

# Pulmoner Hipertansiyonun Tanısı ve Takibinde Kardiyak MR'nin Yeri

Burcu Alparslan, Ali Kemal Sivrioğlu

## ÖĞRENME HEDEFLERİ

- Pulmoner Hipertansiyon tanısı, sınıflandırılması
- Pulmoner Hipertansiyon tanısında Kardiyak MR
- Pulmoner Hipertansiyon takibinde Kardiyak MR
- Pulmoner Hipertansiyonun değerlendirilmesinde yeni MR teknikleri

Alparslan B, Sivrioğlu K. Pulmoner Hipertansiyonun Tanısı ve Takibinde Kardiyak MR'nin Yeri. Trd Sem 2018; 6: 300-311.

## GİRİŞ

Pulmoner hipertansiyon (PH), kalp ve pulmoner damar sisteminin çeşitli hastalıkları sonucunda oluşabilen hemodinamik anormal bir durumdur [1, 2]. Sağ kalp kateterizasyonunda dinlenme sırasında ortalama pulmoner arteriyel basıncının 25mmHg'ye eşit ya da yüksek olmasıyla PH'nin kesin tanısı konur. Ayrıca toraks BT ve kardiyak MR incelemede ana pulmoner arter çapının 29 mm'nin üzerinde olması pulmoner arter dilatasyonu açısından anlamlı olup klinik bulgular ve diğer görüntüleme bulgularının varlığında pulmoner hipertansiyonu önerebilir (Resim 1). Pulmoner hipertansiyon oluşturan nedenler benzer klinik bulgular, patolojik ve hemodinamik özellikler ile tedavi stratejilerine göre 5 grupta sınıflandırılır [3] (Tablo1). Radyolojik görüntüleme yöntemleri (göğüs röntgenogramı, toraks BT, BT anjiyografi) tanı aşamasında PH'nun sınıflandırılmasında katkı sağladığı gibi artmış pulmoner basıncın varlığını da gösterebilir. Gelişen yeni teknikleri ile birlikte Kardiyak

Manyetik Rezonans Görüntüleme (KMRG), PH tanısında ve takibinde daha yararlı bilgiler sunmakta ve hasta yönetiminde yerini almaktadır.

## Kardiyak MRG

Kardiyak MRG ekokardiyografi ve sağ kalp kateterizasyonu ile elde edilemeyen yüksek çözünürlüklü ve 3-boyutlu görüntü oluşturmayı sağlayan invaziv olmayan radyolojik görüntüleme yöntemidir [4]. KMRG, Pulmoner HT tanısında ve prognozunda kritik öneme sahip olan sağ ventrikülün yapısı, hacmi ve fonksiyonunu değerlendirmede günümüzde altın standart olarak kabul edilmektedir [5]. Çok sayıda kardiyak MR tekniği PH görüntülemeye kullanılabilir. Konvansiyonel KMRG sekansları kardiyak morfolojiyi ve fonksiyonlarını gösterirken Kardiyak MR Anjiyografi (KMRA) ve perfüzyon görüntüleme pulmoner arter anatomisi ve doku kan akımı hakkında bilgi verir [6]. PH'li hastaların değerlendirilmesinde KMRG'nin yerini 2 başlık altında inceleyeceğiz;

Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, Radyoloji Anabilim Dalı, İzmit, Kocaeli

✉ Ali Kemal Sivrioğlu • draksivrioglu@gmail.com

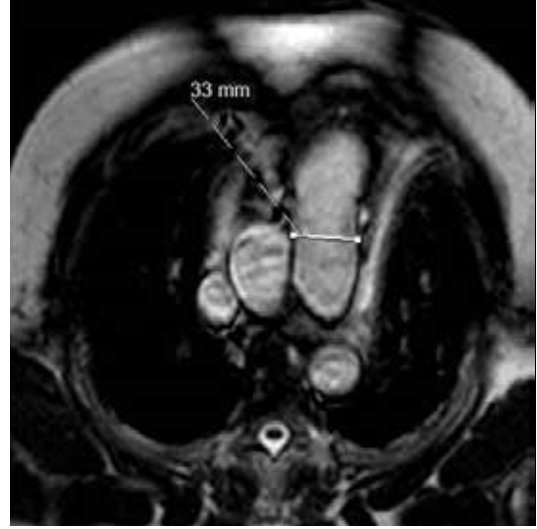
## A-PH Tanısında KMRG

Pulmoner hipertansiyon tanısı ve sınıflandırılması amacıyla yapılan KMRG' de öncelikle soldan sağa şant yapan konjenital kalp hastalıklarının varlığı araştırılır. Konjenital Kalp Hastalıklarını değerlendirmek amacıyla Kardiyak morfoloji ve fonksiyonunu gösteren kardiyak tetiklemeli cine Balanced Steady-State Free Precession (bSSFP) sekansına ek olarak alınacak MRA ve 2D akım görüntüleri ile ana pulmoner arter ve asendan aorta görüntülenebilir. Böylece pulmoner dolaşımın sistemik dolaşıma oranı hesaplanabilir. Kontrastlı MR akut pulmoner emboli tanısında kendini ispatlanmış bir yöntemse de kronik tromboembolik PH (KTEPH) tanısında ya da diğer PH nedenlerini göstermede yetersizdir. KTEPH tanısında BTA ve ventilasyon/perfüzyon sintigrafisi ile karşılaştırıldığında dinamik kontrastlı perfüzyon MR'nin hem duyarlılığı hem de özgüllüğünün daha yüksek olduğu raporlanmıştır [6].

## B-PH Takibinde KMRG

Pulmoner arteriyel hipertansiyon, pulmoner vasküler direnci ve pulmoner arter basıncını arttırarak sağ ventrikülün art yükünü (afterload) arttırır. Sağ ventrikülün artan art yüke uyum yeteneği hastanın fonksiyonel kapasitesini ve yaşam süresini belirler. Sağ kalp yetmezliği pulmoner arteriyel hipertansiyonlu hastalarda morbiditenin ve ölümün en sık nedenidir.

