

Nasıl yapalım?

How to?

Kardiyak resenkronizasyon tedavisi uygulanmış hastaların elektrokardiyografileri nasıl yorumlanmalıdır?

How should the electrocardiogram be interpreted in patients with cardiac resynchronization therapy?

Dr. Yalçın Velibey

Dr. Siyami Ersek Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Kardiyoloji Kliniği, İstanbul

Sistolik kalp yetersizliği (KY) olan seçilmiş bazı hastalarda, mortalite ve morbiditeyi azaltmak için kardiyak resenkronizasyon tedavisi (KRT) uygulanmaktadır. KRT ile amaçlanan, öncelikle sağ ventriküle (SğV) birlikte sol ventrikülün (SV) de eş zamanlı uyarılması (biventriküler uyarı) ve daha iyi bir ventriküler aktivasyon paterni oluşturmaktır. İkincil amaç ise sinüs ritmindeki hastalarda atriyoventriküler senkronizasyonu sağlamaktır. KRT'nin etkinliği için en önemli faktörlerden biri de etkin SV uyarısının olmasıdır. 12 derivasyonlu yüzey elektrokardiyografisi (EKG); SğV, SV veya biventriküler uyarının değerlendirilmesinde kullanışlı bir inceleme aracıdır. Özellikle EKG'de bazı derivasyonlardaki QRS morfolojisi, SV veya SğV uyarısının varlığı ve yeri için bir kılavuz rolü görebilmektedir. KRT uygulanmış hasta sayısı son yıllarda giderek artmakta ve günlük pratikte bu hastalarla sık sık karşılaşılmaktadır. Bu nedenle, SV uyarısını veya olası uyarı kaybını tanımlayabilmek amacıyla bu tür hastaların EKG paternlerine aşina olmakta fayda vardır. Bu yazıda, elde olan veriler ışığında, biventriküler uyarı yapılan KY hastalarının EKG sonuçlarının nasıl yorumlanması gerektiğinin ele alınması amaçlanmıştır.

Biventriküler uyarı ile QRS süresindeki değişiklikler

Klinik çalışmalarla, biventriküler uyarı ile QRS süresinin ortalama 20–40 milisaniye kısaldığı gösterilmiş olmasına rağmen, pratikte bu etki her hastada görülmemektedir.^[1] Ayrıca, bazı çalışmalarla QRS sü-

resindeki kısıalma derecesi ile klinik cevap arasında ilişki olduğu gösterilse de bazı çalışmalarla bu ilişki belirlenmemiştir.^[1] Bunun dışında, klinik pratikte biventriküler uyarı ile bazı hastalarda QRS süresi uzamasına rağmen

bu hastalarda klinik iyileşme görülebilmektedir. Bu durum, özellikle tek başına SV uyarısının yapıldığı veya SV uyarısının SğV uyarısından anlamlı derecede daha önce yapıldığı biventriküler uyarı zamanı görülmektedir.^[2–5] Bu nedenle çalışmalar, QRS süresindeki azalma derecesinin biventriküler uyarının uzun vadeli hemodinamik faydasının zayıf bir öngördürücüsü olduğunu göstermektedir.^[2–4] Uzmanlar tarafından bu durum, uyarı ile oluşturulan QRS'nin mekanik senkronizasyon derecesini objektif bir şekilde yansıtmaması ile açıklanmaktadır. Hatta bazı hastalar, uyarı sonrası oluşan geniş QRS kompleksine rağmen daha iyi mekanik resenkronizasyon derecesine sahiptirler.^[2,3,5] QRS süresindeki değişiklikten bağımsız olarak KRT uygulanan tüm hastalarda atriyoventriküler (AV) ve interventriküler (VV) gecikme zamanı optimizasyonunun rutin olarak yapılması önerisi, çok merkezli büyük çalışmaların sonuçları ile desteklenmedi.^[6–8] Bu çalışmalar rutin AV ve VV gecikme zamanı optimizasyonunun, klinik veya ekokardiyografik iyileşme açısından geleneksel eşzamanlı biventriküler uyarıya

Kısaltmalar:

AV	Atriyoventriküler
EKG	Elektrokardiyografi
KRT	Kardiyak resenkronizasyon tedavisi
KY	Kalp yetersizliği
SğV	Sağ ventrikül
SV	Sol ventrikül
RBBB	Right bundle branch block
VV	Interventriküler

Geliş tarihi: 02.07.2019 Kabul tarihi: 06.08.2019

Yazışma adresi: Dr. Yalçın Velibey, Dr. Siyami Ersek Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Kardiyoloji Kliniği, İstanbul, Turkey.

