

# 4. Pulmoner Hipertansiyonda Görüntüleme Yöntemleri

**Prof. Dr. Şerife Nur ULUSAN**

Radyoloji, Özel Muayanehane, Adana

## ÖZET

*Pulmoner hipertansiyon (PH) kompleks bir hastalık grubu olup farklı mekanizma ve klinikle karşımıza çıkan alt gruplardan oluşmaktadır. PH ile ilgili tanımlama, sınıflama ilgili bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Bu bölümde görüntüleme yöntemlerinin PH yönetiminde yeri tartışılacaktır. Alt gruplara göre hangi görüntüleme yöntemlerinin hangi bulguları verdiğinden, tanı ve sınıflamaya nasıl katkıda bulunduğundan bahsedilecektir.*

## GİRİŞ

Pulmoner vasküler basıncın istirahat halinde yapılan ölçümlerde 20 mmHg ve daha üzerinde olması durumunda pulmoner hipertansiyon (PH) tanısı konur (1-5). Dünya Sağlık Örgütü PH'ı 5 alt klinik gruba ayırmıştır (1-5). Hastalığın kendi içinde klinik, hemodinamik ve fonksiyonel olmak üzere alt gruplara ayrıldığı ve bu alt grupların kesişim ve birleşim kümeleri oluşturduğu gözlemlenirse, yani bulgular doğru okunursa sanıldığından aksine tanıya giden yol çok da karmaşık değildir.

Hastalık erken dönemlerinde klinik bulgu vermezken ileri evrelerinde özellikle eforla oluşan semptomlar dikkat çekmektedir. Hastalık bulguları non spesifik olmakla beraber en sık izlenenleri dispne, halsizlik, senkop, kuru öksürük, anjina, çarpıntı, mide bulantısı ve kusma şeklindedir (6,7).

Pulmoner hipertansiyon hastalarına ilk tanı acil servislerde de konulabilir. Bu hastaları acile getiren en önemli klinik hemoptizid ve çoğu kez bronşiyal arter yırtılması ile ilişkilidir. Laringeal sinir basısı veya hava yolu basısı ile oluşan ses kısıklığı ve hırıltılı solunum gibi semptomlarla da acile başvuru olabilirler. İleri evre progresif sağ kalp yetmezliğine giren hastalar da

batında ileri distansiyon ve alt ekstremitelerde diffüz ödem bulguları ile acile başvuru olabilirler (6,7).

Pulmoner hipertansiyon tanısında en kritik basamak grup 2 olarak tanımladığımız sol kalp hastalıklarına bağlı gelişen PH'ı tanıyabilmektir. Hastaların çoğu bu grupta olup, özellikle radyolojik ve kardiyolojik incelemeler ile ayırıcı tanı yapmak mümkündür (6,7).

Kronik tromboembolik pulmoner hipertansiyon (KTEPH), pulmoner veno-oklüziv hastalık (PVOH) ve kapiller hemanjiyomatozis gibi hastalıkların tanısında bilgisayarlı tomografi (BT) oldukça faydalıdır. Bu bölümde ekokardiyografi, sağ kalp kateterizasyonu ve pulmoner anjiyografi (dijital substraksiyon anjiyografi, DSA) gibi yöntemlerden bahsedilmeyecek olup, ilgili bölümlerde anlatılacaktır. Bu bölümde ağırlıklı olarak BT, manyetik rezonans (MR) ve rutin pratikte olmazsa olmaz direkt grafiler üzerinden konu anlatımı yapılacaktır. Ventilasyon/perfüzyon (V/Q) sintigrafisine de kısaca değinilecektir.

## AKCİĞER GRAFİLERİ

Akcığer grafileri erken dönemlerde normal olarak değerlendirilebilir. Ancak ileri evrede tipik bulgular ortaya çıkmaktadır. Pulmoner trunkus ve ana

dallardaki genişlemelere sağ kalp odacıklarındaki genişleme de (8,9) eşlik edebilmektedir. Genişleşmiş sağ ventrikül ve atrium çoğu kez birlikte olup posteroanterior akciğer grafisinde gösterilebilir. Önceleri çokça kullanılan kardiyotorasik oran (kalbin maksimum transvers çapının, toraks iç kavitesinin transvers çapına oranı)  $\frac{1}{2}$  den fazla ise kalbin büyüdüğünü gösterebilmekle beraber hangi odacığın etkilendiğini belirlemekten uzaktır (8).

Sağ ventrikül dilatasyonunda retrosternal temiz alanın kalp gölgesi tarafından kapandığı yan grafide tespit edilebilir. Benzer şekilde sol ventrikül büyümesini de retrokardiyak (prevertebral) alanda görmek mümkündür. Ancak rutinde iki yönlü akciğer grafisinin çoğu kez çekilmediği göz önünde bulundurulursa, posteroanterior grafilerden yola çıkarak sağ ventrikül büyümesini tespit etme gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Sağ kalp konturunu direkt grafide ağırlıkla sağ

atriyum yapar. Orta hattan (vertebra spinöz çıkıntılar üzerinden geçen hat) sağ kalp sınırına çekilen transvers çizginin 44 mm'den fazla olması sağ ventrikül büyümesini işaret eder. (Resim 1). Çoğu kez sağ atriyumdaki genişlemeye sağ ventrikül genişlemesi de eşlik eder (8,9).

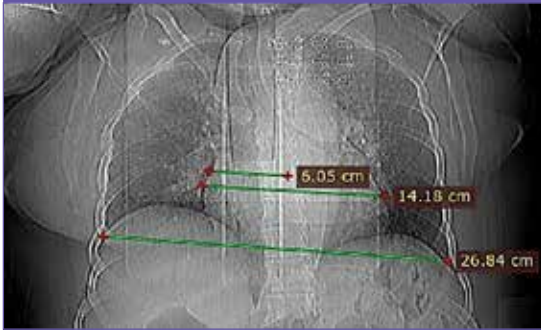
Direkt akciğer grafileri kalp ve vasküler yapıları göstermenin yanı sıra akciğer parankimindeki amfizemi veya sistemik sklerozda görülebilecek patolojileri de göstererek gelişen PH'nun etyolojisini çözmeye yardımcı olabilir (Resim 2).

Hastanın nedeni açıklanamayan dispnesi ya da başka semptomları varsa hızlıca ve ilk aşamada akciğer grafisinin alınması uygun olacaktır. Kalp dilatasyonu hakkında daha fazla bilgi almak için yan grafilere başvurulabilir. Ancak günlük pratikte daha ayrıntılı bilgi vermesi nedeni ile direkt kontrastsız toraks BT veya pulmoner BT anjiyografi (PBTA) incelemesine geçilerek kalp odacıklarının, ana vasküler yapıların ve parankimin daha iyi gösterilmesi sağlanabilmektedir.

