

## Kalpte bölgesel mekanik senkronizasyon bozukluğunun ve resenkronizasyon tedavisine aday hastaların ekokardiyografi ile değerlendirilmesi

Echocardiographic evaluation of regional mechanical dyssynchrony and candidates for cardiac resynchronization therapy

Dr. L. Elif Sade, Dr. Bülent Özın, Dr. Haldun Müderrisoğlu

Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi Kardiyoloji Anabilim Dalı, Ankara

Medikal tedaviye rağmen semptomatik olan son dönem kalp yetersizliği hastalarında biventriküler kalıcı kalp pili son yıllarda önemli bir tedavi yaklaşımı olarak karşımıza çıkmıştır. Bölgesel mekanik kasılma bozukluğunun tedaviye aday hastaların seçiminde esas unsur olduğunun ve QRS süresinin senkronizasyon bozukluğunu yansıtmadığının anlaşılması ekokardiyografinin bu alandaki önemini artırmıştır. Ekokardiyografi, hem hemodinamik durum hem de miyokardın bölgesel kasılma işlevi hakkında ayrıntılı kantitatif analiz imkanı veren invaziv olmayan bir incelemedir. Konvansiyonel ekokardiyografi ve doku Doppler yöntemlerini bir arada kullanarak kardiyak mekanik senkronizasyon bozukluğunu atriyoventriküler, interventriküler ve intraventriküler gecikme düzeylerinde sayısal olarak değerlendirmek mümkündür. Bu nedenle, ekokardiyografi hasta seçimi, tedavi etkinliğinin değerlendirilmesi ve elektrod yerleşimi olmak üzere kardiyak resenkronizasyon tedavisinin her aşamasında vazgeçilmez bir rehber haline gelmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Kardiyak pacing, yapay/yöntem; kardiyomiopati, dilate; ekokardiyografi, Doppler; kalp iletim sistemi; kalp yetersizliği, konjestif.

Biventriküler kalıcı kalp pili tedavisinin son yıllarda kazandığı ivmede ekokardiyografinin payı çok büyüktür. İlk çalışmalarda, medikal tedaviye rağmen ciddi kalp yetersizliği semptomları düzelmeyen hastaların çalışmaya alınmaları, düşük ejeksiyon fraksiyonu ( $\leq \%35$ ), sol dal bloku ve QRS süresinin  $\geq 130$  msn olması ölçütlerine dayanmaktay-

Biventricular pacemaker is a novel alternative approach in the management of patients with end-stage refractory heart failure. The fact that regional mechanical dyssynchrony is the major determinant in the selection of candidates for cardiac resynchronization therapy and that QRS duration is not a reliable marker of the regional mechanical dyssynchrony has expanded the role of echocardiography in this field. Echocardiography enables non-invasive quantification of both the hemodynamic status and regional left ventricular contractile function. Conventional echocardiography combined with two-dimensional and tissue Doppler modalities proved to be useful in the assessment of regional mechanical dyssynchrony and atrioventricular, interventricular, and intraventricular delays. Hence, echocardiography has become an indispensable imaging guide to cardiac resynchronization therapy for patient selection, evaluation of the response to resynchronization, and optimal lead localization.

**Key words:** Cardiac pacing, artificial/methods; cardiomyopathy, dilated; echocardiography, Doppler; heart conduction system; heart failure, congestive.

dı. Ancak, hastaların yaklaşık 1/3'ünün tedaviden yarar görmemesi dikkatlerin hasta seçiminde daha başka ölçütlerin yararlı ve gerekli olabileceği üzerinde yoğunlaşmasına neden oldu.<sup>[1]</sup> Ayrıntılı ekokardiyografik incelemeler sayesinde mekanik senkronizasyon bozukluğu ve resenkronizasyon kavramları ortaya çıktı. Mekanik senkronizasyon bozuklu-

ğunun elektriksel senkronizasyon bozukluğu ile eşanlı olmadığı, tedaviden yarar görmeye esas olanın mekanik senkronizasyon bozukluğu olduğu anlaşıldı.<sup>[2]</sup> Nitekim, ekokardiyografik incelemeler, QRS süresi uzun olan hastaların yaklaşık %12'sinde mekanik senkronizasyon bozukluğu olmadığını, QRS süresi normal olan hastaların bir kısmında ise mekanik senkronizasyon bozukluğu olduğunu ortaya koydu.<sup>[3-6]</sup> Bu nedenle, ekokardiyografi, hasta seçimi başta olmak üzere tedavi etkinliğinin değerlendirilmesi ve elektrod yerleşiminin optimizasyonu gibi kardiyak resenkronizasyon tedavisinin (KRT) her aşamasında vazgeçilmez bir görüntüleme yöntemi haline gelmiştir.<sup>[7]</sup>

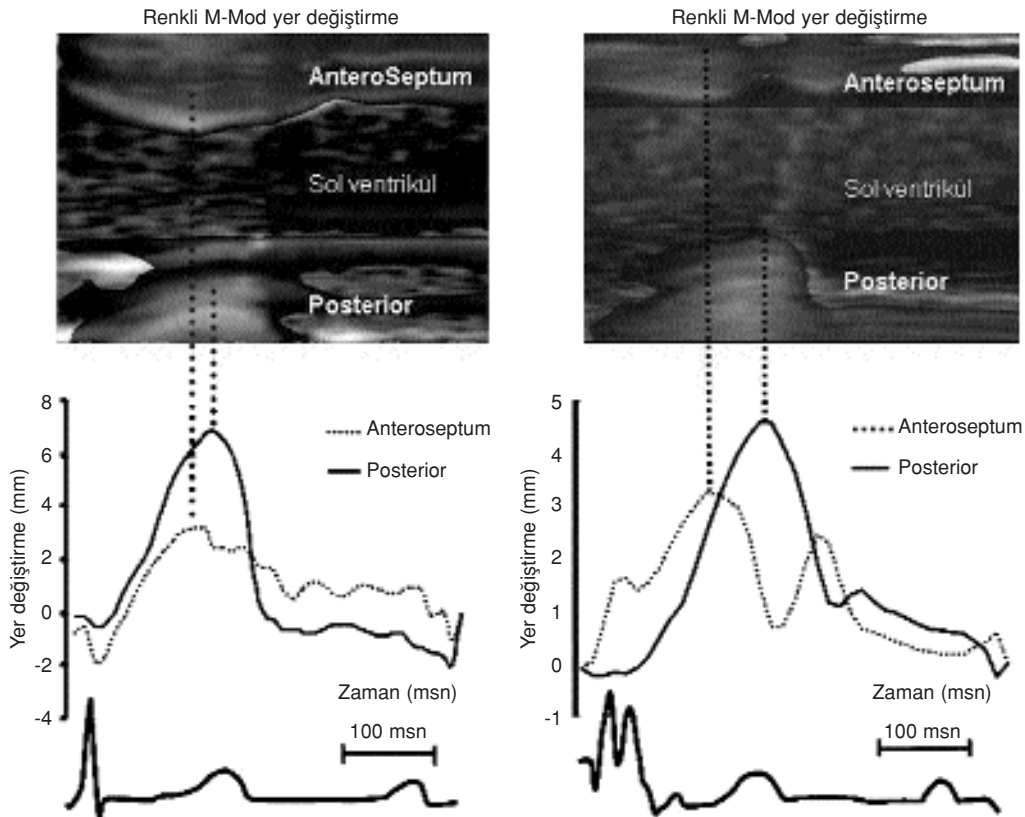
### Mekanik senkronizasyon bozukluğu

Mekanik senkronizasyon bozukluğu dolaylı olarak ejeksiyon fraksiyonunun düşmesine, atım hacminin azalmasına, duvar geriliminin anormal dağılımına ve atım işinin artmasına neden olur. Mekanik senkronizasyon bozukluğu atriyoventriküler, inter-

ventriküler ve intaventriküler senkronizasyon bozukluğu olmak üzere başlıca üç tiptir.

