

2. Pulmoner Hipertansiyonda Transtorasik Ekokardiyografinin Yeri

Uzm. Dr. Mert EVLİCE¹, Prof. Dr. İbrahim Halil KURT²

¹ Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Kardiyoloji Kliniği, Adana

² SBÜ, Adana Tıp Fakültesi, Kardiyoloji Anabilim Dalı, Adana

ÖZET

Altta yatan etiyojiden bağımsız olarak pulmoner hipertansiyon, transtorasik ekokardiyografi ile tespit edilebilen sağ ventrikül basınç aşırı yüklenmesine ve disfonksiyonuna ve sonunda ölüme yol açar. Transtorasik ekokardiyografi, sağ ve sol kalp morfolojisi, sağ/sol ventrikül fonksiyonu ve kapak anormallikleri hakkında kapsamlı bilgi sağlar ve hemodinamik parametrelerin tahminlerini verir. Transtorasik ekokardiyografi, özellikle sol kalp hastalığı veya konjenital kalp hastalığı ilişkili pulmoner hipertansiyon ile ilgili olarak, şüpheli veya doğrulanmış pulmoner hipertansiyon nedenini saptamak için de değerli bir araçtır. Ancak transtorasik ekokardiyografi, tam kalp kateterizasyonu gerektiren pulmoner hipertansiyon tanısını doğrulamak için tek başına yetersizdir. Pulmoner hipertansiyonun heterojen doğası ve sağ ventrikülün kendine özgü geometrisi göz önüne alındığında, pulmoner hipertansiyonun varlığı ve altta yatan etiyojisi hakkında güvenilir bir şekilde bilgi veren tek bir ekokardiyografik parametre yoktur. Bu nedenle, şüpheli pulmoner hipertansiyon için kapsamlı bir transtorasik ekokardiyografik değerlendirme, sistolik pulmoner arter basıncının tahmin edilmesini ve pulmoner hipertansiyon olasılığının ekokardiyografik düzeyini tayin etmeyi amaçlayan pulmoner hipertansiyonu düşündüren ek belirtilerin saptanmasını içerir.

GİRİŞ

Pulmoner hipertansiyon, sıklıkla efor sırasında non-spesifik nefes darlığı semptomu ile ortaya çıkan progresif ve sıklıkla ölümcül seyreden bir hastalıktır. Pulmoner arter basıncındaki bir artıştan kaynaklanmakla birlikte altta yatan çok sayıda nedene bağlı olarak gelişebilir (1). Pulmoner hipertansiyon, altta yatan etiyojiden bağımsız olarak ekokardiyografi ile tespit edilebilen sağ ventrikül basıncı aşırı yüklenmesine ve disfonksiyonuna ve ölüme yol açar (2). Kesin tanı için sağ-sol kalp kateterizasyonu gerekli olsa da, non-invaziv, ulaşımı kolay ve yaygın olarak bulunan transtorasik ekokardiyografi (TTE) genellikle pulmoner basıncın arttığını düşündüren ilk tetkiktir. Bu nedenle TTE, semptomları olan ve pulmoner vasküler hastalık gelişme riski taşıyan bireylerde bir tarama aracı olarak merkezi bir role sahiptir.

Basit bir şekilde sistolik pulmoner arter basınç tahmininin (triküspit yetersizliği jeti üzerinden) ötesinde, pulmoner basıncın arttığını düşündüren ekokardiyografik özelliklerin detaylanması, nefes darlığı olan hastalarla düzenli olarak ilgilenen klinisyenler için esastır. Uygun şekilde yapıldığında TTE, sağ ve sol kalp morfolojisi, sağ ve sol ventrikül fonksiyonu ve kapak anormallikleri hakkında detaylı bilgi sağlar ve hemodinamik parametrelerin tahminlerini verir.

Ayrıca, çok sayıda ekokardiyografik parametrenin, pulmoner hipertansiyonu olan hastalarda klinik sonucu öngördüğü, tedavi yanıtını izlemek için veya tedavide eskalasyon gerektirebilecek klinik bozulma için ek kanıt sağladığı gösterilmiştir (1). Fakat hastalık sürecinin erken dönemlerinde, ekokardiyografik anormallikler hemen göze çarpmayabilir ve tahmini pulmoner basınçta belirgin bir artış TTE'de belirgin olmayabilir.

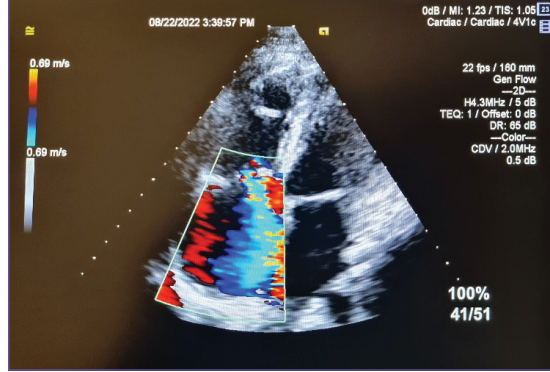
Triküspit Kapak Yetersizliği Zarfı Üzerinden Pulmoner Arter Basıncı Tahmini

Pulmoner hipertansiyonu değerlendirmek için en sık kullanılan ekokardiyografik parametre, triküspit yetersizliği (Resim 1a) CW Doppler jetinin zirve hızı (Resim 1b) olmasına rağmen, önemli klinik bilgiler sağlayabilen ilave pek çok ekokardiyografik gösterge de mevcuttur (1). Geleneksel ekokardiyografik teknikler, sağ ventrikülün karmaşık şekli nedeniyle sadece sağ ventrikül sistolik işlevinin ölçülmesine izin verse de, daha yeni teknikler, sağ ventrikülün hacmini ve kontraktilesini değerlendirmek için üç boyutlu değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu bölümde pulmoner hipertansiyon olan hastalarda bakılan geleneksel parametrelerin yanı sıra yeni ekokardiyografik parametreleri de irdeleneceğiz.