Tel: +90 216 - 542 44 44 e-posta: dr_yalchin_dr@yahoo.com.tr

© 2019 Türk Kardiyoloji Derneği



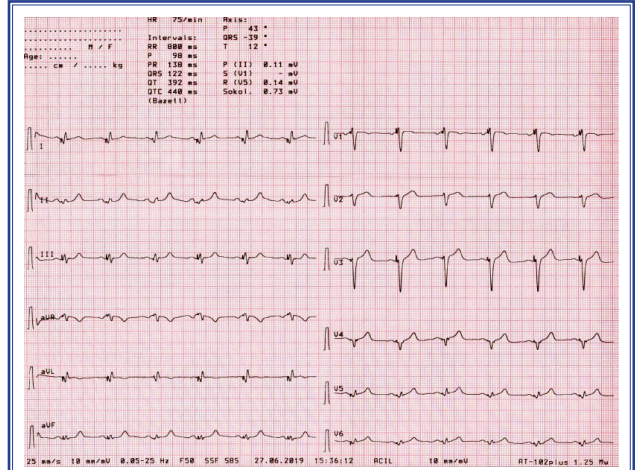
belirgin bir üstünlüğünün olmadığını gösterdi. Ancak, KRT'ye yanıt vermeyenlerde, iskemik KY hastalarında veya atriyal uyarı ihtiyacı olanlarda AV ve VV gecikme zamanı optimizasyonu önerilmektedir.^[9]

Göğüs derivasyonlarındaki uyarılmış QRS morfolojisi

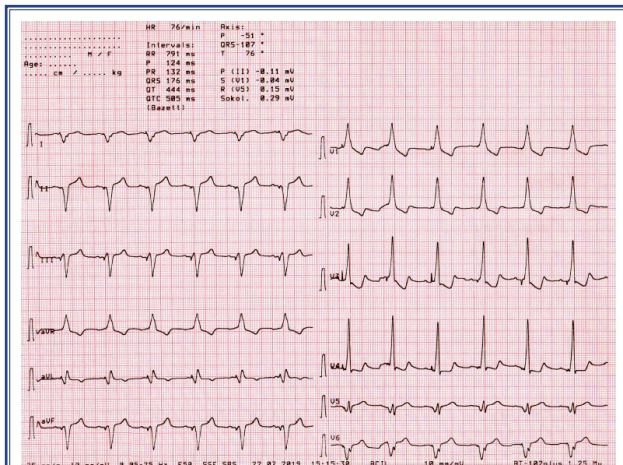
V1 derivasyonundaki uyarılmış QRS morfolojisi

Biventriküler uyarının olduğu bir hastanın EKG'si yorumlanırken, ilk önce V1'deki QRS morfolojisi değerlendirilmelidir. SğV elektrodunun apekse yerleştirildiği biventriküler uyarı ile genellikle (Olguların %78-93'ünde) V1'de belirgin bir R dalgası (R/S >1) izlenmektedir (Şekil 1).^[10-12] Bununla birlikte, V1'deki belirgin bir R dalgası bazen interventriküler septum aracılığı ile yapılan SğV uyarısı zamanı da görülebilir. Ancak, V1'deki yüksek R dalgası ile birlikte V5-V6'da QS konfigürasyonunun veya DI'da Q/q dalgası veya bir QS konfigürasyonunun izlenmesi biventriküler uyarı için kuvvetli bir bulgudur (Şekil 1).^[10-13] Diğer taraftan, V1'de negatif QRS kompleksinin varlığı mutlaka SV uyarısının olmadığı anlamına gelmemektedir (Şekil 2). SV uyarı bölgesinde belirgin intramiyokardiyal ileti gecikmesi veya uzamış latans (En sık sebep), ventriküler füzyon, SV elektrodunun yer değiştirmesi veya eşik artışına bağlı SV 'capture' kaybı, SV elektrodunun orta veya anterior kardiyak venlere veya yanlışlıkla SğV'ye yerleşimi, V1 ve V2 kaydının daha yukarı interkostal aralıklardan (1-3.

