

# Pulsed Doppler Ekokardiyografi ile Saptanan Pulmoner-Sistemik Basınç Oranını Kullanarak Pulmoner Arter Basıncının Belirlenmesi

Uz. Dr. Oktay SANCAKTAR, Uz. Dr. Ali Rıza KAZAZOĞLU, Doç. Dr. Tuğrul OKAY, Uz. Dr. Serdar AKSÖYEK, Prof. Dr. Mehmet ÖZDEMİR

Koşuyolu Kalp ve Araştırma Hastanesi, İstanbul

## ÖZET

Bu çalışmada yeni bir metod olan pulsed Doppler ekokardiyografi ile saptanan pulmoner-sistemik basınç oranları kullanılarak pulmoner arter basınçları belirlenmiştir. Yaşları 7-62 arasında değişen ve kardiyak kataterizasyonları yapılan 66 olgu çalışmaya alındı. 66 olgunun sağ ve sol ventrikül çıkış yolu akım hızları pulsed Doppler ile incelendi. Akım örneklerinde preejeksiyon süresi (PES), ejeksiyon zamanı (EZ) ile ortalama akselerasyon-maksimum hız oranı (maksimum akım hız/akselerasyon zamanı) (oAMII) ölçüldü. Her iki ventrikülün çıkış yollarından kaydedilen ve her ventrikülün enjeksiyon akım dinamiklerini yansıtan Doppler akımlarından,  $F=(PES \times oAMII) / EZ$  değeri sağ ve sol ventrikül çıkış yolları için hesaplandı.

Sağ ve sol ventrikül çıkış yolu  $F$  değerlerinin oranı (sağ ventrikül  $F$ /sol ventrikül  $F$ ) her olgunun sağ ve sol ventrikül çıkış yolu akım hızlarındaki basınca bağımlı değişkenliğin derecesini yansıtmak için kullanıldı. Sağ ve sol ventriküllerin  $F$  değerlerinin oranlarının sistolik ve ortalama pulmoner ile sistemik basınçlarının oranlarına büyük benzerlik gösterdiği saptandı ( $r=0.97 \pm 0.05$ ;  $r=0.96 \pm 0.07$ ). Sağ ve sol ventrikül  $F$  değerleri oranının koldan ölçülen sistolik arter basıncı ile çarpılması sonucu elde edilen değerlerin hemen hemen tam olarak sistolik pulmoner arter basıncını vrediği gözlemlendi. Sonuçta bu bulgular bu metodu noninvasiv olarak sistolik pulmoner arter basıncını belirlemede başarı ile kullanılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Pulmoner arter basıncı, Doppler ekokardiyografi

Doppler ekokardiyografinin klinik kullanıma girmesi pulmoner arter basıncının belirlenmesine yönelik çeşitli non-invaziv yöntemlerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu yöntemler başlıca 3 gruba ayrılabilir.

1. Sağ ventrikül izovolemik relaksasyon zamanı (1-3).
2. Triküspid yetmezliğinden yararlanarak hesaplanan basınç gradientleri (3-6).
3. Pulmoner sistolik akım indeksleri (3,7-12).

Bu yöntemler içinde triküspid yetmezliği aracılığı ile saptanan transtriküspid gradient en kolay ve doğru sonucu vermektedir. Ancak total populasyon içinde Doppler ile saptanabilen triküspid yetmezliği oranı % 60-70 dolayındadır (3,4).

Sistolik pulmoner akım indeksleri ise çoğu olgularda ölçülebilmemesine karşın transtriküspid gradienti kadar güvenilir bir yöntem değildir (3). Sağ ventrikül izovolumik relaksasyon zamanı ölçümü ise olguların ancak % 20-25'inde mümkün olabilmektedir (3).

Bu çalışmada yeni bir yöntemle, pulsed Doppler ekokardiyografi ile elde edilen sağ ve sol ventrikül çıkış yolu akım örneklerini ve sistemik arter basıncını kullanarak pulmoner arter basıncının belirlenmesi hedeflendi. Pulmoner arter basıncını sistemik arter basıncının bir fraksiyonu olarak belirleyen bu yeni yöntemin çeşitli olgu gruplarında uygulanabilirliği ve güvenilirliği de araştırıldı.

