu değer kullanılarak gerçekleştirilir [14].

Faz kontrast akım çalışmasını iki farklı şekilde yapmak mümkündür. In-plane görüntüleme kanın akış yönüne paralel olacak şekilde, kapak düzlemine dik kesit düzleminde gerçekleştirilir [13]. Görüntü üzerinde kapağın kesiti ile birlikte kapak öncesi ve sonrası bölgeler yer alır (Resim 3). Akım kodlama yönü olarak, kapaktaki akımın yönüne göre iki boyutlu kesit görüntüsünün iki kenarından uygun olanı seçilir. Bu yöntemle elde edilen faz kontrast görüntüde ROI’ler kullanılarak her iki yöne doğru maksimum ve ortalama hızlar saptanabilir. Ancak



**Resim 2.** Pulmoner arter proksimalinden, uygun Venc değerini saptamak amacıyla farklı hızlarda gerçekleştirilen Venc Scout ön taramasına ait faz görüntüleri. Venc değeri 100 cm/sn seçildiğinde yukarı yönlü akımı simgeleyen beyaz arka planda, örneklenemeyen yüksek hızların oluşturduğu siyah artefaktlar (aliasing) görülmekte. Artefaktsız ve en yüksek sinyalin elde edildiği Venc 130 cm/sn değeri en uygun seçenek olarak görülmüyor. Daha yüksek Venc değerlerinde ise sinyal düşüyor.

bu yöntemle kapağın yalnızca bir kesitinden geçen akım görüntülediğinden hacim hesabı yapmak mümkün değildir.

Through-plane görüntüleme kanın akış yönüne dik olacak şekilde, kapak düzlemine paralel kesit düzleminde gerçekleştirilir (Resim 4). Bunun için en uygun kesit planlaması kapağa dik iki ayrı uzun aks görüntüsünden yapılabilir [7]. Elde edilen görüntü akımın geçtiği tüm çapı içeren bir kısa aks görüntüsü olduğundan, akımın geçtiği düzlemin tüm kardiyak fazlardaki ROI analizi ile bu düzeydeki hızların yanı sıra ileri ve geri yönlü akım hacminin de hesaplanabilmesi mümkündür [9, 15].

Faz kontrast akım görüntülemeye doğru akım kantifikasyonu için sekans parametrelerinde kesit düzlemi cihazın merkezinde (iso-center) olacak şekilde ayarlanmalıdır [7]. Günümüzde pek çok cihazda sekans ayarlarında bu seçenek seçili olarak gelmektedir ve bunun seçili olması, bölgesel girdap akımlara bağlı faz ofset hatalarının da en aza indirilmesine yardımcı

olur. Akım kantifikasyonunda anlamlı derecede hataya neden olabilen söz konusu faz ofset hatalarını düzeltmeye yönelik bazı MR sistemlerinde ayrı bir fantom taraması gerektiren ya da fantom taramasına gerek olmaksızın görüntü eldesi sonrası yazılımsal düzeltme yapabilen bazı düzeltme metotları bulunmaktadır [1].

Kardiyovasküler MRG’de kapaklara yönelik akım çalışmaları ve planimetri ile kapak alanı hesaplamaları için standart referans değerler mevcut olmadığından stenoz ya da yetmezlik şiddetinin derecelendirmesinde ekokardiyografiden adapte edilen değerler kullanılmaktadır [16].

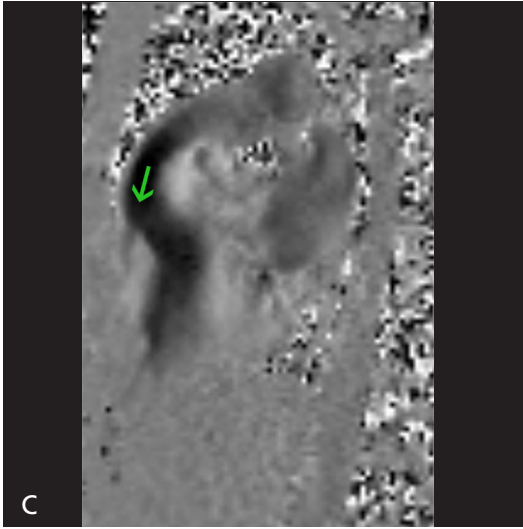
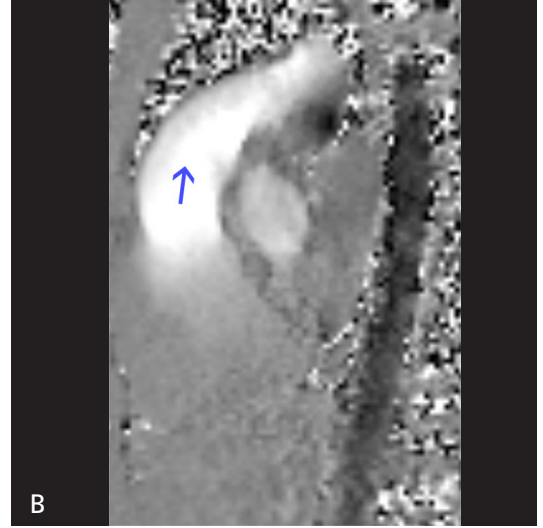
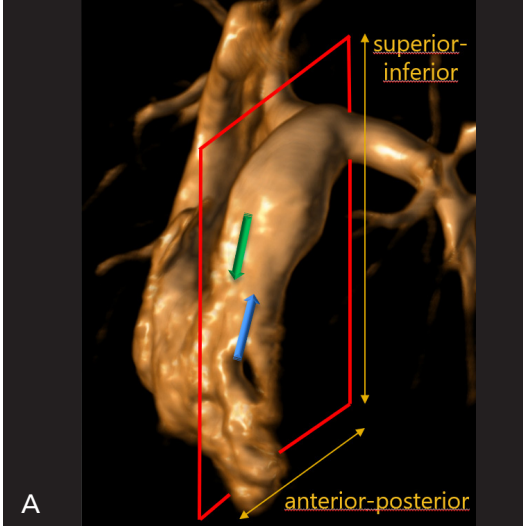
Siyah kan görüntüsü oluşturan T1 ya da T2 ağırlıklı hızlı spin eko sekanslar, EKG tetiklemeli ve genellikle nefes tutmalı olarak elde edilen temel morfolojik görüntüleme sekanslarıdır. Ancak kalp kapaklarının değerlendirilmesinde normalde birkaç mm kalınlıktaki ince kalp kapak yapılarının görüntülenmesi bu yöntemle daha zordur. Kalınlaşmış kapak yapısı ise kolaylıkla görüntülenebilir [2]. Bu sekanslar T1 ya da T2 ağırlıklı görüntüler oluşturabildiğinden kapak kitlelerinin karakterizasyonunda protokole eklenmesi gereken sekanslardır.

Kapak yapıları genellikle 1-2 mm kalınlıkta olduğundan, tipik olarak 5-8 mm kesit kalınlıklarının kullanıldığı Kardiyak MRG’de parsiyel volüm etkileri nedeniyle net görüntülenmeleri zor olabilir. Bu nedenle mümkün olduğunca düşük kesit kalınlıkları (4-5 mm) tercih edilmelidir [5]. Ancak düşük kesit kalınlıklarının kullanımını sinyal gürültü oranındaki düşme kısıtlamaktadır [1].

## KAPAK MORFOLOJİSİ

Kalp kapakları solda ve sağda yer alan iki adet semilunar (aortik ve pulmoner) ile iki adet atriyoventriküler (mitral ve triküspit) kapaklardan oluşmaktadır. Normal pozisyonunda pulmoner kapak solda ve önde, aortik kapak sağda ve arkada yer alır. Triküspit kapak, mitral kapağa göre daha apikal yerleşimlidir [10].

Kardiyak Manyetik Rezonans Görüntüleme’de kapak yapısı ve hareketleri hem kapak düzlemine paralel hem dik görüntüler elde edilerek değerlendirilmelidir. Yaprakçıkların açık ve kapalı olduğu durumlardaki morfolojiye ilişkin



**Resim 3. A-C.** In-plane faz kontrast akım çalışması (A). Pulmoner çıkış yolu ve pulmoner trunkus proksimalinden, akım yönüne paralel, kapak düzlemine dik olacak şekilde ayarlanan 2 boyutlu kesit düzleminin 3 boyutlu volüm rendering anjiyografik görüntü üzerinden gösterimi. Akım kodlama yönü, akımın yönüne uygun şekilde “superior-inferior” yönde seçildi (B). Faz görüntüde sistolde yukarı doğru giden akım beyaz renkte kodlanmakta (C). Faz görüntüde diastolde aşağıya doğru belirgin regürjitan akım izlenmekte olup siyah renkle kodlanmakta.