Sağ ventrikül fonksiyonunun PH prognozunu belirlemedeki önemi nedeniyle KMRG, PH değerlendirmede gittikçe artan kullanıma sahiptir. Sağ ventrikülün endsistolik ve enddiastolik hacimlerinin artması ve ejeksiyon fraksiyonunun düşmesi optimal medikal tedavi alan hastalarda prognozun kötü olduğunu gösterir. Sistolik pulmoner arter basıncı arttıkça sağ ventrikül sistol basıncı sol ventrikül sistol basıncından daha büyük hale gelir ve interventriküler septum sola doğru yer değiştirir. Ventriküller arası asenkroni nedeniyle sol ventrikül fonksiyonu bozulur. Daha ciddi ve uzamış PH'de sağ ventrikül diastolik fonksiyonu da bozulur ve diyastolde interventriküler septumda düzleşme



Resim 1. Balanced Steady-State Free Precession (bSSFP) sekansı ile pulmoner artere yönelik elde edilen MR görüntüsü. Ana pulmoner arter çapı 33mm olup dilatedir.

ya da sol ventriküle doğru bombeleşme izlenir. İnterventriküler septumda olan hemodinamik değişikliklerin fibrozise bağlı geliştiği düşünülmekte olup kontrastlı KMRG'de sağ ventrikül insersiyonlarında gecikmiş kontrastlanma saptanması fibrozis varlığını desteklemektedir [6]. T1 haritalama ile diffüz miyokard değişiklikleri değerlendirilirken, Strain görüntüleme ile erken dönemde global değişikliklere neden olacak bölgesel miyokard değişiklikleri gösterilebilir. PH'li hastaların takibinde KMRG'de sağ ventriküler boyutu ve fonksiyonuna, interventriküler septal değişikliklere ve gecikmiş kontrastlanmaya bakılmaktadır. Ayrıca T1 Haritalama, Miyokardiyal Strain görüntüleme, Kardiyak MR Anjiyografi, Perfüzyon MR ve 4D Akım Görüntüleme gibi MR teknikleri de yeni geliştirilmiştir.

## 1. Sağ Ventrikül Boyutu ve Fonksiyonu

Sağ ventrikül fonksiyonunu değerlendirmenin PH'de önemli bir prognostik gösterge olduğunu ortaya koyan birçok yayın vardır [7]. Sağ atriyum basınç ölçümü, kardiyak output ölçümü ya da sağ ventrikül ejeksiyon fraksiyonu ölçümleri gibi birçok invaziv/noninvaziv hemodinamik test kullanılarak ventrikül fonksiyonu



**Resim 2.** Sine 4-oda bSSFP MR görüntüsü. Pulmoner hipertansiyonu olan olguda sağ ventriküllerde genişleme ve interventriküler septumda düzleşme izlenmektedir.

hakkında yorum yapılabilir. Ancak günümüzde EKG tetiklemeli cine balanced steady state free precession (bSSFP) sekansı ile yapılan kardiyak MR görüntüleme sağ ventrikül boyutu ve fonksiyonunu ölçmede altın standart görüntüleme tekniği haline gelmiştir.

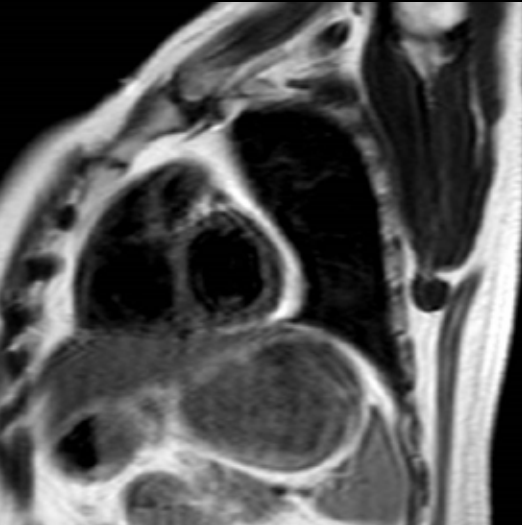
Ölçümler kısa-aks ya da transaksiyel bSSFP görüntülerden yapılabilir ancak Jauhainen ve ark. transaksiyel görüntülerden yapılan ölçümün daha doğru sonuçlar verdiği ve tekrarlanabilirliğinin daha yüksek olduğunu göstermişlerdir [8]. Bu kullanılan sekansa uzaysal-temporal çözünürlük ve paralel görüntüleme tekniklerinin kullanımına bağlı efektif temporal rezolüsyon 50 ms'nin altına düşürülebilir ve sekans süresinin 5-15sn olması sağlanarak bir nefes tutma süresinde optimal çekim yapılabilir (Resim 2). Gerçek zamanlı cine görüntüler bölgesel duvar hareketlerini gösterir. Süreyi kısaltan 'compressed sensing', 'radial samplig trajectory', EKG tetiklemeli ve nefes tutturmalı 3 boyutlu yaklaşımlar PH hastalarında sıklıkla gördüğümüz dispne ve aritmiyi önlemek için kullanılabilir. Kardiyak MR'da enddiastolik ve endsistolik sağ ventrikül volümü, stroke volüm, myokardiyal kitle ve ejeksiyon frak-

siyonu gibi kantitatif ölçümler elde edilebilir [9]. Bu ölçümlerde sağ ventrikül *remodelling* ve disfonksiyonunu işaret eden değişiklikler optimal medikal tedavi alan hastalarda kötü prognozu gösterir. Ayrıca stroke volümündeki azalma hem başlangıçta hem de takipte artmış mortalite ile ilişkilidir.

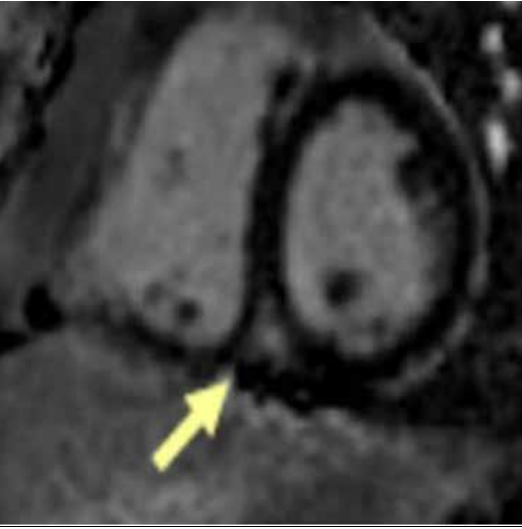
## 2. İnterventriküler Septal Değişiklikler

İnterventriküler septum, PH patofizyolojisinin önemli rol oynar. Pulmoner arteriyel sistolik basınç (PASB) arttıkça sağ ventrikül sistolik basıncı da artarak sol ventrikül sistolik basıncını geçer ve interventriküler septum sola doğru kayarak kardiyak outputu azaltır. Sağ ventrikül kasılmasının sol ventriküle kıyasla uzamasının ortaya çıkardığı asenkroni de bu sürece katkı sağlar. Sağ ventrikül yetmezliği ile birlikte artan sağ ventrikül diastolik basıncı nedeniyle interventriküler septumu düzleştirir. Sol ventrikül dolumunu azaltır ve kardiyak output daha da düşer. Yüksek uzaysal çözünürlüğe sahip kısa aks görüntülerde sağ ve sol ventriküller arası dinamik ilişki detaylıca görülebilir. Pulmoner arteriyel basınç artışı ile interventriküler septal düzleşmenin derecesi arasındaki korelasyonu göstermenin ötesinde 3 boyutlu KMRG teknikleriyle interventriküler septumun şekli ve deformasyonu kantifiye edilebilir (Resim 3). İnterventriküler septumdaki bu değişiklikler zamanla gelişen sağ ventrikül yapışma yerlerinde görülen geç kontrastlanmadan sorumludur [10].