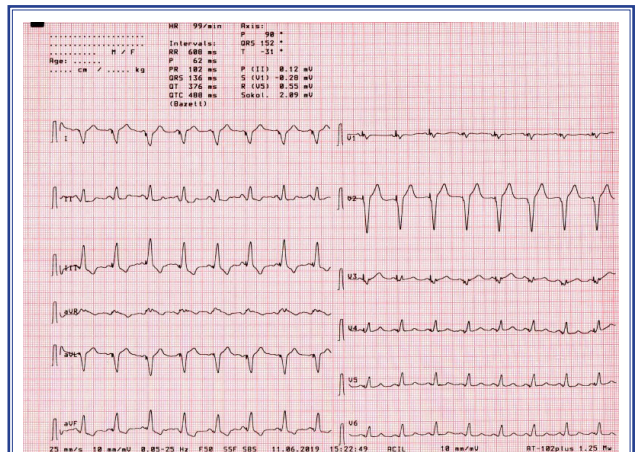
interkostal aralıklardan) alınması gibi durumlarda da V1'de negatif bir QRS konfigürasyonu izlenebilmektedir.^[10,14,15] Herweg ve ark.,^[10] V1'de negatif QRS kompleksinin varlığının SV uyarı bölgesinde uzamış latansı (≥ 40 ms) öngörmedeki duyarlılığını %80, özgülüğünü ise %97 olarak belirlemişlerdir. Bunun dışında, SğV elektrodunun SğV çıkış yoluna veya interventriküler septuma yerleştirildiği biventriküler uyarı zamanı da genellikle V1'de negatif QRS kompleks olarak izlenmektedir (Şekil 3).^[12,13] Bu durumda,



Şekil 2. SğV elektrodunun apekse yerleştirildiği bir hastanın 12 derivasyonlu yüzey EKG'si. V1 derivasyonunda negatif QRS kompleksi (R/S<1), DI ve aVL derivasyonlarında q dalgası izlenmektedir. Programlayıcı cihaz aracılığıyla kontrol zamanı biventriküler uyarının etkin (>%98 oranında) olduğu belirlendi.



Şekil 1. SğV elektrodunun apekse yerleştirildiği bir hastanın 12 derivasyonlu yüzey EKG'si. V1 derivasyonunda belirgin bir R dalgası (R/S>1), V5-V6, DI ve aVL derivasyonlarında ise Q dalgası izlenmektedir. Programlayıcı cihaz aracılığıyla kontrol zamanı biventriküler uyarının etkin (>%98 oranında) olduğu belirlendi. Bu hastada SV elektrodu apikale yakın bölgeye konumlandırılmıştır.



Şekil 3. SğV elektrodunun interventriküler septuma yerleştirildiği bir hastanın 12 derivasyonlu yüzey EKG'si. V1 derivasyonunda negatif QRS kompleksi (R/S<1), DI ve aVL derivasyonlarında QS konfigürasyonu izlenmektedir. Programlayıcı cihaz aracılığıyla kontrol zamanı biventriküler uyarının etkin (>%98 oranında) olduğu belirlendi. Bu hastada SV elektrodu bazal bölgeye konumlandırılmıştır.

DI'da Q/q dalgası veya bir QS konfigürasyonunun izlenmesi SV uyarısının olduğunu göstermektedir.