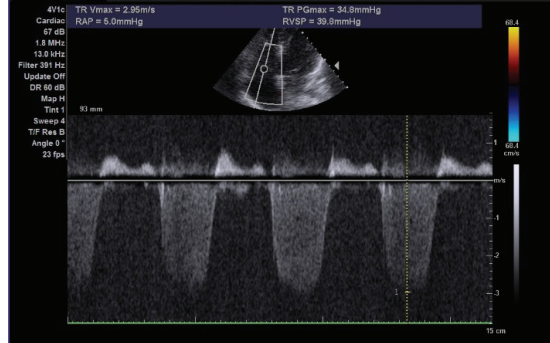
Sistolik pulmoner arter basınç tahminleri, sağ atriyum basıncının (RAP) invaziv olmayan tahminlerini hesaba katarak -pulmoner stenoz hariç tutulduktan sonra- zirve triküspit yetersizliği hızına (TRV) ve zirve TRV'den türetilen triküspit yetersizliği basınç gradyanına (TRPG) dayanır. RAP tahminindeki yanlışlıklar ve türetilmiş değişkenler kullanılarak ölçüm hatalarının amplifikasyonu göz önüne alındığında, bu kılavuz, pulmoner hipertansiyonun ekokardiyografik olasılığını değerlendirmek için anahtar değişken olarak zirve TRV'nin (tahmini sistolik pulmoner arter basıncının değil) kullanılmasını önerir (3-5). Tahmini sistolik pulmoner arter basıncı hesaplamak için modifiye bernoulli denklemi kullanılır ve bu sonuca tahmini sağ atriyal basıncı eklenir: tahmini sistolik pulmoner arter basıncı = $4 \times (\text{zirve triküspit yetersizliği hızı})^2 + \text{tahmini sağ atriyal basınç}$ (Resim 1,2) (6).

Doğru ölçüm, iyi tanımlanmış bir spektral iz kaydetmek için yeterli miktarda triküspit yetersizliği olmasını ve parasternal sağ ventrikül girişi, bazal kısa eksen, apikal uzun eksen ve subkostal dahil olmak üzere birden fazla pencerede değerlendirme gerektiren yetersiz akış yönü ile dikkatli hizalamayı gerektirir. Eksantrik jetler için eksen dışı değerlendirme gerekebilir. Ajite salin kontrastı, yetersiz triküspit regürjitasyon zarfı olan kişilerde spektral izi artırabilir. Ölçüm hataları, zirve hızın önemli ölçüde fazla veya eksik tahmin edilmesine neden olabilir. Doğru ölçüldüğünde bile, pulmoner arter sistolik basıncının TTE tahmini, kardiyak kateterizasyonda ölçülen gerçek basınçla karşılaştırıldığında önemli ölçüde değişebilir ve bu nedenle yalnızca bir tahmin olarak düşünülmelidir (3). Pulmoner hipertansiyon tanımının kardiyak

Resim 1. Renkli Doppler ekokardiyografi ile gösterilen triküspid kapak yetersizliği jeti (Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi Kardiyoloji Kliniği-Ekokardiyografi Laboratuvarı'ndaki arşivimizden kendi kayıtlarımızdan alınmıştır).



Resim 2. Pulmoner arter sistolik basıncını tahmin etmek için sağ atriyal basıncı eklenen zirve triküspit yetersizliği hızının CW Doppler ile ölçümü (Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi Kardiyoloji Kliniği-Ekokardiyografi Laboratuvarı'ndaki arşivimizden kendi kayıtlarımızdan alınmıştır).



kateterizasyon sırasında belirlenen ortalama pulmoner arter basıncına dayandığını belirtmek de oldukça önemlidir.

Pulmoner hipertansiyon tanımı kardiyak kateterizasyonda belirlenen ortalama pulmoner arter basıncına dayanmakla birlikte, en yaygın olarak bildirilen TTE triküspit yetersizliği yönteminin sistolik basıncın bir tahminini sağladığını da belirtmek önemlidir. Pulmoner hipertansiyonu düşündürdüğü düşünülen zirve triküspit yetersizliği hızları ve ek ekokardiyografik parametreler sırasıyla Tablo 1a ve 1b'de gösterilmiştir. Ayrıca, tahmini sistolik pulmoner arter basıncı, ortalama pulmoner arter basıncını tahmin etmek için de kullanılabilir (3): Tahmini ortalama pulmoner arter basıncı = $0,61 \times (\text{tahmini sistolik pulmoner arter basıncı}) + 2 \text{ mmHg}$.

Tablo 1a. Pulmoner hipertansiyon şüphesi taşıyan semptomatik olgularda ekokardiyografik pulmoner hipertansiyon olasılığı (7,8).

Zirve triküspit yetersizlik akımı hızı (m/s)	Diğer Ekokardiyografik PHT bulguları'nın varlığı (Tablo 2)	Ekokardiyografik olarak PHT olasılığı
≤ 2,8 ya da ölçülemeyen	Yok	Düşük
	Var	Orta
2,9-3,4	Yok	Orta
	Var	Yüksek
>3,4	Gerekli değil	Yüksek

Tablo 1b. Pulmoner hipertansiyonu öngören ek ekokardiyografik parametreler (7,8).

A: Ventriküller	B: Pulmoner arter	C: İnferior vena cava ve sağ atrium
Sağ ventrikül/ sol ventrikül bazal çap/alan oranı > 1	Sağ ventrikül çıkış yolu Doppler akselasyon zamanı > 105 msn ve/veya midsistolik çentiklenme	İnferior vena cava çapı > 21 mm ve azalmış inspiratuar kollaps (burun çekme ile < 50%, sessiz solumayla < 20%)
İnterventriküler Septumun Düzleşmesi (Sol Ventrikül Eksentrisite İndeksi Sistolde ve/veya Diastolde > 1.1)	Erken Diastolik Pulmoner yetersizlik Hızı > 2.2 msn	Sağ Atrium (End-Sistolik) Alan > 18 cm ²
TAPSE/sPAP < 0.55 mm/mmHg	Pulmoner Arter Çapı > 25 mm	

Not: Pulmoner hipertansiyonun ekokardiyografik olasılık düzeyini belirlemek için en az iki kategoriden (A/B/C) bulgu mevcut olmalıdır.

Pulmoner basıncı tahmin etmek için triküspit yetersizliği jet hızı üzerinden tahmininde hatalara neden olabilecek birkaç faktör vardır. Bunlardan birincisi, sağ ventrikülden sağ atriyal basınç gradyanı özellikle sağ ventrikül çıkış obstrüksiyonu veya pulmoner stenoz yokluğunda sistolik pulmoner arter basıncının doğru bir yansıması olacaktır (3-5).