Cine görüntüler uzaysal rezolüsyonu yüksek görüntüler sağlarken, nefes tutturmalı gerçek zamanlı sekanslarda interventriküler septumun hareketleri değerlendirilebilir. Bu sekanslar sağ ventrikülün artmış yüklenmeye yanıtını da değerlendirir. İnspirasyon sırasında oluşan negatif intratorasik basınç sağ kalbe sistemik venöz dönüşü arttırır. İnspirasyon sırasında sağ kalbe artmış kan akımını dengelemek için septumda bir miktar düzleşme beklenebilir ancak inspirasyonun pik noktasındaki aşık düzleşme disfonksiyone sağ kalbin göstergesidir.



**Resim 3.** Yağ baskısız midventriküler 2-oda kısa aks T2-ağırlıklı TSE MR görüntüsü. Pulmoner Hipertansiyonu olan bir olguda interventriküler septumda ki düzleşmeyi göstermektedir.



**Resim 4.** Geç kontrastlı 2-oda kısa aks MR görüntüsü. Midventriküler düzeyde sağ ventrikülün inferior duvarının septum ile birleşme noktasında midmiyokardiyel gecikmiş kontrastlanmayı göstermektedir (ok) (Siemens Healthcare Sağlık Anonim Şirketi'nden Ali Avcı'nın izniyle).

### 3. Sağ Ventrikülün KMRG ile Gecikmiş Kontrastlanması

Fokal miyokardiyal anormallikleri gösteren bir tekniktir. **PH hastalarında yaygın bir bulgu olan sağ ventrikülün septum ile birleşme nok-**

**tasının kontrastlanması; sağ ventrikül bazalinden orta seviyeye kadar uzanan kötü sınırlı mezokardiyal skar alanı nedeniyledir (Resim 4). Bu görünüm artmış pulmoner arter basıncıyla güçlü korelasyon gösterdiği gibi, sağ ventrikül dilatasyonu, hipertrofisi ve PH'nin olumsuz sonuçlarıyla ilişkilidir [11]. PH olgularında pulmoner arter basınç artışı ve vasküler dirençle korele olarak yapısal değişikliklerine destek vermek amacıyla sağ ventrikül septomajinal trabekülasyonlarında hipertrofi ortaya çıkar [12]. Tarif edilen bulgular anteroseptal yapışma yerindeki artmış mekanik stresi akla getirir ve tanımlanan gecikmiş kontrastlanmayı açıklayabilir [13].**

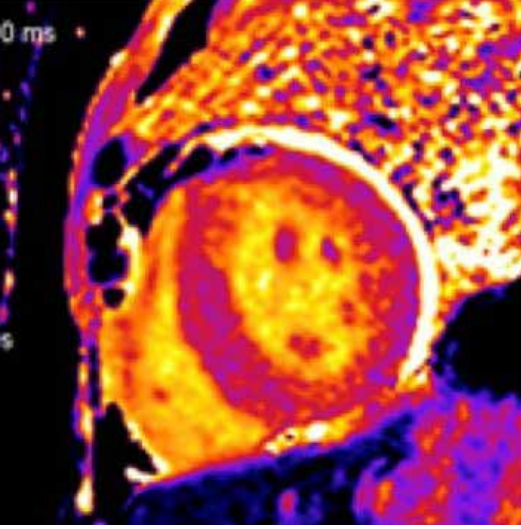
### 4. Sağ Ventrikül T1 Haritalama

Gecikmiş kontrastlanma bölgesel miyokardiyal anomalileri gösterirken; yeni geliştirilen T1 Haritalama tekniğinde kontrast madde vermeksizin sağ ventrikülün T1 zamanını ölçerek ya da kontrast öncesi ve sonrası görüntülerde ekstraselüler volümün fraksiyonunu hesaplayarak diffüz miyokardiyal anormallikler tanımlanabilir (Resim 5). Her iki hesaplama da ventriküler fibrozis yerine kullanılabilir [14, 15, 16].

Kawel ve arkadaşları sağ ventrikül T1 Haritalamanın fizibilitesini değerlendirmek için 20 sağlıklı kişiden oluşan kontrol grubunda standart 'modified look-locker inversion recovery' (MOLLI) sekansını kullanarak ölçümler yaptı. Teknik, olguların %90'ında uygulanabildi. En uygun görüntüler midventriküler kısa aksda alındı. Sistolde alınan görüntülerde daha geniş miyokard alanları değerlendirilebildi. Sağ ventrikülün ortalama T1 zamanı sol ventrikülden belirgin uzundu. Araştırmacılar bu bulgunun sağ ventrikülün normalde olan yüksek kollajen içeriğine bağlı geliştiğini öne sürmüşlerdir [17].

İnce duvarlı sağ ventrikülü değerlendirmek için daha uygun olan yüksek çözünürlüklü T1 Haritalama sekansları gelişim aşamasındadır. Sağ ventrikül T1 kantifikasyonu için geliştirilen Accelerated and navigatör-gated lock-locker imaging saquence (ANGIE), MOLLI'ye kıyasla daha kullanışlıdır [13]. MOLLI ile aynı standarta sahip ancak uzaysal çözünürlüğü





**Resim 5.** Midventriküler düzeyden geçen 2-oda kısa aks MR görüntüsü kardiyak T1 haritasını göstermektedir (Siemens Healthcare Sağlık Anonim Şirketi'nden Ali Avcı'nın izniyle).

1.4x1.4mm'den 0.5x0.5 mm'ye düşürülen ayrı bir yüksek çözünürlüklü T1 Haritalama sekansı gelişim aşamasındadır. Gelen ilk sonuçlar, kalp yetmezliğindeki sağ kalbin difüz fibrozisini gösterebilmektedir. T1 haritalama difüz sağ kalp fibrozisini gösterdiğinden PH'nin tedavi başarısını ölçmede kullanılabilir [13].