## MATERYEL VE METOD

### Olgu grubu

Yaşları 7 ile 62 (ortalama 34) arasında değişen ve kardiyak kateterizasyonları yapılan 69 olgu çalışmaya alındı. Olguların hiçbirinde sağ veya sol ventrikül çıkış yolu obstrüksiyonu ve komplet dal bloğu yoktu. Olguların klinik tanıları Tablo 1'de gösterilmiştir. Çalışma grubuna alınan olguların tümüne kardiyak kateterizasyondan 24 saat önce Doppler ve iki boyutlu ekokardiyografik inceleme yapıldı. Olguların tümünde Doppler incelemesi istirahat anında ve sedasyon olmadan yapıldı.

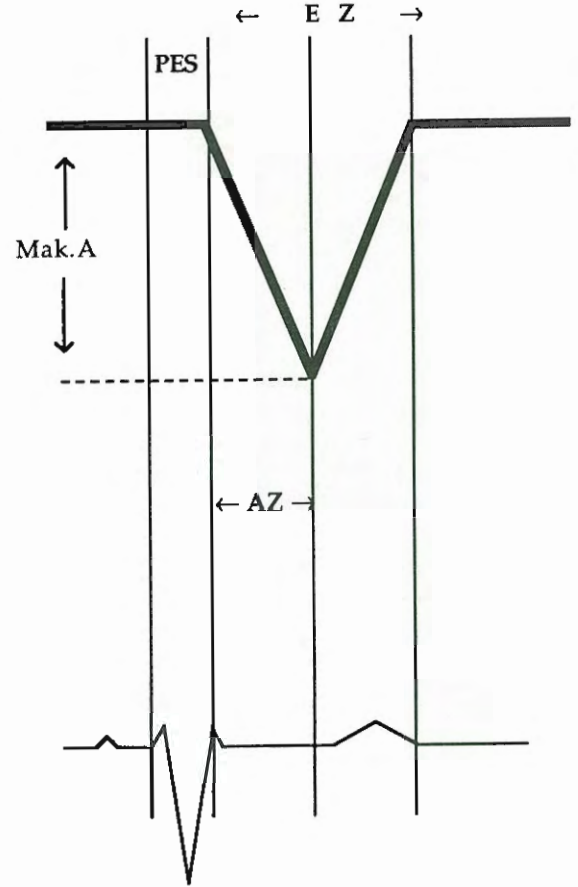
### Ultrasonografik inceleme ve Doppler Tekniği

Doppler incelemeleri olgular sırtüstü veya sol yan yatar pozisyonda yapıldı. İki boyutlu ekokardiyografi ve Doppler görüntüleri General Electric Pass C cihazı ile 2.5 ve 5.0 MHz transdüser kullanılarak elde edildi. Doppler sinyalleri 100 mm/sn.'lik hızda 3M 8100 kuru gümüş kağıda yazdırıldı. İnterval ölçümleri için Doppler sinyalleri ile birlikte olguların tek kanal elektrokardiyogramları da kaydedildi. Doppler akım hızı sinyalleri, akımının başlangıç ve sonlanışını en doğru şekilde belirlemek için büyüklüğü ortalama 5 mm olan "sample volume" ve en düşük duvar filtresi kullanılarak kaydedildi. Sağ ventrikül çıkış yolu akımı için standart parasternal kısa eksende iki boyutlu ekokardiyografik görüntü altında Doppler sinyalleri alındı. Pulmoner kapağın kapanış "spike"ının ortaya çıkması ve bu sayede pulmoner akımın sonlanışını daha iyi belirlemek için "sample volume" pulmoner kapağın hemen proksimaline yerleştirildi (13). En yüksek akım hızı ve

yüksek tonda sinyaller elde etmek için transdüser hafifçe gerektiği şekilde açıldı. Sol ventrikül çıkış yolu akım kayıtları için ise apikal 5 boşluk pozisyonu kullanıldı. Tüm ölçümler kaydedilen Doppler eğrilerinin en koyu hatı takip edilerek yapıldı. Kan basıncı ölçümleri her Doppler incelemesinden hemen önce istirahat anında sağ koldan ölçüldü (14).

### Doppler ölçümleri

Her iki ventrikül çıkış yolundan kaydedilen ve mümkün olduğu kadar peşpeşe gelen en az 5 aumda Doppler akım örnekleri incelendi ve her parametre için ortalama değer elde edildi. Preejeksiyon süresi (PES), ejeksiyon zamanı (EZ) ve ortalama akselerasyon - maksimum hız oranı (maksimum akım hızı / akselerasyon zamanı=0AMH) sağ ve sol ventrikül çıkış yolundan kaydedilen Doppler akım örneklerinden ölçüldü (Şekil 1).