Lateral göğüs derivasyonlarındaki uyarılmış QRS morfolojisi

Biventriküler uyarı yapılan bir hastada lateral (V4-6) göğüs derivasyonlarındaki QRS morfolojisinden de bazı bilgiler edinilmektedir. Etkin biventriküler uyarı durumunda lateral göğüs derivasyonlarındaki QRS morfolojisi, genellikle SV uyarısının (SV elektrodunun) uzun aksa göre konumunu göstermektedir.^[16] SV elektrodu bazal bölgede ise bu derivasyonlarda tipik olarak pozitif QRS morfolojisi izlenirken, elektrodun apikal ve ya apikale yakın bölge konumunda ise genellikle negatif QRS morfolojisi izlenmektedir (Şekil 1 ve 3).^[16]

aVR derivasyonundaki uyarılmış QRS morfolojisi ve T dalga değişikliği

12 derivasyonlu yüzey EKG'de aVR derivasyonunun günlük pratikte rutin olarak değerlendirilmesi genellikle ihmal edilmektedir. SğV elektrodunun apekse yerleştirildiği biventriküler uyarı ile QRS eksenini frontal düzlemde sıklıkla sağ üst yöne doğru yönlendiği için aVR'de dominant R dalgası izlenebilir (Şekil 1).^[17] Sistolik KY hastalarında aVR derivasyonunda pozitif T dalga polaritesinin (TaVR) varlığı, kötü prognostik göstergedir.^[18] İçen ve ark.nın^[19] yaptıkları çalışma sonucunda KRT ile aVR derivasyonunda T dalga pozitifliğinde artma olduğu ve BiV uyarı yapılan hastalarda da aVR deki T dalga pozitifliğinin mortalitenin güçlü bir öngörücüsü olduğu belirlenmiştir.

Frontal düzlemde uyarılmış QRS eksenini

SğV apikal uyarı zamanı tipik olarak sol üst eksen (-60 ila -120 arasında) izlenilirken biventriküler uyarı durumunda SV uyarısının füzyonu ile QRS eksenini sağ üst yöne (-90 ila -180 arasına) doğru yönelmektedir.^[20] SğV çıkış yolu veya interventriküler septal uyarı ile genellikle inferior eksen oluşturulur (+30 ila +120 arasında) ancak SV uyarı füzyonu ile bu eksen sağ alt yöne (+120 ila +180 arasında) doğru yönelir.^[20]

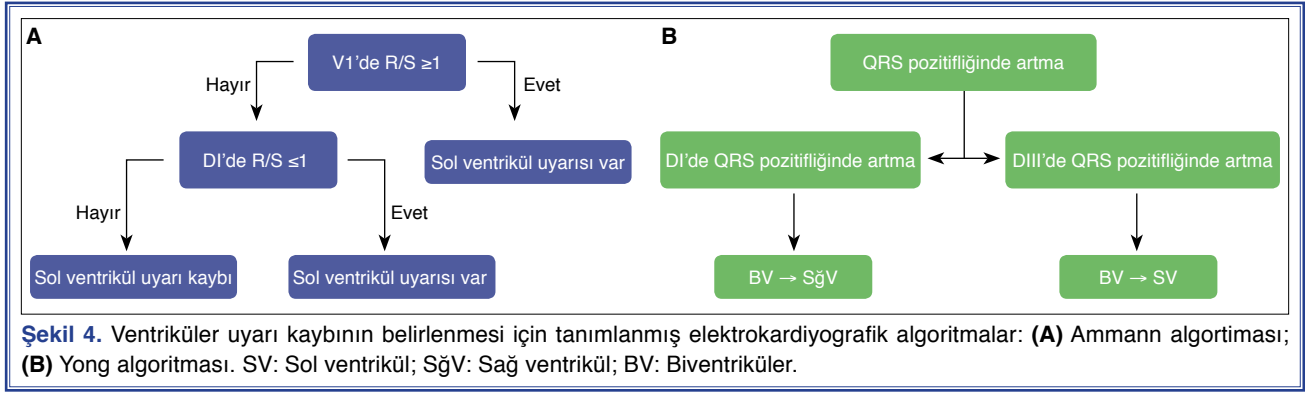
DI ve aVL derivasyonlarında Q/q dalgası veya QS konfigürasyonu