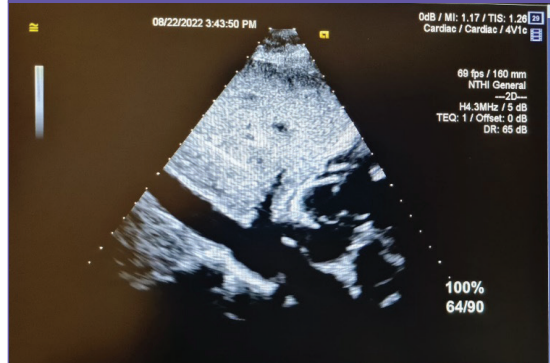
Şiddetli triküspit yetersizliğinde, sağ ventrikül ile atriyum arasında zirve hız profilini körelten hızlı basınç eşitlemesi meydana gelmektedir (9). Şiddetli sağ ventrikül sistolik disfonksiyonu veya düşük kalp debisi durumunda, pulmoner vasküler direnç yüksek olsa bile tahmini pulmoner basınç yüksek görünmeyebilir. Aksine, karaciğer hastalığı veya orak hücre hastalığı olan yüksek kalp debisi bulunan hastalarında ve hamile kadınlarda, zirve triküspit yetersizliği jet hızlarında ve pulmoner arteriyel basınçta artış olabilir, ancak böyle durumlarda pulmoner vasküler direnç düşüktür (1, 10).

İnferior Vena Kava Üzerinden Sağ Atriyum Basıncı Tahmini

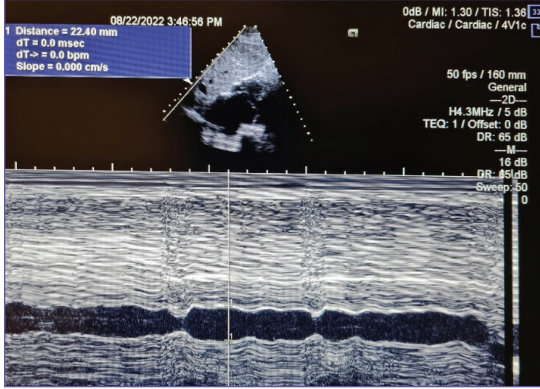
Pulmoner veya triküspid kapak yetersizliği jet hızları üzerinden pulmoner arter basıncını hesaplamak için sağ atriyal basıncın doğru bir tahmini gereklidir. Sağ atriyal basınç ayrıca ciddi pulmoner hipertansiyonda sağ kalp dekompanse olarak artan sağ ventrikül diastolik basıncının önemli bir göstergesidir. Hemodi-

namik olarak önemli triküspit kapak hastalığı da sağ atriyal basıncın artmasına neden olabilir. Bazı laboratuvarlar, ölçümdeki değişiklikleri önlemek için keyfi bir sabit sağ atriyal basınç (5 veya 10 mmHg gibi) seçer. Güncel kılavuzlar, sağ atriyal basıncı tahmin etmek için inferior vena kava çapının ve inspiratuar kollapsın derecesinin kullanılmasını önermektedir (Tablo 2) (Şekil 3,4) (11).

Jugüler ven basıncının klinik tahmini, sağ atriyal basıncın ekokardiyografik tahminini doğrulamak için yararlı olabilir. Sağ atriyal dilatasyon, artmış sağ

Resim 3. İnferior vena kavanın subkostal pence-reden 2D ekokardiyografi ile gösterilmesi (Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi Kardiyoloji Kliniği-Ekokardiyografi Laboratuvarı'ndaki arşivimizden kendi kayıtlarımızdan alınmıştır).

Resim 4. İnferior vena kavanın çapının ve kollaps derecesinin subkostal pencereden M-mod ekokardiyografi ile gösterilmesi (Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi Kardiyoloji Kliniği-Ekokardiyografi Laboratuvarı'ndaki arşivimizden kendi kayıtlarımızdan alınmıştır).



atriyal basıncın önemli bir göstergesi olabilir, ancak triküspit yetersizliğinden kaynaklanan volüm yüklemesinin de dikkate alınması gerekir.

Pulmoner Kapak Yetersizliği Zarfı Üzerinden Pulmoner Arter Basıncı Tahmini

Pulmoner hipertansiyonu olan hastaların yaklaşık %10'unda önemli derecede pulmoner kapak yetersizliği mevcuttur. Tahmini diyastolik pulmoner arter basıncı, aşağıdaki modifiye Bernoulli formülü kullanılarak Doppler zarfında gösterilen end-diyastolik hızdan tahmin edilebilir: Tahmini diyastolik pulmoner arter basıncı = $4 \times (\text{end-diyastolik pulmoner kapak yetersizlik hızı})^2 + \text{tahmini sağ atriyal basınç}$

Ortalama pulmoner arter basıncı, Doppler zarfından gösterilen erken diyastolik hızdan tahmin edilebilir: Ortalama pulmoner arter basıncı = $4 \times (\text{erken diyastolik pulmoner kapak yetersizlik hızı})^2 + \text{tahmini sağ atriyal basınç}$

Pulmoner kapak stenozu, pulmoner arter stenozu veya şiddetli pulmoner kapak yetersizliği durumunda, pulmoner yetersizlik Doppler zarfı üzerinden pulmoner arter basıncını değerlendirmek uygun olmayacaktır.

Sağ Ventrikül Çıkış Yolu Doppler Zarfı Üzerinden Pulmoner Arter Basıncı Tahmini:

Pulmoner kapağın sağ ventrikül çıkış yolu tarafından alınan PW Doppler zarfı üzerinden ölçülen akselerezasyon zamanı (Şekil 5), pulmoner vasküler direnç arttıkça kısalır. <90 milisaniye (ms)'lik bir akselerezasyon zamanı, pulmoner hipertansiyonu ve 3 wood biriminden daha büyük pulmoner vasküler direnci kuvvetle düşündürür (12). Akselerezasyon zamanı <120 ms ise, ortalama pulmoner arter basıncı, $90 - (0,62 \times \text{pulmoner akselerezasyon zamanı})$ formülü üzerinden de tahmin edilebilir (1).

Pulmoner PW Doppler zarfının şekli ve boyutu da bilgilendirici olabilir. Artan pulmoner akselerezasyon zamanı ek olarak, pulmoner hipertansiyon ilerledikçe pulmoner PW Doppler zarfının şekli ve boyutu da değişebilir ve mid-sistolik bir çentik görülebilir. Daha sonra, kardiyak atım hacmi azaldıkça, bu zarfın genel alanı da küçülmektedir. Sağ ventrikül çıkış yolu PW Doppler akım paterni (mid-sistolik çentiklenme) prekapiller pulmoner hipertansiyon düşündürebilir (13).