## 5. Miyokardiyal Strain Görüntüleme

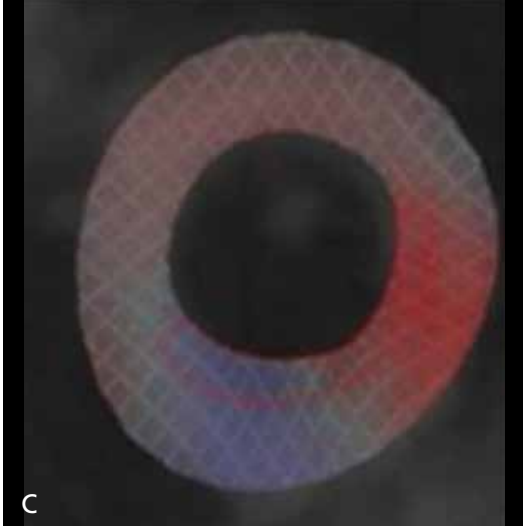
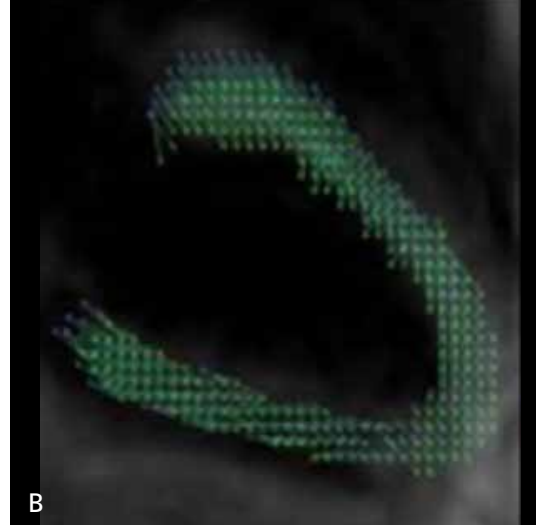
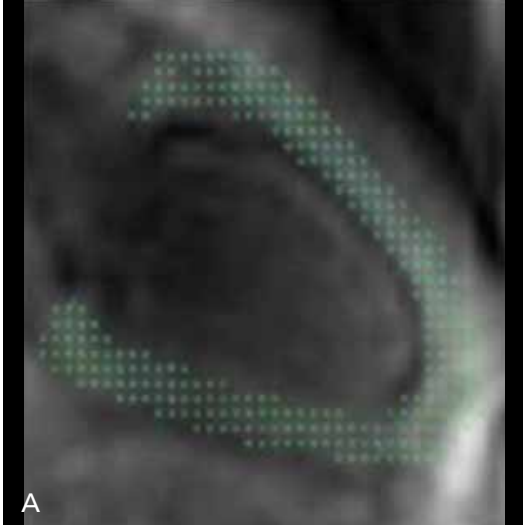
Kardiyak MR ile volümetrik 3 boyutlu görüntüler elde edilebilir. *Strain* görüntüleme kullanarak bölgesel miyokardiyal fonksiyonun kantitatif değerlendirilmesi yapılabilir. *Strain* görüntüleme hedef, KMRG'de sağ ventrikülün sistol fonksiyonunda global değişiklikler görülmeden önce oluşan sağ ventrikül bölgesel fonksiyon kayıplarını göstermektir. **Normalde sol ventrikülün 4 tipte hareketi mevcuttur. Bunlar sırasıyla longitudinal (vertikal uzun aks), sirkumferansiyel (çevresel uzunluk), radial (sol ventrikül duvar kalınlığı) ve torsiyonel (bazal ve apeks farklı yönlere dönme şeklinde) hareketlerdir. Strain görüntülemesinde bu 4 plandaki anormal hareket saptanmaya çalışılır (Resim 6).**

Miyokardiyal strain birçok farklı metodla ölçülebilir. Miyokardiyal etiketleme, en çok çalışılan ve en geçerli olanıdır. Harmonic Phase

Analysis (HARP), time-resolved olarak etiketlenen görüntülerde piksel takibi yapan bir post-processing yöntemidir. Displacement encoding with stimulated echos (DENSE), strain encoded görüntüleme (SENC), deformation field analizi ve multimodalite feature tracking de sağ ventrikül 'strain'i ölçmek için kullanılmıştır. DENSE, şifreleme ve çözme gradientleriyle doku yer değiştirmesini doğrudan imaj fazına kodlar. SENC, etiketlemede DENSE ile benzerlikler göstermektedir ancak etiketleme çizgilerinin görüntüleme planına paralel olarak uygulanmasıyla DENSE'ten ayrılır. Miyokardiyal 'deformation field' analizi ve 'multimodalite feature tracking' yöntemleriyle, özel görüntüleme yöntemi kullanmadan bSSFP cine imajlara uygulanarak strain hakkında yeterli bilgi edinilebilir. Kardiyak MR'da sağ ventrikül strain analizinin faydalarını değerlendirmede en çok miyokardiyal etiketleme, HARP ve SENC tekniklerine odaklanılmıştır. Birçok yeni özellikte etiketleme yazılımı geliştirilmekte ve sağ kalp 'strain'i değerlendirmede umut verici sonuçlar elde edilmektedir.

Kardiyak MR'da strain analizinde sağ ventrikülde maladaptif süreçler gelişmeden, erken dönem fonksiyon değişiklikleri saptamaya odaklanılmıştır. Shehata ve ark. [18] 35 PH'li hastada hızlı SENC görüntüleme kullanarak yaptıkları çalışmada, ventrikülün longitudinal 'strain'in tüm segmentlerde azaldığını, sirkumferansiyel strainin ise orta segmentte azaldığını saptadılar. Sağ ventrikül ejeksiyon fraksiyonu %51-61 olan PH tanılı 13 kişilik subgrup analizinde ise sağlıklı kontrol grubuyla karşılaştırıldığında ejeksiyon fraksiyonu azalmadan önce sağ ventrikülde segmental longitudinal 'strain'in azaldığını saptadılar.

Miyokardiyal Strain görüntüleme, PH'li hastalarda miyokardiyal etiketleme ile sağ ve sol ventrikülün sirkumferansiyel 'strain'lerinin time-to-peak farklarını saptayarak ventriküler dissenkronunu aydınlatmak için de kullanılmaktadır. Miyokardiyal etiketleme ile kronik tromboembolik PH tanılı hastalarda pulmoner endarterektomi sonrası dissenkronun normale döndüğü gösterilmiştir [19].