**Atriyoventriküler senkronizasyon bozukluğu.** Dilate kardiyomyopati hastalarda nadir olmayaarak atriyoventriküler gecikme uzar, atriyal sistol erken mitral doluş ile içiçe hale gelir, diyastolik doluş süresi kısalır ve geç diyastolik mitral yetersizlik meydana gelir.<sup>[8,9]</sup> Sol ventrikül doluş süresinin kardiyak siklusun %40'ından daha kısa olması atriyoventriküler senkronizasyon bozukluğu ile açıklanabilir.<sup>[10]</sup>

**İnterventriküler senkronizasyon bozukluğu.** Aort kapağının açılması ve kanın sistemik dolaşıma atılması pulmoner kapağa göre belirgin derecede gecikir. Sol dal bloku olan hastalarda sol ventrikül kasılma ve gevşemesinin gecikmesi mekanik interventriküler gecikmenin nedenidir. Özellikle de interventriküler septum hareketinin zamanlamasının bozulmuş olması septum hareketinin ejeksiyona katkısını ortadan kaldırır. Sağ ventrikül kontraksiyonu erken



**Şekil 1.** Üstte parasternal kısa eksen pencereden orta anteroseptum-orta posterior segmentler seviyesinden lineer kesitle Doppler açı düzeltilmesi uygulanarak elde edilmiş renkli M mod yer değiştirme profilleri, altta ise bu kesitlerden elde edilmiş yer değiştirme zaman eğrileri görölüyor. Sol panel normal bir bireye, sağ panel ise sol dal bloku olan bir bireye aittir. Normal bireyde septum ile posterior segmentler eşzamanlı hareket ederken, sol dal bloku olan bireyde septum ve posterior duvarın birbirinin aksi yönde hareket ettiği ve posterior duvarın sistolik hareketinin diyastol başına kadar uzadığı izlenmektedir.

başlar ve sağ ventrikül ejeksiyonu sol ventrikül diyastol sonu sırasında gerçekleşir. Bu nedenle, sağ ventrikülden septuma uygulanan daha yüksek basınç, septumun sol ventrikül aktif kontraksiyon ve ejeksiyonundan önce sol ventrikül kavitesine doğru itilmesine neden olur.<sup>[11]</sup>

**Intraventriküler senkronizasyon bozukluğu.** Sol dal blokunda sol ventrikülün kendi içerisinde de senkronizasyon bozukluğu söz konusudur. Bunda en önemli neden, yukarıda belirtilen interventriküler septumun uygunsuz erken hareketidir. Bunun yanı sıra bu hastalarda genellikle serbest duvarın aktif kontraksiyonu gecikmiştir. Böylece, septum atım işine katılmazken serbest duvarın gerilmesine ve daha yüksek stres altında kasılmaya başlamasına neden olur. Bu defa da serbest duvarın kasılması septumun gerilmesine ve kanın ventrikül içerisinde bir duvardan diğer duvara itilmesine, ileri atımın azalmasına ve harcanan gücün boşa gitmesine neden olur (Şekil 1).<sup>[3,12]</sup> Etkin olmayan bu kasılma şekli sistolik performansın azalmasına, sistol sonu basıncın yükselmesine, duvar geriliminin artmasına ve sistol süresinin diyastol aleyhine uzamasına yol açar.

Kardiyak resenkronizasyon tedavisi planlanan hastalarda senkronizasyon bozukluğundan kaynaklanan bu mekanik gecikmelerin ne ölçüde bulunduğu ekokardiyografi ile saptanması doğru hasta seçimi ve etkin tedavi için kaçınılmazdır. İlginç olarak, QRS süresi normal olan dilate kardiyomiyopati hastalarında da %27-51 oranında intraventriküler mekanik senkronizasyon bozukluğu olduğu saptanmıştır.<sup>[3,4,13]</sup> Bu hastaların da QRS süresine bakmaksızın tedavi-

den yarar gördüğünün anlaşılması ekokardiyografik değerlendirmenin önemini artırmıştır.<sup>[2,14,15]</sup>

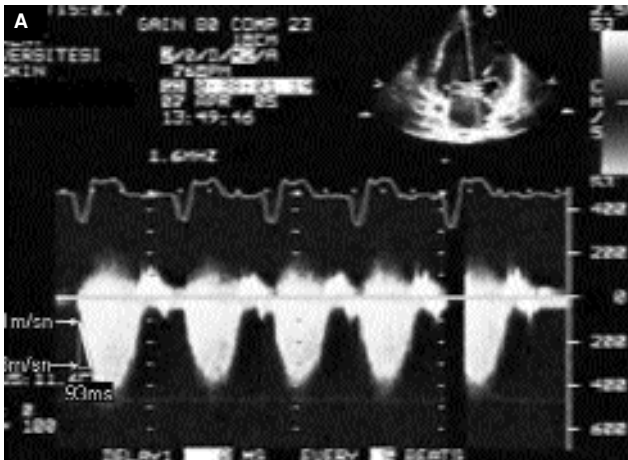
### Resenkronizasyon tedavisinde ekokardiyografi

Ekokardiyografi, mekanik senkronizasyon bozukluğunu sayısal olarak belirtebilmemize olanak verir. Gerek resenkronizasyon tedavisine alınan yanıtın objektif değerlendirmesi gerekse bu yanıtın öngörülmesinde önemli bir yere sahiptir. Çünkü, KRT ile kontraktıl performansta düzelme, *reverse remodeling*, mitral yetersizlikte azalma gibi objektif iyileşmeler sağlanabilmesi için mutlak ve en önemli öngördürücü faktör mekanik senkronizasyon bozukluğunun varlığıdır.<sup>[16]</sup>

