

Sağ Ventrikül Sistolik Fonksiyonunun Belirlenmesinde Doku Doppler Yönteminin Değeri

Dr.Bahadır Dağdeviren, Dr.Mehmet Eren, Dr.Şevket Görgülü, Dr. Özer Soylu
Dr.Nihat Özer, Dr.Aydın Yıldırım, Dr.Tuna Tezel
Siyami Ersek Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi Merkezi, İstanbul

Amaç: Sağ ventrikül sistolik fonksiyonlarının iki boyutlu (2D) ekokardiografi ile belirlenmesindeki güçlük nedeniyle noninvazif, pratik ve düşük maliyetli bir yöntem ihtiyacı vardır. Doku Doppler (DD) tekniği, örnekleme volümünün konulduğu dokuya ait sistolik ve diyastolik hızların spektral Doppler trasesinde görüntülenmesine olanak tanımaktadır. Bu çalışmada DD ile kaydedilen triküspit annulus hızlarının sağ ventrikül sistolik fonksiyonuyla ilişkisini araştırmayı amaçladık.

Yöntem: Bu amaçla 38 hastada (23 dilate kardiyomyopati, 15 mitral darlıklı, tümü sinüs ritiminde) ve 15 sağlıklı gönüllüde PW Doppler örnekleme volümü triküspit annulusu-sağ ventrikül serbest duvarı bileşkesine konarak sistolik (S), erken diyastolik (E) ve geç diyastolik (A) dalgaları görüntüledi. S dalgası 'time velocity integral'leri (TVI), zirve hızı ve izovolümik kontraksiyon süreleri (IZKS) ile 2D ekokardiyografik 'hemieliptic shell' metoduyla hesaplanan sağ ventrikül ejeksiyon fraksiyonu (RVEF), triküspit regürjitan akımının zirve hızı ve bu akım trasesinden hesaplanan sağ ventrikül dP/dt değerleri karşılaştırıldı.

Bulgular: RVEF ile S zirve hızı, S TVI ve IZKS arasında anlamlı bağlantı tespit edildi (sırasıyla r: 0.76, p<0.001, r: 0.82, p<0.0001 ve r: -0.85, p<0,0001). S zirve hızı<12 cm/sn, S TVI<2 cm ve IZKS>75 msn olması sırasıyla %76, %84, %92 duyarlılık ve %84, %84, %80 özgüllükle RVEF < %40 olan hastaları tahmin ettirdi. Triküspit regürjitan akımı net olarak gösterilebilen 19 hastada sağ ventrikül dP/dt değerleri ile S zirve hızı arasında güçlü bir bağlantı saptandı (r: 0.88, p<0,0001).

Sonuç: DD tekniği ile elde edilen triküspit annulus dalgalarının analizi sağ ventrikül sistolik fonksiyonunu belirlemede kullanılabilir pratik bir yöntemdir. (*Ana Kar Der, 2001; 1: 85-89*)

Anahtar Kelimeler: Sağ ventrikül, sistolik fonksiyon, doku Doppler görüntüleme

Giriş

Sağ ventrikül yapısı ve fonksiyonları üzerine sol ventriküle göre daha az çalışılmış olmakla birlikte sağ ventrikül ejeksiyon fraksiyonunun (RVEF) kalp yetersizliği ve kalp kapak hastalığında egzersiz kapasitesi ve prognozu tahmin ettirebilen bağımsız bir belirleyici olduğu bildirilmiştir (1-4).