Şekil 1. Doppler ölçümlerinin gösterilmesi. Mak. A: Maksimum akım hızı, PES: Preejeksiyon süresi, AZ: Akselerasyon zamanı, ES: Ejeksiyon zamanı.

Tablo 1. Çalışma grubundaki olguların tanıları

Atriyal septal defekt	9
Ventriküler septal defekt	8
Ebstein	1
A-V fistül	1
Koronar arter hastalığı	13
Romatizmal KH	
- Mitral darlığı	19
- MD+MY	5
- Mitral yetmezliği	3
- MD+Aort yetmezliği	4
- Aort yetmezliği	3
	66



Her ventrikülün akım dinamiklerini yansıtan Doppler akım eğrilerinden  $F=(PES \times oAMH)/EZ$  değeri sağ ve sol ventrikül çıkış yolları için ayrı ayrı hesaplandı. Sağ veya sol ventrikül F değerleri oranları ile sistolik ve ortalama pulmoner / aorta basınç oranları karşılaştırıldı. Sonuçta, sağ ventrikül F / sol ventrikül F oranının koldan indirekt ölçülen sistolik kan basıncı ile çarpımı ( $FSgV/FSIV \times KB$ ) pulmoner arter basıncının hesaplanması için kullanıldı.

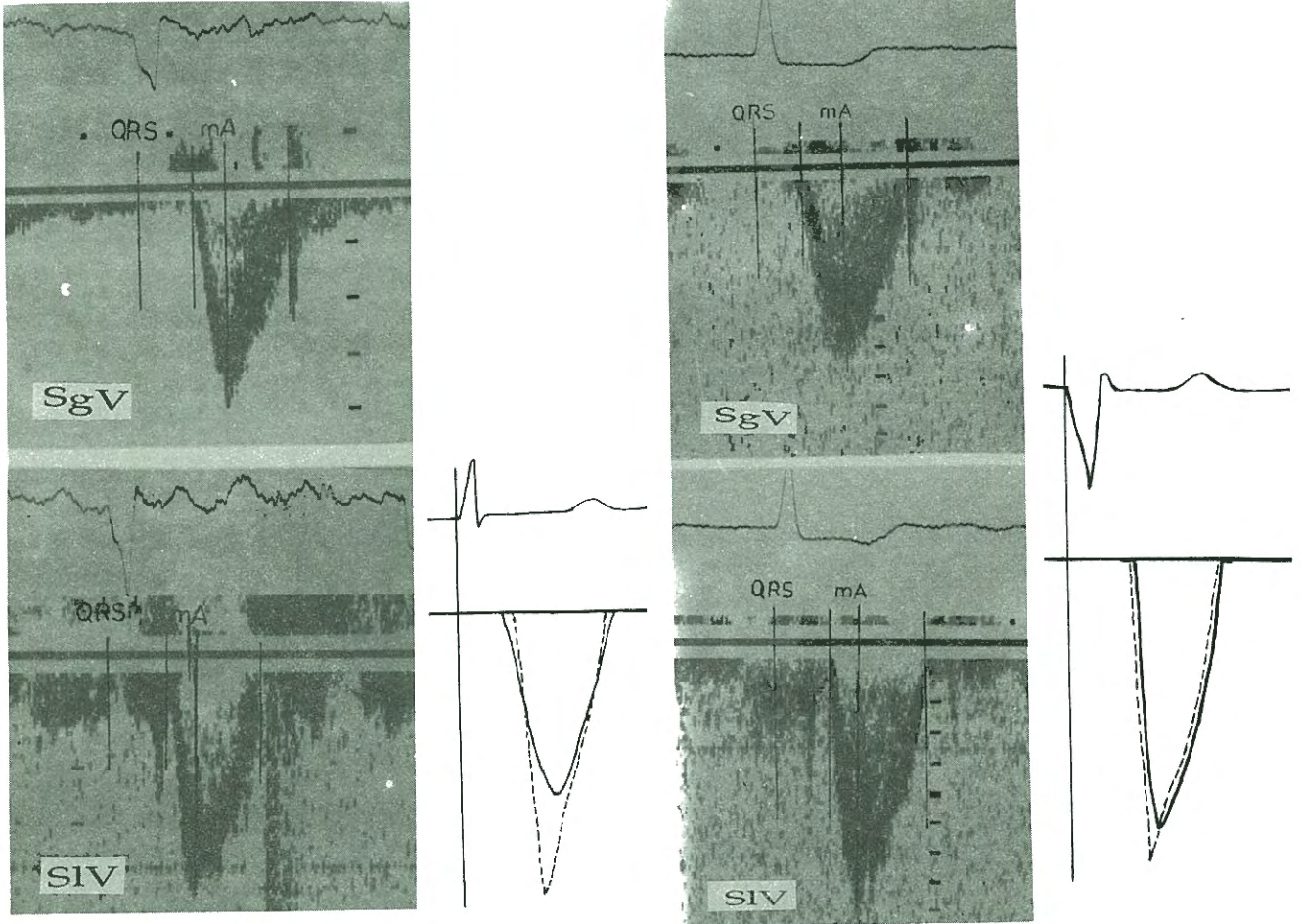
Karşılaştırma amacıyla ve bu ölçüm sisteminin diğer tekniklerle benzer olduğuna emin olmak için sistolik ve ortalama pulmoner arter basınçları düzeltilmiş akselerasyon zamanı ile karşılaştırıldı (3,9). Değişik kalp hızlarında düzeltme zaman indekslerini siklus uzunluğunun (yani RR intervali) kare köküne bölünerek yapıldı.