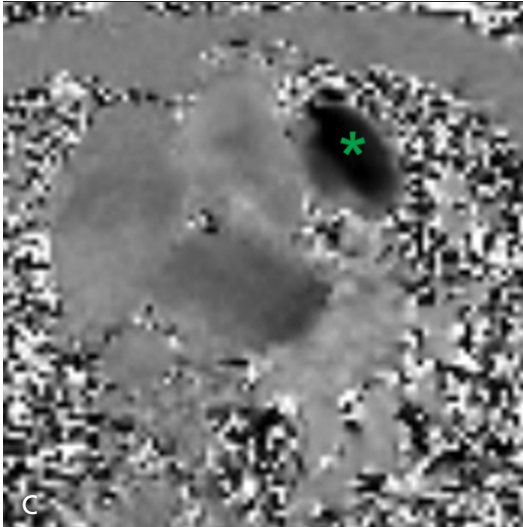
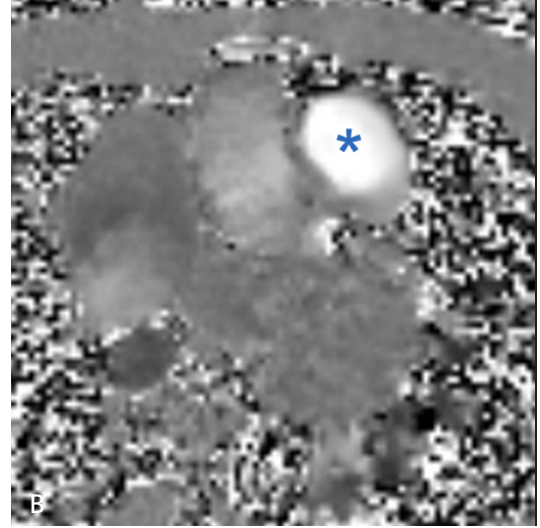
bilgi, kesit düzleminin kapak düzlemine uygun (paralel) planlandığı görüntüler ile ortaya konabilir. Kapak düzlemine uygun planlama yapabilmek içinse kapak düzlemini dik kesen uzun aks görüntülere ihtiyaç duyulur. Bu uzun aks görüntüler, kapak düzlemine uygun kesit için kılavuz görüntü görevi görmesi dışında, yaprakçıkların hareketinin uzun aksta değerlendirilmesine, varsa yetmezlik ve stenoza ilişkin jet akımların görüntülenmesine de olanak sağlar [5].

### Aortik Kapak (Sol Semilunar Kapak)

Aortik kapak yapısı sol ventrikül çıkış yolunun birbirine dik iki uzun aks görüntüsü üzerinden

kapak düzlemine uygun (paralel) olarak planlanan görüntü ile optimal şekilde ortaya konabilir. Kılavuz uzun aks görüntüleme düzlemlerinden sol ventrikül çıkış yolu görüntüsü ya da diğer adıyla kalbin üç oda görüntüsü, rutin kardiyak görüntülemelerde temel görüntüleme düzlemlerinden birisidir. Yalnızca bu görüntü üzerinden de kapak düzlemi görüntüsü planlanabilirse de kapak düzlemine uygun optimal görüntüyü elde edebilmek için sol ventrikül çıkış yolunun koronal görüntüsünü de elde edip her iki görüntü düzleminde kontrol ederek kesit düzlemini ayarlamak en optimal sonucu verecektir.

Aortik kapak 3 yaprakçıktan oluşur: sağ ve solda yer alan sağ koroner ve sol koroner yap-



**Resim 4.** A-C. Through-plane faz kontrast akım çalışması (A). Pulmoner trunkus proksimalinden, akım yönüne dik, kapak düzlemine paralel olacak şekilde ayarlanan 2 boyutlu kesit düzleminin 3 boyutlu volüm rendering anjiyografik görüntü üzerinden gösterimi. Akım kodlama yönü, akımın yönüne uygun şekilde kesiti geçen düzlemedir (B). Faz görüntüde sistolde yukarı doğru giden akım beyaz renkte kodlanmakta (C). Faz görüntüde diyastolde anterior kısımda belirgin regürjitan akım izlenmekte olup siyah renkle kodlanmakta.

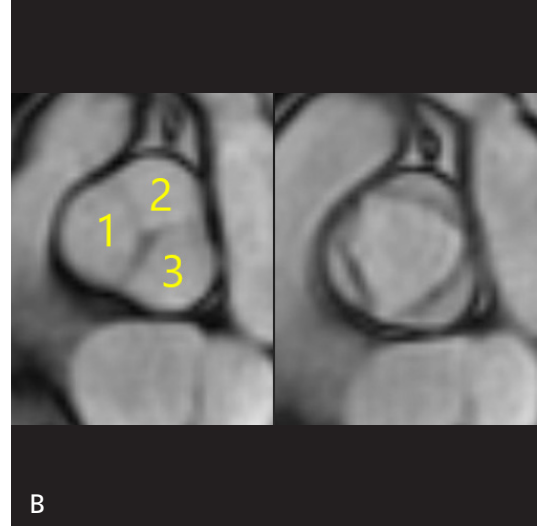
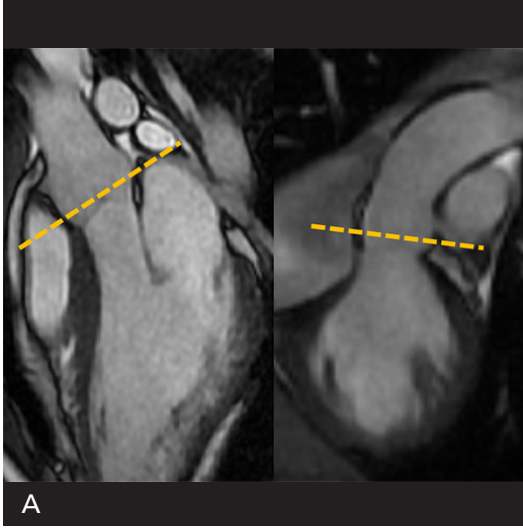
rakçıklar hizasından ilgili koroner arterler çıkar (Resim 5). Üçüncü yaprakçık olan non-koroner yaprakçık arkada yer alır. Kapak kapalı konumda “Mercedes-Benz” simgesi şeklinde bir görüntü oluşurken, kapak açık konumda üçgeni andıran bir açıklık izlenir [13].

#### **Mitral Kapak (Sol Atriyoventriküler Kapak)**

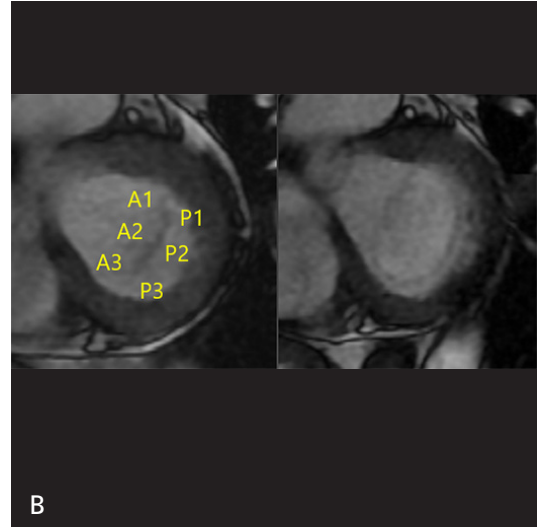
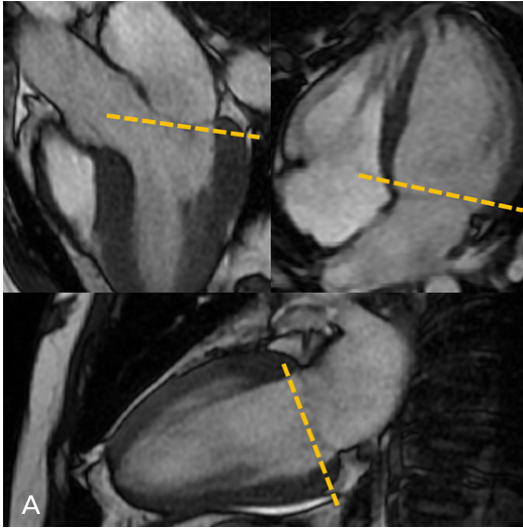
Mitral kapak yapısını ortaya koymaya yönelik kapak düzlemine uygun (paralel) görüntü, rutin kardiyak görüntülemelerde temel görüntüleme düzlemleri olan 4 oda, 3 oda ve 2 oda uzun aks görüntüleri üzerinden planlanabilir. Rutin

kardiyak MRG’de elde edilen sol ventrikül kısa aks görüntüleri genellikle atriyoventriküler kapak düzlemlerine paralel olduğundan, rutin kardiyak görüntüleme sırasında genellikle kapak morfolojisi ortaya konmuş olur. Ancak kapağın daha ayrıntılı değerlendirilmesi gereken durumlarda sol ventrikül çıkış yolu görüntüleri, kapağın farklı bölümlerinden geçen ardışık uzun aks kesitler şeklinde alınabilir.