Pulmoner Vasküler Direnç Tahmin

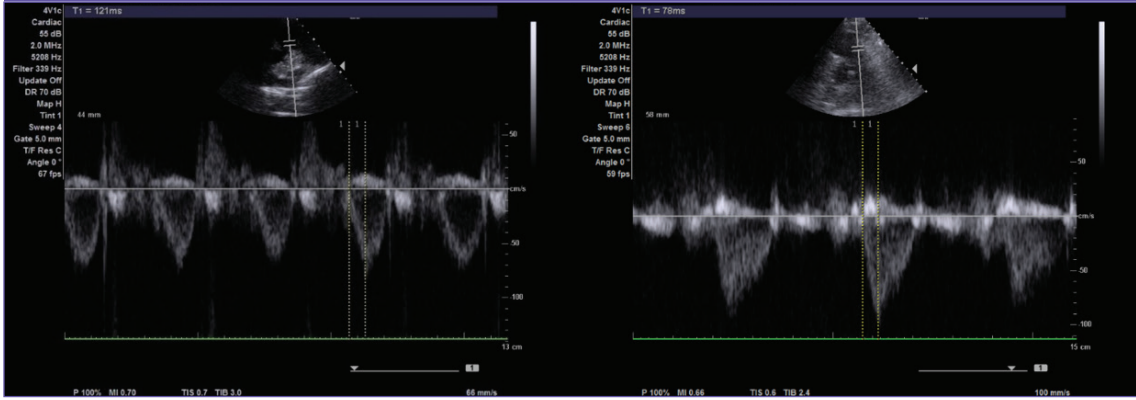
Teorik olarak, sol atriyal basınç normal görünüyorsa, pulmoner vasküler direnci tahmin etmek için ortalama pulmoner arter basıncı ve kardiyak debiden türetilen TTE ölçümleri kullanılabilir. Pulmoner vasküler direnç aşağıdaki ilişki ile belirlenir: Pulmoner vasküler direnç = $(\text{Ortalama pulmoner arter basıncı} - \text{ortalama sol atriyal basınç}) / \text{kalp debisi}$. Şu anda, bu tür hesaplamalar iyi doğrulanmamıştır ve klinik faydası bilinmemektedir. Pulmoner vasküler direnci tahmin

Tablo 2. İnferior vena kava çapı ve kollaps temelinde sağ atriyum basıncının tahmini.

Değişken	Normal (0-5 [3] mmHg)	Orta (5-10 [8] mmHg)	Yüksek (15 mmHg)
IVC* çapı	≤ 21 mm	≤ 21 mm	> 21 mm
Sniff hareketi ile kollaps	> %50	< %50	> %50
Yüksek sağ atriyum basıncının sekonder göstergeleri			• Restriktif dolum • Triküspit E/Em > 6 • Hepatik venlerde diyastolik akım baskınlığı (sistolik dolum fraksiyonu < %55)

*IVC: İnferior vena kava.

Resim 5. RVOT'den PW Doppler ile alınan zarf üzerinden normal (sol), kısalmış(sağ) pulmoner ak-selerasyon zamanının ölçümü. RVOT: sağ ventrikül çıkış yolu (Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi Kardiyoloji Kliniği-Ekokardiyografi Laboratuvarı'ndaki arşivimizden kendi kayıtlarımızdan alınmıştır).



etmek için bir dizi başka denklem de önerilmiş ve yakın zamanda yapılan bir derlemede ayrıntılı olarak açıklanmıştır (14).

Sağ ventrikül, ince duvarlı, düşük basınçlı bir pompa işlevi görmekte olup yapısal olarak sol ventrikülden oldukça farklıdır. Karmaşık, kabaca üçgen bir şekle sahip olan ve sol ventrikülü sararak kısa eksen görünümünde hilal şeklindeki anatomik görünümünden dolayı, Biplane Simpson's gibi teknikler kullanılamadığından, sağ ventrikül volüm ve ejeksiyon fraksiyonunun iki boyutlu ekokardiyografik değerlendirmesi oldukça zordur. Bununla birlikte, sağ ventrikül hakkında yararlı bilgiler sağlayan ve bazı sınırlamalarla birlikte önemli klinik veriler sağlayan çok sayıda metot bulunmaktadır.

Erken veya hafif pulmoner hipertansiyonda, sağ ventrikül, hacim ve sistolik fonksiyonunu koruyarak duvar gerilimini azaltan hipertrofi ile artan art yüke uyum sağlamaya çalışmaktadır. Hastalık ilerledikçe, sağ ventrikül genişlemesinin kötüleşmesi ve atım hacminin azalması olarak kendini gösteren ventrikulo-arteriyel ayrışma ortaya çıkmaya başlar. Pulmoner hipertansiyonda anormal TTE ölçümlerinin bir özeti Tablo 3'te gösterilmiştir.

Sağ Ventriküler Boyutlar

Sağ ventrikül boyutları genellikle dört boşluk pencerede, sağ ventrikülün maksimum genişliğinin ölçülmesini sağlamak için özellikle sağ ventrikül odaklı pencerede ölçülür. Sağ ventrikülün bazal seviyede 42 mm'den ve orta ventrikül seviyesinde 35 mm'den büyük çapı dilate olarak kabul edilir (15). Vücut boyutu ve yüksek düzeyde aerobik egzersiz, önemli kardiyovasküler patolojilerin yokluğunda normal aralığın dışında boyutlara neden olabilir.

Sağ ventrikül diyastol sonu alanından sol ventrikül diyastol sonu alanına veya biventriküler indeks, sol ventriküle göre sağ ventrikül dilatasyonunu da ölçen daha yakın zamanda açıklanan yeni bir indekstir. ≥ 0.93 'lük bir indeks, pulmoner hipertansiyonlu hastalarda artmış ölüm riski ile ilişkili olabilir (16); ancak şu anda normal aralıklar ve anormallik dereceleri belirlenmemiştir. Dilatasyon derecesi pulmoner vasküler hastalığın şiddetiyle orantısız ise, hacim yüklemesi veya kardiyomiyopati nedenleri düşünülmelidir.