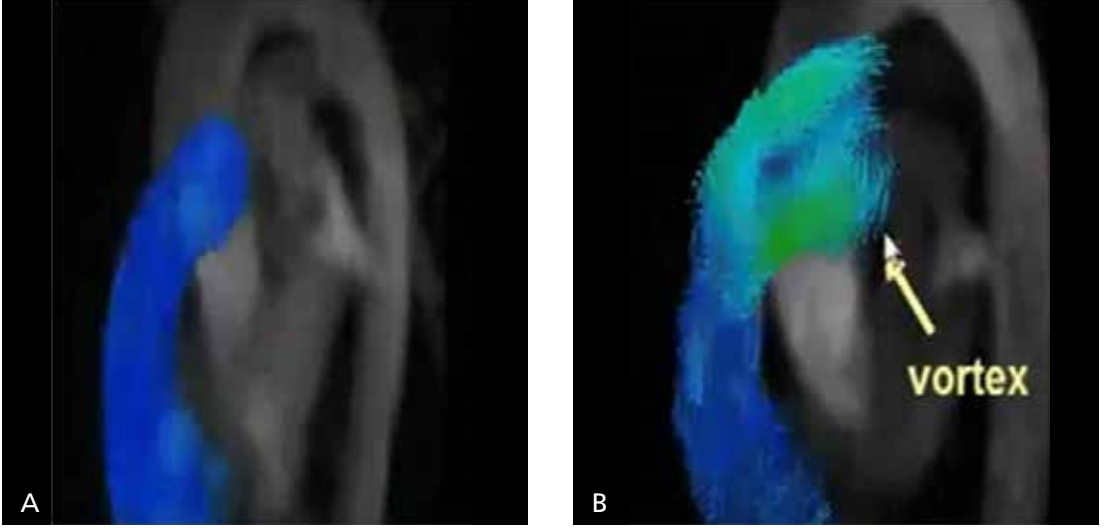
*Resim 6. A-C. Sol ventrikülün longitudinal (A, B), sirkumferansiyal (C) ve radial (C) strain görüntüleri. Benzer teknik Pulmoner hipertansiyonu olan hastalarda sağ ventrikül için yapılabilir (Siemens Healthcare Sağlık Anonim Şirketi'nden Ali Avcı'nın izniyle).*

## 6. Kardiyak MR Anjiyografi (MRA)-Perfüzyon MR-4D Akım Görüntüleme

Pulmoner vasküler anatomiği görüntülemek için kontrastlı MRA kullanılırken, pulmoner kan akım kantifikasyonu akım sekansları ve Perfüzyon MR teknikleri ile yapılır. Kontrastlı MRA görüntüleme, kontrastsız tekniklere göre çok daha hızlı olduğundan PA anatomisini göstermede ilk sırada kullanılan MRA yöntemidir. Günümüzde daha da hızlanan tekniklerle 15-18 saniye nefes tutturularak tüm toraksı yüksek uzaysal çözünürlükle taramak mümkün hale gelmiştir. MRA, pul-

moner vasküler fonksiyon hakkında da bilgi verebilir. Ohno ve ark. [20, 21] sinyal intensite eğrileri kullanarak uzamış 'mean transit time' ve azalmış pulmoner kan akımı değerlerinin PH tanılı hastalarda sık görülen bulgular olduğunu rapor etmişlerdir.

Pulmoner arter kan akımı 2D ve 4D Faz Kontrast (FK) MR sekansları kullanılarak ölçülür. 2D FK MR tekniği, manyetik gradientler tarafından uyarılmış faz şiftlerini kullanarak kan akımı ölçme tekniğidir. Hareket eden protonların faz şiftleri protonların hızıyla ve kullanılan hız kodlama gradientinin gücüyle orantılıdır. Yeni donanım ve daha hızlı teknikler sayesinde time resolved üç boyutlu (3D)



**Resim 7. A, B.** 4-D akım MR görüntüleme. Normal (A) bir olguya göre farklılık gösteren Pulmoner Hipertansiyonlu olguda (B) ana pulmoner arterde duvar boyunca anormal girdap (vortex) (oklar) gelişimi gösterilmektedir (Siemens Healthcare Sağlık Anonim Şirketi'nden Ali Avcı'nın izniyle).

akım duyarlı teknikler ve 4 boyutlu (4D) akım görüntüleme mümkün olmuştur.

Pulmoner arteriyel hipertansiyonlu hastalarda 2D-FK MR yapılan bir akım çalışmasında en çok dikkat çeken bulgu pulmoner akımın heterojen olduğu ve büyük miktarda retrograd akım görüldüğüdür [22]. Kontrol gruplarıyla karşılaştırılarak yapılan çalışmalarda; pulmoner akımda, akım hızında ve vasküler gerilebilirlikte kontrol grubuna göre anlamlı istatistiksel bir azalma gösterilmiştir [23-26]. Ayrıca duvar sertliğini (stiffness) değerlendirmek amacıyla relatif alan değişimi hesaplanabilir. Değişimin azalması duvar sertliğinin arttığını gösterir ve mortalite artışıyla ilişkilidir [27].

## 7. Pulmoner Arter 4D Akım Görüntüleme

Pulmoner hipertansiyon daha çok proksimal pulmoner arterlerde dilatasyon, remodelling ve sertleşme gibi değişikliklerle giden bir anormallik olduğundan; PH'de pulmoner arterlerin fonksiyonunu değerlendirmek önemlidir [13]. Proksimal ve distal pulmoner arterde görülen bu değişiklikler damar duvar kompliansını azaltıp, direncini artırarak sağ ventrikülün art yükünü artırır; ayrıca hız profil şekli ve şiddetini değiştirerek ikincil akımlar (heliks ve vorteks)

oluşturur [28-30]. FK-MRA bu hemodinamik değişiklikleri ana pulmoner arterde, sağ ventrikülde, sağ ventrikül outflow traktında kan akım hızını ölçerek hesaplar. Ayrıca 'pulse wave velocity', 'vorticity', 'Wall Shear Stress (WSS)' gibi ileri derece hemodinamik testleri yapmaya imkan sağlar.

Sağ ventrikül ve pulmoner arterlerde volümetrik olarak karmaşık 3 boyutlu hemodinamik değişiklikleri noninvasiv olarak ölçme imkanı sunan 4D akım MR görüntüleme (time resolved 3D PC-MRI with 3 directional velocity encoding) yakın zamanda kullanıma girmiştir. 4D akım MR görüntülemeye dayalı volümetrik analizlerin aort ve pulmoner arter pik hızlarını, 2D analiz planları ve tek yönlü hız kodlaması olan doppler ekokardiyografi ve 2D FK-MR'den daha doğru ölçtüğünü ve akım parametreleri arasında gözlemciler arası değişkenliğin düşük, güvenilirliğin ve korelasyonun yüksek olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur [31-33].