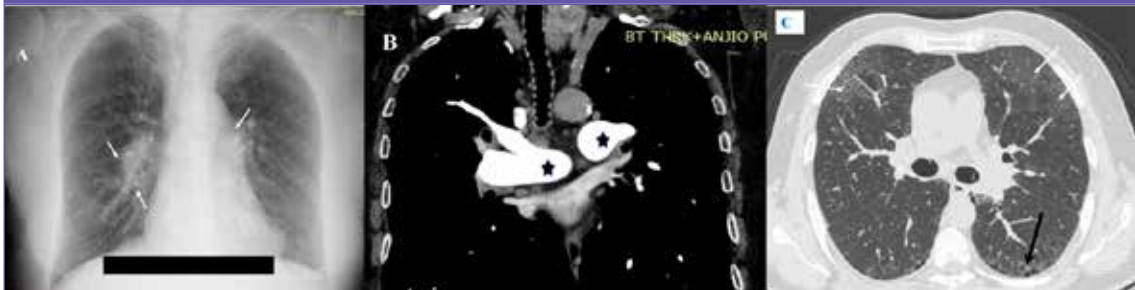
#### VENTİLASYON/PERFÜZYON (V/Q) SİNTİGRAFİSİ

Hastanın kronik tromboembolik pulmoner hipertansiyonu (KTEPH), olduğu düşünülüyorsa ventilasyon/perfüzyon (V/Q) sintigrafisine başvurulması perfüze olamayan segmentleri göstermede faydalıdır (10). Akut pulmoner emboli sonrasında yaklaşık %3.8 gibi bir oranda KTEPH gelişimi görülebilmektedir (10-12). Özellikle çoklu odaklar halinde pulmoner emboliler varsa KTEPH görülme sıklığında artış gözlemlenmesine dair yayınlar mevcuttur. Ventilasyon/Perfüzyon sintigrafisinde ventilasyon sintigrafisi normal olmasına rağmen perfüzyon sintigrafisinde "mismatch defekt" varlığı KTEPH için tanı koydurucudur. Kronik tromboembolik pulmoner hipertansiyon tanısı

**Resim 1. PA akciğer grafide sağ kalp odacıklarının ve pulmoner arterlerin hiler bölgede genişlediği izlenmekte ve kardiyotorasik oranın da  $\frac{1}{2}$ 'den fazla olduğu görülmektedir. Orta hattan sağ kalp konturuna çizilen yatay çizgi 6 cm olup, sağ ventrikül büyümesini göstermektedir.**



**Resim 2A,B,C. Sistemik skleroz tanılı hastada (Grup 3 PH hastası) 2A'da PA akciğer röntgeninde ince beyaz oklar genişleşmiş pulmoner arter dallarını gösterirken periferik damarlanmanın azaldığı izlenmektedir. Aynı hastanın B'de PBTA'sinde genişleşmiş pulmoner damarlar içinde yıldızlarla gösterilmektedir. C, Parankim penceresinde ise ince beyaz oklar sistemik sklerozise bağlı buzlu cam dansitelerini ve siyah ok ise subplevral hava kistleri işaret etmektedir. PBTA: Pulmoner bilgisayarlı tomografi anjiyografi.**



konulmasında ya da dışlanmasında V/Q sintigrafisi %90-100 sensitivite ve %94-100 oranlarında spesifite ile yardımcı olmaktadır (Resim 3).

Modifiye PIOPED (Prospective Investigation of Pulmonary Embolism Diagnosis) kriterlerine göre V/Q sintigrafisi normal veya düşük olasılıklı bulgular içeriyorsa KTEPH tanısı %90 ile %100 sensitivite ve %94-100 spesifite ile ekarte edilebilmektedir (10-12).

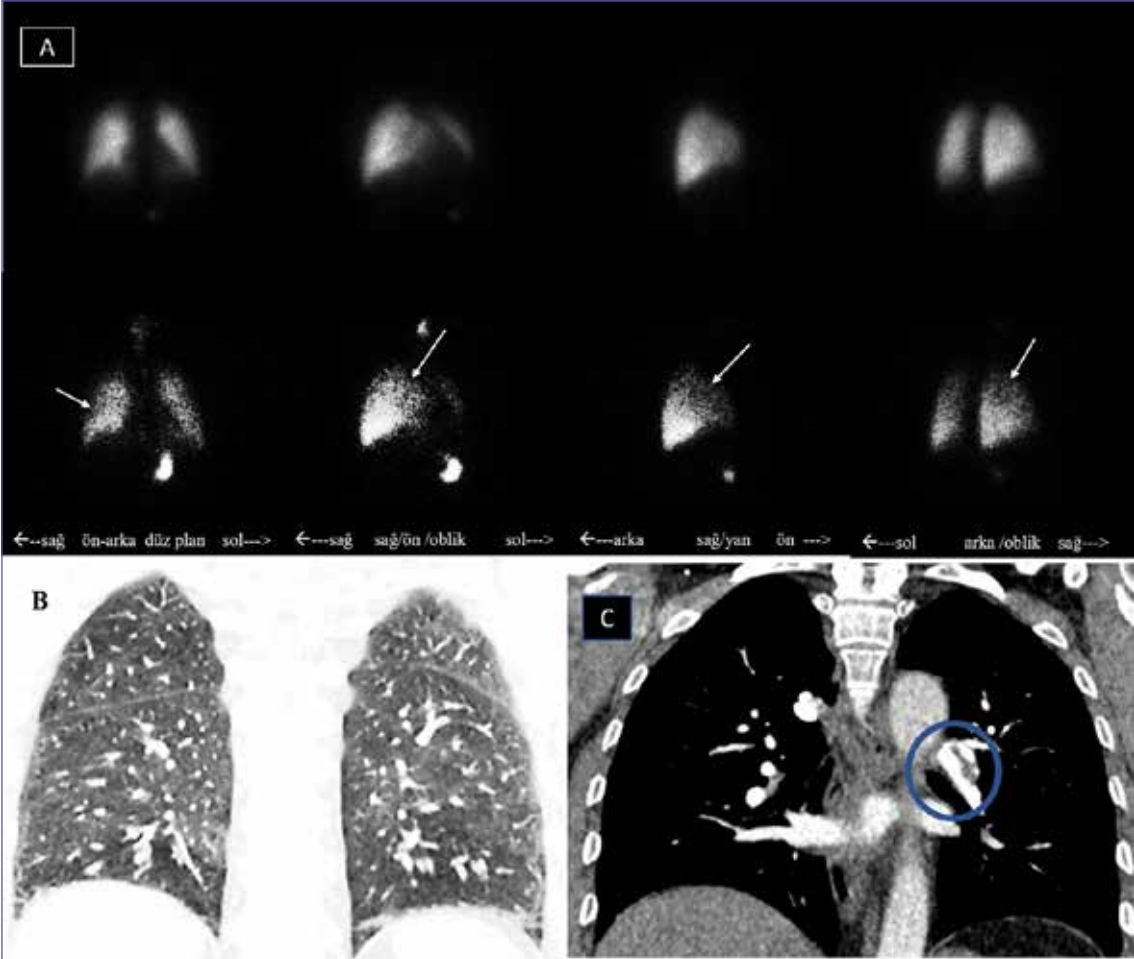
### BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ

Kontrastsız toraks BT ve kontrastlı PBTA'ler bilgisayarlı tomografiler PH hastalarının tanı ve tedavi yönetiminde önemli rol üstlenmektedir. Kronik ve

sebebi açıklanamayan dispnesi olan her hastada BT akciğer parankimini değerlendirmede çok önemli bilgiler vermekte olup öncelikle pulmoner tromboemboli (PTE) ya da KTEPH düşünülüyorsa kontrastsız çekim yapılması hatta yüksek çözünürlüklü BT (YÇBT) çekilmesi uygun olacaktır (6,7).

Parankimal akciğer hastalıklarının şiddetini ve yayılımını göstermede YÇBT oldukça başarılı olup, aynı zamanda pulmoner arteriovenöz malformasyonlar (AVM), pulmoner kapiller hemanjiyomatos (PKH) ve pulmoner venooklüziv hastalık (PVOH)'ların tanısını da koyabilmektedir (13).