Biventriküler uyarının değerlendirilmesi için kullanılan diğer önemli derivasyonlar, DI ve aVL'dir. SV'nin aktivasyonu ile soldan sağa doğru bir vektör oluşturulur ki bu da özellikle DI ve aVL'de negatif bir dalga olan Q/q'nun ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

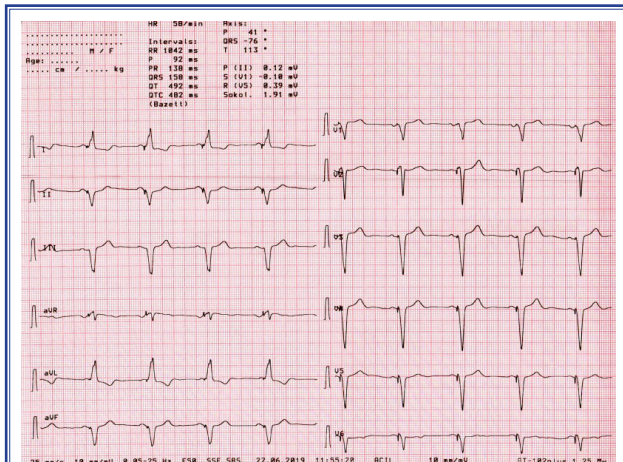
Bu nedenle, biventriküler uyarı ile DI ve aVL'de genellikle Q/q dalgası veya bir QS konfigürasyonu izlenmektedir (Şekil 1-3).^[21] SğV apikal pacing ile DI'da Q/q dalgasının izlenmesi oldukça nadirdir. Çalışmalarda, biventriküler uyarı ile DI ve aVL'de Q/q dalgasının görülme sıklığı yaklaşık olarak sırasıyla %71-85 ve %78 oranlarında bildirilmiştir.^[13,22] Özellikle de V1'deki yüksek R dalgası ile birlikte DI'da Q/q dalgası veya bir QS konfigürasyonunun izlenmesi, biventriküler uyarı için kuvvetli bir bulgudur. Biventriküler uyarının olduğu bir hastada DI'daki Q/q dalgasının kaybolması, SV 'capture' kaybının %100 öngördürücüsüdür.^[21]

Biventriküler uyarının olduğu bir hastada sol ventriküler uyarı (capture) kaybının belirlenmesi

KRT'nin bilinen bir komplikasyonu olan SV uyarı kaybının standart bir EKG'de belirlenmesi için bir sıra algoritma geliştirilmiştir. Bunlardan biri Ammann algoritmasıdır.^[23] Bu algoritma, V1 veya DI'da R/S oranına göre SV uyarısının olup olmadığını tanımlamak için belirlenmiş bir algoritmadır. V1'de R/S oranının ≥ 1 olması SV uyarısının (İzole SV veya her biventriküler uyarı) olduğunu göstermektedir. Eğer V1'de bu oran < 1 ise DI derivasyonundaki R/S oranı değerlendirilmelidir. DI'da R/S oranının < 1 olması SV uyarısının olduğunu, oranın ≥ 1 olması ise SV uyarısının olmadığını göstermektedir (Şekil 4).^[23] Ammann ve ark., bu algoritmanın SV uyarı kaybını belirlemedeki duyarlılığını %94, özgüllüğünü ise %93 olarak belirlemişlerdir. Ancak, Ammann ve ark., SğV pacing sırasında hastaların yaklaşık olarak %8-18'inde görülen "Yalancı sağ dal bloğu [pseudo right bundle branch block (RBBB)]" paternini^[24,25] dikkate almamışlardır. Böylece V1'de R/S ≥ 1 prevalansı yüksek çıkmıştır. Bunu dikkate alan Ganière ve ark.nın^[26] yaptığı bir başka çalışma sonucunda, Ammann algoritmasının SV uyarı kaybını belirlemedeki duyarlılığının %71, özgüllüğünün ise %97 olduğu belirlenmiştir. Bu algoritmanın en önemli dezavantajı, izole SV uyarılması ile biventriküler uyarılmanın birbirinden ayırt edilememesidir. Bir diğer önemli algoritma, Yong^[27] algoritmasıdır (Şekil 4). Bu algoritma, QRS eksenindeki değişiklikleri değerlendirerek, başlangıçta BiV uyarınının mevcut olduğu bilinen (varsayılan) hastalarda, hangi ventrikül uyarısının kaybolduğunu tanımlamak için belirlenmiştir. BiV uyarınının olduğu bir hastada SV uyarısının kaybolduğu durumda DI'da, SğV uyarısının kaybolduğu durumda ise DIII'te QRS pozitifliği