Başlıca, giriş yolu, trabeküllü apikal segment ve çıkış yolu olmak üzere üç bölümden oluşan kompleks anatomik yapısı nedeniyle sağ ventrikül volümü ve sistolik fonksiyonunu iki boyutlu (2D) ekokardiogra-

fi ile belirlemek güçleşmektedir (5). Altın standart olarak kabul edilen manyetik rezonans görüntülemeye (6) alternatif olabilecek radyonüklid ventrikülografi (7), üç boyutlu ekokardiyografi (8) ve kontrast ekokardiyoğrafinin (9) yüksek maliyeti ve yaygın olmayışı yanı sıra daha önce tarif edilen 2D ekokardiyografik yöntemlerin günlük uygulama için pratik olmayışı nedeniyle yeni, noninvazif ve pratik bir yöntem ihtiyacı vardır. Doku Doppler (DD) tekniği, kalp siklusu boyunca, örnekleme volümünün konmuş olduğu dokunun kasılma ve gevşeme hızlarını yüksek 'temporal' ve 'spatial' çözünürlükte görüntülenmesine olanak tanımaktadır.

Bu çalışmamızda triküspit annulus DD dalgalarının sağ ventrikül sistolik fonksiyonlarıyla ilişkisini araştırmayı ve sağ ventrikül sistolik fonksiyon bozukluğu olan hastaları tespit etmede klinikte kullanılabilirliğini belirlemeyi amaçladık.

(*) Bu çalışmaya ait ön sonuçlar EuroEcho 3 - Viyana, 1999 kongresinde sunulmuştur.

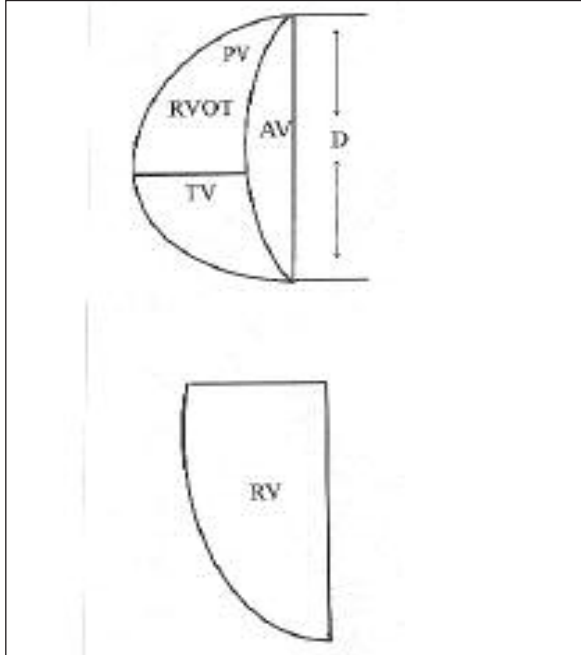
Yazışma Adresi: Dr.Bahadır Dağdeviren - Acıbadem Cad. Nişantaşı durağı Pıtrak Sok. No:20/B 81010 Üsküdar-İstanbul bahadird@superonline.com

Yöntemler

Çalışma grubu: Hasta grubu, 23'ü dilate kardiyomiyopati (6 kadın, yaş ortalaması 45 ± 11 yıl), 15'i mitral darlıklı (8 kadın, yaş ortalaması 42 ± 10 yıl), sol ventrikül sistolik disfonksiyonu veya mitral kapak hastalığı nedeniyle çeşitli düzeylerde sağ ventrikül dilatasyonu ve/veya sistolik disfonksiyonu olan ve tümü sinüzal ritimde 38 hastadan oluştu. Yaş ve cinsiyet dağılımı yönünden benzer 15 sağlıklı gönüllü (7 kadın, yaş ortalaması 42 ± 15) kontrol grubunu oluşturdu. Dal bloğu ve ciddi ritim bozukluğu olan hasta çalışmaya dahil edilmedi.