Mitral kapak anterior ve posterior yaprakçıklardan oluşan biküspit yapıdadır. Karşılıklı yaprakçıklar anterolateralden posteromediale doğru A1-P1, A2-P2 ve A3-P3 bölgeleri olmak üzere 3 bölgeye ayrılır (Resim 6). Sol ventrikül çıkış yolundan geçen ardışık uzun aks görün-



**Resim 5. A, B.** b-SSFP görüntülerde aortik kapak planlama düzlemleri ve aortik kapak yapısı (A). Sol ventrikül çıkış yolunun standart 3 oda (solda) ve ona dik koronal (sağda) uzun aks görüntülerinden aortik kapak düzleminin planlaması görülmekte (B). Kapak kapalı pozisyonda (solda) “Mercedes-Benz” simgesi görünümü oluşurken kapak açık pozisyonda (sağda) açıklık üçgen şeklinde izleniyor. 1. Sağ koroner yaprakcık, 2. Sol koroner yaprakcık, 3. Non-koroner yaprakcık.

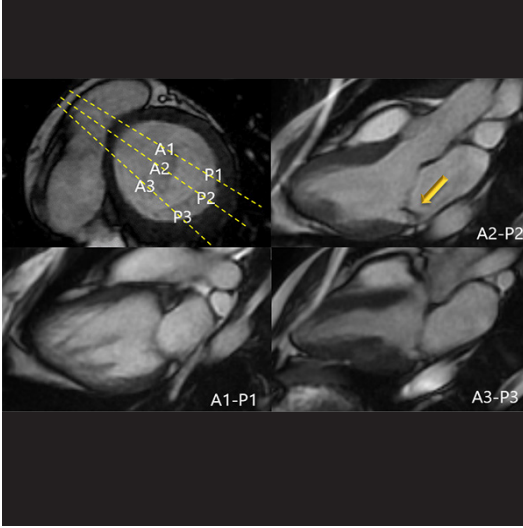


**Resim 6. A, B.** b-SSFP görüntülerde mitral kapak planlama düzlemleri ve mitral kapak yapısı (A). Sol ventrikülün 3, 4 ve 2 oda uzun aks görüntülerinden mitral kapak düzleminin planlaması görülmekte (B). Kapak kapalı pozisyonda (solda) anterior ve posterior yaprakcıklar üzerinde anterolateralden posteromediale doğru A1-P1, A2-P2 ve A3-P3 bölgeleri görülmekte. Kapak açık pozisyonda (sağda) kapak açıklığı elips şeklinde izlenmekte.

tüler ya da mitral kapak üzerindeki üç bölgeden her birine uygun açı verilerek elde edilecek uzun aks görüntülerle, bu bölgelerdeki kapak hareketinin, stenoz ya da yetmezliğe ilişkin jet akımların ayrı ayrı değerlendirilmesi ve anormalliklerin lokalize edilmesi mümkün olur [4] (Resim 7).

### Pulmoner Kapak (Sağ Semilunar Kapak)

Pulmoner kapak yapısını ortaya koymaya yönelik kapak düzlemine uygun kesit planlaması sağ ventrikül çıkış yolu görüntüleri üzerinden yapılır. Aortik kapak için sol ventrikül çıkış



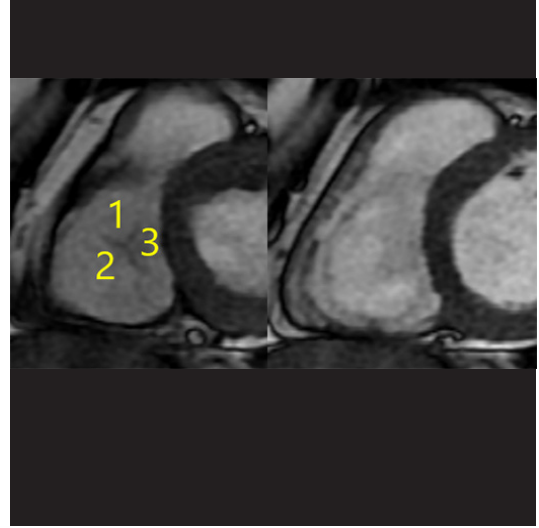
**Resim 7.** b-SSFP görüntülerde mitral kapağın üzerindeki A1-P1, A2-P2 ve A3-P3 bölgelerini kesen uzun aks görüntü düzlemlerinin kısa aks görüntü üzerinden planlaması ve her bir görüntü düzleminde oluşan uzun aks görüntülerin gösterilmesi. Bu olguda oblik seyirli mitral regürjitan akımın A2-P2 bölgesinde olduğu görülmektedir (ok).

yolundan yapılan kesit planlamasına benzer şekilde pulmoner kapak için de en uygun görüntüleme düzlemi, sağ ventrikül çıkış yolunun birbirine dik iki uzun aks görüntüsü kullanılarak elde edilebilir. Ancak pulmoner kapağın ince yapısı nedeniyle parsiyel volüm etkileri daha belirgin olur ve kapak morfolojisi göstermek kolay olmayabilir.

Pulmoner kapak aortik kapak gibi triküspit yapıdadır. Anterior, sağ ve sol yaprakçıklardan oluşur. Kapak kapalı ve açık görüntülerde aortik kapağa benzer görüntü verir [17].

### **Triküspit Kapak (Sağ Atriyoventriküler Kapak)**

Triküspit kapağa uygun görüntüleme düzlemi, sağ ventrikülün iki uzun aks görüntüsü olan sağ ventrikül 2 oda görüntü ve 4 oda görüntülerinden planlanabilir. Rutin kardiyak MRG'de elde edilen sol ventrikül kısa aks görüntüleri genellikle atriyoventriküler kapak düzlemlerine paralel olduğundan, rutin kardiyak görüntüleme sırasında genellikle kapak morfolojisi ortaya konmuş olur.

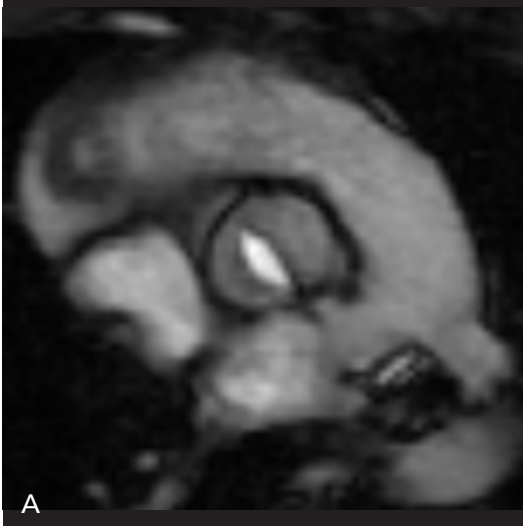


**Resim 8.** Kısa aks b-SSFP görüntüde kapak kapalı (solda) ve açık (sağda) pozisyonunda triküspit (sağ atriyoventriküler) kapak yapısı. 1. Anterior yaprakçık, 2. Posterior (inferior) yaprakçık, 3. Septal yaprakçık.