### Kardiyak kateterizasyon

Hemodinamik ölçümler standart teknikler kullanılarak yapıldı. Tüm pediyatrik olgular işlemiden 30 dakika önce intramüsküler olarak injekte edilen meperidin (2 mgr/kg), promethazin (1 mgr/kg) ve klorpromazin (1 mgr/kg) bileşimi ile sedatize edildi. Yetişkinlere ise kardiyak kateterizasyondan 30 dakika önce 10 mgr diazepam intramüsküler olarak uygulandı. Basınçlar içi sıvı dolu kateter sistemi ile veya kateter ucunda mikromanometreli Millar kateterleri ile ölçüldü.

### İstatistiksel analiz

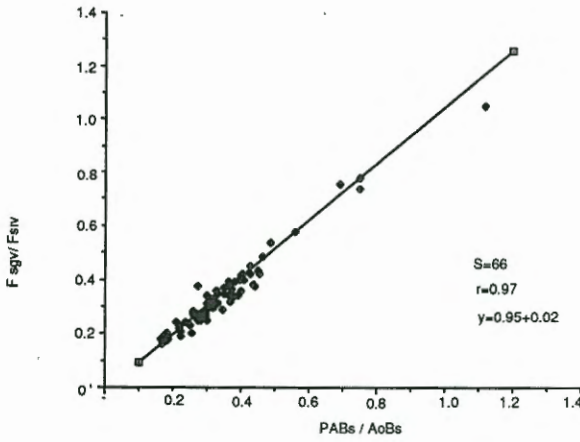
Non-invasiv ve invasiv değerler arasındaki ilişki için lineer regresyon analizi yapıldı. Regresyon denklemlerinin elde edilmesinden sonra noninvasiv ve invasiv değerlerin karşılaştırmalı regresyon eğrileri çizildi.



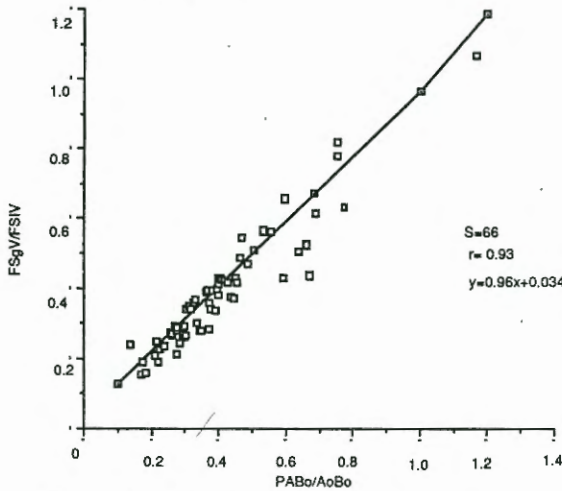
Şekil 2. Normal pulmoner basıncı (A) ve pulmoner hipertansiyonu olan (B) iki olgunun sağ ve sol ventrikül çıkış yolu sistolik akım örnekleri. Üstüste getirilmiş şematik akım eğrilerinde düz çizgiler sağ ventrikül, kesik çizgiler sol ventrikül çıkış yolu akımını göstermektedir. SgV: Sağ ventrikül SIV: Sol ventrikül.