**Konvansiyonel ekokardiyografi.** Konvansiyonel ekokardiyografi, senkronizasyon bozukluğuna bağlı hemodinamik durumun ve KRT tedavisi ile gerek *reverse remodeling* gerekse hemodinamik durumda sağlanan düzelme miktarının değerlendirilmesinde yardımcıdır. Bu amaçla, KRT öncesi ve sonrasında sistolik ve diyastolik hacimler, sistolik ve diyastolik çaplar, ejeksiyon fraksiyonu, atım hacmi,  $+dP/dt_{max}$ , mitral yetersizlik derecesi ve süresi, diyastolik doluş süresi, miyokardiyal performans indeksi, interventriküler gecikme değerlendirilerek hastanın tedaviden yarar görüp görmediği saptanabilir (Şekil 2).<sup>[1,6,17]</sup> Bununla birlikte, bu parametrelerdeki akut düzelme, uzun vadede sağlanacak yararı öngörmede yeterli kadar duyarlı değildir.<sup>[18,19]</sup>

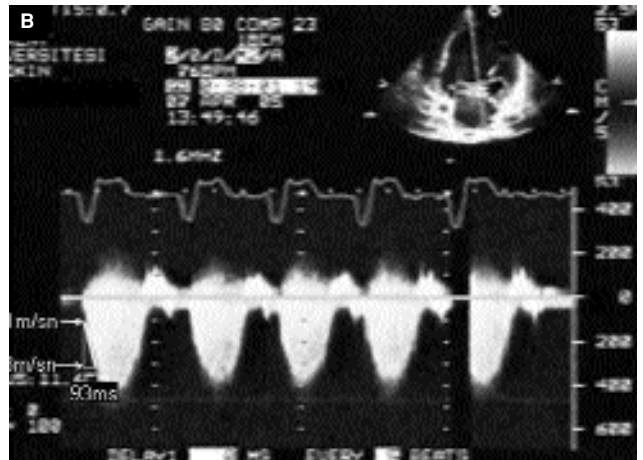
Ayrıca, bu hastalarda ekokardiyografi eşliğinde AV gecikme ayarlaması da yapılarak en uygun di-

Kardiyak resenkronizasyon tedavisi öncesi



Presistolik mitral yetersizlik var; Mitral yetersizlik süresi = 494 msn  
Mitral yetersizlik 3/4;  $+dP/dt_{max}$  = 344 mmHg/sn

Kardiyak resenkronizasyon tedavisinden 3 gün sonra



Presistolik mitral yetersizlik yok; Mitral yetersizlik süresi = 444 msn  
Mitral yetersizlik 2/4;  $+dP/dt_{max}$  = 485 mmHg/sn

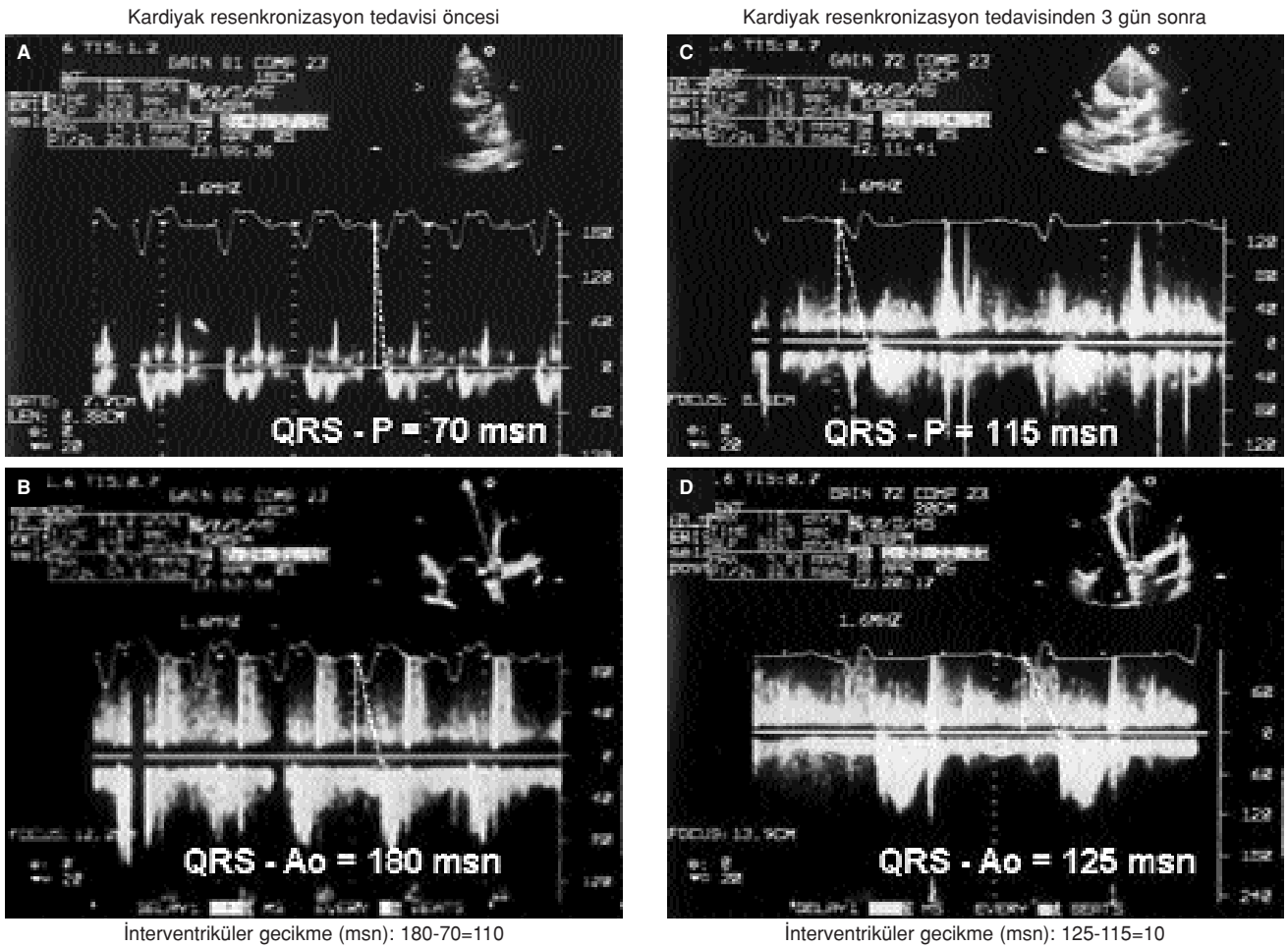
**Şekil 2.** Kardiyak resenkronizasyon (A) öncesi ve (B) sonrası mitral diyastolik akım örneği. Resenkronizasyon ile presistolik mitral yetersizliğin kaybolduğu, mitral yetersizlik süresinin kısaldığı ve  $+dP/dt_{max}$  değerinin yükseldiği görülmektedir.

yastolik doluş örneği elde edilmeye çalışmaldır. Bunun için bazı yaklaşımlar önerilmiştir.<sup>[20,21]</sup> Pratik yaklaşım, Doppler inceleme eşliğinde, mitral doluş süresi en uzun ve diyastolik mitral yetersizlik en az olacak şekilde AV intervalinin 200 msn gibi uzun bir değerden başlanarak tedricen azaltılması, A dalgası kesilmeye başladığı andan itibaren daha küçük aralıklarla tekrar artırılması ve tam doluşa izin veren mümkün olan en kısa AV gecikmenin bulunmasıdır.<sup>[2]</sup>