**Resim 3A, B ve C KTEPH tanılı aynı hastaya ait V/Q sintigrafisi ile koronal reformat PBTA görüntüleri izlenmektedir. 3A'da Ventilasyon/Perfüzyon sintigrafisinde ilk sıra ventilasyon, ikinci sıra ise perfüzyon görüntülerini vermektedir. Ventilasyon sintigrafisi normal olup perfüzyon sintigrafisinde beyaz ince oklar ile gösterilen "mismatch defektler" izlenmektedir. 3B, Koronal reformat parankim penceresinde yamalı dağınık mozaik perfüzyon alanları mevcuttur. 3C, mediasten pencerede sol ana pulmoner arterde kronik trombüse bağlı dolum defekti (web) mavi çember içine alınmış halde izlenmektedir. KTEPH: Kronik tromboembolik pulmoner hipertansiyon, PBTA: Pulmoner bilgisayarlı tomografi anjiyografi.**





Akut pulmoner emboli tanısında standart referans olarak PBTA kullanılmaktadır. İntravenöz iyotlu kontrast maddenin test dozunda verilmesinin ardından pulmoner arterlerde gözükmeye başladığı zaman hesaba katılarak (bir çeşit timing işlemi yapılarak) pulmoner arterlerin kontrastla boyanacak şekilde gösterilmesi hedeflenmektedir. Yapılan işlem bir çeşit anjiyo yöntemi olup, embolilerin (damar lümeni içinde boyanmayan alanlar şeklinde) gösterilmesi ile PTE tanısı konulabilmektedir. Embolinin yerleşim yerine göre ana dal, lobar, segmental ve subsegmental dallarda PTE şeklinde isimlendirilmesi mümkündür (13).

Kullanılan BT cihazlarındaki dedektör sayısının  $\geq 64$  olması, kontrast madde zamanlamasının doğru yapılabilmesi halinde subsegmental-periferik dallar da dahil olmak üzere emboli ile uyumlu dolum defektlerinin gösterilmesi mümkündür (13).

Yeni nesil BT cihazlarda Çift Enerjili (ÇEBT) sistemleri mevcut olup farklı enerji seviyelerindeki fotonların aynı anda toplanıp işlenmesi sayesinde akciğerlerin kantitatif perfüzyonu gösterilebilmekte ve pulmoner kan volümüne ait haritalar yapılabilmektedir (14-16). Bu cihazlarda iki adet x-ray kaynağı ve iki adet dedektör olabileceği gibi tek x-ray ve tek dedektör sistemini kullanan teknolojiler de mevcuttur. Tek x-ray kaynaklı ÇEBT'lerde hızla kilovolt (kV) değerlerini değiştirerek x-ray tütünün anodunda farklı enerji seviyelerinde fotonların oluşturulması mümkündür. Bu prensibe ilave olarak yine ileri teknoloji dedektörlerce aynı anda farklı enerji seviyesindeki fotonların toplanıp görüntü ve kantitatif analizlerini oluşturan

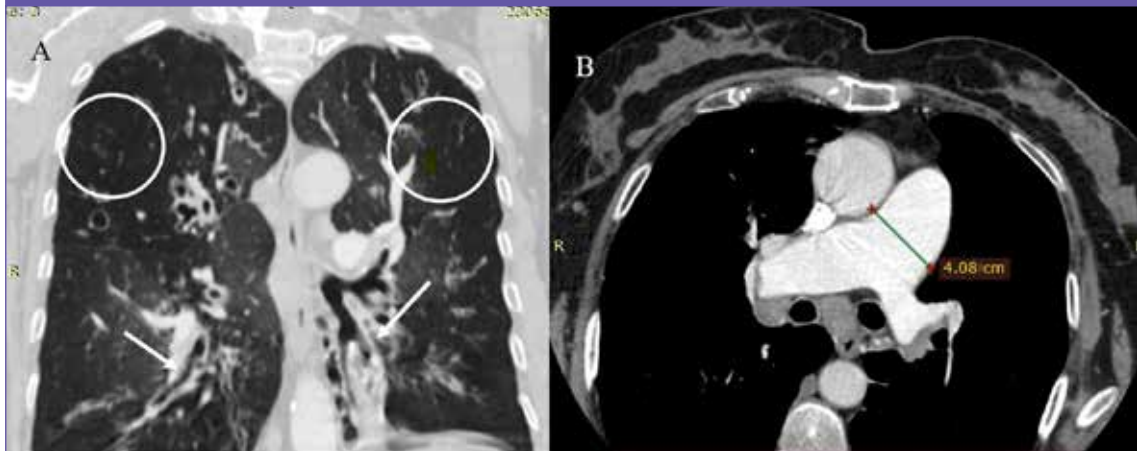
bu sistemler pahalı teknolojiler olarak bilinse de artık pek çok merkezde görülebilmektedir. Pulmoner hipertansiyonu olan bir hastada ÇEBT ile elde edilen BT anjiyo görüntülerinden, iyot dağılımı gösterilerek, akciğer perfüzyonunu ve pulmoner kan volüm haritalarını oluşturmak mümkündür (14-16). ÇEBT ile PBTA ile net değerlendirilemeyen subsegmental arterlerdeki emboli varlığı perfüzyon bozuklukları olarak gösterilebilir.

### Pulmoner HT Etyolojisinde BT

Kronik obstrüktif akciğer hastalıklarına (KOA) bağlı Grup 3 PH'da BT ile hava yolu hastalığı olup olmadığı ve amfizemin tipini söylemek mümkündür. Ayrıca, interstisyel akciğer hastalıkları da tanımlanabilir. Son yıllarda geliştirilen kantitatif BT metotları ile amfizemin klinik ve histolojik korelasyonlarını ortaya koyan parametreler de oluşturulmuştur (Resim 4) (17).

Pulmoner AVM tanısını koymada kontrastsız BT çoğu kere yeterli olacaktır. Bu vasküler anomali %0,0002-3 oranında izlense de oluşturduğu arteriovenöz şant sebebi ile PH'a neden olabilmektedir. Çoğunlukla basit tipte olup, tek bir segmental arteri tutar. Kontrastsız BT'de hiperdens, iyi sınırlı, kalsifikasyon içermeyen ve bir arter ile devamlılık gösteren nodüler lezyonlar şeklinde izlenirler. Görüntülerde drene eden veni ve ven içindeki flebolitleri (kalsifiye tombüsler) de görmek mümkündür. İntravenöz kontrast madde verilmesi halinde nodüler yapı ve besleyici arterlerin içinin kontrast ile boyandığı izlenebilir. Trans katater embolizasyon girişimi ile tedavi edilmeleri mümkündür. Daha az görülen pulmo-

**Resim 4A,B. A'da Koronal reformat parenkim penceresinde beyaz oklar bronşiektazileri ve beyaz yuvarlaklar ise amfizemli alanları göstermektedir. Aynı hastanın transvers düzlemde mediasten penceresinde ana pulmoner arter çapında belirgin artış izlenmektedir. KOAH zemininde gelişmiş Grup 3 PH ile uyumludur. KOAH: Kronik obstrüktif akciğer hastalığı, PH: Pulmoner hipertansiyon.**



ner AVM tipleri içinde birden fazla segmenti tutan kompleks tip ve çok daha nadir diffüz AVM türleri de bulunmaktadır. Hereditör hemorajik telenjiyektazi hastalarında pulmoner AVM taraması ve tanısı için kontrastsız toraks BT yeterli olup, PBTA'ya gerek yoktur (17).

Pulmoner veno-oklüzif hastalık (PVOH) ve pulmoner kapiller hemanjiyomatozis (PKH) tanısının konulmasında da BT çoğu kere yeterlidir. Pulmoner kapiller hastalıkta; düz septal kalınlaşmış çizgiler, coğrafik ve nodüler buzlu cam dansiteleri ve plevral efüzyon eşlik eder (14-17).