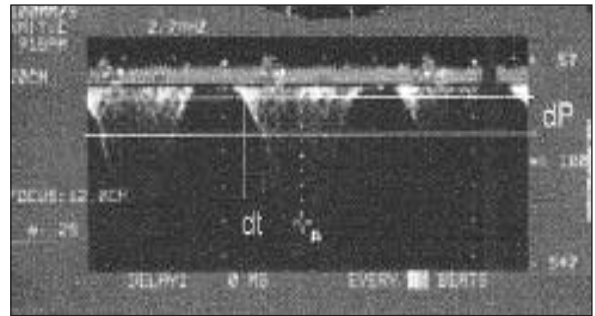
Ekokardiyografik çalışma: Tüm olgular sol lateral dekubitus pozisyonunda HP SONOS 1500 ekokardiyografi cihazı ve 3.5 MHz elektronik transdüser kullanılarak standart parasternal ve apikal yaklaşımla incelendi.

Sağ ventrikül sistolik fonksiyonlarını belirlemek amacıyla RVEF, triküspit regürjitan (TR) akımının zirve hızı ve sağ ventrikül dP/dt değerleri ölçüldü. RVEF öl-



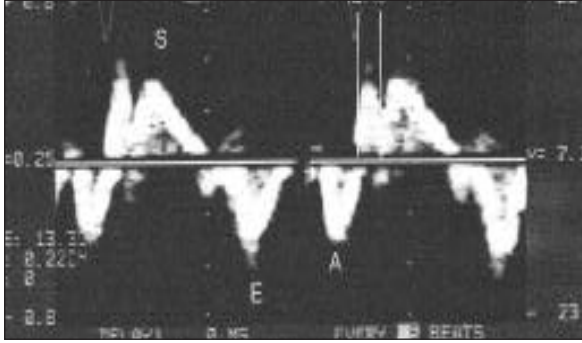
Şekil-1: 'Ellipsoid shell' modeline göre sağ ventrikül volümünün (V) hesaplanması. Üstte subkostal kısa eksen kesitte sağ ventrikül ayçasının çapı (D), altta apikal dört boşluk görüntüsünden sağ ventrikül alan (A 4boş) ölçümü şematize edilmekte. Bu modelde ' $V=2/3 D \times A_{4boş}$ ' formülüyle hesaplanan diyastol sonu ve sistol sonu volümleri kullanılarak sağ ventrikül ejeksiyon fraksiyonu hesaplandı. RV. Sağ ventrikül, PV. Pulmoner kapak, TV. Triküspit kapak, AV. Aort kapak, RVOT. Sağ ventrikül çıkış yolu.

çümünde daha önce tarif edilmiş olan 'ellipsoid shell' modele göre hesaplanan diyastol-sonu ve sistol-sonu volümleri kullanıldı (5). Bu yöntemle göre apikal 4 boşluk görüntüden ölçülen sağ ventrikül alanının ($A_{4boş}$) $2/3$ 'ü ile subkostal sagittal kesitten ölçülen sağ ventrikül ayçası (sağ ventrikül serbest duvarı-triküspit kapak bileşkesi ile çıkış yolu-pulmoner kapak birleşimi arası) çapının (D) çarpımı sağ ventrikül volümünü (V) vermektedir ($V = 2/3 \times A_{4boş} \times D$) (Şekil 1). EKG trasesinde R dalgası tepesi diyastol-sonu T dalgası inen bacağı sistol-sonu kabul edilerek yukarıdaki formüle göre hesaplanan volümlerden bilinen yöntemle RVEF'si belirlendi [$EF = (V_{diast} - V_{sist}) \times 100 / V_{dias}$]. Ayrıca, TR akım trasesi CW Doppler ile net olarak görüntülenebilen hastalarda zirve akım hızı ve bu traseden hesaplanan dP/dt değerleri de sağ ventrikül sistolik fonksiyonu belirleyicisi olarak kabul edildi. Sağ ventrikül dP/dt değerleri, regürjitan akım trasesinde hızın 0.5 m/sn den 1.5 m/sn ye ulaşması için geçen süreye (T) Bernoulli eşitliğine göre ($P=4v^2$) bu akım hızlarına denk gelen basınç farkı ($9 \text{ mmHg} - 1 \text{ mmHg} = 8 \text{ mmHg}$) bölünerek hesaplandı (10) (Şekil 2).