İnterventriküler gecikme konvansiyonel ekokardiyografi ile řu şekilde ölçölür: QRS başlangıcından aort akımın başlangıcına ve QRS başlangıcından pulmoner akımın başlangıcına dek geçen süreler sol ve sağ ventriküler pre-ejeksiyon intervali denir. Bu, pre-ejeksiyon intervalleri arasındaki zamansal gecikmeyi verir (şekil 3).<sup>[10]</sup> Normalde aor-

tun açılması pulmoner kapağın açılmasından birkaç milisaniye sonradır. Bu sürenin uzaması halinde interventriküler mekanik gecikmeden bahsedilir. İnterventriküler mekanik gecikmenin 40 msn'nin üzerinde olması interventriküler senkronizasyon bozukluğu anlamına gelir.<sup>[22,23]</sup>

Ayrıca, konvansiyonel M mod ekokardiyografi ile parasternal uzun eksen de septum ile arka duvar hareketlerinin zamanlaması ölçölür. Aradaki gecikme intraventriküler mekanik senkronizasyon bozukluğunun ölçüsüdür.<sup>[24]</sup> Bu gecikmenin 130 msn'nin üzerinde olması halinde intraventriküler mekanik senkronizasyon bozukluğundan bahsedilir ve bu hastaların KRT'den belirgin klinik ve ekokardiyografik yarar göreceği, hatta prognozlarının anlamlı ölçüde daha iyi olacağı öngörülebilir.<sup>[25,26]</sup> Öte yandan, tedaviden yarar gören ve görmeyenler arasında 130 msn sınır

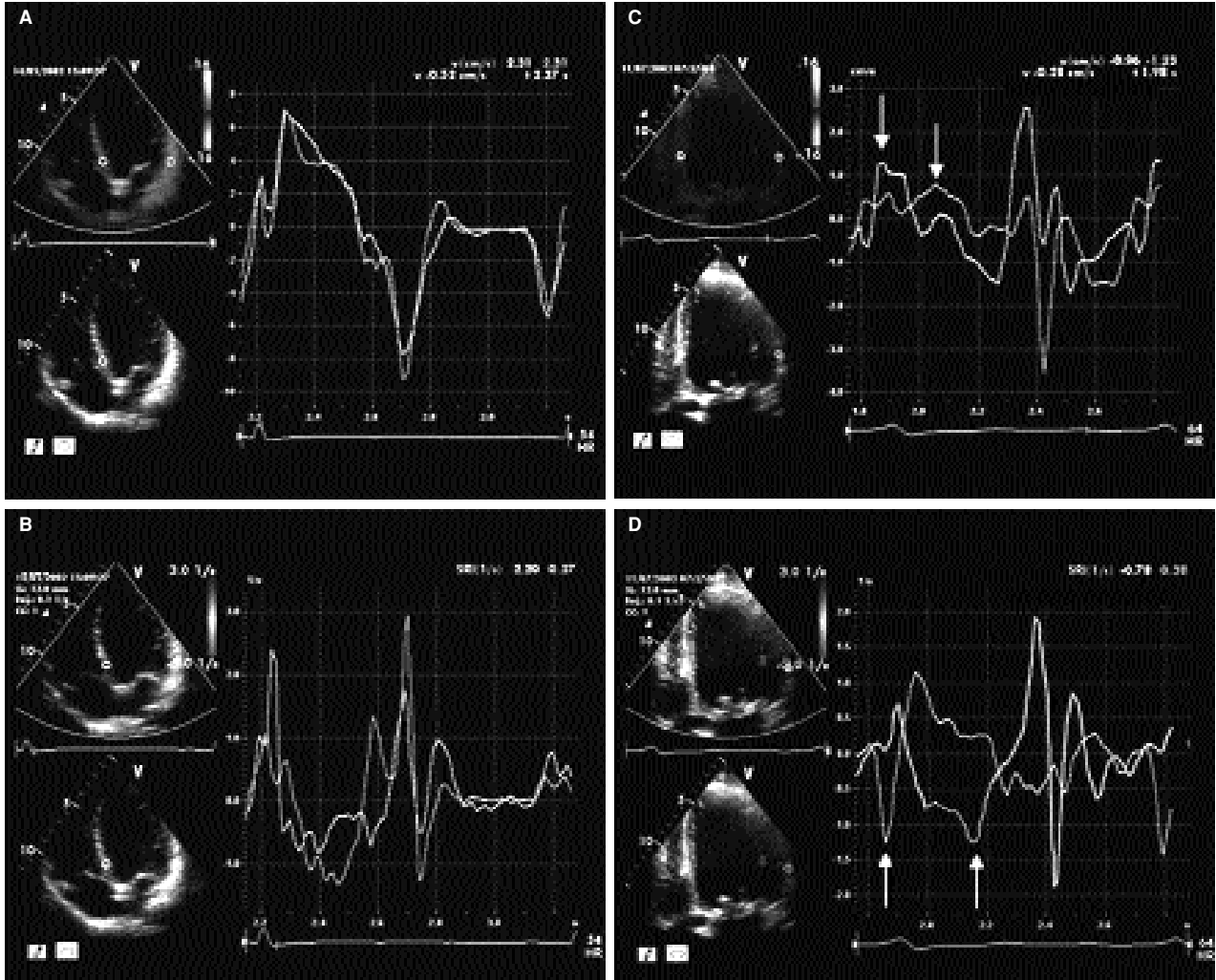


**şekil 3.** Kardiyak resenkronizasyon (A-B) öncesi ve (C-D) sonrası interventriküler gecikme izlenmekte. Resenkronizasyon öncesinde sağ ventriküler pre-ejeksiyon süresi (QRS-P) 70 msn, sol ventriküler pre-ejeksiyon süresi (QRS-Ao) 180 msn olarak ölçölümüş ve interventriküler gecikme 110 msn olarak hesaplanmıştır. Resenkronizasyon sonrasında ise sağ ventriküler pre-ejeksiyon süresi (QRS-P) 115 msn, sol ventriküler pre-ejeksiyon süresi (QRS-Ao) 125 msn olarak ölçölümüş, interventriküler gecikme 10 msn olarak hesaplanmıştır. P: Pulmoner; Ao: Aort.

değerine rağmen göz ardı edilemeyecek kadar örtüşen değerler dikkati çekmektedir.<sup>[25]</sup> Ayrıca, bu veriyi elde etmek, dilate kardiyomiyopati varlığında özellikle septumun hareket amplitüdü önemli ölçüde azaldığından çok zorlaşabilir ve duvarlara dik M mode kayıtları elde etmek de her zaman mümkün olmayabilir.