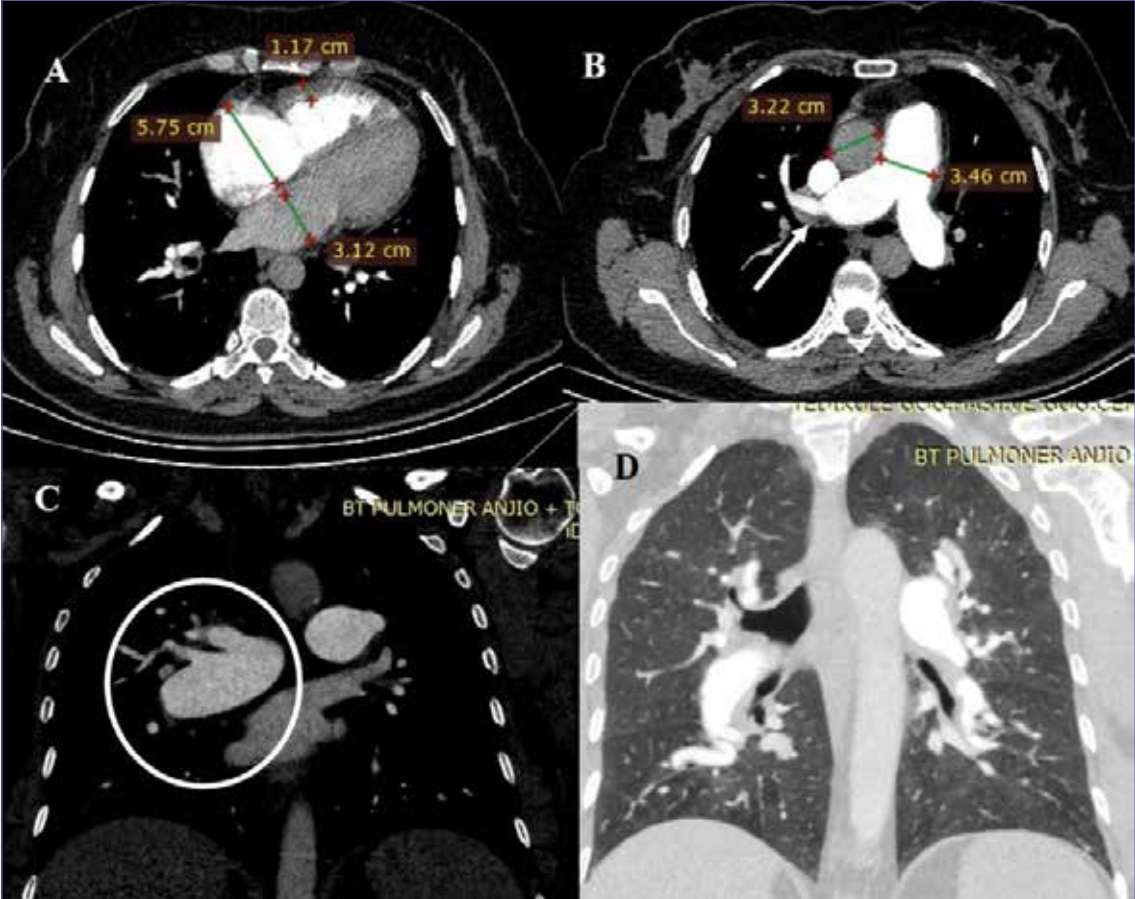
PVOH tanısı PBTA ile hızla konularak ilaç tedavisinin başlanması çok önemlidir. Böylece genişlemiş pulmoner arteriyel vasküler yatak tedavi edilebilir. Bu ilaçlar PVOH durumunda sol kalp perfüzyon basıncının katastrofik kollapsa gidişini ve ölüme bitebilecek tabloyu da engelleyebilir (14-17).

PBTA'de KTEPH tanısı koydurucu birçok bulgu mevcuttur. Bu bulgular sağ ventriküler hipertrofisi, interventriküler septumda düzleşme, pulmoner arterlerde komplet tıkanıklık, damar intimasında düzensiz konturlar, bandlar, webler veya trombüslerin varlığıdır. Akciğer parankiminde ise bozulan pulmoner damarlanmanın karşılığı mozaik perfüzyon olarak izlenir (Resim 5) (14-17).

#### Pulmoner HT Şiddetinin Belirlenmesinde BT

Pulmoner hipertansiyonda ana pulmoner arter (APA), sağ ve sol ana pulmoner arter dallarında genişlemeler BT ile gösterilebilir. Aynı zamanda bu damarlardaki tortuozaite, kalsifikasyonlar ve hızla sivirmeler de rahatlıkla izlenebilir. Hastalığın ileri evrelerinde sağ ventrikül genişleyip hipertrofiye olurken interventriküler septumda düzleşme ya da eğilmeler oluşabilir. Tetkik sırasında verilen intravenöz (IV) kontrast maddenin hepatik venlere kaçı-

**Resim 5A,B,C,D. KTEPH tanılı hastada A'da sağ ventriküler hipertrofi, interventriküler septumda düzleşme, B'de APA çapında ve APA/A oranda artış, beyaz okla gösterilen pulmoner arterde ani daralma ve duvarda kalınlaşma, C'de segmental pulmoner arterde dolum defektleri izlenmekte. D'de parankim penceresinde koronal reformat görüntüde yaygın yamalı mozaik perfüzyon izlenmektedir. APA: Ana pulmoner arter, A: Aort.**



nı, bronşiyal arterlerin dilate olduğunu, genişlemiş pulmoner arterlere ilave şekilde görmek mümkündür (Resim 6) (17-23).

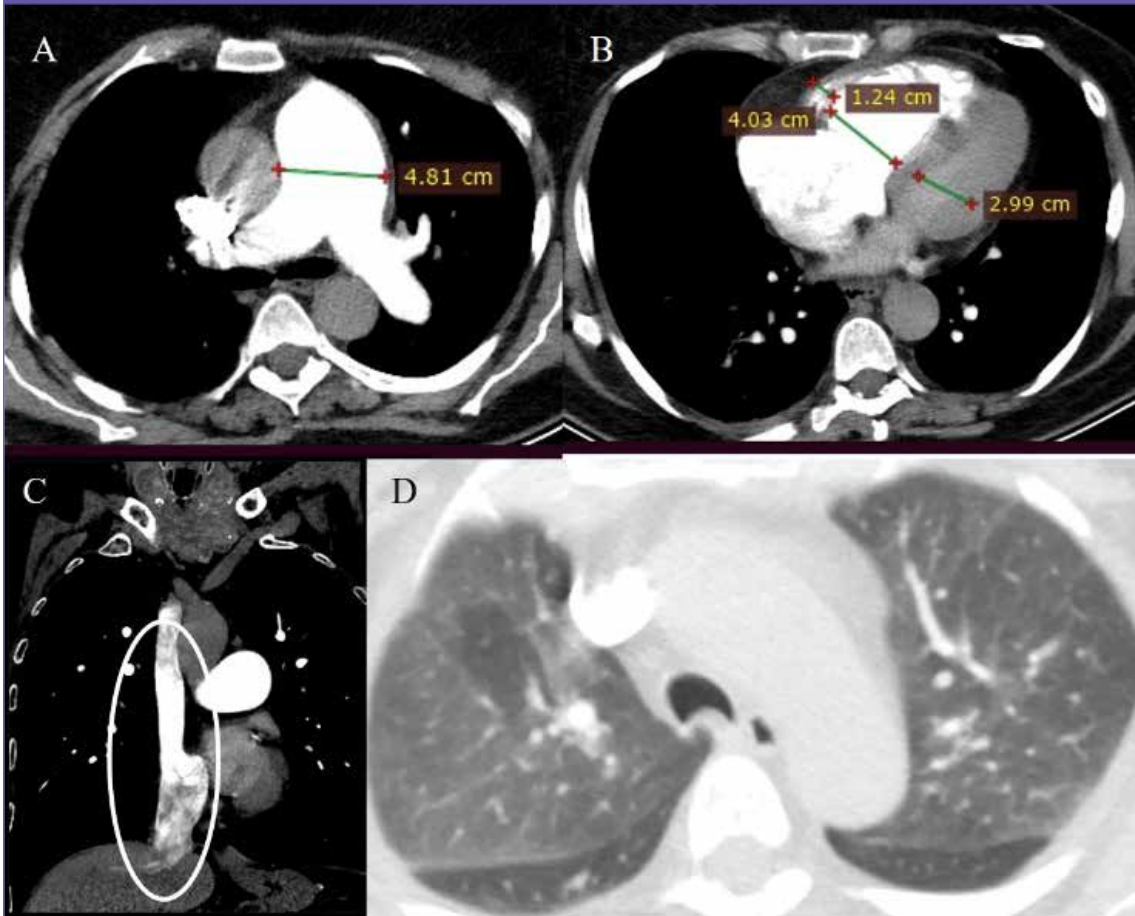
Framingham Heart Study'e göre normal ana PA çapı  $25.1 \pm 2.8$  mm'dir. Ana PA çapı %90 kestirim değeri ile erkeklerde 29 mm, kadınlarda ise 27 mm'dir (24). Wu ve arkadaşlarının 2014-2020 yılları arasında bu konuda yapılmış tüm çalışmaları değerlendirdikleri ve 2022'de yayınladıkları meta analiz verilerine göre; bilgisayarlı tomografide yapılan ölçümler ile pulmoner arter (PA) ve aort (A) çaplarının oranının 1 ve daha büyük olması özellikle KOAH'lılarda pulmoner hipertansiyon tanısını koymada önemli bulunmuştur. Burada önemli olan PH'dan bağımsız olarak aort çapını genişleten diğer kalp ve damar hastalıklarının göz ardı edilmemesi ve değerlendirmelere sağ ventrikül (RV) ve sol ventrikül (LV) çap oranlarının da dahil edilmesidir (Resim 7) (17).