**Pulmoner dolaşımı görüntülemek için 4D akım MR kullanılan bir çalışmada PH'li hastalarda ana pulmoner arterde duvar boyunca anormal girdap (vortex) gelişimi gösterildi (Resim 7). Girdabın sebat ettiği sürenin ortalama pulmoner arter basıncı ölçülerek hesaplanan PH derecesiyle korele olduğu bu çalışmada rapor edilmiştir [34].** Ayrıca aynı çalışmada

**Tablo 1: Pulmoner hipertansiyon (PH) sınıflaması (2013)**

Grup	Tip	Örnekler
1	PAH	İdiyopatik PAH, Heriditer PAH PVOH, PKH
2	PVH	Sol kalp hastalıklarına bağlı PH
3	Akciğer hastalıklarına ve/veya hipoksiye bağlı PH; KOAH	
4	KTEPH	
5	Mekanizmaları belirsiz ya da çok faktörün neden olduğu PH Hematolojik ve sistemik hastalıklar	

PAH: pulmoner arteryel hipertansiyon; PVH: pulmoner venöz HT; PVOH: pulmoner venozokliziv hastalık; PKH: pulmoner kapiller hemanjiomatozis; KTEPH: kronik tromboembolik PH

tamir edilen Fallot Tetralojili PH'li hastalarda girdap akım paternlerinin arttığı gösterilmiştir. Akut tromboembolik PH'li köpek modelleme çalışmasında, 4D akım görüntüleriyle sağ ve sol ventrikül fonksiyonu, pulmoner arter akımı, trikuspit kapak regurjitasyon hızı ve aort akımı ölçülebildiği saptanmıştır [35].

WSS, PH'li hastalarda 4D akım görüntüleme ile değerlendirilebilecek diğer bir parametredir. WSS, akan kanın damar endotele uyguladığı güç olarak tanımlanabilir. Büyüklüğü kan akımı ve kanın vizkozitesi ile doğru damarın çapı ile ters orantılıdır. WSS, endotel hücrelerinden NO salgılatarak vasodilatasyon ile remodelling yapmaktadır. 4D akım görüntüleme ile pulmoner arterden ölçülen maksimum sistolik hız (vmaks), maksimum akım (qmaks), stroke hacmi ve WSS pulmoner arteriyel hipertansiyonda azalmaktadır [13, 36].

## 8. Sağ Ventrikül Perfüzyonu

Dinamik Kontrastlı (DCE) Perfüzyon MR, pulmoner perfüzyonu kontrast vererek global ya da bölgesel olarak kalitatif ve kantitatif ölçme yöntemidir. Kantitatif perfüzyon ölçümü, nefes tutturmalı/tutturmasız metotlarla verilen kontrast maddenin pulmoner vasküler sistemden ilk geçişi sırasında yapılır. Ultra-kısa eko zamanlı Perfüzyon MR, Fourier dekompozisyon MR görüntüleme ve DCE Perfüzyon görüntülerinin hiperpolarize gaz kullanılarak yapılan ventilasyon MR görüntülemeyle birleştirilmesi Perfüz-

yon MR'ı kontrastsız olarak yapmak amacıyla geliştirilmeye çalışılan yöntemlerdir.

Sağ ventrikül koroner perfüzyonun azalması ve gelişen sağ ventrikül iskemisi PH'de gelişen sağ kalp yetmezliğinin kritik komponentleridir. Kardiyak MR'de koroner perfüzyon gadolinyumlu kontrast madde ve adenozin gibi vazodilatator maddeler kullanılarak ile yapılabilir. Wolferen ve ark. [37] tarafından yapılan araştırmada PH'li hastalarda normal kontrol grubuna göre sağ koroner arterin ortalama ve pik sistolik akımlarının belirgin bir şekilde düştüğü görülmüştür. Aynı çalışmada bulguların sağ ventrikül kitlesi ve sağ kalp basıncıyla ters orantılı olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar PH'nin ve kalp yetmezliğinin koroner kan akımına etkilerini açıklamaktadır. Başka bir çalışmada KMRG ile hesaplanan sağ ve sol ventrikül myokardiyal perfüzyon rezerv indeksinin kontrol grubuyla karşılaştırıldığında belirgin azaldığı gösterilmiştir [38]. PH'li hastalarda sağ kalp kan akımını noninvasiv olarak ölçmek tedaviye başlarken ve tedavi etkinliği değerlendirilirken rehberlik yapılabilir.

Sonuç olarak KMRG, PH'li hastaların tanısında, sınıflandırılmasında ve özellikle tedavi takibinde etkin bir şekilde kullanılacak yöntemdir. T1 haritalama, Strain görüntüleme, Perfüzyon MR ve 4D Akım Görüntüleme gibi yeni MR tekniklerin ortaya çıkması ve rutin görüntülemelerde kullanılmaya başlanması ile PH'li olguların yönetiminde kardiyak MR'nin rolü daha da artmıştır.