Şekil-2: Triküspit regürjitasyon akım trasesinden dP/dt hesaplanması.

Cihaz ayarları yüksek frekans, düşük genlikli doku hızlarını en net kaydedecek şekilde ayarlandıktan sonra tüm olgularda 0.5 cm genişlikte PW Doppler örnekleme volümü sağ ventrikül serbest duvar-triküspit annulus bileşkesine konularak sistolik (S) ve diyastolik (E ve A) dalgaları kaydedildi. Kayıtlar sırasında solunumsal değişkenliği olabildiğince önlemek amacıyla hastalardan 30 sn süreyle olabildiğince yüzeyel soluk almaları istendi. 'A' dalgası sonu ile 'S' dalgası başı arası 'izovolumik kontraksiyon süresi' (IZKS) olarak tanımlandı (Şekil 3). Her bir hastada S zirve hızı, S 'time velocity integral'(TVI) ve IZKS ölçümleri ardışık üç vurudan yapılarak ayrı ayrı ortalamaları hesaplandı.



Şekil-3: Triküspit annulus doku Doppler trasesinde sistolik (S), erken diyastolik (E) ve geç diyastolik (A) dalgaları ve izovolümik kontraksiyon süresi (IZKS) ölçümü.

İstatistik: Sonuçlar ortalama ± 1 standart sapma olarak ifade edildi. Çalışma ve kontrol grupları arasında sayısal değişkenlerin karşılaştırması çoklu ANOVA varyans analizi testi, kategorik değişkenlerin karşılaştırması ki-kare testi kullanılarak yapıldı. RVEF, zirve TR hızı ve dP/dt değerleriyle DD değişkenleri arasındaki bağıntı 'lineer regresyon' analiziyle araştırıldı. $p < 0.05$ olması istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi. DD değişkenlerinin RVEF<%40 olan hastaları tahmin etme duyarlılık ve özgüllüklerini belirleyebilmek için RVEF>%40 olan grubun %95 güven aralığı alt (S zirve, S TVI) veya üst (IZKS) sınırları kesim değerleri olarak kullanıldı. Duyarlılık ve özgüllük bilinen yöntemle hesaplandı. Hesaplamalar SPSS bilgisayar programı kullanılarak yapıldı.

Bulgular

Hasta grubu RVEF değeri %40'ın altında ($n=14$) ve üstünde ($n=24$) olmak üzere iki alt grupta incelendi. Kontrol grubu ile alt grupların demografik ve ekokardiyografik bulguları Tablo 1' de gösterilmektedir. RVEF<%40 olan grubun S zirve hızı ve S TVI değerle-

ri kontrol grubu ve RVEF>%40 olan gruba göre anlamlı olarak düşükken IZKS leri uzun bulundu. Her üç grupta yaş ortalamaları benzerdi. Ayrıca, TR net olarak gösterilebilen 19 hastanın sekizi RVEF<%40, onbiri RVEF>%40 grubundaydı. Bu hastaların zirve TR akım hızları arasında istatistiksel anlamlı bir fark gözlenmezken dP/dt değerleri RVEF<%40 grubunda anlamlı derecede düşük bulundu.

Hasta grubunun RVEF değerleri ve DD değişkenlerinin lineer regresyon analizi Şekil 4'te gösterilmiştir. RVEF ile S zirve hızı ve S TVI arasında güçlü ve istatistiksel anlamlı pozitif bir bağıntı saptanırken IZKS ile negatif güçlü bağıntı tespit edilmiştir. S zirve hızı için 12 cm/sn kesim değerinin altındaki annuler hızlar (RVEF>%40 grubun %95 güven aralığının alt sınırı) %76 duyarlılık ve %84 özgüllükle RVEF<%40 olan hastaları tahmin ettirdi. S TVI için benzer yöntemle hesaplanan 2 cm kesim değerinin altı %84 duyarlılık ve %84 özgüllükle, IZKS için ise 75 msn kesim değerinin üzeri %92 duyarlılık ve % 80 özgüllükle RVEF <%40 olan hastaları tahmin ettirdi.