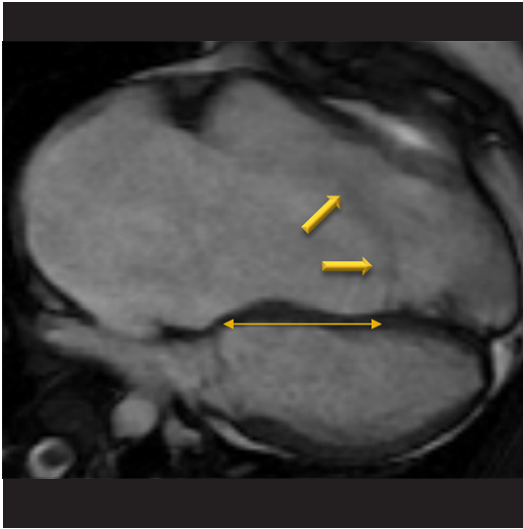
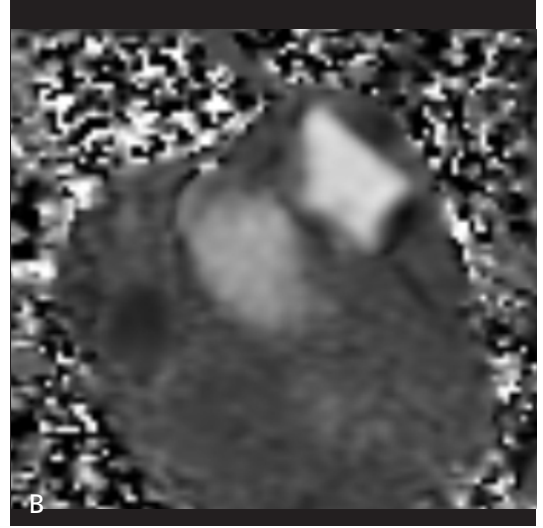
Triküspit kapak anterior, posterior (inferior) ve septal yaprakçıklardan oluşur (Resim 8). En büyükleri anterior yaprakçıktır [18].

### **Doğumsal Anomaliler**

Kalp kapakçıklarının yaprakçık sayısı olması gerekenden az ya da fazla olabilir. **Triküspit kapakların biküspit yapıda olması semilunar kapaklarda görülen en sık anomali olup özellikle aortik kapakta görülür [13]. Gerçek biküspit yapıda olabileceği gibi, üç yaprakçıktan ikisinin birbirinden ayrılmayıp tek parça halinde hareket etmesine bağlı olarak fonksiyone biküspit de olabilir. Her iki durumda kapak açık konumda açıklık üçgen şeklinde değil, balık ağzı şeklinde daha dar bir açıklıktır (Resim 9a). Kapak kapalı pozisyonunda fonksiyone biküspit kapaklarda normal triküspit kapak anatomisi izlenmesine karşılık gerçek biküspit kapaklarda iki yaprakçık izlenir.** Biküspit aortik kapaklarda stenoz ya da yetmezlik sık görülür. Ayrıca biküspit aortik kapakların aortik genişleme, aort koarktasyonu, supravalyüler aortik stenoz, ventriküler septal defekt ve patent duktus arteriyozus ile birlikteliği görülebilir. Biküspit



**Resim 9. A, B.** Biküspit ve kuadriküspit semilunar kapaklar (A). b-SSFP görüntüde "balık ağzı" şeklinde kapak açıklığına sahip biküspit aortik kapak izleniyor (B). Faz kontrast akım çalışmasının faz görüntüsünde pulmoner kuadriküspit kapak açıklığı ve kenarında birbirinden farklı boyutta 4 yaprakçık görülmekte.



**Resim 10.** Ebstein anomalisi. b-SSFP görüntüde 4 oda görüntüde triküspit kapağın septal yapışma düzeyi ile mitral kapak seviyesi arasında 20mm'nin üzerinde fark var (iki uçlu ok) ve kapak düzlemi oblik olarak izlenmektedir (kalın oklar).

kapaklardan daha nadir olarak kuadriküspit ya da uniküspit gibi farklı sayılarda yaprakçıktan oluşan anomaliler izlenebilir [13] (Resim 9b).

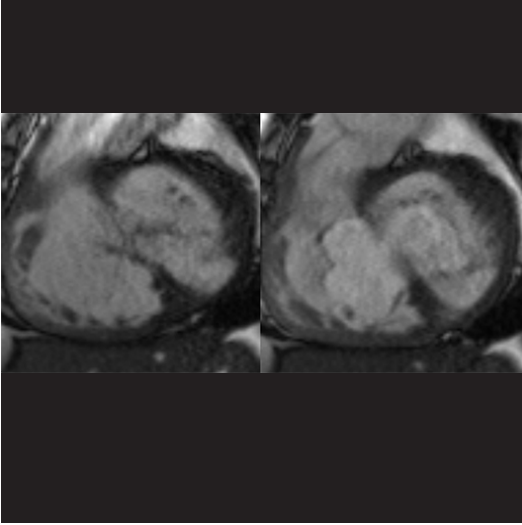
Ebstein anomalisi, sağ atriyoventriküler (triküspit) kapak ile ilgili bir anomali olup anulus normal yerinde olmasına karşılık bazı yaprakçıkların (septal ve posterior yaprakçık-

lar) normalden daha apikalde yer alması ile karakterizedir. Normalde 4 oda görüntülerinde triküspit kapak ile mitral kapak düzeyleri arasında 0.5-1 mm kadar mesafe vardır ve triküspit kapak apikale daha yakındır. Triküspit ve mitral kapakların septal yapışma düzeyleri arasındaki farkın 20 mm'nin ya da 8 mm/m<sup>2</sup>'nin üzerinde olması Ebstein anomalisi lehinedir (Resim 10). Bu anomalide triküspit kapak düzlemi obliktir. Kapak düzlemi ile atriyoventriküler oluk arasında kalan sağ ventrikül bölümü atriyalize sağ ventrikül olarak adlandırılır. Ebstein anomalisinin kardiyak MRG ile değerlendirilmesinde atriyalize olan ve olmayan sağ ventrikül hacimlerini ayrı ayrı hesaplamak mümkündür [18].

Atriyoventriküler septal defektler (ASVD) atriyoventriküler kapakları içeren kompleks malformasyonlar olup ortak atriyoventriküler bileşke ile karakterizedir (Resim 11). Komplet ya da parsiyel olabilir. Komplet AVSD'de ortak tek bir atriyoventriküler kapak mevcut olup inlet ventriküler septal defekt ostium primum tip atriyal septal defekt ile devamlılık gösterir. Parsiyel AVSD'de ise ostium primum atriyal septal defekt mevcut olup atriyoventriküler bileşke tek olmakla birlikte sağ ve solda iki ayrı atriyoventriküler kapak yapısı mevcuttur [19].

### Kapak Hareket Bozuklukları

Kapak hareket bozuklukları başlıca kısıtlı kapak hareketi, koaptasyon kusuru ve prolapsustan oluşmaktadır. Hareket bozuklukları kapak düzlemine uygun (paralel) alınan görüntülerde de izlenebilmekle birlikte kapak düzlemini dik kesen uzun aks görüntülerde daha iyi değerlendirilebilir. Kapaktaki hareket bozukluğunun



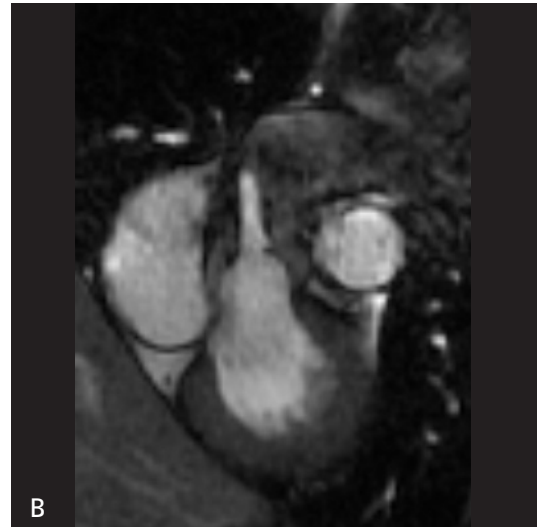
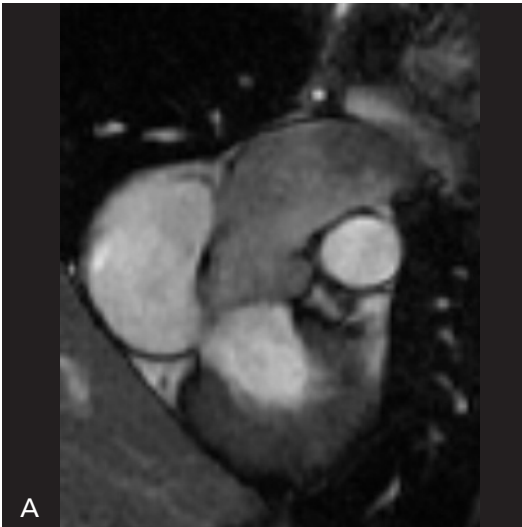
**Resim 11.** Atriyoventriküler septal defekt. b-SSFP görüntüde kapak kapalı pozisyonda (solda) atriyoventriküler kapakların pozisyonu ve yaprakçıkları normal morfolojide değil ve kapak açık pozisyonda (sağda) birleşik tek bir kapak açıklığı görünümü oluşuyor.

yaprakçıkların hangi bölümlerini etkilediğini ortaya koymada kapağı kateden ardışık sine görüntüler daha yararlıdır, çünkü 2 boyutlu tek bir uzun aks kesit görüntüsünde kapağın sorunlu bölümü görüntülenememiş olabilir.