APA ve RV çap artışına APA/A çap oranı ve RV/LV oranlarındaki artış da eşlik ediyorsa bu bize artmış pulmoner vasküler rezistansını gösterir. Bulgular grup 1 PH hastalarını içermektedir. Bu ölçümlerin standart bir şekilde yapılması önemli olup BT temelli ölçümlerin ekokardiyografi (EKO) ve Manyetik Rezonans'a göre çok daha güvenilir olduğuna dair yayınlar bulunmaktadır (17-21).

Sağ ventrikül serbest duvar kalınlığı  $< 4$  mm'dir. Ölçümlerde görüntü midventriküler seviyeden alınmalıdır. Sağ ventrikül serbest duvar kalınlığı  $\geq 6$  mm kestirim değeri alındığında %91.9 spesifite ve %81 sensitivite ile pulmoner HT tanısı konulabilir (18).

Ana pulmoner arter çapının en doğru ölçümü sağ ve sol ana dallara ayrıldığı bifürkasyo seviyesinden yapılmalıdır. Kontrastlı çekimlerde lümen içi çap ölçülürken kontrastsız görüntülerde ölçüme damar duvarı da dahil edilmelidir (17-21).

**Resim 6A, B, C ve D. A ve B'de APA çapında artış, sağ ventrikül hipertrofisi ve interventriküler septumda düzleşme ve C'de superior vena kavada (beyaz çember içinde) kontrast ve hepatik venlere kaçış izlenmekte. Mozaik perfüzyonu D'de izlenmektedir.**





**Resim 7A,B,C. A'da ASD (siyah ok) defekti ve sağ atriyal genişleme görülmektedir. B'de pulmoner arter çapı artışı ve C'de sağ yetmezliği vurgulayan hepatik vena kavaya (siyah yıldız) kontrast reflüsü izlenmektedir. ASD: Atriyal septal defekt.**

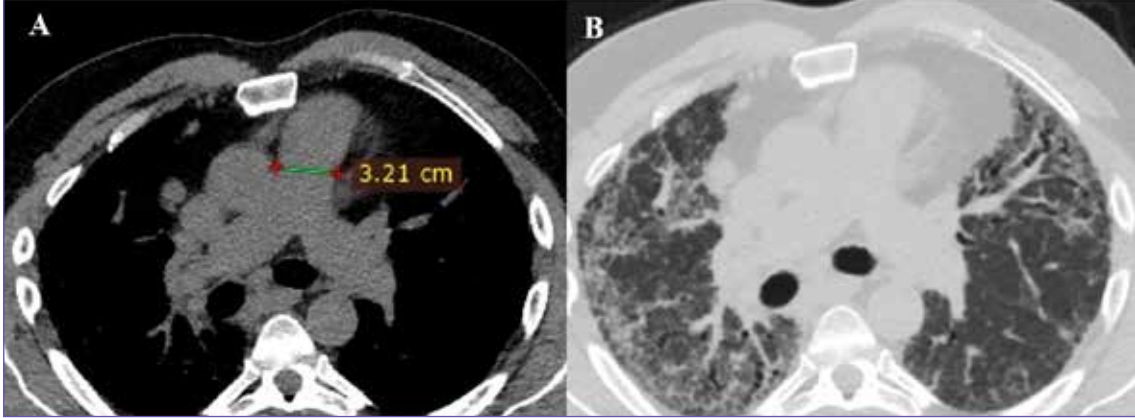


**Tablo 1. Klinik temelli PH sınıflaması ve eşlik eden bilgisayarlı tomografi bulguları.**

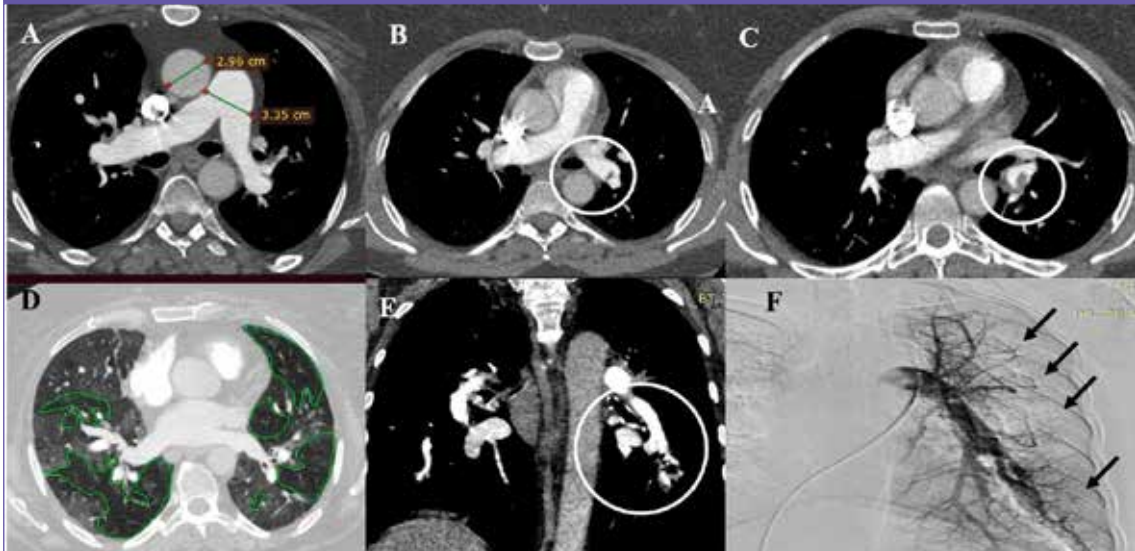
Klinik hastalık	DSÖ sınıflama	Bilgisayarlı Tomografi Bulguları
PAH	Grup 1	Yamalı silik sınırlı nodüller, RV dilatasyon deviyeye IVS, mozaik patern
Kollajen vasküler hastalık	Grup 1	Silik sınırlı mikronodüller, traksiyon bronşiektazi, retiküler işaretlerde artış
Portopulmoner HT	Grup 1	Dilate pulmoner arter, özofagus varisleri, pulmoner/bronş oran artışı
ASD/VSD	Grup 1	VSD gösterilmesi, soldan sağa kontrast madde kaçıışı
Pulmoner AVM	Grup 1	Yuvarlak pulmoner dansiteler, besleyici arter ve drene eden vene ait görünüm
PVOH/PKH	Grup 1	Diffüz silik sınırlı nodüller, mediastinel LAP, plevral efüzyon, interlobuler septalarda kalınlaşma
Pulmoner ven stenozu/agenezisi	Grup 2	Pulmoner damarlarda aniden tıkanma/sonlanma veya daralma,
KOAH	Grup 3	Küçük hava yollarında dilatasyon/destrüksiyon, sentrilobuler amfizem, AC grafide artmış lusensi, diyafragma konturlarda düzleşme ve bülleler
İdiyopatik pulmoner fibrozis	Grup 3	Periferik/bazalde retiküler opasiteler, bal peteği bulgusu, traksiyon bronşiektaziler, tipik olarak plevra korunmuştur
Kronik (fibrotik) hipersensitivite pnömonisi	Grup 3	Silik sınırlı sentrilobüler nodüller, diffüz mozaik perfüzyon, üst lob ağırlıklı bronkosentrik fibrozis, retiküler patern, traksiyon bronşiektaziler
KTEPH	Grup 4	Mozaik patern, damar lümen içi dolun defektleri, vasküler webler, mural trombüs, obstrüksiyonun distalinde pulmoner segmental arterde daralmalar, poş benzeri defektler, neovaskülarizasyon, bronşiyal ve bronşiyal olmayan kollateraller
Pulmoner arter sarkomu	Grup 4	Damar lümen içindeki dolun defektli damarın duvarını da infiltre etmiş görünümündedir. FDG tutulumu PET-BT de emboliye göre çok daha fazladır
Sarkoidozis	Grup 5	Hiler/mediastinel LAP, silik sınırlı mikronodüller, kistik/fibrotik değişiklikler
Pulmoner langerhans hücreli histiosit	Grup 5	Üst ve orta AC zonlarını daha fazla tutan diffüz kistik hastalık, değişik boyutlarda nodüller, kaviteler de eşlik edebilir.