TR akım trasesi net olarak görüntülenen 19 hastada zirve akım hızı ile, zirve S, S TVI ve IZKS arasında anlamlı bağıntı saptanmazken dP/dt ile zirve S arasında güçlü bir bağıntı tespit edildi ($r: 0.88$, $p<0,0001$). TR akım trasesi kaydı az sayıda hastada yapılabildiği ve dP/dt için düşük-normal sınırı belirsiz olduğu için DD değişkenlerinin kesim değerleri analizleri yapılmadı.

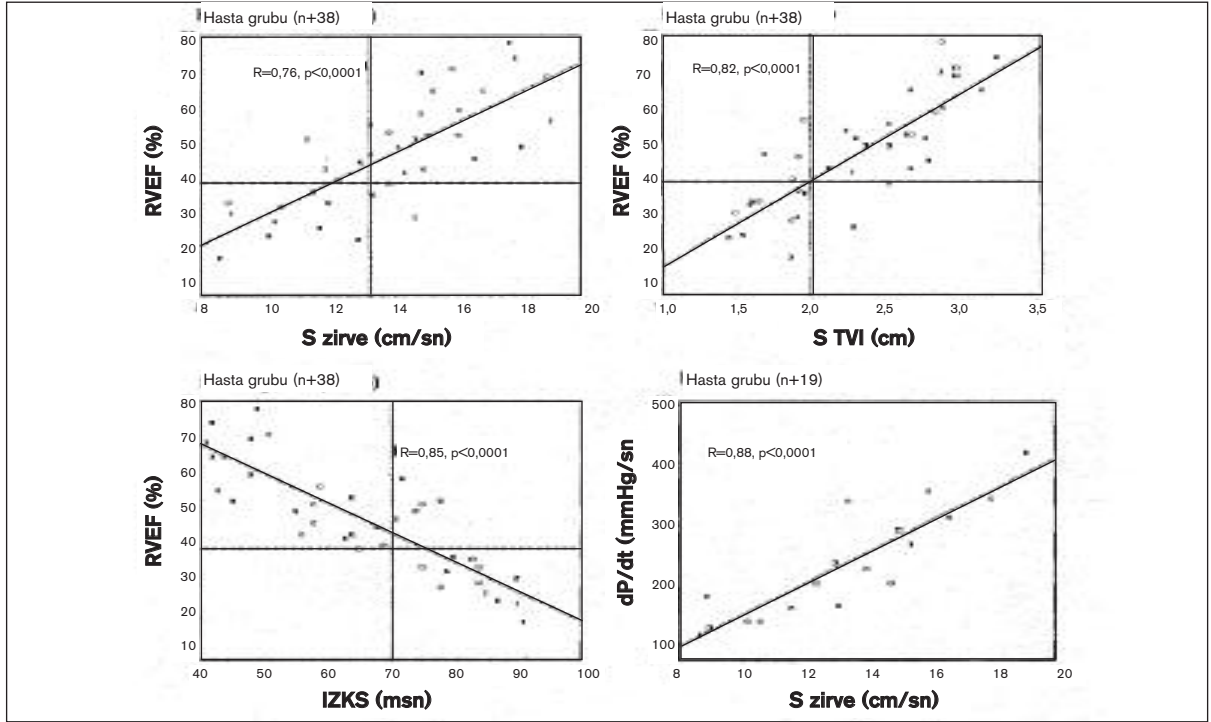
Tartışma

Bu çalışmada triküspit annulusu-sağ ventrikül serbest duvar bileşkesinden DD tekniğiyle kaydedilen S dalgası zirve hızı ve TVI değerleri azaldıkça RVEF ve dP/dt değerlerinin azaldığı buna karşın geç diyastolik A dalgası ile sistolik S arası olarak tanımlanan IZKS azaldıkça bu değerlerin arttığı gösterilmiştir. Ayrıca

Tablo-1: Kontrol ve çalışma hastalarının demografik ve ekokardiyografik verileri.