Başta romatizmal kalp hastalığı olmak üzere çeşitli hastalıklar kapak fonksiyonlarını bozabilir ve buna bağlı olarak kapağın ya da bazı yaprakçıklarının hareketi kısıtlanabilir. Bunun sonucunda stenoz oluşur (**Resim 12**). Benzer süreçler kapağın ya da bazı yaprakçıklarının tam kapanmamasına bağlı yetmezlik ile sonuçlanabilir. Prolapsus, bir ya da daha fazla yaprakçığın anulusa göre 2 mm'den fazla ters tarafa bombeleşmesini ifade eder ve sıklıkla yetmezlik eşlik eder [18, 20].

### Kapak Yetmezliği

Aortik kapak yetmezlikleri biküspit aortik kapak, kapakta dejenerasyon, romatoid hastalık tutulumu ve endokardit gibi kapağı tutan hastalıklara bağlı olabileceği gibi Marfan sendromu ve hipertansiyon gibi aort kökünde fonksiyonel genişleme yapan hastalıklara sekonder de olabilir [1, 2]. Dejenerasyona bağlı yetmezlik mitral kapak yetmezlikleri içerisinde en sık görülen mekanizma olmakla birlikte iskemiye sekonder yetmezlik ile anüler ya da ventriküler genişlemeye bağlı fonksiyonel yetmezlik sık-



**Resim 12.** A, B. Sol ventrikül çıkış yoluna ait diyastolik (A) ve sistolik (B) faz b-SSFP koronal uzun aks görüntüler. Aortik kapak hareketi kısıtlı ve stenoza bağlı jet akım izlenmekte.

lığı da yüksektir [21]. Endokardit, mitral valv prolapsusu, romatoid hastalıklar ve Marfan sendromu da mitral yetmezlik nedenlerindedir [2]. Pulmoner kapak yetmezlikleri genellikle doğumsal kalp hastalıkları ile ilişkilidir ve operasyon sonrası dönemde pulmoner kapak fonksiyonlarının takibinde MRG oldukça önemli bir yere sahiptir [21]. Triküspit yetmezlik genellikle anüler genişlemeye ikincil fonksiyonel nedenlidir [18, 21].

Kapak yetmezliklerine bağlı jet akımları beyaz kan sine uzun aks görüntülerde görmek mümkün olsa da akılda tutulması gereken nokta, tek bir 2 boyutlu uzun aks görüntü düzlemine jet akımın girmeyebileceğidir. Bu özellikle eksantrik jet akım olan olgularda önemlidir. Bu nedenle kapak hastalığına yönelik uzun aks kesitler alınırken, kapak düzlemini tümüyle kateden ardışık sine görüntüler tercih edilmelidir. Oldukça dar olan jet akımları gözden kaçırmak için kesit kalınlığı mümkün olduğunda düşük tutulmalıdır.

Uzun aks beyaz kan görüntüsü oluşturan sine sekanslarda, anjiyografiye benzer şekilde, jet akımın uzunluğu-şiddeti dikkate alınarak semi-kantitatif bir grade'leme yapılabilir [22]. Kapağa yakın izlenen regürjitan akım grade 1, proksimal odacığa uzanan regürjitan akım grade 2, proksimal odacığı tümüyle dolduran regürjitan akım grade 3 ve odacıқта siklusun ilgili yarısı boyunca sinyal kaybı grade 4 olarak derecelendirilir. Ancak regürjitan akımın görülebilirliği kullanılan sekansa ve TE süresi gibi sekans parametrelerine bağlı değişkenlik gösterdiğinden bu yöntemin güvenilirliği düşüktür. Özellikle b-SSFP sekanslarda, Spoiled GRE sekanslara göre bu jetlerin daha belirsiz olması yetmezliğin olduğundan daha düşük değerlendirilmesine yol açabilir. Ayrıca eksantrik jetlerin duvara çarpıp şiddetinin azalması, dual kapak hastalıklarında (örneğin aortik yetmezlik ve mitral stenoz gibi) jetlerin birbirinden ayrımının zor olması semi-kantitatif yöntemin diğer dezavantajlarıdır [2].

Sine faz kontrast görüntüleme ile gerek in-plane, gerekse through-plane kapak düzlemlerinde ileri ve geri yönlü akımların gösterilmesi mümkündür. Yetmezlik kantifikasyonunda

ise through-plane düzlemlerde akım çalışmaları kullanılmaktadır [15].

Yetmezliğin kantifikasyonu semilunar ve atriyoventriküler kapaklar için farklı birkaç yöntemle yapılabilir. Semilunar kapaklardaki yetmezliğin kantifikasyonunda en çok tercih edilen ve en güvenilir yöntem, ilgili kapaktan gerçekleştirilen through-plane akım çalışması ile direkt kantifikasyondur [4, 23]. Tercih edilen kesit düzlemi genellikle kapak düzleminin hemen üzeridir. Akımın geçtiği düzleme ROI yerleştirerek ve tüm kardiyak faz görüntülerine bu ROI'yi uyarlayarak, ileri ve geri akım hacmini belirlemek ve aşağıdaki formülle regürjitasyon fraksiyonunu hesaplamak mümkündür.

$$\text{Regürjitasyon Fraksiyonu} = (\text{geri akım} / \text{ileri akım}) \times 100$$

Aortik ve mitral kapaklar için regürjitasyon fraksiyonunun %30'un altında olması hafif, %30-49 arasında olması orta ve %50 ya da üzerinde ağır yetmezliğe işaret eder. Pulmoner kapaktaki regürjitasyon için %25'in altı hafif, %25-35 arası orta ve %35'in üzeri ağır yetmezlik olarak değerlendirilir. Aortik ve mitral kapaklar için regürjitan (geri) akımın, hafif yetmezlikte 30 mL/atım'dan düşük, orta dereceli yetmezlikte 30-59 mL/atım, ağır dereceli yetmezlikte 60 mL/atım ya da üzerinde olması beklenir. Pulmoner yetmezlikte de 30 mL/atım'dan düşük regürjitan akım hafif yetmezlik lehine olup regürjitan akımın 30-40 mL/atım olması orta dereceli yetmezlik, 40 mL/atım'dan fazla olması ağır pulmoner yetmezlik lehinedir [16].

**Atriyoventriküler kapaklarda, siklus süresince kapak düzlemindeki değişiklik daha fazla olup anulus sistolde through-plane düzlemde 2cm'ye kadar yer değiştirebilir. Bu nedenle atriyoventriküler kapaklarda yetmezliğin direkt kantifikasyonu tercih edilmez [24]. En sık kullanılan yöntem ilgili tarafta ventrikül strok hacmi ile o ventrikülden ayrılan arter (aort/pulmoner trunkus) proksimalinden akım çalışmasıyla hesaplanan ileri yönlü akım arasındaki farkın saptanması esasına dayanan indirekt yöntemdir. Aradaki hacim farkı ilgili tarafta**

artere gitmek yerine atriyoventriküler kapaktan geriye kaçan akıma karşılık gelir. Regürjitan akım hacmi indirekt olarak bu şekilde hesaplandıktan sonra bu hacmin ventrikül strok hacmine oranlanmasıyla regürjitasyon fraksiyonu % olarak hesaplanabilir [8, 15].

Tek bir kalp kapağındaki yetmezliğin kantifikasyonunda, intrakardiyak ya da ekstrakardiyak başka bir şant ya da başka kapak yetmezliği eşlik etmiyorsa, her iki ventrikül strok hacmi arasındaki fark kullanılabilir. Strok hacmi hesabı için her iki ventrikülü kateden ardışık beyaz kan sine görüntülerde diyastol sonu ve sistol sonu hacimleri hesaplanır. Her iki ventrikülün strok hacmi bu yöntemle belirlendikten sonra aradaki fark ilgili kapaktaki regürjitasyon hacmine karşılık gelir. Bu hesaplamada ventrikül strok hacimleri yerine aort ve ana pulmoner arter proksimalinden yapılan akım çalışmalarında ileri yönlü akımlar da kullanılabilir [11]. Regürjitasyon fraksiyonu hesabı için regürjitasyon hacmi, ilgili taraftaki ventrikül hacmine oranlanmalıdır.