DSÖ: Dünya Sağlık Örgütü, FDG= IVS: İnterventriküler septum, LAP: Lenfadenopati, PET-BT: Pozitron emisyon tomografi-bilgisayarlı tomografi, RV: Sağ ventrikül CHEST 2019; 156(2):211-227 (6).

**Resim 8 A,B. İdiopatik pulmoner fibrozisli hastada A'da artmış pulmoner arter çapını B'de ise interlobuler septalarda kalınlaşma, bal peteği alanları ve traksiyon broşiektazileri izlenmekte olup, grup 3 PH ile uyumludur.**



**Resim 9 A,B,C,D,E,F. A'da APA çapının arttığı, B ve C'de ise sol ana pulmoner arterde duvarda kalınlaşma ve veb görünümü izlenmektedir. D'de konturları çizilmiş mozaik perfüzyon alanları izlenmektedir. D'de sol pulmoner arter alt loba giden segmental daldaki incelmeye düzensizlik BTA'da izlenirken F'de pulmoner arteriyografide siyah oklar periferik akciğer dokusunun hiç kanlanmadığını göstermektedir.**



Kam ve ark. grup 2 (sol kalp yetmezliğine bağlı gelişen) PH tanılı 47 hastada yaptıkları ölçümlerde; APA çapını hafif-orta düzey PH için  $34.9 \pm 1.0$  mm ve ileri düzey PH için ise  $38.3 \pm 0.9$  mm ölçmüşlerdir. Ana PA çapı artışı ile hastalık şiddeti arasında doğrusal bir ilişki olduğu söylenebilir (13).

Grup 3 ise akciğer hastalıklarına bağlı oluşan PH'ü tanımlar. Bu grupta hem APA çapı hem de APA/A oranı artmıştır. Ek bulgular içinde sağ ve sol pulmoner arter çaplarının artışı da söz konusudur. Sağ ventrikül serbest duvarında kalınlaşma ve RV/LV çap oranlarında artış izlenir (Resim 8) (17-21).

Grup 4 yani KTEPH'de problem kronik pulmoner embolilerin varlığıdır. BT'de saptanan PA obstrüksiyonunun, RV fonksiyonları ya da pulmoner vasküler yatak rezistansı ile korelasyonu bulunmamaktadır. KTEPH'li hastalarda APA çapı, RV/LV çapları oranı ve RV duvar kalınlığı ile pulmoner arter basıncı (PAB) arasında korelasyon mevcuttur (Resim 9) (17-21).

Grup 5, mekanizması tam anlaşılamayan veya multi-faktörel sebeplerle oluşan pulmoner HT hastalarını tanımlar. Sarkoidoz hastaları bu gruba dahil edilebilir ve önemli bir PH nedeni olarak karşımıza çıkar (Resim 10) (17-21).



**Resim 10A,B,C. Sarkoidoz tanılı hastada A'da artmış APA çapı, B'de yıldızlar ile gösterilen lenfadenopatiler ve C'de parankim penceresinde silik sınırlı mikronodüller ve fibrotik değişiklikler izlenmekte.**



### MANYETİK REZONANS (MR) GÖRÜNTÜLEME

Diğer görüntüleme tekniklerine göre farklı avantajları olan MR ile anatomik detaylı ve fonksiyonel hareketli (sine) görüntüler elde etmek mümkündür. Perfüzyon ve akım sekansları pulmoner kan akım kuantifikasyonu yapılmasını sağlayabileceği gibi doğrudan vasküler görüntüleme yolu ile MR anjiyo da yapılabilir. MR anjiyoda IV kontrastlı görüntüler, kontrastsız sekanslara göre daha kaliteli görüntü oluşturması sebebi ile tercih edilir (25).

Teknolojik gelişmeler sayesinde yeni yazılımlar ile tüm göğüs boşluğunu içine alan, yüksek uzaysal çözünürlüklü, kısa nefes tutmalı sekansların kullanımı ve son yıllarda ulaşılabilir maliyetlere inmesi ile MR sistemleri rutin uygulamalara girebilmiştir. Global veya bölgesel pulmoner perfüzyonu değerlendirilmede; kontrast maddenin IV uygulanmasından ardından elde edilen dinamik görüntülerden kantitatif ve kalitatif ölçümler yapılabilir olmuştur (26-31).

Kantitatif pulmoner perfüzyon imajları genellikle kontrast maddenin damarlardan ilk geçişinde oluşmaktadır. Kullanılan dinamik kontrastlı sekanslar nefes tutmalı olabileceği gibi nefes tutmasız olarak da planlanabilir. Kontrast madde verilmeden perfüzyon ve akciğer parankiminin değerlendirilmesine yönelik sekansların oluşturulması için de çalışmalar devam etmektedir. Bu sekanslar hareketli bir organ olan kalp ve damarları göstermeyi hedeflemesi sebebi ile çok hızlı sinyal toplayan yöntemler olup, MR fiziğinin ağır ve anlaşılması zor konuları içinde kalmaktadır (26-31).

Pulmoner arteriyel kan akımı 2D (iki boyutlu) faz kontrast akım sekansları ile kantifiye edilebilir. Bunu için manyetik alan gradientlerince indüklenen faz şiftlerinde hareket halindeki protonların kodlanarak özel bilgisayar yazılımları marifetiyle dokümanite edilmesi mümkündür. Ayrıca 3D ve 4D akıma duyarlı sekanslar da mevcuttur (26-31).

Kardiak MR'da elektrokardiyografik kontrolle yani EKG kullanılarak kalbin hep aynı siklusunda sinyal gönderme tekniği sayesinde elde edilen görüntüler üzerinden RV boyutu ve fonksiyonları hakkında bilgi almak mümkündür. Kalbin sine görüntüleri sayesinde görsel kalp kası ve kapak fonksiyonları da dahil olmak üzere ayrıntılı anatomik ve fonksiyonel bilgiye ulaşmak mümkündür. Ejeksiyon fraksiyonu, sağ ve sol ventrikül volüm hesapları, miyokard değişikliklerini ölçen T1 haritalama, IV gadolinyum sonrası geç görüntüler ile miyokardın viabilitesi, fibrotik değişiklikleri göstermek veya bir kısım kalp kasını bozan depo/amiloidoz gibi hastalıkların tanısını da koymak mümkündür (Resim 11) (28-30).