	Kontrol (N=15)	EF>%40 (N=24)	EF <%40 (N=14)	p
Yaş (yıl)	41,3 \pm 10,7	46,4 \pm 12	50,8 \pm 11,9	AD
RVEF (%)	66,50 \pm 9,24	55,5 \pm 11,8	34,2 \pm 8,5	<0,0001
S zirve (cm/sn)	18,4 \pm 1,9	15,1 \pm 2,3	11,9 \pm 2,2	<0,0001
S TVI (cm)	2,9 \pm 0,24	2,5 \pm 0,4	1,8 \pm 0,3	<0,0001
IZKS (msn)	47,2 \pm 9,4	57,8 \pm 12,4	80,2 \pm 9,6	<0,0001
TR zirve (cm/sn)	-	3,1 \pm 0,25	3,2 \pm 0,30	AD
dP/dt (mmHg/sn)	-	308 \pm 72	200 \pm 51	<0,001

*RVEF. Sağ ventrikül ejeksiyon fraksiyonu, S TVI. S 'time velocity integral', IZKS. İzovolümik kontraksiyon süresi, TR. Triküspit regürjitasyonu, AD. Anlamlı değil



Şekil-4: Sağ ventrikül ejeksiyon fraksiyonu (RVEF) ve dP/dt ile doku Doppler değişkenleri dağılımını gösteren lineer regresyon analizi.

DD değişkenleri için hesaplanan kesim değerlerinin yüksek duyarlılık ve özgüllükle RVEF si düşük olan hastaları tahmin ettirdiği ortaya konmuştur.

DD tekniği örnekleme volümünün yerleştirildiği bölgenin siklus boyunca hareket hızlarını net olarak spektral Doppler trasesinde gösterebilmesi, 2D görüntünün yetersiz olduğu durumlarda bile yüksek çözünürlüğünü koruması ve gerçek zamanlı (online) ölçüm yapılmasına olanak tanıyan pratikliği nedeniyle klinik uygulamaları gelecek vaat eden bir yöntemdir. Bu teknikle gerçekleştirilen ilk çalışmalar, bölgesel sistolik ve diyastolik fonksiyonların belirlenmesi, miyokard iskemisinin araştırılması, konstriktif perikardit-restriktif kardiyomyopati ayrımı yapılması üzerinedir (11-16). Bunun yanı sıra, mitral annulus DD dalgalarının incelenmesiyle sol ventrikül global sistolik ve diyastolik fonksiyonları ile ilgili önemli veriler elde edildiği gösterilmiştir (17-19). Ancak sağ ventrikül global sistolik fonksiyonları ile triküspit annulus DD dalgaları arasındaki ilişkinin çalışıldığı ve bulgularımızı karşılaştırabileceğimiz araştırma sayısı oldukça sınırlıdır. Alam ve ark.(20) sağ ventrikül tutulumu olan inferior miyokard enfarktüsli hastaların S zirve hızını, sağ ventrikül tutulumu olmayanlar ve kontrol hastalarına göre anlamlı derecede düşük bulmuştur. Meluzin ve ark. yeni yayınlanan çalışmasında (21) 'first-pass' radyonüklid ventrikülografiyle belirlenen RVEF değerle-