Kapak yetmezliğinin MRG ile değerlendirilmesinde regürjitasyon açıklığının planimetri ile hesaplanması mümkün olsa da bu konuda yapılan çalışmalar kısıtlıdır [11, 25]. Aortik regürjitan açıklığın, akım çalışmasına dayanan regürjitasyon hacmi-fraksiyonu ve kateter anjiyografide hesaplanan aortik yetmezlik ile kuvvetli korelasyon gösterdiği ortaya konmuştur [25]. Ekokardiyografiden adapte edilen sınıflandırmaya göre aortik regürjitan orifis alanının  $0.10 \text{ cm}^2$ 'nin altında olması hafif,  $0.10\text{-}0.29 \text{ cm}^2$  arasında olması orta dereceli,  $0.30 \text{ cm}^2$  ya da daha geniş olması ağır yetmezlik lehinedir. Mitral regürjitan orifis alanının  $0.20 \text{ cm}^2$ 'nin altında olması hafif,  $0.20\text{-}0.39 \text{ cm}^2$  arasında olması orta dereceli,  $0.40 \text{ cm}^2$  ya da daha fazla olması ağır yetmezliğe işaret eder [16].

Kapak yetmezliklerinin MRG ile değerlendirilmesinde ventrikül hacimlerinin ve fonksiyonlarının da değerlendirilmesi incelemenin ihmal edilmemesi gereken önemli bir bileşenidir. Kardiyak MRG kantitatif fonksiyonel analizde günümüzde altın standart kabul edilmekte olup kapak yetmezliklerinin değerlendirilmesinde bu açıdan da MRG öne çıkan inceleme yöntemi konumundadır [5].

## Kapak Stenozu

Aortik kapak stenozu cerrahi ya da girişimsel tedavi gerektiren en sık kapak hastalığı olup artan yaşla birlikte görülen fibrokalsifik dejenerasyon en sık nedendir. 65 yaşı üzeri hastaların dörtte birinde aortik kapakta dejeneratif kalınlaşma görülmektedir [1, 21]. Doğumsal nedenlerden biküspit aortik kapak, edinisel nedenlerden romatoid kalp hastalığı aort stenozunun diğer sık nedenleridir. Mitral kapak stenozlarının büyük bölümünde etioloji romatizmal kalp hastalığı iken pulmoner kapak stenozları genellikle doğumsal kalp hastalıklarında görülür [2]. Triküspit kapak stenozları son derece nadir olup biküspit ya da displastik kapak gibi doğumsal anomalilerine ya da daha az sıklıkla endokardit, romatoid kalp hastalığı ya da karsinoide bağlı olabilir [18, 21].

Kapak stenozlarına bağlı jet akımların oluşturduğu artefaktlar gerek uzun aks gerekse kısa aks sine beyaz kan görüntülerde saptanabilir. Bu bölgedeki ortalama ve maksimum hızlar, gerek in-plane, gerekse through-plane sine faz kontrast görüntüleme ile hesaplanabilir. Sine faz kontrast akım çalışmaları kapak yetmezliklerinin kantifikasyonunda oldukça başarılı bir yöntem olsa da stenoz kantifikasyonunda başarısı ekokardiyografiden düşüktür ve genellikle maksimum hızlar olduğundan daha düşük hesaplanır. Bunun en önemli nedeni oldukça dar jet akımların nispeten kalın kesite bağlı parsiyel volüm etkisiyle doğru kantifiye edilememesidir. Ayrıca sine faz kontrast görüntülemenin zamansal çözünürlüğü (25-45 ms), Doppler ekokardiyografiye göre (2 ms) düşüktür ve bu durumda oldukça kısa süreli yüksek hızlı akımlar örneklenemeyebilir [1]. Kapakta stenozla bağlı jet akımlarda maksimum hız genellikle kapak düzleminin hemen sonrasında elde edilir. In-plane akım görüntüleme kanın akış yönünde en yüksek hızın olduğu seviyeyi saptamada başarılı olsa da bu görüntüler üzerinden ROI analizi yapıldığında, iki boyutlu kesit düzlemi maksimum hızın olduğu yeri göstermede yetersiz kalabilir. Bu nedenle in-plane görüntüleme en yüksek parlaklık/siyahlık yardımıyla maksimum hız düzeyi tespit edilmeli ve

bu seviyeden, kapağa paralel, kanın akış yönüne dik through-plane akım görüntüleme yapılmalıdır [5, 14].

Sine faz kontrast görüntülemelerde stenoz kantifikasyonunda ölçülen pik akım hızları direkt kullanılabilceği gibi Modifiye Bernoulli denklemi ile pik basınç gradyanı da hesaplanabilir.

Modifiye Bernoulli Denklemi:

$$\Delta P_{\text{maks}} (\text{mmHg}) = 4(V_{\text{maks}})^2$$

Aortik kapak için 2.6-2.9 m/sn arasındaki pik akım hızları hafif stenoz olarak değerlendirilirken, 3-4 m/sn arası orta dereceli, 4 m/sn'den yüksek pik akım hızları ise ağır stenoz karşılık gelir. Bu hız değerleri pulmoner kapak için de kullanılabilir [1, 16, 26].

Mitral kapak stenozunu derecelendirmede pik akım hızı eşik değerleri olarak 1.2 m/sn'nin altındaki hızlar hafif, 1.2 ile 2.2 m/sn arası hızlar orta, 2.2 m/sn'nin üzerindeki hızlar ağır mitral stenoz kabul edilebilir [16].

Kardiyak MRG'de stenoz kantifikasyonunda bir diğer yöntem direkt planimetri ile kapak alanı hesaplamaya dayanır [27]. Değerlendirmeyi kapak alanının en düşük olduğu kapak uçlarından, maksimum açıklıkta yapmak esastır. Uzun aks görüntülerde kapak uçlarından geçecek şekilde tek bir görüntü düzlemi ayarlamak yerine, hatayı en aza indirip en uygun pozisyondan ölçüm yapabilmek için kapak ucundan geçecek ardışık birkaç kesit düzleminde görüntü almak daha uygun olacaktır [1, 11].

Ekokardiyografide kullanılan, süreklilik denkleminde dayanan kapak alanı hesaplama yöntemi Kardiyak MRG'de de kullanılabilir. Aortik kapak alanı hesaplamada aşağıdaki formül kullanılabilir [26]:

Aortik Kapak Alanı = Ventrikül Çıkış Alanı X ((Çıkış Alanında Maksimum Hız)/(Proksimal Aortada Maksimum Hız))

Formülde maksimum hızlar yerine hız-zaman integrali (velocity time integral) de kullanılabilir [2, 28]. Ancak kardiyak MRG'nin istenilen en uygun düzlemde görüntü elde edebilmesi nedeniyle, görüntü kalitesi iyi ise, direkt plani-

metri ile ölçüm yeterli olur [5, 26, 27].

Aortik kapak için 1.5 ile 1.9 cm<sup>2</sup> arasındaki kapak alanı hafif stenoz, 1 ile 1.5 cm<sup>2</sup> arası kapak alanı orta dereceli stenoz ve 1 cm<sup>2</sup>'nin altındaki kapak alanı ağır stenoz işaret eder. Vücut yüzey alanına oranlandığında 0.6 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>'den küçük kapak alanı ağır stenoz karşılık gelir. Pulmoner kapak planimetrisinde de 1 cm<sup>2</sup>'nin altındaki kapak alanı ağır stenoz lehinedir.

Mitral stenozun derecelendirilmesinde aortik kapak alanına benzer şekilde 1.5 cm<sup>2</sup> üzerindeki kapak alanı hafif stenoz, 1 ile 1.5 cm<sup>2</sup> arası kapak alanı orta dereceli stenoz ve 1 cm<sup>2</sup>'nin altındaki kapak alanı ağır stenoz olarak değerlendirilir. Triküspit kapakta 1 cm<sup>2</sup>'nin altındaki kapak alanı ağır stenoz lehinedir [1, 16].