## BULGULAR

Şekil 2'de normal pulmoner arter basıncı (2A) ve pulmoner hipertansiyonu olan (2B) iki olgunun sağ ve sol ventrikül çıkış yolu Doppler akım örnekleri görülmektedir. Şekilde sistolik akım hızı örneklerinde daha önce tarif edilen basınca bağlı değişiklikler görülmektedir (3,9). Çalışmaya alınan 69 olgudan 3'ünde (% 4) Doppler kayıtları yetersiz bulundu. Bunlardan ikisinin sağ ventrikül, birinin sol ventrikül kayıtları yetersizdi. Sağ ventrikül F/sol ventrikül F değerleri oranlarının kardiyak kateterizasyonda saptanan sistolik ve ortalama pulmoner ile sistemik arter basınçlarının oranlarına büyük benzerlik gösterdiği

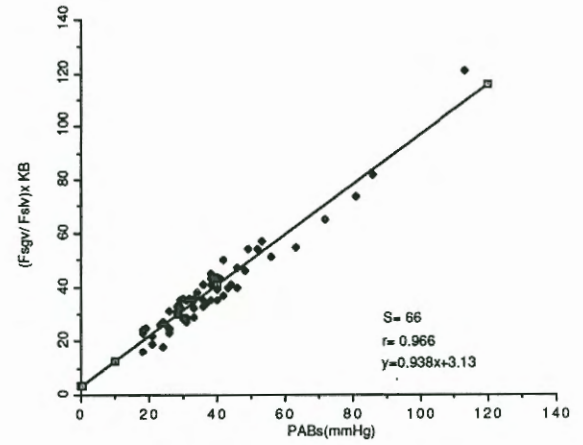


Şekil 3. Sistolik pulmoner/aorta basınçları ile (F sağ ventrikül çıkış yolu) / (F sol ventrikül çıkış yolu) değerlerinin karşılaştırılması. PABs: Pulmoner arter sistolik basıncı, AoBs: Aort sistolik basıncı.

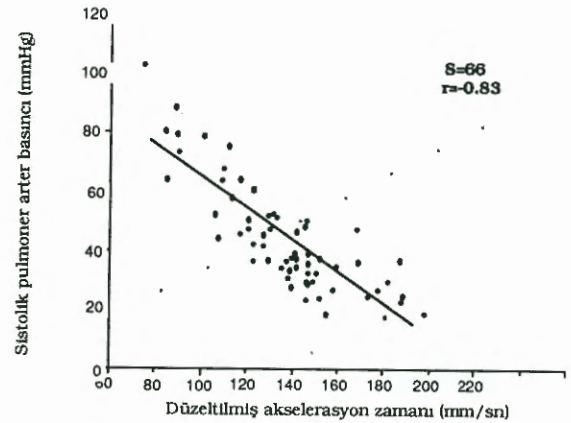


Şekil 4. Ortalama pulmoner/aorta basınçları ile (F sağ ventrikül çıkış yolu)/(F sol ventrikül çıkış yolu) değerlerinin karşılaştırılması. PABo: Pulmoner arter ortalama basıncı, AoBo: Aort ortalama basıncı.

saptandı ( $r=0.97$  ve  $r=0.93$ ) (Şekil 3 ve 4). Buna benzer olarak (sağ ventrikül F/sol ventrikül F) x Kan basıncı yöntemi ile elde edilen değerlerin hemen tam olarak kardiyak kateterizasyon esnasında saptanan sistolik pulmoner arter basıncını verdiği gözlemlendi ( $r=0.97$ ) (Şekil 5). Düzeltilmiş akselerasyon zamanı ile kardiyak kateterizasyon ile bulunan sistolik ve ortalama pulmoner arter basıncı arasında kuvvetli ters korelasyon olduğu görüldü ( $r=-0.83\pm 0.04$  ve  $r=-0.80\pm 0.02$ ). Akselerasyon zamanı ve pulmoner arter basıncı (Şekil 6) arasındaki bu korelasyon daha önce bildirilen çalışmalarda sonuçlara benzerlik gösteriyordu (3,9).