riyle triküspit annulus S zirve hızları arasında bizim çalışmamızla uyumlu olarak anlamlı bir bağıntı tespit ederken 11,5 cm/sn nin altındaki hızların RVEF<%45 olan hastaları %90 duyarlılık ve % 85 özgüllükle tahmin ettirdiğini bildirmiştir. Bizim çalışmamızda TR zirve hızlarıyla S zirve hızı arasında anlamlı bir bağıntı gösterilemezken bu çalışmada S zirve hızları ile pulmoner arter basınçları arasında negatif yönde zayıf ancak istatistiksel anlamlı bağıntı bildirilmiştir (r: -0.35, p<0.05). Bu farklılık, temel olarak aynı türden verilerin karşılaştırılmaması (kateterle ölçülen basınçla Doppler ile belirlenen akım hızı) yanı sıra hasta gruplarının özelliğinden kaynaklanabilir. Bizim hasta grubumuz içerisinde sol kalp yetersizliği olan hastalara ek olarak mitral kapak hastalığına sekonder sağ ventrikül yetersizliği olan hastalar da mevcuttur. Ayrıca, az sayıda hastada hesaplanabilmiş olmasına rağmen, bizim çalışmamızda, sağ ventrikül sistolik performansını RVEF den daha doğru yansıtabilen dP/dt ile S zirve hızı arasında güçlü bir bağıntı olduğu gösterilmiştir. Son olarak IZKS süreleri ile RVEF arasında negatif güçlü bağıntı gözlenmesi özellikle 'spatial' keskinliğin bozulduğu durumlarda DD trasesinden sağ ventrikül fonksiyonlarının tahmininde kullanılabilir ek bir bulgu olması nedeniyle önemlidir.

Çalışmada göz önünde bulundurulması gereken bazı sınırlamalar mevcuttur. Öncelikle RVEF belirleme-

de altın standart olan manyetik rezonans görüntüleme yerine 2D ekokardiyografi kullanılmıştır. Bununla birlikte 'ellipsoidal shell' modele göre hesaplanan sağ ventrikül volümleri ile manyetik rezonans görüntüleme yöntemiyle bulunan volümlerin çok yakın olması (5) nedeniyle ($r: 0.97$) bu durumun sonuçlarımız üzerine önemli bir etkisi olmadığını düşünmekteyiz. Ayrıca, longitudinal annuler hareketlerin kalbin rotasyon ve solunuma bağlı transilasyon hareketlerinden minimal de olsa etkilenmiş olabilmesi mümkündür.

Sonuç olarak DD tekniğiyle görüntülenen triküspit annulus sistolik hareket hızlarıyla RVEF ve sağ ventrikül dP/dt si olarak ifade edilen sağ ventrikül sistolik fonksiyonları arasında yakın ilişki mevcuttur. Triküspit annulus DD dalgalarının analizi yüksek duyarlılık ve özgüllükle sağ ventrikül sistolik fonksiyonları bozulmuş hastaları ayırt edebilen pratik bir yöntemdir. Bununla birlikte bu sonuçların klinik önemine yönelik daha geniş sayıda hasta gruplarıyla yapılacak araştırmalara ihtiyaç vardır.