**Doku Doppler görüntüleme.** Renk kodlu doku Doppler yöntemleri ile bölgesel duvar hareketi, hız, yer değiştirme amplitüdü (displacement), *strain* ve *strain rate* cinsinden ölçülebilir ve hareketin zamansal analizi yapılarak bölgeler (intraventriküler ve interventriküler) birbiriyle karşılaştırılabilir. Bu alanda en çok çalışma doku hızı görüntülemesi ile yapılmıştır.<sup>[15,26,27]</sup> Sağ ventrikül serbest duvarı ile

sol ventrikülün altı duvarından en geç hareket eden arasındaki zamanın interventriküler gecikme miktarı bu yöntemle ölçülebilir.<sup>[28]</sup> Günümüzde, intraventriküler mekanik senkronizasyon bozukluğunun QRS genişliğinden daha önemli bir sorun olduğu görüşü ağırlık kazanmıştır.<sup>[29]</sup> İnaventriküler senkronizasyon bozukluğu, sol ventrikül segmentlerinin QRS başlangıcından pik sistolik hıza ulaşma zamanlarının birbiriyle karşılaştırılması ile değerlendirilir. Bu karşılaştırma, apikal pencereleden her üç planda birbirine karşıt duvarlarda eş seviyedeki segmentler arasında ya da bazal ve orta toplam 12 segment içinde yapılır.<sup>[26]</sup> Sol dal blokunda en sık görülen örnek septal duvarın çok erken, serbest duvarın (lateral ya da posterior) ise çok geç



**Şekil 4.** Renkli doku Doppler yöntemiyle apikal 4 boşluk görüntüden bazal lateral ve bazal inferoseptal segmentlerden elde edilmiş (A-C) hız-zaman ve (B-D) *strain rate*-zaman eğrileri görülmekte. (A) ve (B) normal bir bireye, (C) ve (D) resenkronizasyon tedavisine aday, dilate kardiyomiyopatisi olan bir bireye aittir. Normal bireyde gerek hız gerekse *strain rate* eğrileri koordine bir hareket örneği gösterirken, hasta bireyde inferoseptum ve lateral duvar hareketinin eşzamanlı olmadığı, lateral duvarda önemli bir gecikme olduğu izleniyor.

hareket etmesidir. Bu gözleme dayanılarak, apikal dört boşluktan karşılıklı iki duvar pik sistolik hıza ulaşmaya kadar geçen sürelerin karşılaştırılmasının (septum-lateral duvar gecikmesi) da yeterli olabileceğini gösteren çalışmalar vardır (Şekil 4). Böylece, elde edilen en az 60 ms'n'lik bir gecikmenin belirgin intraventriküler mekanik senkronizasyon bozukluğu tanısı için yeterli olduğu ileri sürülmüştür.<sup>[30,31]</sup> Yu ve ark.<sup>[16]</sup> ise daha çok segmenti bir arada değerlendirerek bölgesel hareketin zamansal heterojenitesini bazal altı ve bazal + orta 12 segmentin standart sapması olarak ifade etmişler, bu standart sapmanın 33 ms'nin üzerinde olmasının tedaviye alınacak olumlu yanıt için güçlü bir gösterge olduğunu ortaya koymuşlardır. Yakın zamanda ise, Yu indeksi olarak adlandırabileceğimiz bu indeksin parasternal kısa eksen de septum ve arka duvar arasındaki gecikme ile çok yüksek bir korelasyon gösterdiği ve daha basit olan bu iki bölge yönteminin (septum-arka duvar gecikmesi) kullanılabilmesi de ileri sürülmüştür.<sup>[32]</sup>

Renkli doku Doppler yönteminin bu alanda kullanımını daha yaygın olsa da, dijital kayıtlar alındıktan sonra, zaman alıcı bir sonradan işlem (postprocessing) ve analiz sürecine ihtiyaç vardır. Çünkü, ölçüm yapılan bölgeden elde edilen hız-hareket, hız-deformasyon eğrilerinin tekrarlanabilir olup olmadığından emin olmak ve ilgi alanının miyokardı izleyecek şekilde (semi-automated ROI tracking) ayarlanması gerekir.

*Pulsed wave* doku Doppler ile yapılan çalışmalardan da güvenilir ve yararlı sonuçlar elde edilebilir. Daha çabuk olmasına karşın bu yöntemin spasiyal çözünürlüğü düşüktür ve pek çok farklı sıklardan elde edilen ölçümlerin karşılaştırılması gibi bir dezavantajı vardır. Bu nedenle, kalp hızı değişkenliği, kalbin global hareketi ve yüklenme durumuna çok daha hassastır. Yine de, renkli doku Doppler ile benzer sonuçlar elde edilebileceği bildirilmiştir.<sup>[33,34]</sup>

Translasyon ve itilme-çekilme artefaktlarından nispeten bağımsız olan intrinsik deformasyonu ve deformasyon hızını değerlendiren *strain* ve *strain rate* görüntüleme ile daha güvenilir sonuçlar elde edilmesi beklentisi araştırmaları son dönemde bu yöne kaydırmıştır.<sup>[15,17,35]</sup> Doku yer değiştirmesinin ölçülmesi, diğer bir deyişle doku *tracking* görüntüleme ile de görsel ve kantitatif doku hareket miktarı milimetre-santimetre cinsinden nispeten daha kolay yorumlanabilir.<sup>[15,26,36,37]</sup> *Strain* ve *strain rate* görüntüleme, itilme-çekilme ve translasyondan etkilenmediği için mekanik gecikmenin daha iyi ayırt

edilmesini sağlayabilir.<sup>[17,35]</sup> Bu iki yöntemle sık izlenen sistol sonrası kılcalma pike ulaşma zamanı kavramını karmaşık hale getirmektedir. Halen ortak sorun hangi noktanın gerçek pik noktası olduğudur.<sup>[6,15,38,39]</sup> Yu ve ark.nın<sup>[16]</sup> uygulamasından farklı olarak, Sogaard ve ark.<sup>[15]</sup> ölçüm aralığını aort kapasının kapanması ile sınırlamayıp, sistol sonrası longitudinal hareketi gecikmiş segmentin hareketi olarak kabul etmektedir. Bir diğer yaklaşım da QRS başlangıcından sistolik hareketin başlangıcına kadar olan sürenin segmentler arasında karşılaştırılmasına dayanmaktadır.<sup>[34]</sup> Henüz hiçbir yöntem tam olarak aktif kasılma ile pasif hareketi birbirinden ayırmaya yeterli değildir. Bu durum, KRT için hasta seçiminde ve tedaviye alınacak yanıtta aşırı ya da yetersiz değerlendirmelere neden olabilmektedir. Bu noktada, kardiyomiyopatinin iskemik ya da iskemik olmayan şeklinin etyolojik ayrımının yapılması ve sistol sonrası kılcalmanın iskemik kökenli olup olmadığının belirlenmesi önemli olabilir.<sup>[38]</sup>