Şekil 5. Kardiyak kateterizasyonda saptanan sistolik pulmoner arter basıncı ile Doppler çalışmasında (F sağ ventrikül çıkış yolu/F sağ ventrikül çıkış yolu) x kol sistolik basıncı çarpımı ile bulunan değerlerin karşılaştırılması. SğV: Sağ ventrikül çıkış yolu, Slv: Sol ventrikül çıkış yolu, PABs: Pulmoner arter sistolik basıncı.



Şekil 6. Düzeltilmiş akselerasyon zamanı ile kardiyak kateterizasyonda saptanan sistolik pulmoner arter basıncının karşılaştırılması.

## TARTIŞMA

Ventriküllerin çıkış yollarından kaydedilen Doppler sinyalleri kan akım hızının zaman içindeki değişkenliğinin bir grafik şeklinde gösterilmesini sağlar (15) (Şekil 1). Sonuç akım örneği her ventrikülün ejeksiyon akım dinamiklerini gösteren bir kayıttır. Kalitatif olarak bu çalışmadaki bulgular daha önceki çalışmalarda tarif edilen arter dolaşımındaki düşük veya yüksek basınç/direnç ilişkisinden kaynaklanan Doppler akım eğrilerinin genel morfolojik özelliklerine uyum göstermektedir (16-19). Düşük sağ ventrikül çıkış yolu basıncı olanlardaki Doppler akım eğrilerinden, yüksek basınçlı olan sol ventrikül çıkış yolu akım eğrilerine oranla preejeksiyon süresi daha kısa, ejeksiyon zamanı daha da uzun ve akselerasyon eğilimi daha yatıktır (yani akselerasyon zamanı daha uzundur) (16-19) (Şekil 2A). Buna karşın pulmoner hipertansiyonu olan olguların sağ ventrikül çıkış yolundan alınan Doppler sinyallerinin morfolojik özellikleri, pulmoner basınç sistemik düzeye yaklaştıkça giderek sol ventrikül çıkış yolundan alınan Doppler örneklerine benzemeye başlar (16-19) (Şekil 2B).

Bu çalışmada sağ ve sol ventrikül ejeksiyon hızı eğrilerinin pulmoner ve sistemik basınç oranlarına benzer olabileceği düşüncesinden yola çıktık. Preejeksiyon süresi, ejeksiyon zamanı ve akselerasyon zamanı her arteriyal dolaşımdaki basınç ve akımın birbirine olan etkilerini belirlemek için kullanılmış, ancak pulmoner ve sistemik dolaşımda birbirlerine olan etkilerini ortaya çıkarmak için kombine edilerek kullanılmamıştır. Preejeksiyon süresi ve ejeksiyon zamanı yıllardır sol ventrikül fonksiyonunun (20), ve akselerasyon zamanı da sağ taraf basınçları ve direncinin indeksleri olarak kullanılmıştır (3,7-9). Kan akımına karşı koyan güçler arasında kanın intraventriküler akselerasyonuna karşı olan süre durumu ve çıkış yolunun direnci vardır (1,3). Sistolik akımın oluşmasını ve devamlılığını sağlayan basınç üzerinde sistolik ardyük ile birlikte sağ ventrikül fonksiyonunu etkileyen diğer faktörler de belirleyici rol oynarlar. Bunların arasında ventriküllerin inotropik durumu, kasılma hızı, geometrisi ve atım hacmi en önemli olanlarıdır. Ortak septum ve perikard ile pulmoner ve sistemik dolaşım arasındaki devamlılık nedeni ile ventriküllerin yekpare bir kütle olmaları her ikisinin de fonksiyonları üzerindeki değişikliklerde önemli rol oynar (21-25). Preejeksiyon zamanının

uzunluğu miyokard kontraktilitesi ile ters, arter basıncı ve direnci ile de düz orantılıdır (20). Belirli bir kalp hızında ejeksiyon zamanı atım hacmine direkt olarak, miyokard kontraktilitesine de ters orantılı olarak bağlıdır (20). Maksimal hıza ulaşana kadar olan ortalama akselerasyon ventrikül kontraktilitesinden olduğu kadar karşılaştığı direnç ve süre durumundan direkt olarak, damar kompliyansından ise ters orantılı olarak etkilenir. Bu faktörler kullanılarak, basınca bağımlı sağ ve sol ventrikül akım hızı eğrilerinin özelliklerini karşılaştırmak için "F" indeksi geliştirilmiştir. PES, EZ ve oAMH parametrelerinin basınca karşı olan oranlarını ampirik olarak ortaya koymak için türetilen bu indeks,  $F = (PES \times oAMH) / EZ$  formülü ile hesaplanmaktadır.