## Kaynaklar

- [1]. McLaughlin VV, Shah SJ, Souza R, Humbert M. Management of pulmonary arterial hypertension. *J Am Coll Cardiol* 2015; 65: 1976-97. [\[CrossRef\]](#)
- [2]. Shah SJ. Pulmonary hypertension. *JAMA* 2012; 308:1366-74. [\[CrossRef\]](#)
- [3]. Galiè N, Humbert M, Vachiery JL, Gibbs S, Lang I, Torbicki A, et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension. *Eur Respiratory J* 2015; 46: 903-75. [\[CrossRef\]](#)
- [4]. Peacock AJ, Vonk Noordegraaf A. Cardiac magnetic resonance imaging in pulmonary arterial hypertension. *Eur Respir Rev* 2013; 22: 526-34. [\[CrossRef\]](#)
- [5]. Alassas K, Mergo P, Ibrahim ES, Burger C, Safford R, Parikh P, et al. Cardiac MRI as a diagnostic tool in pulmonary hypertension. *Future Cardiol* 2014; 10: 117-30. [\[CrossRef\]](#)
- [6]. François CJ, Schiebler ML. Imaging of Pulmonary Hypertension. *Radiol Clin North Am* 2016; 54: 1133-49. [\[CrossRef\]](#)
- [7]. Peacock AJ, Crawley S, McLure L, Blyth K, Vizza CD, Poscia R, et al. Changes in right ventricular function measured by cardiac magnetic resonance imaging in patients receiving pulmonary arterial hypertension-targeted therapy: the EURO-MR study. *Circ Cardiovasc Imaging* 2014; 7: 107-14. [\[CrossRef\]](#)
- [8]. 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. [\[CrossRef\]](#)
- [9]. Peacock AJ, Vonk Noordegraaf A. Cardiac magnetic resonance imaging in pulmonary arterial hypertension. *Eur Respir Rev* 2013; 22: 526-34. [\[CrossRef\]](#)
- [10]. Sato T, Tsujino I, Ohira H, Oyama-Manabe N, Ito YM, Noguchi T, et al. Paradoxical interventricular septal motion as a major determinant of late gadolinium enhancement in ventricular insertion points in pulmonary hypertension. *PLoS One* 2013; 8: doi: 10.1371/journal.pone.0066724. [\[CrossRef\]](#)
- [11]. Shehata ML, Lossnitzer D, Skrok J, Boyce D, Lechtzin N, Mathai SC, et al. Myocardial delayed enhancement in pulmonary hypertension: pulmonary hemodynamics, right ventricular function, and remodeling. *AJR Am J Roentgenol* 2011; 196: 87-94. [\[CrossRef\]](#)
- [12]. Vogel-Claussen J, Shehata ML, Lossnitzer D, Skrok J, Singh S, Boyce D, et al. Increased right ventricular Septomarginal trabeculation mass is a novel marker for pulmonary hypertension: comparison with ventricular mass index and right ventricular mass. *Invest Radiol* 2011; 46: 567-75. [\[CrossRef\]](#)
- [13]. Freed BH, Collins JD, François CJ, Barker AJ, Cuttica MJ, Chesler NC, et al. MR and CT Imaging for the Evaluation of Pulmonary Hypertension. *JACC Cardiovasc Imaging* 2016; 9: 715-32. [\[CrossRef\]](#)
- [14]. Mewton N, Liu CY, Croisille P, Bluemke D, Lima JA. Assessment of myocardial fibrosis with cardiovascular magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol* 2011; 57: 891-903. [\[CrossRef\]](#)
- [15]. Iles L, Pfluger H, Phrommintikul A, Cherayath J, Aksit P, Gupta SN, et al. Evaluation of diffuse myocardial fibrosis in heart failure with cardiac magnetic resonance contrast-enhanced T1 mapping. *J Am Coll Cardiol* 2008; 52: 1574-80. [\[CrossRef\]](#)
- [16]. Won S, Davies-Venn C, Liu S, Bluemke DA. Noninvasive imaging of myocardial extracellular matrix for assessment of fibrosis. *Curr Opin Cardiol* 2013; 28: 282-9. [\[CrossRef\]](#)
- [17]. Kawel-Boehm N, Dellas Buser T, Greiser A, Bieri O, Bremerich J, Santini F. In-vivo assessment of normal T1 values of the right-ventricular myocardium by cardiac MRI. *Int J Cardiovasc Imaging* 2014; 30: 323-8. [\[CrossRef\]](#)
- [18]. Shehata ML, Harouni AA, Skrok J, Basha TA, Boyce D, Lechtzin N, et al. Regional and global biventricular function in pulmonary arterial hypertension: a cardiac MR imaging study. *Radiology* 2013; 266: 114-22. [\[CrossRef\]](#)
- [19]. Mauritz GJ, Vonk-Noordegraaf A, Kind T, Surie S, Kloek JJ, Bresser P, et al. Pulmonary endarterectomy normalizes interventricular dyssynchrony and right ventricular systolic wall stress. *J Cardiovasc Magn Reson* 2012; 14: 5. [\[CrossRef\]](#)
- [20]. Ohno Y, Hatabu H, Murase K, Higashino T, Nogami M, Yoshikawa T, et al. Primary pulmonary hypertension: 3D dynamic perfusion MRI for quantitative analysis of regional pulmonary perfusion. *AJR Am J Roentgenol* 2007; 188: 48-56. [\[CrossRef\]](#)
- [21]. Ohno Y, Murase K, Higashino T, Nogami M, Koyama H, Takenaka D, et al. Assessment of bolus injection protocol with appropriate concentration for quantitative assessment of pulmonary perfusion by dynamic contrast-enhanced MR imaging. *J Magn Reson Imaging* 2007; 25: 55-65. [\[CrossRef\]](#)
- [22]. Pelc NJ, Sommer FG, Li KCP, Brosnan TJ, Herfkens RJ, Enzmann DR. Quantitative Magnetic-Resonance Flow Imaging. *Magn Reson Q* 1994; 10: 125-47.
- [23]. Ley S, Mereles D, Puderbach M, Gruenig E, Schöck H, Eichinger M, et al. Value of MR phase-contrast flow measurements for functional assessment of pulmonary arterial hypertension. *Eur Radiol* 2007; 17: 1892-7. [\[CrossRef\]](#)
- [24]. Kondo C, Caputo GR, Masui T, Foster E, O'Sullivan M, Stulbarg MS, et al. Pulmonary hypertension: pulmonary flow quantification and flow profile analysis with velocity-encoded cine MR imaging. *Radiology* 1992; 183: 751-8. [\[CrossRef\]](#)
- [25]. Mousseaux E, Tasu JP, Jolivet O, Simonneau G, Bittoun J, Gaux JC. Pulmonary arterial resistance: Noninvasive measurement with indexes of pulmonary flow estimated at velocity-encoded MR imaging - Preliminary experience. *Radiology* 1999; 212: 896-902. [\[CrossRef\]](#)

- [26]. Bogren HG, Klipstein RH, Mohiaddin RH, Firmin DN, Underwood SR, Rees RS, et al. Pulmonary artery distensibility and blood flow patterns: a magnetic resonance study of normal subjects and of patients with pulmonary arterial hypertension. *Am Heart J* 1989; 118: 990-9. [\[CrossRef\]](#)
- [27]. Gan CT, Lankhaar JW, Westerhof N, Marcus JT, Becker A, Twisk JW, et al. Noninvasively assessed pulmonary artery stiffness predicts mortality in pulmonary arterial hypertension. *Chest* 2007; 132:1906-12. [\[CrossRef\]](#)
- [28]. Chien S, Li S, Shyy YJ. Effects of mechanical forces on signal transduction and gene expression in endothelial cells. *Hypertension* 1998; 31:162-9. [\[CrossRef\]](#)
- [29]. Fenster BE, Browning J, Schroeder JD, Schafer M, Podgorski CA, Smyser J, et al. Vorticity is a Marker of Right Ventricular Diastolic Dysfunction. *AJP Heart* 2015; 309: 1087-93. [\[CrossRef\]](#)
- [30]. Kopec G, Moertl D, Jankowski P, Tyrka A, Sobien B, Podolec P. Pulmonary artery pulse wave velocity in idiopathic pulmonary arterial hypertension. *Can J Cardiol* 2013; 29: 683-90. [\[CrossRef\]](#)
- [31]. Nordmeyer S, Riesenkampff E, Crelier G, Khasheei A, Schnackenburg B, Berger F, et al. Flow-sensitive four-dimensional cine magnetic resonance imaging for offline blood flow quantification in multiple vessels: a validation study. *J Magn Reson Imaging* 2010; 32: 677-83. [\[CrossRef\]](#)
- [32]. Markl M, Wallis W, Harloff A. Reproducibility of flow and wall shear stress analysis using flow-sensitive four-dimensional MRI. *J Magn Reson Imaging*. 2011; 33: 988-94. [\[CrossRef\]](#)
- [33]. Frydrychowicz A, Wieben O, Niespodzany E, Reeder SB, Johnson KM, Francois CJ. Quantification of Thoracic Blood Flow Using Volumetric Magnetic Resonance Imaging With Radial Velocity Encoding: In Vivo Validation. *Invest Radiol* 2013; 48: 819-25. [\[CrossRef\]](#)
- [34]. Reiter U, Reiter G, Kovacs G, Stalder AF, Gulsun MA, Greiser A, et al. Evaluation of elevated mean pulmonary arterial pressure based on magnetic resonance 4D velocity mapping: comparison of visualization techniques. *PLoS One* 2013; 8: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082212> [\[CrossRef\]](#)
- [35]. Won S, Davies-Venn C, Liu S, Bluemke DA. Noninvasive imaging of myocardial extracellular matrix for assessment of fibrosis. *Curr Opin Cardiol* 2013; 28: 282-9. [\[CrossRef\]](#)
- [36]. Barker AJ, Roldan-Alzate A, Entezari P, Shah SJ, Chesler NC, Wieben O, et al. Four-dimensional flow assessment of pulmonary artery flow and wall shear stress in adult pulmonary arterial hypertension: results from two institutions. *Magn Reson Med* 2015; 73: 1904-13. [\[CrossRef\]](#)
- [37]. van Wolferen SA, Marcus JT, Westerhof N, Spreuwenberg MD, Marques KM, Bronzwaer JG, et al. Right coronary artery flow impairment in patients with pulmonary hypertension. *Eur Heart J* 2008; 29: 120-7. [\[CrossRef\]](#)
- [38]. Vogel-Claussen J, Skrok J, Shehata ML, Singh S, Sibley CT, Boyce DM, et al. Right and left ventricular myocardial perfusion reserves correlate with right ventricular function and pulmonary hemodynamics in patients with pulmonary arterial hypertension. *Radiology* 2011; 258: 119-27. [\[CrossRef\]](#)