Sağ Ventrikül Hipertrofisi:

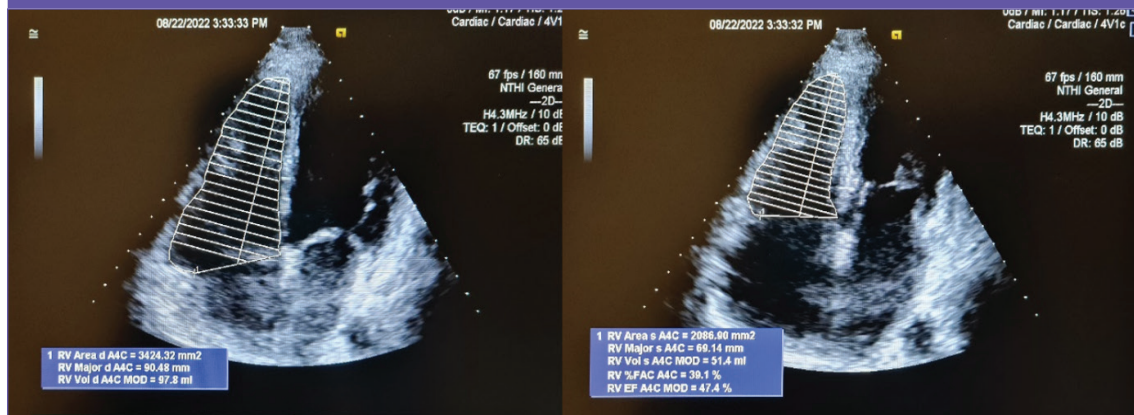
Sağ ventrikül hipertrofisi, pulmoner hipertansiyonda artan sağ ventrikül ard yüküne yanıt olarak gelişir ve hastalığın diğer belirgin patofizyolojisinin erken bir belirtisi olabilir. İdeal olarak, parasternal pencere bazen tek seçenek olsa da, sağ ventrikül duvar kalınlığı subkostal görünümde diyastolde ölçülmelidir. >5 mm duvar kalınlığı anormal kabul edilir (17).

Sağ Ventriküler Sistolik Fonksiyon:

Genel sağ ventrikül ejeksiyon fraksiyonunun subjektif değerlendirmesi, gözlemciler arası değişkenliğe eğilimlidir. Ventriküler sistolik fonksiyonun diğer kantitatif ölçümlerini dahil etmek, özellikle seri izleme ve prognoz için ihtiyatlıdır. Sağ ventrikül ejeksiyon fraksiyonunu değerlendirmek için doğru bir iki boyutlu ekokardiyografik yöntemin yokluğunda, fraksiyonel alan değişimi (FAD) genellikle sistolik disfonksiyonun temsilcisi olarak kabul edilen $< \%35$ ile bir vekil olarak hesaplanır (11). FAD (diyastol sonu alan - sistol sonu alan)/diyastol sonu alan $\times 100$ olarak tanımlanır ve üç boyutlu sağ ventrikül hacimsel değerlendirme ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (18). Trabekülasyonların ötesinde endokardiyal sınırın izlenmesiyle elde edilen bir örnek, Şekil 4'te gös-

Tablo 3. Pulmoner hipertansiyonda anormal sağ kalp ölçümlerinin özeti (1,11).

Değişkenler	Anormal
Zirve triküspid yetersizlik hızı	> 2.8 m/s
Sistolik pulmoner arter basıncı	> 40 mmHg
Pulmoner yetersizlik erken diastolik hız	> 2.2 m/s
Sağ ventrikül bazal çap	> 42 mm
Sağ ventrikül mid çap	> 35 mm
RVOT kısa aks distal çap	> 27 mm
Sağ atrium alanı (end-sistolik)	> 18 cm ²
TAPSE	< 17 mm
Sağ ventrikül S'm	< 10 cm/s
PW Doppler Tei indeksi	≥ 0.44
Doku Doppler Tei indeksi	≥ 0.55
FAD (%)	< 35%
3D Sağ Ventrikül Değerlendirme:	
End-diastolik volüm	≥ 87 mL/m ² (erkek)
	≥ 74 mL/m ² (kadın)
End-sistolik volüm	≥ 45 mL/m ² (erkek)
	≥ 36 mL/m ² (kadın)
Ejeksiyon fraksiyonu	< 45%
Sağ ventrikül subkostal duvar kalınlığı	> 5 mm

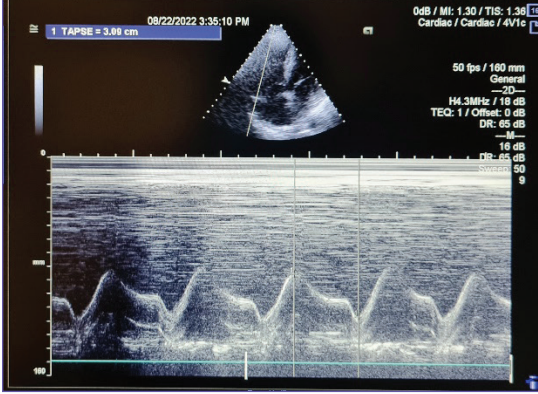
Resim 6. Sağ ventrikül fraksiyonel alan değişimi (FAD) 2D ekokardiyografi ile ölçümü (4a: diyastolik alan, 4b sistolik alan) (Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi Kardiyoloji Kliniği-Ekokardiyografi Laboratuvarı'ndaki arşivimizden kendi kayıtlarımızdan alınmıştır).

terilmiştir. FAD, sağ ventrikülü yalnızca bir düzlemde değerlendirdiğinden, sağ ventrikül sistolik fonksiyonunun diğer ölçümleri de değerlendirilmelidir.

Triküspit anüler düzlem sistolik hareketi (TAPSE), sağ ventriküler longitudinal kısalmayı ölçer ve apikal dört boşluk pencereden lateral triküspit anulusun M-modu kullanılarak elde edilen sistolik fonksiyonun başka bir temsildir (Şekil 6). TAPSE < 17 mm olduğunda sistolik disfonksiyon muhtemeldir.

Sağ ventrikül S' hızı, aynı bölgenin zirve sistolik doku Doppler hızından ölçülür. < 10 cm/saniye hız sistolik disfonksiyonu düşündürür. Bu yöntemlerin her ikisi de sağ ventrikülün küçük bir bölümünü değerlendirir ve bu nedenle çoğu hastada faydalı olmasına rağmen, bazı denekler ventrikülün bazal segmentlerinin göreceli olarak korunmasını gösterecek ve bu nedenle TAPSE ve S' nispeten normal görünebilir. Bu nedenle, bu sonuçların, mevcut tüm bilgileri dikkate alan genel bir işlev değerlendirmesine dahil edilmesi önemlidir.

Resim 7. Triküspit anüler düzlem sistolik hareketi (TAPSE) M-mod ekokardiyografi ile ölçümü
(Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi Kardiyoloji Kliniği-Ekokardiyografi Laboratuvarı'ndaki arşivimizden kendi kayıtlarımızdan alınmıştır).



Ayrıca, TAPSE/ sPAP oranı - sağ ventrikül-pulmoner arter eşleşmesinin non-invaziv bir ölçüsünü temsil etmektedir. Pulmoner hipertansiyonun teşhisinde ve takibinde yardımcı olabilir (19-21).