Kaynaklar

- Di Salvo TG, Mathier M, Semigran MJ, William Dec G. Preserved right ventricular ejection fraction predicts exercise capacity and survival in advanced heart failure. *J Am Coll Cardiol* 1995; 25: 1143-53.
- De Groote P, Millaire A, Hossein CF et al. Right ventricular ejection fraction is an independent predictor of survival in patients with moderate heart failure. *J Am Coll Cardiol* 1998; 32: 948-54.
- Burger W, Brinkies C, Illert S, Teupe C, Kneissl GD, Schrader R. Right ventricular function before and after percutaneous balloon mitral valvuloplasty. *Int J Cardiol* 1997 3; 58: 7-15.
- Nagel E, Stuber M, Hess OM. Importance of the right ventricle in valvular heart disease. *Eur Heart J* 1996; 17: 829-36.
- Denslow S, Wiles HB. Right ventricular volumes revisited: a simple model and simple formula for echocardiographic determination. *J Am Soc Echocardiogr* 1998; 11: 864-73.
- Denslow S, Wiles HB, McKellar LF, Wright NA, Gillette PC. Right ventricular volume estimation with an ellipsoidal shell model and two-plane magnetic resonance imaging. *Am Heart J* 1995; 129: 782-90.
- Nienaber CA, Spielmann RP, Wasmus G, Montz R, Mathey DG, Bleifeld W. Right ventricular ejection fraction from equilibrium krypton-81m blood pool scans: a noninvasive predictor of pulmonary arterial hypertension. *Eur Heart J* 1987; 8: 297-307.
- Heusch A, Koch JA, Krogmann ON, Korbmacher B, Bourgeois M. Volumetric analysis of the right and left ventricle in a porcine heart model: comparison of three-dimensional echocardiography, magnetic resonance imaging and angiocardiology. *Eur J Ultrasound* 1999; 9: 245-55.
- Tokgozlu SL, Caner B, Kabakci G, Kes S. Measurement of right ventricular ejection fraction by contrast echocardiography. *Int J Cardiol* 1997; 59: 71-4.
- Pai RG, Bansal RC, Shah PM. Determinants of the rate of right ventricular pressure rise by Doppler echocardiography: potential value in the assessment of right ventricular function. *J Heart Valve Dis* 1994; 3: 179-84.
- Donovan CL, Armstrong WF, Bach DS. Quantitative Doppler tissue imaging of the left ventricular myocardium: validation in normal subjects. *Am Heart J* 1995; 130: 100-4.
- Oki T, Tabata T, Mishiro Y, et al. Pulsed tissue Doppler imaging of left ventricular systolic and diastolic wall motion velocities to evaluate differences between long and short axes in healthy subjects. *J Am Soc Echocardiogr* 1999; 12: 308-13.
- Derumeaux G, Ovize M, Loufoua J, et al. Doppler tissue imaging quantitates regional wall motion during myocardial ischemia and reperfusion. *Circulation* 1998; 97: 1970-7.
- Dağdeviren B, Bolca O, Eren M, Terzi S, Gürlertop Y, Tezel T. Görünürde sağlıklı bireylerde ve koroner arter hastalarında nabızlı doku doppleri ile sol ventrikül fonksiyonlarının bölgesel analizi. *Türk Kardiyoloji Derneği Arş* 1998; 26: 469-74
- Bach DS, Armstrong WF, Donovan CL, Mülle DWM. Quantitative Doppler tissue imaging for assessment of regional myocardial velocities during transient ischemia and reperfusion. *Am Heart J* 1996; 132: 721-5.
- Garcia MG, Rodriguez L, Ares M, Griffin BP, Thomas JD, Klein AL. Differentiation of constrictive pericarditis from restrictive cardiomyopathy: assessment of left ventricular diastolic velocities in longitudinal axis by Doppler tissue imaging. *J Am Coll Cardiol* 1996; 27: 108-14.
- Fukuda K, Oki T, Tabata T, Iuchi A, Ito S. Regional left ventricular wall motion abnormalities in myocardial infarction and mitral annular descent velocities studied with pulsed tissue Doppler imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 1998; 11: 841-8.
- Gulati VK, Katz WE, Follansbee WP, Gorcsan J. Mitral annular descent velocity by tissue Doppler echocardiography as an index of global left ventricular function. *Am J Cardiol* 1996; 77: 979-84.
- Sohn DW, Chai IH, Lee DJ, et al. Assessment of mitral annular velocity by Doppler tissue imaging in the evaluation of left ventricular diastolic function. *J Am Coll Cardiol* 1997; 30: 474-80.
- Alam M, Wardell J, Andersson E, Samad BA, Nordlander R. Right ventricular function in patients with first inferior myocardial infarction: assessment by tricuspid annular motion and tricuspid annular velocity. *Am Heart J* 2000; 139: 710-5.
- Meluzin J, Spinarova L, Bakala J, et al. Pulsed Doppler tissue imaging of the velocity of tricuspid annular systolic motion; a new, rapid, and non-invasive method of evaluating right ventricular systolic function. *Eur Heart J* 2001; 22: 340-8.