Sağ ventrikül çıkış yolu F indeksleri pulmoner arter basınçları ile karşılaştırıldığında kuvvetli pozitif korelasyon gösterdi. Ancak lineer regresyon analizi ile karşılaştırılıp, regresyon denklemi elde edildikten sonra çizilen regresyon eğrisi etrafında çok fazla dağınık değerler olduğu görüldü. Ayrıca bunu esas alarak pulmoner arter basıncını belirlemenin de güvenilir olmayacağı düşünüldü. Sağ ve sol ventrikül çıkış yolu F oranları ile pulmoner ve aorta basınç (sistolik ve ortalama) oranları karşılaştırıldığında, regresyonun ve de hesap edilen değerlerin standart hata paylarının önemli oranda düzeldiği gözlemlendi (Şekil 3 ve 4). Bu muhtemelen F indeksinin mutlak bir değer olmayışına, daha çok mutlak basınç değerlerinden bağımsız olarak pulmoner ve sistemik basınçların, birbirleri üzerine olan etkilerini ortaya koyan rölatif bir değer olmasına bağlıdır. Bu çalışma grubundaki olgularda çeşitli hemodinamik anomaliler olmasına karşın ejeksiyon fraksiyonları arasındaki farklılıklar, atriyoventriküler ve semilunar kapak yetmezlikleri ve "shunt"lara bağlı ventriküller arası atım hacmi farklılıklarının akım hızı dalgalarının oranı (sağ ventrikül F/sol ventrikül F) ile pulmoner ve sistemik basınç oranı arasındaki ilişkiyi etkilemediği gözlemlendi. Bu özellik dal bloğu ve çıkış yolu obstrüksiyonu olmayan tüm olgulara bu yöntemin uygulanabileceğini göstermektedir. Bu yöntemle akım hızı dalgaları oranının koldan ölçülen sistolik kan basıncı ile çarpılması sonucu hemen doğru olarak olguların sistolik pulmoner arter basınçlarının hesaplanabildiğini gösterdik. Bu yöntemin pulmoner arter basıncını belirlemede daha önce tarif edilen yöntemlere oranla daha kompleks olduğu söylenebilir. Ancak daha geniş bir popülasyonda kullanılabilmesi,



doğruluk oranının fazla olması ve pulmoner ile sistematik basınç ve akım ilişkilerini inceleme özelliğinin bulunması önemli bir avantajdır. Bu yöntemin uzun zaman aldığı, daha kompleks bir tekniği içermesinden dolayı da hatalı ölçüm yapma şansını arttırabileceği ve bu nedenler yüzünden klinik uygulanabilirliğinin zor olabileceği düşünülebilir. Bu çalışmanın sonunda Doppler ölçümlerinin tamamlanması ve pulmoner arter basıncının belirlenmesi ortalama 10-15 dakika sürüyordu. Uygun bir "software" program ile bu süre daha da kısalabilir. Ayrıca kayıt ve ölçümler sırasında titiz ve dikkatli davranmak muhtemel hatalı ölçümleri engelleyebilir. Sonuçta her olgunun sağ ve sol ventrikül çıkış yolu akım hızlarındaki basınca bağımlı değişkenliğinin derecesini yansıtan bu yöntemin non-invaziv olarak sistolik pulmoner arter basıncını belirlemede başarı ile kullanılabileceği söylenebilir.