ği artmaktadır (Şekil 5).^[27] Yong algoritması daha çok eşik testi için tasarlandı. Yong^[27] algoritmasının duyarlılığı %97–100, özgüllüğü ise %92–97'dir. Ancak her iki algoritmanın da bazı kısıtlılıkları bulunmaktadır. Hem Ammann^[23] hem de Yong^[27] algoritması, SğV elektrodunun apekse yerleştirildiği biventriküler uyarı durumunda geçerlidir. SğV elektrodunun interventriküler septuma yerleştirilmesi hedeflenirken, elektrod bazen istenmeden SğV ön duvarına yerleştirilebilmektedir. Ammann algoritması bu durumda geçerli değildir. Çünkü SğV ön duvar uyarısı zamanı DI'da negatif QRS konfigürasyonu ortaya çıkarabilmektedir ki bu durum yanlışlıkla SV uyarısını düşündürmektedir.^[26] KRT uygulanmış bir hastada V1 ve V2 kaydının daha yukarı interkostal aralıklardan (1–3. interkostal aralıklardan) alınması durumunda V1'de negatif bir QRS konfigürasyonu izlenebilmek-



Şekil 5. SğV elektrodunun apekse yerleştirildiği bir hastanın 12 derivasyonlu yüzey EKG'si. V1 derivasyonunda R/S oranını <1 iken, DI derivasyonunda bu oran >1'dir. Programlayıcı cihaz aracılığıyla kontrol zamanı SV uyarısının olmadığı belirlendi. Hastanın daha önceki poliklinik muayeneleri zamanı biventriküler uyarının etkin olduğu saptanmıştır.

tedir ki Ammann algoritması bu durumda da geçerli değildir.^[26]

Sağ dal bloğunda biventriküler uyarı bulguları

KRT çalışmalarına alınan hastaların büyük çoğunluğu sol dal bloğu olan hastalardır. Sağ dal bloğu [right bundle branch block (RBBB)] olan hastalar çalışma popülasyonlarının az bir kısmını oluşturmaktadır ve bu çalışmalarda da biventriküler uyarının EKG bulgularından ziyade KRT'nin RBBB'li KY'deki etkinliği araştırılmıştır. Bu nedenle RBBB bulunan hastalarda biventriküler uyarının EKG bulguları ile ilgili veriler oldukça sınırlıdır. RBBB olan KY hastaları KRT'den genellikle fayda görmeseler de bazı klinik, elektrokardiyografik ve görüntüleme kriterleri göz önünde bulundurularak seçilmiş hastalarda KRT uygulanmaktadır. Coverstone ve ark.nın^[28] yaptıkları çalışma sonucunda RBBB'li KY hasta grubunda (alt grup analizi) V1'de >4 mm R dalgası ve DI'de S dalgası varlığının (RV1SI paterni olarak tanımlanmış) bir yıllık sağkalımı öngörmedeki özgüllüğü ve duyarlılığı sırasıyla %93 ve %61 olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, KRT uygulanmış hasta sayısı son yıllarda giderek artmaktadır ve günlük pratikte bu hastalarla sık sık karşılaşmaktadır. KRT için endikasyon kriterlerinden olan QRS genişliğinin ölçülmesinin ötesinde tedaviye yanıtı tahmin etmek, SV uyarısını veya olası uyarı kaybını tanımlayabilmek amacıyla bu tür hastaların EKG paternlerine aşina olmakta fayda vardır.

Hakem değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar çatışması: Bulunmamaktadır.