Tüm bu işlemleri ve görsel değerlendirmeyi kolaylaştırmak için 2004 yılında Doku Senkronizasyon Görüntüleme (Tissue Synchronization Imaging™, GE Vingmed, Horten, Norveç) programı geliştirilmiştir.<sup>[19]</sup> Bu yöntemde, ikiboyutlu görüntülere süperpoze renk kodlaması bölgesel hızın pike ulaşma zamanına göre yapılır. Bu da bize doğrudan bölgesel hareketin zamansal bilgisini verir. Bu yöntem ile apikal pencere kesitlerinden karşıt duvarların gecikmesi birbiriyle karşılaştırıldığında, 65 ms'lik bir sınır değerinin %87 duyarlılık, %100 özgüllük ile tedaviye alınacak olumlu yanıtı öngördürücü olduğu gösterilmiştir.<sup>[19]</sup> Yine bu yöntem yardımıyla hesaplanan Yu indeksi de önceki verilere benzer sonuçlar vermiştir.<sup>[40]</sup> Dolayısıyla, son derece pratik olan bu otomatik zamansal analiz oldukça iyi işliyor gibi görünmektedir. Ayrıca, elektrodun da Doku Senkronizasyon Görüntüleme ile saptanan en geç bölgeye yerleştirilmesi halinde tedaviye daha çabuk olumlu yanıt elde edildiği de gözlenmiştir.<sup>[19]</sup> Bu yöntemin tekrarlanabilirliği ve güvenilirliğine yönelik çalışmalar halen sürmektedir.

Doku Doppler görüntüleme çalışmalarında hata kaynağı da olabilecek çeşitli zorluklar bulunmaktadır. Bunlardan ilki, sorunlu ventrikülde bölgesel hareket miktarı azalırken çekilme-tilme, torsiyon ve translasyondan kaynaklanan artefaktların artmasıyla sinyal gürültü oranının azalması; dolayısıyla, gerçek pik değerlerin ve hangi hareketin gerçek miyokard hareketi olduğunun ayırt edilememesidir. Bu nedenle, yapılacak ölçümlerin güvenilirliği açı-

sından çok dikkatli olmalı; renk kazanç skalası ne çok yüksek ne de çok düşük olacak şekilde her kayıta yeniden ayarlanmalı; renkli M mod eğrisinden elde edilen profil kılavuzluğunda, hatta mümkünse aynı noktadan elde edilen hız, *stain* ve *strain rate* eğrileri karşılaştırılarak yorum yapılmalıdır. Yukarıda belirtilen sınır değerlere rağmen, eğri üzerinde hangi noktanın pik kabul edilmesi gerektiği konusu tartışmalıdır. İkincisi, özellikle dilate ve sferik ventrikül geometrisi nedeniyle, bölgeler arası senkronizasyonun aynı kalp siklusunda karşılaştırılabilmesi için geniş bir sektör açısına ihtiyaç ( $>60^\circ$ ) duyulmasıdır. Bu da *frame* hızını azaltarak zamansal çözünürlüğün düşmesine neden olur. Oysa, 5 ms'nin altında bir zamansal çözünürlük için *frame* hızı 200'ün üzerinde olmalıdır. Günümüzdeki teknolojik donanım ise bu kadar yüksek *frame* hızı ile böyle geniş bir sektör açısının çalışılmasına imkan vermemektedir. Tüm bu zorluklar göz önüne alındığında, senkronizasyon bozukluğunun deneyimli kişilerce değerlendirilmesi gerekir. Bu da bir başka kısıtlılık olarak karşımıza çıkmaktadır.

**Mekanik senkronizasyon bozukluğuna bağlı fonksiyonel mitral yetersizliğinin değerlendirilmesi.** Mekanik senkronizasyon bozukluğuna bağlı fonksiyonel mitral yetersizlikte ekokardiyografi ile sayısal olarak değerlendirilebilecek birden çok mekanizma rol oynamaktadır. Bunların her biri resenkronizasyon adaylarında ve KRT'den sonra incelenmelidir. Sol ventrikül sistolik kasılma gücündeki ( $+dP/dt_{max}$ ) düşüşe bağlı olarak mitral yaprakların kapanma hızı ve gücünün azalmış olması ve belki de daha önemlisi anterolateral ve posteromedial papiller kasların hareketlerinde senkronizasyon olmayışı en önemli nedenlerdir.<sup>[41,42]</sup> Ayrıca, AV gecikme süresi çok uzarsa, bu durum presistolik mitral yetersizliğe ve mitral yetersizlik süresinin uzamasına neden olur. Bu üç mekanizma, KRT ile akut olarak, revers remodelingde ise uzun dönemde mitral yetersizliğin azalmasını sağlar.<sup>[43]</sup>

**Üçboyutlu ekokardiyografi.** Üçboyutlu ekokardiyografi global ejeksiyon fraksiyonu, volümler bakımından KRT'ye alınan yanıtı değerlendirmede kullanılabilir gibi, yeni teknolojik gelişmeler sayesinde bölgesel hacim değişiklikleri ve bunların zamansal analizini mümkün kılarak yakın gelecekte KRT'ye rehberlik edecek gibi görünmektedir.<sup>[44]</sup>

#### **Ekokardiyografinin elektod yerleştirilmesine katkısı**

Tedaviye olumlu yanıt alınması ancak elektrod yerleşiminin mekanik gecikmeden esas sorumlu olan

bölge ile uyumlu olmasıyla mümkündür.<sup>[7]</sup> Elektrodun uygunsuz yerleştirilmesi, yarar sağlamamanın ötesinde hastaların durumunun daha da kötüleşmesine neden olabilir.<sup>[7,19]</sup> Bu nedenle, en geciken bölgelerin implantasyondan önce ekokardiyografi ile tanımlanması gerekir. Yeni KRT cihazları ile, elektrod kanalları en geri kalan sol ventrikül bölgesine ayrı ayrı uyarı vermek için ayarlanabilir. Bu yaklaşımın daha iyi sistolik ve diyastolik performans sağlayabileceği ileri sürülmüştür.<sup>[45]</sup> Her ne kadar en geç hareket eden bölge en sık olarak lateral ve/veya posterior segmentler olsa da, anterior ve septal segmentler de en geç hareket eden bölgeler olabilir.<sup>[3,7,19]</sup> En geç hareket eden bölgenin her zaman diskinetik olan bölge anlamına gelmediği de bilinmektedir.<sup>[7]</sup>

Bugüne dek yapılan çalışmaların en önemli kısıtlılıklardan biri senkronizasyon bozukluğunun tek planda çalışılmış olmasıdır. Apikal pencereden üç düzlemde bölgesel uzun eksen hareketinin incelendiği çalışmalar da vardır. Ancak, bunlarda da birden çok kalp siklusunda kayıt alınması kesitlerin karşılaştırılabilirliğini nispeten kısıtlamaktadır. Ayrıca, kısa eksen hareketinin incelenememesi apikal segmentleri çalışmaların dışında bırakmıştır; üstelik, kısa ve uzun eksen hareketlerinin farklı gecikme örneği gösterebileceği ve KRT'ye farklı yanıt verebileceği bildirilmiştir.<sup>[18,46]</sup> Açık düzeltmeli doku Doppler yöntemleri buna kısmen bir çözüm sunmuş ve aynı siklustan altı segmentin birden radyal hareketinin incelenmesine olanak vermiştir.<sup>[3,37]</sup> Üç boyutlu ekokardiyografideki yeni gelişmeler bu sorunların üstesinden gelmek ve daha tam bir bölgesel analiz yapmak açısından ümit vericidir. Ayrıca, ikiboyutlu ekokardiyografi görüntülerine dayalı olarak geliştirilen yeni ikiboyutlu doku *strain* görüntüleme yaklaşımları, açı bağımlılık sorununu da çok aza indirerek bölgesel kantitatif değerlendirmelerin doğruluğunu artıracaktır.<sup>[47]</sup> Bu yeni gelişmelerin KRT'ye yanıtızlık oranının azaltılmasında neler getireceğini ileriki çalışmalar gösterecektir.