Klinik uygulamaya giderek daha fazla dahil edilen daha yeni ekokardiyografik teknikler gelişmiştir. Üç boyutlu ekokardiyografi, disklerin toplamını veya yüzey modellemesini kullanarak sağ ventrikülün doğru hacimsel değerlendirmesini sağlar ve sağ ventrikül sistolik fonksiyonunun en doğru ekokardiyografik ölçümüdür (22), ancak suboptimal olan hastalarda yeterli veri toplama zordur. TTE pencereleri ve veri toplama ve analizinde yeterli uzmanlık esastır.

Sağ ventrikülü değerlendirmek için strain görüntüleme gelişen bir alandır. Strain, miyokardiyal deformasyondaki yüzde değişim olarak tanımlanır ve strain rate, deformasyon oranını tanımlar. Bu parametreler doku doppler veya spectle tracking kullanılarak ölçülür. Sağ ventrikül straininin pulmoner hipertansiyon varlığında prognostik önemi olduğunu gösteren bazı veriler vardır, ancak en önemli deformasyon tipi ve normatif değerler tam olarak oluşturulmamıştır (23-25). Halihazırda, bu alandaki verilerin çoğu, global longitudinal straini araştırmıştır. Longitudinal and circumferential straini içeren bir göreceli alan değişikliği ölçüsü olan alan straini, yararlı bir klinik araç olarak umut vaat etmektedir (26).

Sağ Ventriküler Global Performans

Sağ ventrikül global performans ölçümleri hem diyastolik hem de sistolik işlevi yansıtır. Miyokardiyal performansın sağ ventrikül indeksi, genel

(sistolik ve diyastolik) ventriküler fonksiyonun bir ölçüsüdür ve sağ ventrikül izovolümik kasılma süresinin izovolümik gevşeme süresine eklenmesi ve toplamın darbeleri dalga Doppler veya doku Doppler kullanılarak ejeksiyon süresine bölünmesiyle hesaplanır. Üst referans limiti, PW Doppler ile 0,40 ve doku Doppler ile 0,55'tir (17). Bu yöntem rutin klinik uygulamada yaygın olarak kullanılmamaktadır. Global ventriküler performansı yansıtan kolayca ölçülebilen başka bir parametre, triküspit yetersizlik jetinin sürekli dalga Doppler profilinden kaydedilen sistol ve diyastol sürelerini basitçe karşılaştıran sistolik ile diyastolik süre oranıdır. Daha yüksek bir sistolik/diyastolik süre oranının, daha kötü sağ ventrikül sistolik fonksiyonu, hemodinamik, fonksiyonel kapasite ve pediatrik pulmoner hipertansiyon ve Eisenmenger sendromunda klinik sonuçlarla ilişkili olduğu gösterilmiştir (27-28). Çocuklarda > 1.4 oranı özellikle kötü prognoz ile ilişkilidir (27). Erişkin pulmoner hipertansiyon durumunda spesifik kesim noktaları belirlenmemiştir, ancak sistolik süreden çok daha kısa olan bir diyastolik süre, normal sinüs ritmindeyken genellikle endişe verici bir işarettir.

Sağ Ventriküler Diyastolik Fonksiyon

Sağ ventrikül diyastolik basıncını değerlendirmenin en basit yolu sağ atriyal basıncı tahmin etmektir. Daha az sıklıkta da olsa diğer parametreler de kullanılır ve PW Doppler ile ölçülen triküspit inflow hızları ve doku Doppler ile lateral triküspit anüler hızlar dahil olmak üzere sol ventrikül diyastolik fonksiyonunu değerlendirmek için kullanılan yöntemlere benzerdir. E/E' oranı > 4 artmış sağ atriyal basıncı düşündürülebilir (29). Hepatik venlerdeki diyastolik akım baskınlığı (PW Doppler ile ölçülen) ayrıca sağ ventrikül diyastolik işlev bozukluğunu düşündürülebilir.

Perikardiyal Efüzyon Varlığı

Pulmoner hipertansiyon olan hastalarda perikardiyal efüzyonun varlığı, belki Eisenmenger sendromu dışında, kötü bir prognostik belirteçtir (14,28,30). Perikardiyal efüzyon gelişimi, muhtemelen sağ atriyum basıncında belirgin bir artışı yansıtır, çünkü perikardiyal lenfatikler koroner sinüs yoluyla sağ atriya akar. Perikardiyal efüzyon, pulmoner hipertansiyon tedavisinin optimizasyonu ile düzelebilir. Bazen, perikardiyal efüzyonun altında başka bir neden yatabilir ve bu nedenle, bir hastada sağ kalp hemodinamisinde önemli bir düzensizlik yoksa, kalbin ve/veya perikardın otoimmün tutulumu gibi diğer etiyolojiler düşünülmelidir.

Sağ Ventrikül Sistol Sonu remodelling indeksi

Yakın zamanda ortaya atılan bu parametre, sağ ventrikül sistol sonu yeniden şekillenme indeksi, sistol sonu sağ ventrikül serbest duvar uzunluğunun (apeksten triküspit annüse kadar) septal uzunluğa oranıdır ve olumsuzluğun derecesi hakkında ek nicel bilgi sağlar. sağ ventrikül yeniden şekillenmesi. < 1.35 remodelling indeksi normalin üst sınırlarındadır ve yeterli sağ ventrikül adaptasyonunu gösterir. 1.35 ile 1.70 arasındaki bir endeks, olumsuz remodellingi gösterir. İndeks > 1.7 , pulmoner hipertansiyon durumunda ciddi olumsuz remodelingi düşündürür (31).

Ventrikül Septal Düzleşme

İki ventrikül arasındaki sistolik basınç farkı azalırsa, parasternal kısa eksen pencerede sistol sırasında interventrikül septum düzleşerek D şeklinde bir sol ventrikül ve daha yuvarlak bir sağ ventrikül oluşur. Sağ ve sol ventrikül oranının >1.0 olması, sağ ventrikül basınç yüklemesini yüksek oranda düşündürür (1). Sağ ventrikül diyastolik basıncı, sol ventrikül diyastolik basıncına yaklaşır veya aşarsa, izole diyastolik interventrikül düzleşme görülebilir.