Yazar katkıları: Konsept: Y.V.; Tasarım: Y.V.; Kontrol: Y.V.; Materyal: Y.V.; Veri toplama: Y.V.; Analiz: Y.V.; Kaynak toplama: Y.V.; Yazım: Y.V.; Kritik revizyon: Y.V.

KAYNAKLAR

- Kashani A, Barold SS. Significance of QRS complex duration in patients with heart failure. *J Am Coll Cardiol* 2005;46:2183–92. [CrossRef]
- Garrigue S, Barold SS, Clémenty J. Electrocardiography of multisite ventricular pacing. In: Barold SS, Mugica J, editors. *The Fifth Decade of Cardiac Pacing*. Elmsford, NY: Blackwell-Futura; 2004. p. 84–100. [CrossRef]
- Leclercq C, Kass DA. Retiming the failing heart: Principles and current clinical status of cardiac resynchronization. *J Am Coll Cardiol* 2002;39:194–201. [CrossRef]
- Kass DA. Predicting cardiac resynchronization response by QRS duration: The long and short of it. *J Am Coll Cardiol* 2003;42:2125–7. [CrossRef]
- Leclercq C, Faris O, Tunin R, Johnson J, Kato R, Evans F, et al. Systolic improvement and mechanical resynchronization does not require electrical synchrony in the dilated failing heart with left bundle branch block. *Circulation* 2002;106:1760–3. [CrossRef]
- Martin DO, Lemke B, Birnie D, Krum H, Lee KL, Aonuma K, et al; Adaptive CRT Study Investigators. Investigation of a novel algorithm for synchronized left-ventricular pacing and ambulatory optimization of cardiac resynchronization therapy: results of the adaptive CRT trial. *Heart Rhythm* 2012;9:1807–14. [CrossRef]
- Boriani G, Muller CP, Seidl KH, Grove R, Vogt J, Danschel W, et al; Resynchronization for the Hemodynamic Treatment for Heart Failure Management II Investigators. Randomized comparison of simultaneous biventricular stimulation versus optimized interventricular delay in cardiac resynchronization therapy. The Resynchronization for the Hemodynamic Treatment for Heart Failure Management II implantable cardioverter defibrillator (RHYTHM II ICD) study. *Am Heart J* 2006;151:1050–8. [CrossRef]
- Ellenbogen KA, Gold MR, Meyer TE, Fernandez Lozano I, Mittal S, Waggoner AD, et al. Primary results from the SmartDelay determined AV optimization: a comparison with other AV delay methods used in cardiac resynchronization therapy (SMART-AV) trial: a randomized trial comparing empirical, echocardiography-guided, and algorithmic atrioventricular delay programming in cardiac resynchronization therapy. *Circulation* 2010;122:2660–8. [CrossRef]
- Brignole M, Auricchio A, Baron-Esquivias G, Bordachar P, Boriani G, Breithardt OA, et al. 2013 ESC Guidelines on cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy: the Task Force on cardiac pacing and resynchronization therapy of the European Society of Cardiology (ESC). Developed in collaboration with the European Heart Rhythm Association (EHRA). *Eur Heart J* 2013;34:2281–329. [CrossRef]
- Herweg B, Ali R, Ilercil A, Madramootoo C, Cutro R, Weston MW, et al. Site-specific differences in latency intervals during biventricular pacing: impact on paced QRS morphology and echo-optimized V-V interval. *Pacing Clin Electrophysiol* 2010;33:1382–91. [CrossRef]
- Refaat M, Mansour M, Singh JP, Ruskin J, Heist EK. Electrocardiographic characteristics in right ventricular vs biventricular pacing in patients with paced right bundle-branch block QRS pattern. *J Electrocardiol* 2011;44:289–95. [CrossRef]
- Barold SS, Herweg B, Giudici M. Electrocardiographic follow-up of biventricular pacemakers. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 2005;10:231–55. [CrossRef]
- Barold SS, Giudici MC, Herweg B, Curtis AB. Diagnostic value of the 12-lead electrocardiogram during conventional and biventricular pacing for cardiac resynchronization. *Cardiol Clin* 2006;24:471–90. [CrossRef]
- Fazelifar A, Jorfi F, Haghjoo M. Electrocardiographic patterns in biventricular pacing delivered by second-generation cardiac resynchronization devices. *Indian Pacing Electrophysiol J* 2018;18:13–9. [CrossRef]
- Barold SS, Herweg B. Usefulness of the 12-lead electrocardiogram in the follow-up of patients with cardiac resynchronization devices. Part I *Cardiol J* 2011;18:476–86. [CrossRef]
- Daubert JC, Saxon L, Adamson PB, Auricchio A, Berger RD, Beshai JF, et al; European Heart Rhythm Association (EHRA); European Society of Cardiology (ESC); Heart Rhythm Society; Heart Failure Society of America (HFSa); American Society of Echocardiography (ASE); American Heart Association (AHA); European Association of Echocardiography (EAE) of ESC; Heart Failure Association of ESC (HFA). 2012 EHRA/HRS expert consensus statement on cardiac resynchronization therapy in heart failure: implant and follow-up recommendations and management. *Europace* 2012;14:1236–86.
- van Stipdonk A, Wijers S, Meine M, Vernooij K. ECG Patterns in Cardiac Resynchronization Therapy. *J Atr Fibrillation* 2015;7:1214.
- Tanaka Y, Konno T, Tamura Y, Tsuda T, Furusho H, Takamura M, et al. Impact of T wave amplitude in lead aVR on predicting cardiac events in ischemic and nonischemic cardiomyopathy patients with an implantable cardioverter defibrillator. *Ann Noninvasive Electrocardiol*. 2017;22:e12452. [CrossRef]
- İçen YK, Dönmez Y, Koca H, Uğurlu M, Koç M. T wave positivity in lead aVR is associated with mortality in patients with cardiac resynchronization therapy. *J Interv Card Electrophysiol* 2018;53:41–6. [CrossRef]
- Barold SSS, Roland X, Sinnaeve AF, Biventricular Pacing (BiV). In: *Cardiac Pacemakers and Resynchronization Step by Step: An Illustrated Guide*. 2nd Edition. New Jersey: Blackwell Publishing, Inc, 2007. p. 246–54.
- Georger F, Scavee C, Collet B, et al. Specific electrocardiographic patterns may assess left ventricular capture during biventricular pacing. (Abstract) *PACE* 2002;25:56.
- Sweeney MO, van Bommel RJ, Schalij MJ, Borleffs CJ, Helikamp AS, Bax JJ. Analysis of ventricular activation using surface electrocardiography to predict left ventricular reverse