Herşeye rağmen, mekanik senkronizasyon bozukluğunun ekokardiyografi ile tam olarak tanımlanması KRT'ye olumlu yanıt alınması için yeterli olmayabilir. Kardiyak venlerin anatomisinin istenen bölgeye *lead* yerleştirilmesine uygun olmaması; uygun elektrik uyarı ve *lead* yerleşimine rağmen, intrinsik miyokard hasarının ciddiyeti nedeniyle istenen düzeyde mekanik yanıt elde edilememesi; zaman içinde değişen hemodinamik durumun ve yeniden şekillenmenin takip edilip optimizasyonun düzenli aralıklarla kontrol edilmesi gerekliliği ve has-

ta takibinin aksaması gibi olası sorunlar da KRT'ye alınacak yanıtı etkileyecek diğer faktörler olarak akılda tutulmalıdır.

#### KAYNAKLAR

1. St John Sutton MG, Plappert T, Abraham WT, Smith AL, DeLurgio DB, Leon AR, et al. Effect of cardiac resynchronization therapy on left ventricular size and function in chronic heart failure. *Circulation* 2003;107:1985-90.
2. Achilli A, Sassara M, Ficili S, Pontillo D, Achilli P, Alessi C, et al. Long-term effectiveness of cardiac resynchronization therapy in patients with refractory heart failure and "narrow" QRS. *J Am Coll Cardiol* 2003;42:2117-24.
3. Sade LE, Kanzaki H, Severyn D, Dohi K, Gorcsan J 3rd. Quantification of radial mechanical dyssynchrony in patients with left bundle branch block and idiopathic dilated cardiomyopathy without conduction delay by tissue displacement imaging. *Am J Cardiol* 2004;94:514-8.
4. Bleeker GB, Schalij MJ, Molhoek SG, Verwey HF, Holman ER, Boersma E, et al. Relationship between QRS duration and left ventricular dyssynchrony in patients with end-stage heart failure. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2004;15:544-9.
5. Turner MS, Bleasdale RA, Vinereanu D, Mumford CE, Paul V, Fraser AG, et al. Electrical and mechanical components of dyssynchrony in heart failure patients with normal QRS duration and left bundle-branch block: impact of left and biventricular pacing. *Circulation* 2004;109:2544-9.
6. Notabartolo D, Merlini JD, Smith AL, DeLurgio DB, Vera FV, Easley KA, et al. Usefulness of the peak velocity difference by tissue Doppler imaging technique as an effective predictor of response to cardiac resynchronization therapy. *Am J Cardiol* 2004;94:817-20.
7. Ansalone G, Giannantoni P, Ricci R, Trambaiolo P, Fedele F, Santini M. Doppler myocardial imaging to evaluate the effectiveness of pacing sites in patients receiving biventricular pacing. *J Am Coll Cardiol* 2002;39:489-99.
8. Kass DA. Ventricular dyssynchrony and mechanisms of resynchronization therapy. *Eur Heart J* 2002;4:D23-30.
9. Brecker SJ, Xiao HB, Sparrow J, Gibson DG. Effects of dual-chamber pacing with short atrioventricular delay in dilated cardiomyopathy. *Lancet* 1992;340:1308-12.
10. Cazeau S, Bordachar P, Jauvert G, Lazarus A, Alonso C, Vandrell MC, et al. Echocardiographic modeling of cardiac dyssynchrony before and during multisite stimulation: a prospective study. *Pacing Clin Electrophysiol* 2003;26(1 Pt 2):137-43.
11. Grines CL, Bashore TM, Boudoulas H, Olson S, Shafer P, Wooley CF. Functional abnormalities in isolated left bundle branch block. The effect of interventricular asynchrony. *Circulation* 1989;79:845-53.
12. Prinzen FW, Hunter WC, Wyman BT, McVeigh ER. Mapping of regional myocardial strain and work during ventricular pacing: experimental study using magnetic resonance imaging tagging. *J Am Coll Cardiol* 1999;33:1735-42.
13. Yu CM, Lin H, Zhang Q, Sanderson JE. High prevalence of left ventricular systolic and diastolic asynchrony in patients with congestive heart failure and normal QRS duration. *Heart* 2003;89:54-60.
14. Yu CM, Fung JW, Chan CK, Chan YS, Zhang Q, Lin H, et al. Comparison of efficacy of reverse remodeling and clinical improvement for relatively narrow and wide QRS complexes after cardiac resynchronization therapy for heart failure. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2004;15:1058-65.
15. Sogaard P, Egeblad H, Kim WY, Jensen HK, Pedersen AK, Kristensen BO, et al. Tissue Doppler imaging predicts improved systolic performance and reversed left ventricular remodeling during long-term cardiac resynchronization therapy. *J Am Coll Cardiol* 2002;40:723-30.
16. Yu CM, Fung WH, Lin H, Zhang Q, Sanderson JE, Lau CP. Predictors of left ventricular reverse remodeling after cardiac resynchronization therapy for heart failure secondary to idiopathic dilated or ischemic cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 2003;91:684-8.
17. Breithardt OA, Stellbrink C, Herbots L, Claus P, Sinha AM, Bijnens B, et al. Cardiac resynchronization therapy can reverse abnormal myocardial strain distribution in patients with heart failure and left bundle branch block. *J Am Coll Cardiol* 2003;42:486-94.
18. Ansalone G, Giannantoni P, Ricci R, Trambaiolo P, Fedele F, Santini M. Biventricular pacing in heart failure: back to basics in the pathophysiology of left bundle branch block to reduce the number of nonresponders. *Am J Cardiol* 2003;91:55F-61F.
19. Gorcsan J 3rd, Kanzaki H, Bazaz R, Dohi K, Schwartzman D. Usefulness of echocardiographic tissue synchronization imaging to predict acute response to cardiac resynchronization therapy. *Am J Cardiol* 2004;93:1178-81.
20. Kindermann M, Frohlig G, Doerr T, Schieffer H. Optimizing the AV delay in DDD pacemaker patients with high degree AV block: mitral valve Doppler versus impedance cardiography. *Pacing Clin Electrophysiol* 1997;20(10 Pt 1):2453-62.
21. Meluzin J, Novak M, Mullerova J, Krejci J, Hude P, Eisenberger M, et al. A fast and simple echocardiographic method of determination of the optimal atrioventricular delay in patients after biventricular stimulation. *Pacing Clin Electrophysiol* 2004;27:58-64.
22. Rouleau F, Merheb M, Geffroy S, Berthelot J, Chaleil