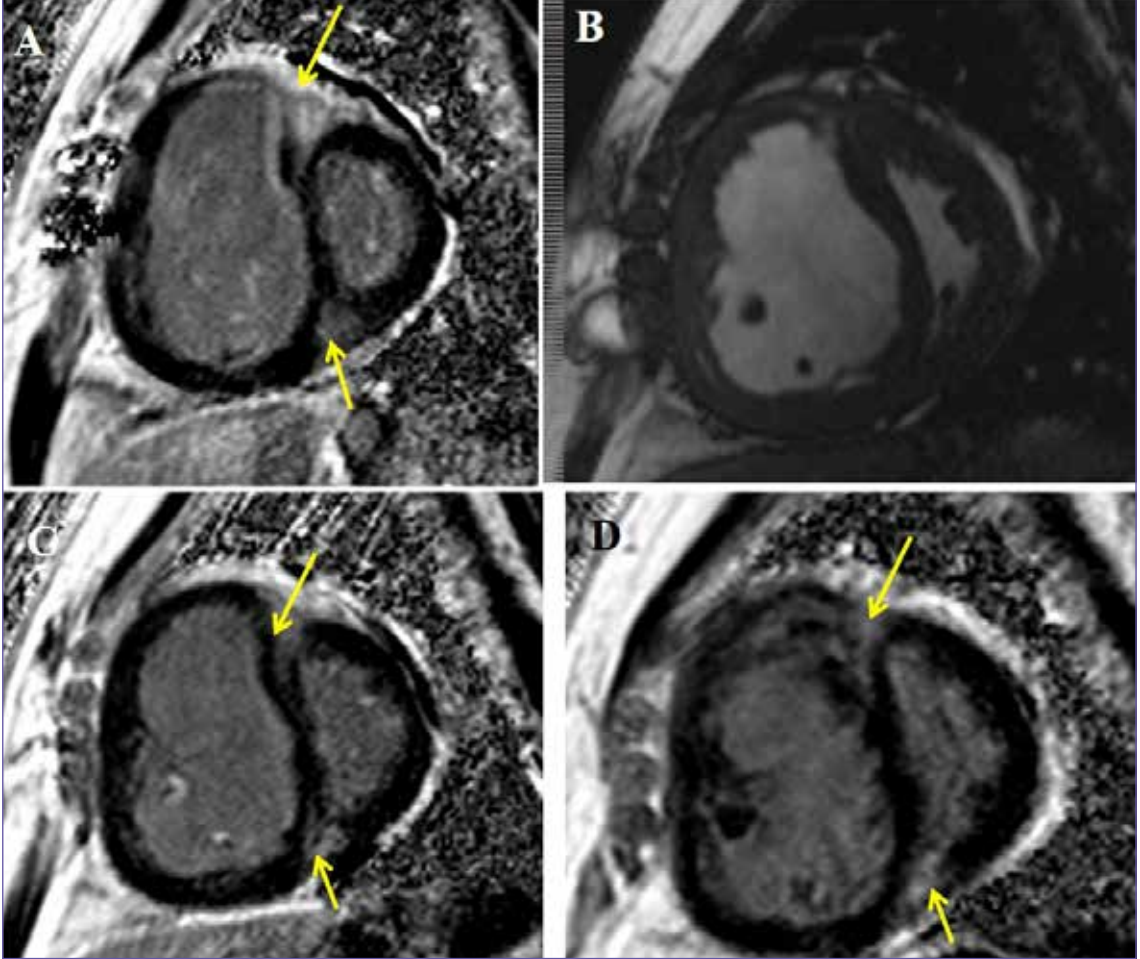
İlk başlarda pulmoner hipertansiyona neden olabilecek, özellikle soldan sağa şant yapan atriyal ve ventriküler septal defektler, patent duktus arteriosus gibi konjenital kalp hastalıklarını gösterme ile sınırlı kalsa da artık günümüzde kardiak MR hızlı sinyal toplama teknolojileri sayesinde giderek yaygın hale gelmektedir. Pulmoner MR anjiyo 2D akım yöntemleri ile yapılabilir ayrıca APA ve asenden aortanın akımlarının sistemik akıma oranları hesaplanabilir (Resim 12) (26,27).

Manyetik rezonans ile PA hemodinamisinin ortaya konulması yanı sıra RV fonksiyonlarının da ölçülmesi mümkündür. Sağ ventrikül fonksiyonları PH prognozunu belirlemede önemli bilgiler verebilmektedir. Örneğin artmış RV enddiastolik ve endsistolik RV ejeksiyon fraksiyonları birlikteliği optimal medikal tedaviye rağmen devam ediyorsa prognozun kötüye gittiği söylenebilir (31).

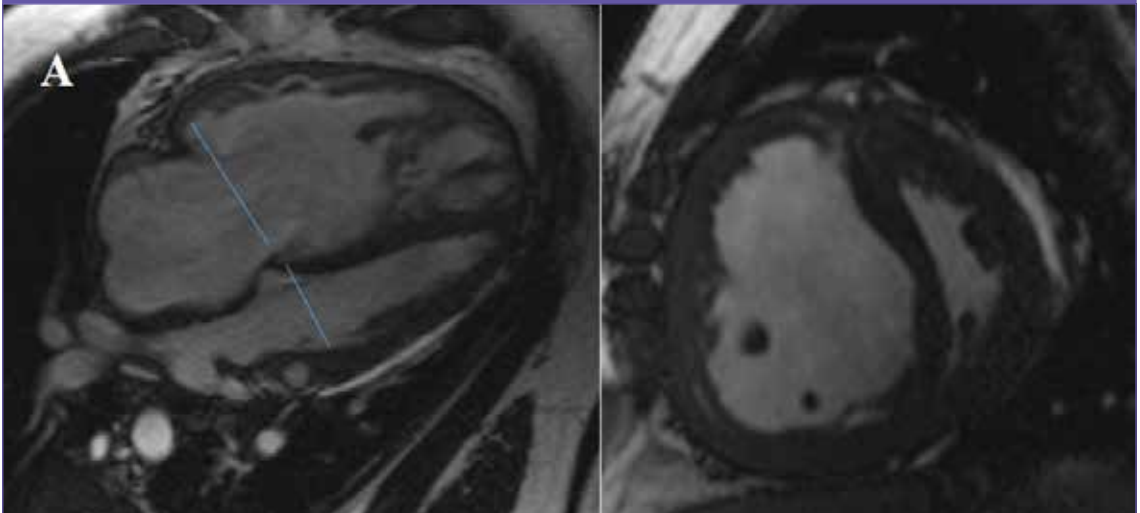
Sine görüntülerde sistolik PA basınçlarının arttığı durumlarda; RV sistolik basıncı, LV sistolik basıncından daha yüksek hale gelerek İV septumda düzleşme ya da tam tersi LV'e doğru bombeleşme izlenebilir (26-30).

Kardiak MR uygulamalar pahalı sistemler olmakla beraber yaygınlaştıkça pratik kullanımının artacağı yakın gelecekte de vazgeçilmez yöntemler olacağı aşikardır.

**Resim 11.** Sağ kalp yetmezlikli hastada, kısa aks iki oda görüntüleri gadolinyum sonrası görüntüleri; oklar kalp kasındaki kayıp nedeniyle oluşan fibrozise bağlı artmış geç kontrastlanmayı işaret etmekte olup, sağ kalp yetmezliği açısından kötü prognoz olarak değerlendirilebilir (Doç. Dr. Selen Bayraktaroğlu arşivinden).