Sol Kalp Hastalıklarında Ekokardiyografi

Sol kalp hastalıkları ilişkili pulmoner hipertansiyon ile diğer pulmoner hipertansiyon formları arasında ayırım yapmak ve sol ventrikül diyastolik disfonksiyonu olasılığını değerlendirmek için, sol atriyum boyutu ve sol ventrikül hipertrofisi belirtileri her zaman ölçülmelidir ve doppler ekokardiyografik bulgular (örneğin; E/A oranı, E/E') değerlendirilmelidir. Mitral inflowun ve pulmoner venlerin PW Doppler'i ile lateral ve medial mitral anulusun doku Doppler değerlendirmesinin birlikte kullanıldığı ölçümler dahil edilerek tahmin edilebilir. $E/E' > 14$ diyastolik disfonksiyonu düşündürür (32). İnteratriyal septumun soldan sağa doğru bombeleşmesi de yüksek sol atriyal basıncı düşündürür. Atriyal aritmiler veya düzensiz kalp hızının diğer nedenleri veya atriyoventrikül senkronizasyon kaybı bu yöntemlerden bazılarını geçersiz kılabilir. Son zamanlarda ekokardiyografik pulmoner/sol atriyal oran (ePLAR), pulmoner vasküler direnci yüksek hastaları sol kalp hastalığına bağlı pulmoner hipertansiyonu olan hastalardan ayırmaya yardımcı olmak için basit bir ölçü olarak önerilmiştir (33).

Sinüs venozus atriyal septal defektleri, patent duktus arteriyozus ve/veya anormal pulmoner venöz dönüş gibi bazı defektleri saptamak veya dışlamak için tran-

sözofageal kontrastlı ekokardiyografi, bilgisayarlı tomografi, magnetik rezonan görüntüleme gereklidir (34). Egzersiz Doppler ekokardiyografinin egzersiz pulmoner hipertansiyonunu belirlemedeki klinik değeri, onaylanmış kriterlerin ve ileriye dönük doğrulayıcı verilerin olmaması nedeniyle belirsizliğini koruyor. Çoğu durumda, egzersiz sırasında tahmini sistolik pulmoner arter basıncındaki artışlara diyastolik sol ventrikül disfonksiyonu neden olmaktadır (35).

Pulmoner Hipertansiyonda Ekokardiyografinin Prognostik Faydası

Tei indeksi, sağ atriyal alan, inferior vena kava çapı, TAPSE, tahmini ortalama ve diyastolik pulmoner arter basıncı, daha fazla interventrikül septal shift, sağ ventrikül çapları, biventrikül indeks ve sağ ventrikül sistol sonu yeniden şekillenme oranının hepsinin pulmoner hipertansiyon durumunda olumsuz klinik sonuçlarla ilişkili olduğu bildirilmiştir (16,30,31,36-39). Ayrıca, yukarıda bahsettiğim birçok ekokardiyografik parametrenin hemen hemen hepsinin prognostik faydası olduğu gösterilmiştir.

Ekokardiyografi, pulmoner hipertansiyon için bir tarama aracı olarak önemli bir role sahiptir. Artan pulmoner basınç için doğrudan ve dolaylı kanıt sağlamanın yanı sıra, potansiyel nedenler de tanımlanabilir. Ekokardiyografik verilerin prognostik faydası vardır ve tedaviye yanıtı ve tedaviyi artırma ihtiyacının değerlendirilmesine yardımcı olabilir. Geleneksel ekokardiyografik teknikler sağ ventrikül hacimlerinin, ejeksiyon fraksiyonunun ve global kontraktilitenin doğru bir şekilde değerlendirilmesi için yetersiz olsa da, üç boyutlu ekokardiyografi gibi daha yeni ekokardiyografik teknikler bu indekslerin doğru bir şekilde değerlendirilmesine izin verir ve teknoloji, deneyim ve kanıt temeli geliştikçe klinik uygulamada giderek daha fazla kullanılmaktadır.

Klinik pratiğimizde yukarıda bahsedilen ekokardiyografik parametrelerinin hesaplanmasının zaman alıcı olması, ülkemiz şartlarında hastaya ayrılan sürenin kısıtlı olması nedeniyle, her hastada bütün ekokardiyografik parametrelerin ayrı ayrı değerlendirilmesi mümkün olmamaktadır. En azından 3-5 parametrenin ekokardiyografi raporunda bulunması pulmoner hipertansiyon klinik şüphesi olan hastalarda yol gösterici olacaktır. Seçilmiş hastalarda daha detaylı inceleme için bakılan bu ekokardiyografik parametrelerin sayısı daha da artırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Cordina RL, Playford D, Lang I, Celermajer DS. State-of-the-Art Review: Echocardiography in Pulmonary Hypertension. *Heart Lung Circ.* 2019 Sep;28(9):1351-1364.
2. Galderisi M, Cosyns B, Edvardsen T, Cardim N, et al. 2016-2018 EACVI Scientific Documents Committee; 2016-2018 EACVI Scientific Documents Committee. Standardization of adult transthoracic echocardiography reporting in agreement with recent chamber quantification, diastolic function, and heart valve disease recommendations: an expert consensus document of the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2017 Dec 1;18(12):1301-1310.
3. Fisher MR, Forfia PR, Chamera E, Houston-Harris T, et al. Hassoun. Accuracy of Doppler echocardiography in the hemodynamic assessment of pulmonary hypertension. *Am J Respir Crit Care Med.* 2009 Apr 1;179(7):615-21.
4. Arcasoy SM, Christie JD, Ferrari VA, Sutton MS, et al. Echocardiographic assessment of pulmonary hypertension in patients with advanced lung disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003 Mar 1;167(5):735-40.
5. Farber HW, Foreman AJ, Miller DP, McGoon MD. REVEAL Registry: correlation of right heart catheterization and echocardiography in patients with pulmonary arterial hypertension. *Congest Heart Fail.* 2011 Mar-Apr;17(2):56-64.
6. Yock PG, Popp RL. Noninvasive estimation of right ventricular systolic pressure by Doppler ultrasound in patients with tricuspid regurgitation. *Circulation.* 1984 Oct;70(4):657-62.
7. Galiè N, Humbert M, Vachiery JL, Gibbs S, 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 Respir J.* 2015 Oct;46(4):903-75.
8. Humbert M, Kovacs G, Hoeper MM, Badagliacca R, et al; ESC/ERS Scientific Document Group. 2022 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension. *Eur Respir J.* 2022 Aug 30;2200879.
9. Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F, Milojevic M, et al. ESC/EACTS Scientific Document Group. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J.* 2022 Feb 12;43(7):561-632.
10. Fonseca GH, Souza R, Salemi VM, Jardim CV, et al. Pulmonary hypertension diagnosed by right heart catheterisation in sickle cell disease. *Eur Respir J.* 2012 Jan;39(1):112-8.
11. Galiè N, Humbert M, Vachiery JL, Gibbs S, et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed).* 2016 Feb;69(2):177.
12. Tossavainen E, Söderberg S, Grönlund C, Gonzalez M, et al. Pulmonary artery acceleration time in identifying pulmonary hypertension patients with raised pulmonary vascular resistance. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2013;14:890-7.
13. Takahama H, McCully RB, Frantz RP, Kane GC. Unraveling the RV Ejection Doppler Envelope: Insight Into Pulmonary Artery Hemodynamics and Disease Severity. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2017 Oct;10(10 Pt B):1268-1277.
14. Arnott C, Cordina R, Celermajer DS. The Echocardiographic Characteristics and Prognostic Significance of Pericardial Effusions in Eisenmenger Syndrome. *Heart Lung Circ.* 2018 Mar;27(3):394-396.
15. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr.* 2015 Jan;28(1):1-39.e14.
16. Goda A, Ryo K, Delgado-Montero A, Tayal B, et al. The Prognostic Utility of a Simplified Biventricular Echocardiographic Index of Cardiac Remodeling in Patients with Pulmonary Hypertension. *J Am Soc Echocardiogr.* 2016;29:554-60.
17. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, Hua L, et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2010 Jul;23(7):685-713; quiz 786-8.
18. Lai WW, Gauvreau K, Rivera ES, Saleeb S, et al. Accuracy of guideline recommendations for two-dimensional quantification of the right ventricle by echocardiography. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2008 Oct;24(7):691-8.
19. Tello K, Axmann J, Ghofrani HA, Naeije R, et al. Relevance of the TAPSE/PASP ratio in pulmonary arterial hypertension. *Int J Cardiol.* 2018 Sep 1;266:229-235.
20. Tello K, Wan J, Dalmer A, Vanderpool R, et al. Validation of the Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion/Systolic Pulmonary Artery Pressure Ratio for the Assessment of Right Ventricular-Arterial Coupling in Severe Pulmonary Hypertension. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2019 Sep;12(9):e009047.
21. Guazzi M, Dixon D, Labate V, Beussink-Nelson L, et al. RV Contractile Function and its Coupling to Pulmonary Circulation in Heart Failure With Preserved Ejection Fraction: Stratification of Clinical Phenotypes and Outcomes. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2017 Oct;10(10 Pt B):1211-1221.
22. Gopal AS, Chukwu EO, Iwuchukwu CJ, Katz AS, et al. Normal values of right ventricular size and function by real-time 3-dimensional echocardiography: comparison with cardiac magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiogr.* 2007 May;20(5):445-55.
23. Hardegree EL, Sachdev A, Villarraga HR, Frantz RP, et al. Role of serial quantitative assessment of right ventricular function by strain in pulmonary arterial hypertension. *Am J Cardiol.* 2013 Jan 1;111(1):143-8.
24. Fine NM, Chen L, Bastiansen PM, Frantz RP, et al. Outcome prediction by quantitative right ventricular function assessment in 575 subjects evaluated for pulmonary hypertension. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2013;6(5):711-21.
25. Okumura K, Humpl T, Dragulescu A, Mertens L, et al. Longitudinal assessment of right ventricular myocardial strain in relation to transplant-free survival in children with idiopathic pulmonary hypertension. *J Am Soc Echocardiogr.* 2014;27(12):1344-51.