### Kapak Kitleleri

Kardiyak MRG valvüler vejetasyon, trombus, kazeöz kalsifikasyon ya da tümörlerin saptanmasında, yerleşimi ve hareketliliğinin değerlendirilmesinde ve kitlenin karakterize edilmesinde önemli bir ileri inceleme yöntemi [10, 29]. Bu değerlendirmede kitlelerin kapağa tutunma seviyesi ve hareketlilikleri sine beyaz kan görüntüleme ile ortaya konur. Kitlelerin karakterizasyonunda ise MRG'nin doku karakterizasyonuna yönelik sekansları kullanılır. T1 ve T2 ağırlıklı, siyah kan görüntüsü oluşturan hızlı spin eko sekanslar morfolojik değerlendirmenin kontrast madde öncesi temel bölümünü oluşturmaktadır. Kitle lezyonlarını T1 ve T2 özelliklerine göre karakterize etmede günümüzde yeni kullanıma girmiş olan renkli parametrik haritalama yöntemleri de önemli potansiyele sahiptir [30]. Kitlelerin kontrast madde sonrası değerlendirilmesi, kontrast madde enjeksiyonu sırasında elde edilen ilk geçiş perfüzyon MRG ile erken ve geç dönem kontrastlı görüntülerden oluşur [2]. Kalp kapağı tümörleri içerisinde papiller fibroelastom ilk sırada yer alır. İkinci sıklıkta ise miksoma görülür [31]. Kapak kitleleri dahil olmak üzere kardiyak kitlelerin MR görüntüleme bulguları ayrı bir makale konusu olduğundan burada ayrıntılı şekilde ele alınmayacaktır.

## Prostetik Kapaklar

Prostetik kalp kapakları biyolojik ve mekanik olma üzere 2 ana gruba ayrılır. Biyolojik kapaklar yapısal bozulma nedeniyle daha kısa ömürlüdür. Mekanik kapaklarda ise ömür boyu antikoagülan tedavi gerekir [32].

Günümüzde kullanılan, manyetik alan şiddeti 3 Tesla'ya kadar olan MR sistemlerinde prostetik kalp kapaklarının büyük bölümünü herhangi bir güvenlik riski olmadan görüntülemek mümkün olsa da çevrimiçi kaynaklardan ilgili materyalin MR güvenli olup olmadığının teyit edilmesi esas olmalıdır [1, 33].

Prostetik kapakların MR görüntülemesinde en önemli kısıtlılık artefakt oluşturmalarıdır. Bu artefakt kullanılan kapakçığın özelliğine göre değişen şiddetli sinyal kaybı şeklinde olup özellikle b-SSFP sekanslarda problem oluşturabilir. Bu durumda sine beyaz kan görüntülemeye b-SSFP yerine Spoiled GRE sekansların tercih edilmesi daha uygun olacaktır [1]. Spin eko sekanslar prostetik kapağa bağlı artefaktlara daha dirençlidir [32]. İki yaprakçıklı ve titanyum içeren kapaklar, tek yaprakçıklı ya da kobalt-krom alaşımlı olanlara göre daha az artefakt oluşturur [32]. Biyolojik metalik kapaklar da metal çerçeveleri nedeniyle artefakt oluşturabilir. Mekanik prostetik kapakları mekanik ayrıntıları artefaktlar nedeniyle MRG ile ortaya konamaz. Biyolojik prostetik kapaklarda ise MRG ile anulus ve kapak alanları hesaplanabilir ve bu ölçümler ekokardiyografik sonuçlarla yüksek uyumluluk gösterir [32]. Prostetik kapaklarda faz kontrast akım görüntüleme, nativ kapaklara benzer şekilde uygulanabilir [1].

## Kaynaklar

- [1]. Gulsin GS, Singh A, McCann GP. Cardiovascular magnetic resonance in the evaluation of heart valve disease. *BMC Med Imaging* 2017; 17: 67. [\[CrossRef\]](#)
- [2]. Taylor AM, Dymarkowski S, Bogaert J. Valvular Heart Disease. In: Bogaert J, Dymarkowski S, Taylor AM, Muthurangu V, editors. *Clinical Cardiac MRI*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 2012.
- [3]. Chambers JB, Myerson SG, Rajani R, Morgan-Hughes GJ, Dweck MR. Multimodality imaging in heart valve disease. *Open Heart* 2016; doi: 10.1136/openhrt-2015-000330. [\[CrossRef\]](#)
- [4]. Lopez-Mattei JC, Shah DJ. The role of cardiac magnetic resonance in valvular heart disease. *Methodist Debaque Cardiovasc J* 2013; 9: 142-8. [\[CrossRef\]](#)
- [5]. Myerson SG. Heart valve disease: investigation by cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson* 2012; 14: 7. [\[CrossRef\]](#)
- [6]. Nacif MS, Zavodni A, Kawel N, Choi EY, Lima JA, Bluemke DA. Cardiac magnetic resonance imaging and its electrocardiographs (ECG): tips and tricks. *Int J Cardiovasc Imaging* 2012; 28: 1465-75. [\[CrossRef\]](#)
- [7]. Kramer CM, Barkhausen J, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E. Standardized cardiovascular magnetic resonance (CMR) protocols 2013 update. *J Cardiovasc Magn Reson* 2013; 15: 91. [\[CrossRef\]](#)
- [8]. Gerber BL, Kilner PJ. Heart valve disease. In: Schwitter C, editors. *CMR Update*. Lausanne: Kung Druck AG; 2012.
- [9]. Schulz-Menger J, Bluemke DA, Bremerich J, Flamm SD, Fogel MA, Friedrich MG, et al. Standardized image interpretation and post processing in cardiovascular magnetic resonance: Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) board of trustees task force on standardized post processing. *J Cardiovasc Magn Reson* 2013; 15: 35. [\[CrossRef\]](#)
- [10]. Glockner JF, Johnston DL, McGee KP. Evaluation of cardiac valvular disease with MR imaging: qualitative and quantitative techniques. *Radiographics* 2003; 23: 9. [\[CrossRef\]](#)
- [11]. Cawley PJ, Maki JH, Otto CM. Cardiovascular magnetic resonance imaging for valvular heart disease: technique and validation. *Circulation* 2009; 119: 468-78. [\[CrossRef\]](#)
- [12]. Andersson C, Kihlberg J, Ebbens T, Lindström L, Carlhäll CJ, Engvall JE. Phase-contrast MRI volume flow—a comparison of breath held and navigator based acquisitions. *BMC Med Imaging* 2016; 16: 26. [\[CrossRef\]](#)
- [13]. Looi JL, Kerr AJ, Gabriel R. Morphology of congenital and acquired aortic valve disease by cardiovascular magnetic resonance imaging. *Eur J Radiol* 2015; 84: 2144-54. [\[CrossRef\]](#)
- [14]. Nayak KS, Nielsen JF, Bernstein MA, Markl M, D Gatehouse P, M Botnar R, et al. Cardiovascular magnetic resonance phase contrast imaging. *J Cardiovasc Magn Reson* 2015; 17: 71. [\[CrossRef\]](#)
- [15]. Chaothawee L. Diagnostic approach to assessment of valvular heart disease using MRI-Part I: a practical approach for valvular regurgitation. *Heart Asia* 2012; 4: 38-43. [\[CrossRef\]](#)
- [16]. Kawel-Boehm N, Maceira A, Valsangiacomo-Buechel ER, Vogel-Claussen J, Turkbey EB, Williams R, et al. Normal values for cardiovascular magnetic resonance in adults and children. *J Cardiovasc Magn Reson* 2015; 17: 29. [\[CrossRef\]](#)
- [17]. Saremi F, Gera A, Ho SY, Hijazi ZM, Sánchez-Quintana D. CT and MR imaging of the pulmonary valve. *Radiographics* 2014; 34: 51-71. [\[CrossRef\]](#)
- [18]. Saremi F, Hassani C, Millan-Nunez V, Sánchez-Quintana D. Imaging Evaluation of Tricuspid Valve:

- Analysis of Morphology and Function With CT and MRI. *AJR Am J Roentgenol* 2015; 204: 531-42. [\[CrossRef\]](#)
- [19]. Craig B. Atrioventricular septal defect: from fetus to adult. *Heart* 2006; 92: 1879-85. [\[CrossRef\]](#)
- [20]. Han Y, Peters DC, Salton CJ, Bzymek D, Nezafat R, Goddu B, et al. Cardiovascular magnetic resonance characterization of mitral valve prolapse. *JACC Cardiovasc Imaging* 2008; 3: 94-303. [\[CrossRef\]](#)
- [21]. Choo WS, Steeds RP. Cardiac imaging in valvular heart disease. *Br J Radiol* 2011; 84: 245-57. [\[CrossRef\]](#)
- [22]. Masci PG, Dymarkowski S, Bogaert J. Valvular heart disease: what does cardiovascular MRI add? *Eur Radiol* 2008; 18: 197-208. [\[CrossRef\]](#)
- [23]. Biederman RWW. Valvular heart disease. In: Biederman RWW, Doyle M, Yamrozik J, editors. *The Cardiovascular MRI tutorial: lectures and learning*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2008.
- [24]. Srichai MB, Lim RP, Wong S, Lee VS. Cardiovascular applications of phase-contrast MRI. *AJR Am J Roentgenol* 2009; 192: 662-75. [\[CrossRef\]](#)
- [25]. Debl K, Djavidani B, Buchner S, Heinicke N, Frensdorff S, Haimerl J, et al. Assessment of the anatomic regurgitant orifice in aortic regurgitation: a clinical magnetic resonance imaging study. *Heart* 2008; 94: 8. [\[CrossRef\]](#)
- [26]. Kirsch J, Glockner JF, Araoz PA, Julsrud PR, McGee KP, Williamson EE. Clinical indications and sample magnetic protocols with case examples. In: McGee KP, Williamson EE, Julsrud PR, editors. *Mayo Clinic Guide to Cardiac Magnetic Resonance Imaging*. Canada: Mayo Clinic Scientific Press; 2008. [\[CrossRef\]](#)
- [27]. Westermann Y, Geigenmüller A, Elgeti T, Wagner M, Dushe S, Borges AC, et al. Planimetry of the aortic valve orifice area: comparison of multislice spiral computed tomography and magnetic resonance imaging. *Eur J Radiol* 2011; 77: 426-35. [\[CrossRef\]](#)
- [28]. Thomas D, Sommer T. MRI of aortic stenosis. In: Haase J, Schäfers HJ, Sievert H, Waksman R, editors. *Cardiovascular interventions in clinical practice*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd; 2010. [\[CrossRef\]](#)
- [29]. Elgendy IY, Conti CR. Caseous calcification of the mitral annulus: a review. *Clin Cardiol* 2013; 36: 27-31. [\[CrossRef\]](#)
- [30]. Salerno M, Sharif B, Arheden H, Kumar A, Axel L, Li D, et al. Recent advances in cardiovascular magnetic resonance: techniques and applications. *Circ Cardiovasc Imaging* 2017; 10: doi: 10.1161/CIRCIMAGING.116.003951. [\[CrossRef\]](#)
- [31]. Yuan SM, Jing H, Lavee J. Tumors and tumor-like lesions of the heart valves. *Rare Tumors* 2009; 1: 35. [\[CrossRef\]](#)
- [32]. Suchá D, Symersky P, Tanis W, Mali WP, Leiner T, van Herwerden LA, et al. Multimodality Imaging Assessment of Prosthetic Heart Valves. *Circ Cardiovasc Imaging* 2015; 8: doi: 10.1161/CIRCIMAGING.115.003703. [\[CrossRef\]](#)
- [33]. Myerson SG. Valvular and hemodynamic assessment with CMR. *Heart Fail Clin* 2009; 5: 389-400. [\[CrossRef\]](#)

## Kapak Hastalıkları

Hasan Yiğit

### Sayfa 201

Kardiyak Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) ekokardiyografinin yetersiz kaldığı durumlarda alternatif non-invaziv bir inceleme yöntemi olmanın yanı sıra birçok durumda ekokardiyografiye alternatif değil, sağladığı ek bilgilerle tamamlayıcı bir inceleme yöntemi olarak öne çıkmaktadır.

### Sayfa 201

Bununla birlikte jet akımların görsel değerlendirmesinde ekokardiyografinin gerisinde olması, temporal ve uzaysal çözünürlüğün sınırlı olması, sine görüntülemenin çok sayıda siklusun ortalamasıyla elde ediliyor olması, pik akım hızlarının olduğundan daha düşük ölçülebilmesi ve akım kantifikasyonunun çeşitli hatalara açık olması kardiyovasküler MRG'nin zayıf olduğu noktaları oluşturmaktadır.

### Sayfa 202

Günümüzde b-SSFP sekanslar daha hızlı elde edilebilmeleri ve çok daha iyi kan-miyokart kontrastı oluşturmaları nedeniyle, özellikle 1.5 Tesla MR sistemlerinde Spoiled GRE sekanslara tercih edilmektedir. Ancak akıma duyarlılıklarının daha fazla olması, jet akımları daha iyi gösterebilmesi nedeniyle özellikle kapak hastalıklarında Spoiled GRE sekanslara protokolde yer verilebilmektedir.

### Sayfa 203

İncelenen düzeydeki akım hızının biraz üzerindeki Venc değerinde en iyi sinyal elde edilir. Bu düzeydeki hızdan düşük Venc değeri seçilmesi halinde aliasing denilen artefakt oluşur ve sağlıklı değerlendirme yapılamaz. Çok yüksek Venc değerlerinde ise sinyal/gürültü oranı düşer.

### Sayfa 208

Triküspit kapakların biküspit yapıda olması semilunar kapaklarda görülen en sık anomali olup özellikle aortik kapakta görülür. Gerçek biküspit yapıda olabileceği gibi, üç yaprakçıktan ikisinin birbirinden ayrılmayıp tek parça halinde hareket etmesine bağlı olarak fonksiyone biküspit de olabilir. Her iki durumda kapak açık konumda açıklık üçgen şeklinde değil, balık ağzı şeklinde daha dar bir açıklıktır. Kapak kapalı pozisyonda fonksiyone biküspit kapaklarda normal triküspit kapak anatomisi izlenmesine karşılık gerçek biküspit kapaklarda iki yaprakçık izlenir.

### Sayfa 211

Atriyoventriküler kapaklarda, siklus süresince kapak düzlemindeki değişiklik daha fazla olup anulus sistolde through-plane düzlemde 2cm'ye kadar yer değiştirebilir. Bu nedenle atriyoventriküler kapaklarda yetmezliğin direkt kantifikasyonu tercih edilmez. En sık kullanılan yöntem ilgili tarafta ventrikül strok hacmi ile o ventrikülden ayrılan arter (aort/pulmoner trunkus) proksimalinden akım çalışmasıyla hesaplanan ileri yönlü akım arasındaki farkın saptanması esasına dayanan indirekt yöntemdir.

## Kapak Hastalıkları

Hasan Yiğit

- Aşağıdakilerde hangisi kalp kapak hastalıklarının değerlendirilmesinde kardiyak MRG'nin eko-kardiografiye göre daha güçlü olduğu noktalardan biri DEĞİLDİR?
  - İstenilen en uygun düzlemde kesit alınabilmesi
  - Kapak stenozlarında pik akım hızlarının doğru ölçümü
  - Kapak alanının direkt planimetri ile hesaplanması
  - Kapak yetmezliklerinde regürjitan hacim ve fraksiyonun hesaplanması
  - Kapak hastalığının ventrikül hacim ve fonksiyonuna etkisinin ortaya konması
- Faz kontrast akım çalışmaları için aşağıdaki ifadeler hangisi DOĞRUDUR?
  - Hacim hesabı için in-plane akım çalışmaları kullanılır
  - Trough-plane akım çalışmasında akım kodlama yönü olarak iki boyutlu kesit görüntüsünün iki kenarından uygun olanı seçilir
  - Venc değeri çok yüksek seçilecek olursa aliasing oluşur
  - Faz kontrast akım çalışmasında EKG/VKG senkronizasyonu gerekmez
  - Faz ofset hataları akım kantifikasyonda anlamlı derecede hataya neden olabilir
- Kapak anomalileri için aşağıdaki ifadelerden hangisi YANLIŞTIR?
  - Ebstein anomalisinde 4 oda görüntülerde triküspit kapak septal yapışma düzeyi mitral kapağa göre daha bazalde izlenir
  - Ebstein anomalisinde triküspit anulus normal yerindedir
  - Biküspit kapak semilunar kapakların en sık doğumsal anomalisidir
  - Fonksiyone biküspit kapak, kapak kapalı pozisyonda triküspit kapak görüntüsündedir
  - Parsiyel atriyoventriküler septal defekte ostium primum tip ASD vardır
- Aortik kapak alanı dikkate alındığında aşağıdakilerden hangisi orta dereceli stenoza işaret eder?
  - 2-3 cm<sup>2</sup>
  - 1.5-1.9 cm<sup>2</sup>
  - 1-1.5 cm<sup>2</sup>
  - 0.75-1 cm<sup>2</sup>
  - 0.5-0.75 cm<sup>2</sup>
- Prostetik kapakların MRG ile görüntülenmesinde aşağıdakilerden hangisi yanlıştır ?
  - Mekanik kapakların çoğu MR güvenli değildir
  - Mekanik kapakların ayrıntıları artefaktlar nedeniyle MRG ile ortaya konamaz
  - Biyolojik prostetik kapaklarda anulus ve kapak alanları hesaplanabilir
  - Mekanik kapaklar Spoiled gradient eko sekanslarda, b-SSFP sekanslara göre daha az artefakt oluşturur
  - Biyolojik metalik kapaklar metal çerçeveleri nedeniyle artefakt oluşturabilir