- volumetric remodeling during cardiac resynchronization therapy. *Circulation* 2010;121:626–34. [\[CrossRef\]](#)
23. Ammann P, Sticherling C, Kalusche D, Eckstein J, Bernheim A, Schaer B, et al. An electrocardiogram-based algorithm to detect loss of left ventricular capture during cardiac resynchronization therapy. *Ann Intern Med* 2005;142:968–73.
 24. Coman JA, Trohman RG. Incidence and electrocardiographic localization of safe right bundle branch block configurations during permanent ventricular pacing. *Am J Cardiol* 1995;76:781–4. [\[CrossRef\]](#)
 25. Yang YN, Yin WH, Young MS. Safe right bundle branch block pattern during permanent right ventricular pacing. *J Electrocardiol* 2003;36:67–71. [\[CrossRef\]](#)
 26. Ganière V, Domenichini G, Niculescu V, Cassagneau R, Defaye P, Burri H. A new electrocardiogram algorithm for diagnosing loss of ventricular capture during cardiac resynchronization therapy. *Europace* 2013;15:376–81. [\[CrossRef\]](#)
 27. Yong P, Duby C. A new and reliable method of individual ventricular capture identification during biventricular pacing threshold testing. *Pacing Clin Electrophysiol* 2000;3:1735–7.
 28. Coverstone E, Sheehy J, Kleiger RE, Smith TW. The postimplantation electrocardiogram predicts clinical response to cardiac resynchronization therapy. *Pacing Clin Electrophysiol* 2015;38:572–80. [\[CrossRef\]](#)