## Pulmoner Hipertansiyonun Tanısı ve Takibinde Kardiyak MR'nin Yeri

Burcu Alparslan, Ali Kemal Sivrioğlu

### Sayfa 300

Sağ kalp kateterizasyonunda dinlenme sırasında ortalama pulmoner arteriyel basıncının 25 mmHg'ye eşit ya da yüksek olmasıyla PH'nin kesin tanısı konur. Ayrıca toraks BT ve kardiyak MR incelemede ana pulmoner arter çapının 29 mm'nin üzerinde olması pulmoner arter dilatasyonu açısından anlamlı olup klinik bulgular ve diğer görüntüleme bulgularının varlığında pulmoner hipertansiyonu önerebilir. Pulmoner hipertansiyon oluşturan nedenler benzer klinik bulgular, patolojik ve hemodinamik özellikler ile tedavi stratejilerine göre 5 grupta sınıflandırılır.

### Sayfa 301

Pulmoner hipertansiyon tanısı ve sınıflandırılması amacıyla yapılan KMRG' de öncelikle soldan sağa şant yapan konjenital kalp hastalıklarının varlığı araştırılır. Konjenital Kalp Hastalıklarını değerlendirmek amacıyla Kardiyak morfoloji ve fonksiyonunu gösteren kardiyak tetiklemeli cine Balanced Steady-State Free Precession (bSSFP) sekansına ek olarak alınacak MRA ve 2D akım görüntüleri ile ana pulmoner arter ve asendan aorta görüntülenebilir.

### Sayfa 301

PH'li hastaların takibinde KMRG' de sağ ventriküler boyutu ve fonksiyonuna, interventriküler septal değişikliklere ve gecikmiş kontrastlanmaya bakılmaktadır. Ayrıca T1 Haritalama, Miyokardiyal Strain görüntüleme, Kardiyak MR Anjiyografi, Perfüzyon MR ve 4D Akım Görüntüleme gibi MR teknikleri de yeni geliştirilmiştir.

### Sayfa 303

PH hastalarında yaygın bir bulgu olan sağ ventrikülün septum ile birleşme noktasının kontrastlanması; sağ ventrikül bazalinden orta seviyeye kadar uzanan kötü sınırlı mezokardiyal skar alanı nedeniyledir. Bu görünüm artmış pulmoner arter basıncıyla güçlü korelasyon gösterdiği gibi, sağ ventrikül dilatasyonu, hipertrofisi ve PH'nin olumsuz sonuçlarıyla ilişkilidir.

### Sayfa 304

Normalde sol ventrikülün 4 tipte hareketi mevcuttur. Bunlar sırasıyla longitudinal (vertikal uzun aks), sirkumferansiyel (çevresel uzunluk), radial (sol ventrikül duvar kalınlığı) ve torsiyonel (bazal ve apeks farklı yönlere dönme şeklinde) hareketlerdir. Strain görüntülemesinde bu 4 plandaki anormal hareket saptanmaya çalışılır.

### Sayfa 306

Pulmoner dolaşımı görüntülemek için 4D akım MR kullanılan bir çalışmada PH'li hastalarda ana pulmoner arterde duvar boyunca anormal girdap (vortex) gelişimi gösterildi. Girdabın sebat ettiği sürenin ortalama pulmoner arter basıncı ölçülerek hesaplanan PH derecesiyle korele olduğu bu çalışmada rapor edilmiştir.

## Pulmoner Hipertansiyonun Tanısı ve Takibinde Kardiyak MR'nin Yeri

Burcu Alparslan, Ali Kemal Sivrioğlu

1. Kronik tromboemboliye bağlı gelişen Pulmoner Hipertansiyon, sınıflandırma sisteminde hangi gruba girmektedir?
  - a. Grup 1
  - b. Grup 2
  - c. Grup 3
  - d. Grup 4
  - e. Grup 5
2. Aşağıdakilerden hangisi Pulmoner Hipertansiyonun görüntüleme bulgularından değildir?
  - a. Artmış pulmoner arter çapı
  - b. Sağ ventrikül hacminde artış
  - c. İnterventriküler septumda düzleşme
  - d. Pulmoner arter sertliğinde azalma
  - e. Ana pulmoner arterde girdap bulgusu
3. Aşağıdaki kardiyak sekanslardan hangisi sağ ventrikül fonksiyonunu değerlendirmede en çok kullanılır?
  - a. Yağ baskısız T2A TSE
  - b. Double inversion recovery T2A GRE
  - c. Harmonic Phase Analysis
  - d. Modified look-locker inversion recovery
  - e. bSSFP
4. Kalbin Strain görüntülemesinde aşağıdakilerden hangisine bakılmaz?
  - a. Longitudinal hareket
  - b. Vertikal hareket
  - c. Torsiyonel hareket
  - d. Radyal hareket
  - e. Sirkumferansiyel hareket
5. Wall Shear Stress (WSS) ne anlama gelmektedir?
  - a. Damar duvar gerginliği
  - b. Lümen içi vortex oluşumu
  - c. Duvar elastisitesi
  - d. Kanın damar endotele uyguladığı güç
  - e. Damarın uzayabilirlik yeteneği