26. Mocerì P, Duchateau N, Baudouy D, Schouver ED, et al. Three-dimensional right-ventricular regional deformation and survival in pulmonary hypertension. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017
27. Alkon J, Humpl T, Manlhiot C, et al. Usefulness of the right ventricular systolic to diastolic duration ratio to Echocardiography in Pulmonary Hypertension 1363 predict functional capacity and survival in children with pulmonary arterial hypertension. *Am J Cardiol* 2010;106(3):430-6.
28. Alkon J, Humpl T, Manlhiot C, McCrindle BW, et al. Echocardiographic predictors of outcome in Eisenmenger syndrome. *Circulation* 2012;126(12):1461-8.
29. Sade LE, Gulmez O, Eroglu S, Sezgin A, et al. Noninvasive estimation of right ventricular filling pressure by ratio of early tricuspid inflow to annular diastolic velocity in patients with and without recent cardiac surgery. *J Am Soc Echocardiogr* 2007;20(8):982-8.
30. Raymond RJ, Hinderliter AL, Willis PW, Ralph D, et al. Echocardiographic predictors of adverse outcomes in primary pulmonary hypertension. *J Am Coll Cardiol* 2002;39:1214-9.
31. Amsallem M, Sweatt AJ, Aymami MC, Kuznetsova T, et al. Right heart end-systolic remodeling index strongly predicts outcomes in pulmonary arterial hypertension: comparison with validated models. *Circ Cardiovasc Imaging* 2017;10(6).
32. Nagueh SF, Appleton CP, Gillebert TC, Marino PN, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. *Eur J Echocardiogr*. 2009 Mar; 10(2):165-93.
33. Scalia GM, Scalia IG, Kierle R, Beaumont R, et al. ePLAR - The echocardiographic Pulmonary to Left Atrial Ratio - A novel non-invasive parameter to differentiate pre-capillary and post-capillary pulmonary hypertension. *Int J Cardiol*. 2016 Jun 1;212:379-86.
34. Baumgartner H, De Backer J, Babu-Narayan SV, Budts W, et al. ESC Scientific Document Group. 2020 ESC Guidelines for the management of adult congenital heart disease. *Eur Heart J*. 2021 Feb 11;42(6):563-645.
35. Pieske B, Tschöpe C, de Boer RA, Fraser AG, et al. How to diagnose heart failure with preserved ejection fraction: the HFA-PEFF diagnostic algorithm: A consensus recommendation from the Heart Failure Association (HFA) of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2019 Oct 21;40(40):3297-3317.
36. Yeo TC, Dujardin KS, Tei C, Mahoney DW, et al. Value of a Doppler-derived index combining systolic and diastolic time intervals in predicting outcome in primary pulmonary hypertension. *Am J Cardiol*. 1998 May 1;81(9):1157-61.
37. Brierre G, Blot-Souletie N, Degano B, Têtu L, et al. New echocardiographic prognostic factors for mortality in pulmonary arterial hypertension. *Eur J Echocardiogr*. 2010 Jul;11(6):516-22.
38. Forfia PR, Fisher MR, Mathai SC, Houston-Harris T, et al. Tricuspid annular displacement predicts survival in pulmonary hypertension. *Am J Respir Crit Care Med*. 2006 Nov 1;174(9):1034-41.
39. Ghio S, Pazzano AS, Klersy C, Scelsi L, et al. Clinical and prognostic relevance of echocardiographic evaluation of right ventricular geometry in patients with idiopathic pulmonary arterial hypertension. *Am J Cardiol*. 2011 Feb 15;107(4):628-32.