**Resim 12.** Sağ ventrikül disfonksiyonunun saptanmasında; Sine MR görüntüleri ile dinamik volum ölçümleri sağ ventrikül end-diastolik volum, sağ ventrikül ejeksiyon fraksiyonu, sağ ventrikül kütlesi, sağ ventrikül sistolik volum hesabı ile RV morfolojik ve fonksiyonel görüntülemesi özellikle tedavi alan hastaların izleminde değerlidir (Doç. Dr. Selen Bayraktaroğlu arşivinden).



## 4. Pulmoner Hipertansiyonda Görüntüleme Yöntemleri

**KAYNAKLAR**

1. Stacy A. Mandras, MD; Hirsch S. Et al. *Pulmonary Hypertension: A Brief Guide for Clinicians* Mayo Clin Proc. n September 2020;95(9):1978-1988.
2. McLaughlin VV, SJ, Souza R, Humbert M. *Management of Pulmonary Arterial Hypertension* Journal of the American College of Cardiology 2015;18:1976-199.
3. Sinan ÜY, Çetinarslan Ö, Özkan AA ve ark. *The impact of the new World Symposium on Pulmonary Hypertension definition of pulmonary hypertension on the prevalence of pre-capillary pulmonary hypertension.* Turk Kardiyol Dern Ars 2019;47(7):594-598
4. Galie N, Humbert M, Vachiery JL, et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: the Joint Task Force for the Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS): Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC), International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT). *Eur Heart J.* 2016;37(1):67-119.
5. Simonneau G, Montani D, Celermajer DS, et al. *Haemodynamic definitions and updated clinical classification of pulmonary hypertension.* *Eur Respir J.* 2019;53(1). pii: 1801913.
6. Altschul E, Remy-Jardin M, Machnicki S et al. *Imaging of Pulmonary Hypertension Pictorial Essay.* CHEST 2019; 156:211-27.
7. François CJ, Schiebler ML *Imaging of pulmonary hypertension* *Radiol Clin N Am* 54 (2016) 1133-1149
8. Mensah YB, Mensah K, Asiamah S, et al. *Establishing the cardiothoracic ratio using chest radiographs in an indigenous Ghanaian population: a simple tool for cardiomegaly screening.* *Ghana Med J.* 2015;49(3):159-164.
9. Mirsadraee M, Nazemi S, Hamedanchi A, Naghibi S. *Simple screening of pulmonary artery hypertension using standard chest x ray: an old technique, new landmark.* *Tanaffos.* 2013;12(3):17-22.
10. Madani MM, Auger WR, Pretorius V, et al. *Pulmonary endarterectomy: recent changes in a single institution's experience of more than 2,700 patients.* *Ann Thorac Surg* 2012; 94:97-103.
11. Tunariu N, Gibbs SJ, Win Z, et al. *Ventilation-perfusion scintigraphy is more sensitive than multidetector CTPA in detecting chronic thromboembolic pulmonary disease as a treatable cause of pulmonary hypertension.* *J Nucl Med* 2007; 48:680-4.
12. He J, FangW, Lv B, et al. *Diagnosis of chronic thromboembolic pulmonary hypertension: comparison of ventilation/perfusion scanning and multidetector computed tomography pulmonary angiography with pulmonary angiography.* *Nucl Med Commun* 2012; 33:459-63.
13. Kam JC, Pi J, Doraiswamy V, et al. *CT scanning in the evaluation of pulmonary hypertension.* *Lung* 2013; 191:321-6.
14. Dournes G, Verdier D, Montaudon M, et al. *Dual energy CT perfusion and angiography in chronic thromboembolic pulmonary hypertension: diagnostic accuracy and concordance with radionuclide scintigraphy.* *Eur Radiol* 2014; 24:42-51.
15. Ameli-Renani S, Ramsay L, Bacon JL, et al. *Dual energy computed tomography in the assessment of vascular and parenchymal enhancement in suspected pulmonary hypertension.* *J Thorac Imaging* 2014; 29:98-106.
16. Ameli-Renani S, Rahman F, Nair A, et al. *Dual-energy CT for imaging of pulmonary hypertension: challenges and opportunities.* *Radiographics* 2014; 34:1769-90.
17. Wu X, Shi Y, Wang X, et al. *Diagnostic value of computed tomography-based pulmonary artery to aorta ratio measurement in chronic obstructive pulmonary disease with pulmonary hypertension: A systematic review and meta-analysis* *Clin Respir J.* 2022; 16:276-283.
18. Iyer AS, Wells JM, Vishin S, et al. *CT scan measured pulmonary artery to aorta ratio and echocardiography for detecting pulmonary hypertension in severe COPD.* *Chest* 2014; 145:824-32.
19. Rajaram S, Swift AJ, Capener D, et al. *Comparison of the diagnostic utility of cardiac magnetic resonance imaging, computed tomography, and echocardiography in assessment of suspected pulmonary arterial hypertension in patients with connective tissue disease.* *J Rheumatol* 2012; 39:1265-74.
20. Liu M, Ma Z, Guo X, et al. *Computed tomographic pulmonary angiography in the assessment of severity of chronic thromboembolic pulmonary hypertension and right ventricular dysfunction.* *Eur J Radiol* 2011;80: e462-9.
21. Liu M, Ma Z, Guo X, et al. *Cardiovascular parameters of computed tomographic pulmonary angiography to assess pulmonary vascular resistance in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension.* *Int J Cardiol* 2013; 164:295-300.
22. Raymond TE, Khabbaza JE, Yadav R, Tonelli AR. *Significance of main pulmonary artery dilation on imaging studies.* *Ann Am Thorac Soc.* 2014;11(10):1623-1632.
23. Lewis G, Hoey ET, Reynolds JH, Ganeshan A, Ment J. *Multidetector CT assessment in pulmonary hypertension: techniques, systematic approach to interpretation and key findings.* *Quant Imaging Med Surg.* 2015;5(3):423-432.
24. Truong QA, Massaro JM, Rogers IS, et al. *Reference values for normal pulmonary artery dimensions by noncontrast cardiac computed tomography: the Framingham Heart Study.* *Circ Cardiovasc Imaging* 2012; 5:147-54.
25. Allen BD, Schiebler ML , François CJ, *Pulmonary Vascular Disease Evaluation with Magnetic Resonance Angiography* *Radiol Clin N Am* 2020;58: 707-719
26. Swift AJ, Wild JM, Nagle SK, et al. *Quantitative magnetic resonance imaging of pulmonary hypertension: a practical approach to the current state of the art.* *J Thorac Imaging* 2014;29:68-79.
27. Swift AJ, Rajaram S, Capener D, et al. *LGE patterns in pulmonary hypertension do not impact overall mortality.* *JACC Cardiovasc Imaging* 2014; 7:1209-17.
28. Garcia-Alvarez A, Garcia-Lunar I, Pereda D, et al. *Association of myocardial T1-mapping CMR with hemodynamics and RV performance in pulmonary hypertension.* *JACC Cardiovasc Imaging* 2015;8: 76-82.
29. Garcia-Alvarez A, Garcia-Lunar I, Pereda D, et al. *Association of myocardial T1-mapping CMR with hemodynamics and RV performance in pulmonary hypertension.* *JACC Cardiovasc Imaging* 2015;8: 76-82.
30. Mehta BB, Chen X, Bilchick KC, et al. *Accelerated and navigator-gated look-locker imaging for cardiac T1 estimation (ANGIE): development and application to T1 mapping of the right ventricle.* *Magn Reson Med* 2015;73(1):150-60.
31. Lin K, Sarnari R, Pathrose A, Gordon DZ, et al *Cine MRI detects elevated left heart pressure in pulmonary hypertension.* *J Magn Reson Imaging.* 2021 Jul;54(1):275-283.