#### KAYNAKLAR

1. **Burstin L:** Determination of pressure in the pulmonary artery by external graphic recordings. *Br Heart J* 29:396, 1967
2. **Hatle L, Angelsen BAJ, Tromsdal A:** Non-invasive estimation of pulmonary artery systolic pressure with Doppler ultrasound. *Br Heart J* 45:157, 1981
3. **Chan K, Currie P, Seward JB, Hagler DJ, Mair DD, Tajik AJ:** Comparison of three Doppler ultrasound methods in the prediction of pulmonary artery pressure. *JACC* 9:549, 1987
4. **Currie PJ, Seward JB, Chan K-L, et al:** Continuous wave Doppler determination of right ventricular pressure: a simultaneous Doppler catheterization study in 127 patients. *JACC* 6:750, 1985
5. **Yock PG, Popp RL:** Noninvasive estimation of right ventricular systolic pressure by Doppler ultrasound in patients with tricuspid regurgitation. *Circulation* 70:657, 1984
6. **Skjaerpe T, Hatle L:** Noninvasive estimation of pulmonary artery pressure by Doppler ultrasound. In: *Cardiac Doppler Diagnosis*. Edited by Spencer M. The Hague, Martinus Nijhoff, 1983. p.247
7. **Kitabatake A, Inoue M, Asao M, et al:** Noninvasive evaluation of pulmonary hypertension by a pulsed Doppler technique. *Circulation* 68:302, 1983
8. **Okamoto M, Miyatake K, Kinoshita N, Sakakibara H, Nimura Y:** Analysis of blood flow in pulmonary hypertension with the pulsed Doppler flowmeter combined with cross sectional echocardiography. *Br Heart J* 51:407, 1984
9. **Kosturakis D, Goldberg SJ, Allen HD, Loeber C:** Doppler echocardiographic prediction of pulmonary arterial hypertension in congenital heart disease. *Am J Cardiol* 53:1110, 1984
10. **Friedman D, Bierman FZ, Barst R:** Gated pulsed Doppler evaluation of isolated pulmonary vas-

- cular disease in children and young adults (abstr). *Circulation* 70 (suppl II): II-363, 1984
11. **Mc Curnin D, King DH, Huhta JC, Gutgesell HP:** Pulsed Doppler/M-mode echocardiographic evaluation of pulmonary artery pressure in children (abstr). *Circulation* 70 (suppl II): 11-363, 1984
12. **Isobe M, Yazaki Y, Takaku F, Koizumi K, Hara K, Tsuneyoshi H, Yamagushi T, Machii K:** Prediction of pulmonary arterial pressure in adults by pulsed Doppler echocardiography. *Am J Cardiol* 57:316, 1986
13. **Hatle L, Angelsen B:** *Doppler Ultrasound in Cardiology*. Second ed. Philadelphia: Lea and Febiger, 1985. p.85
14. **Kirkendall WM, Feinleib M, Freis ED:** Recommendations for human blood pressure determination by sphygmomanometer: Subcommittee on the American Heart Association Postgraduate Education Committee. *Circulation* (suppl) 62:1145 A, 1982
15. **Hatle L, Angelsen B:** *Doppler Ultrasound in Cardiology*. Second ed. Philadelphia: Lea and Febiger, 1985, p.9
16. **Franklin D, Vancitters RL, Rushmer RF:** Balance between right and left ventricular output. *Circ Res* 10:17, 1962
17. **Pasipoularides A, Murgio JP, Bird JJ, Craig WE:** Fluid dynamics of aortic stenosis: mechanisms for the presence of subvalvular pressure gradients. *Am J Physiol* 246:H 542, 1984
18. **Targett RC, Heldt GP, McIlroy MB:** Doppler blood velocity in the pulmonary artery of infants, children, and adults. *Cardiovasc Res* 20:816, 1986
19. **Hatle L, Angelsen B:** *Doppler Ultrasound in Cardiology*. Second ed. Philadelphia: Lea and Febiger, 1985. p.22
20. **Harris WS:** Systolic time intervals in the non-invasive assessment of the ventricular performance in man. In: *Mirsky I, Ghista DN, Sandler H, eds. Cardiac Mechanics*. New York: John Wiley and Sons, 1974. p.233
21. **Weber KT, Janicki JS, Shroff S, Fishman AP:** Contractile mechanics and interaction of the right and left ventricles. *Am J Cardiol* 47:686, 1981
22. **Kelly DT, Spotnitz HM, Beiser GD, Pierce JE, Epstein SE:** Effects of chronic rights ventricular volume and pressure loading on left ventricular performance. *Circulation* 44:403, 1971
23. **Olsen CO, Tyson GS, Maier GW, Spratt JA, Davis JW, Rankin JS:** Dynamic ventricular interaction in the conscious dog. *Circ Res* 52:85, 1983
24. **Louie EK, Rich S, Brundage BH:** Doppler echocardiographic assessment of left ventricular filling in patients with right ventricular pressure overload due to primary pulmonary hypertension. *JACC* 8:1298, 1986
25. **Cody RJ, Kubo SH:** Assessment of right and left heart interactions: application of the resistance ratio in chronic congestive heart failure. In: *Fisk R, (ed.) The Right Heart*. Philadelphia: FA Davis, 1987, p.225