- D, Dupuis JM, et al. Echocardiographic assessment of the interventricular delay of activation and correlation to the QRS width in dilated cardiomyopathy. *Pacing Clin Electrophysiol* 2001;24:1500-6.
23. Porciani MC, Puglisi A, Colella A, Peraldo C, Gaita F, Romano M, et al. Echocardiographic evaluation of the effect of biventricular pacing: the InSync Italian Registry. *Eur Heart J Suppl* 2000;2:J23-30.
24. Pitzalis MV, Iacoviello M, Romito R, Massari F, Rizzon B, Luzzi G, et al. Cardiac resynchronization therapy tailored by echocardiographic evaluation of ventricular asynchrony. *J Am Coll Cardiol* 2002;40:1615-22.
25. Pitzalis MV, Iacoviello M, Romito R, Guida P, De Tommasi E, Luzzi G, et al. Ventricular asynchrony predicts a better outcome in patients with chronic heart failure receiving cardiac resynchronization therapy. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:65-9.
26. Yu CM, Chau E, Sanderson JE, Fan K, Tang MO, Fung WH, et al. Tissue Doppler echocardiographic evidence of reverse remodeling and improved synchronicity by simultaneously delaying regional contraction after biventricular pacing therapy in heart failure. *Circulation* 2002;105:438-45.
27. Kanzaki H, Jacques D, Sade LE, Severyn DA, Schwartzman D, Gorcsan J 3rd. Regional correlation by color-coded tissue Doppler to quantify improvements in mechanical left ventricular synchrony after biventricular pacing therapy. *Am J Cardiol* 2003;92:752-5.
28. Penicka M, Bartunek J, De Bruyne B, Vanderheyden M, Goethals M, De Zutter M, et al. Improvement of left ventricular function after cardiac resynchronization therapy is predicted by tissue Doppler imaging echocardiography. *Circulation* 2004;109:978-83.
29. Sogaard P, Hassager C. Tissue Doppler imaging as a guide to resynchronization therapy in patients with congestive heart failure. *Curr Opin Cardiol* 2004;19:447-51.
30. Bax JJ, Molhoek SG, van Erven L, Voogd PJ, Somer S, Boersma E, et al. Usefulness of myocardial tissue Doppler echocardiography to evaluate left ventricular dyssynchrony before and after biventricular pacing in patients with idiopathic dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 2003;91:94-7.
31. Bax JJ, Marwick TH, Molhoek SG, Bleeker GB, van Erven L, Boersma E, et al. Left ventricular dyssynchrony predicts benefit of cardiac resynchronization therapy in patients with end-stage heart failure before pacemaker implantation. *Am J Cardiol* 2003;92:1238-40.
32. Dohi K, Pinsky MR, Suffoletto MS, Severyn DA, Gorcsan J III. A new rapid and simple index of mechanical dyssynchrony by color-coded strain dyssynchrony imaging. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:A289.
33. Ansalone G, Giannantoni P, Ricci R, Trambaiolo P, Laurenti A, Fedele F, et al. Doppler myocardial imaging in patients with heart failure receiving biventricular pacing treatment. *Am Heart J* 2001;142:881-96.
34. Penicka M, Bartunek J, De Bruyne B, Vanderheyden M, Goethals M, De Zutter M, et al. Improvement of left ventricular function after cardiac resynchronization therapy is predicted by tissue Doppler imaging echocardiography. *Circulation* 2004;109:978-83.
35. Sade LE, Severyn DA, Kanzaki H, Dohi K, Edelman K, Gorcsan J III. Comparative study of angle-corrected tissue velocity, displacement, strain and strain rate imaging to characterize mechanical dyssynchrony in left bundle branch block. *Eur J Echocardiogr* 2003;4(Suppl 1):S67.
36. Pan C, Hoffmann R, Kuhl H, Severin E, Franke A, Hanrath P. Tissue tracking allows rapid and accurate visual evaluation of left ventricular function. *Eur J Echocardiogr* 2001;2:197-202.
37. Sade LE, Severyn DA, Kanzaki H, Dohi K, Gorcsan J 3rd. Second-generation tissue Doppler with angle-corrected color-coded wall displacement for quantitative assessment of regional left ventricular function. *Am J Cardiol* 2003;92:554-60.
38. Yu CM, Fung JW, Zhang Q, Chan CK, Chan YS, Lin H, et al. Tissue Doppler imaging is superior to strain rate imaging and postsystolic shortening on the prediction of reverse remodeling in both ischemic and nonischemic heart failure after cardiac resynchronization therapy. *Circulation* 2004;110:66-73.
39. Schuster P, Faerstrand S, Ohm OJ. Color Doppler tissue velocity imaging can disclose systolic left ventricular asynchrony independent of the QRS morphology in patients with severe heart failure. *Pacing Clin Electrophysiol* 2004;27:460-7.
40. Yu CM, Zhang Q, Fung JW, Chan HC, Chan YS, Yip GW, et al. A novel tool to assess systolic asynchrony and identify responders of cardiac resynchronization therapy by tissue synchronization imaging. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:677-84.
41. Breithardt OA, Sinha AM, Schwammenthal E, Bidaoui N, Markus KU, Franke A, et al. Acute effects of cardiac resynchronization therapy on functional mitral regurgitation in advanced systolic heart failure. *J Am Coll Cardiol* 2003;41:765-70.
42. Kanzaki H, Bazaz R, Schwartzman D, Dohi K, Sade LE, Gorcsan J 3rd. A mechanism for immediate reduction in mitral regurgitation after cardiac resynchronization therapy: insights from mechanical activation strain mapping. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:1619-25.
43. Stellbrink C, Breithardt OA, Franke A, Sack S, Bakker P, Auricchio A, et al. Impact of cardiac resynchronization therapy using hemodynamically optimized pacing on left ventricular remodeling in patients with congestive heart failure. *Circulation* 2004;110:100-6.

- tive heart failure and ventricular conduction disturbances. *J Am Coll Cardiol* 2001;38:1957-65.
44. Zhang Q, Yu CM, Fung JW, Zhang Y, Chan YS, Chan HC, et al. Assessment of the effect of cardiac resynchronization therapy on intraventricular mechanical synchronicity by regional volumetric changes. *Am J Cardiol* 2005;95:126-9.
45. Sogaard P, Egeblad H, Pedersen AK, Kim WY, Kristensen BO, Hansen PS, et al. Sequential versus simultaneous biventricular resynchronization for severe heart failure: evaluation by tissue Doppler imaging. *Circulation* 2002;106:2078-84.
46. Varma C, O'Callaghan P, Mahon NG, Hnatkova K, McKenna W, Camm AJ, et al. Effect of multisite pacing on ventricular coordination. *Heart* 2002;87:322-8.
47. Leitman M, Lysyansky P, Sidenko S, Shir V, Peleg E, Binenbaum M, et al. Two-dimensional strain-a novel software for real-time quantitative echocardiographic assessment of myocardial function. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:1021-9.