

## Relation Between QRS Duration, Right Ventricular Function and Left Ventricular Dyssynchrony in Patients After Surgical Correction of Tetralogy Fallot

Retna Dewayani, Bambang Budi Siswanto, Poppy S. Roebiono, Anna Ulfah Rahajoe, Indriwanto Sakidjan, Ganesja M Harimurti

**Background.** QRS duration has long been established as a strong predictor of sudden cardiac death in patients after surgical correction of Tetralogy of Fallot (TOF). Several factors has been correlated to QRS duration, i.e severity of pulmonary regurgitation and right ventricular volume after TOF correction. But there is no established relation between right ventricular function and QRS duration after surgical correction TOF.

**Objectives.** We aimed to investigate the relation between QRS duration and right ventricular function and whether patients after TOF repair with right bundle branch block have left ventricular dyssynchrony.

**Methods.** 50 patients with repaired TOF were studied. Right ventricular function were derived from tissue Doppler imaging Tei index. Left ventricular dyssynchrony were derived from tissue Doppler imaging. The time interval between the onset of QRS complex and the onset of systolic ejection was measured for six left ventricular basal wall, i.e septal, lateral, anteroseptal, posterior, anterior and inferior wall. Mechanical delay from septal to lateral wall, antero-septal to posterior wall and anterior to inferior wall was calculated. Measured data were correlated with QRS duration.

**Results.** There was relation between QRS duration and right ventricular function ( $P = 0.028$ ,  $r = 0.44$ ). Ten (20%) of the examined patients after TOF repair had LV dyssynchrony particularly in patients with RBBB and prolonged QRS duration ( $160 \pm 9$  ms).

**Conclusions.** There is correlation between right ventricular function and QRS duration. Left ventricular dyssynchrony may exist in patients after TOF repair with RBBB.

Department of Cardiology and Vascular Medicine, Faculty of Medicine - University of Indonesia  
National Cardiac Center, Harapan Kita, Jakarta

(J Kardiol Ind 2007;28:256-266)

**Keywords:** Tetralogy of Fallot; QRS prolongation, right ventricular function, left ventricular dyssynchrony

## Korelasi Antara Durasi QRS, Fungsi Ventrikel Kanan dan Disinkroni Ventrikel Kiri Pasca Koreksi Tetralogi Fallot

Retna Dewayani, Bambang Budi Siswanto, Poppy S Roebiono, Anna Ulfah Rahajoe, Indriwanto Sakidjan, Ganesja M Harimurti

**Latar belakang.** Durasi QRS merupakan prediktor kematian mendadak pada pasca koreksi Tetralogi Fallot (TF). Sudah ditemukan beberapa faktor yang berkorelasi dengan durasi QRS, yaitu derajat regurgitasi pulmonal dan volume ventrikel kanan pasca koreksi TF. Belum ditegaskan korelasi antara durasi QRS dan fungsi ventrikel kanan dan disinkroni ventrikel kiri.

**Tujuan Penelitian.** Kami mencari korelasi antara durasi QRS dan fungsi ventrikel kanan. Dan mencari adanya disinkroni ventrikel kiri pada RBBB dengan QRS lebar pasca koreksi TF.

**Metode.** Lima puluh pasien pasca koreksi TF dilakukan pemeriksaan fungsi global ventrikel kanan menggunakan indeks Tei ventrikel kanan dari pencitraan Doppler jaringan (*Tissue Doppler Imaging, TDI*). Disinkroni ventrikel kiri diperoleh dari pencitraan Doppler jaringan, yakni bila didapatkan kelambatan mekanik dinding basal ventrikel kiri dari septal ke lateral, dari antero-septal ke posterior atau dari anterior ke inferior. Data yang didapatkan dikorelasikan dengan durasi QRS.

**Hasil.** Terdapat korelasi antara durasi QRS dengan fungsi ventrikel kanan ( $P = 0.028$ ,  $r = 0.44$ ). Juga didapatkan disinkroni ventrikel kiri pada durasi QRS lebar ( $160 \pm 9$  milidetik). Durasi QRS juga berkorelasi positif dengan regurgitasi pulmonal ( $P$  ANOVA = 0.0095).

**Kesimpulan.** Durasi QRS berkorelasi positif dengan fungsi ventrikel kanan dan regurgitasi pulmonal pada pasien pasca koreksi TF. RBBB dengan durasi lebar ( $160 \pm 9$  milidetik) pada pasca koreksi TF disertai disinkroni ventrikel kiri.

**Kata kunci:** tetralogi Fallot; durasi QRS, fungsi ventrikel kanan, disinkroni ventrikel kiri

Tetralogi Fallot (TF) merupakan penyakit jantung bawaan sianotik yang paling sering dijumpai, dengan prevalensi 0,4 – 0,6 per 1000 kelahiran hidup. Koreksi bedah telah dilakukan sejak lebih kurang empat puluh

tahun yang lalu dengan hasil yang memuaskan; angka kesintasan hampir 90% pada 30 tahun pasca bedah.<sup>1</sup> Jika dilakukan sebelum usia dua tahun, pasien diharapkan akan hidup normal sampai dewasa tanpa keluhan dan dengan kualitas hidup yang baik.<sup>2</sup> Meskipun jangka panjang mempunyai hasil yang baik, namun bila dibandingkan dengan populasi normal, pasien pasca koreksi TF memiliki angka kematian yang lebih tinggi.<sup>3</sup> Kematian mendadak merupakan komplikasi akhir dari bedah koreksi TF, dengan insiden antara 1,5 - 4.5 kematian per 1000 pasien pertahun, dan paling sering muncul setelah 4 tahun atau lebih pasca bedah.

---

**Alamat korespondensi:**

dr. Retna Dewayani  
Departemen Kardiologi dan Kedokteran Vaskular, Fakultas  
Kedokteran Universitas Indonesia  
Pusat Jantung Nasional Harapan Kita, Jakarta

Kejadian kematian mendadak disebabkan oleh aritmia ventrikel.<sup>4</sup> Durasi QRS > 180 mdetik memiliki sensitiviti 100% untuk *sustained VT* dan kematian mendadak. Sebaliknya durasi QRS < 180 mdetik memiliki nilai prediktif negatif 100% untuk kejadian ini.<sup>5,6</sup> Perpanjangan durasi QRS berhubungan dengan regurgitasi pulmonal dan pembesaran ventrikel kanan, yang merupakan faktor penting dalam patogenesis aritmia ventrikel.<sup>7,8</sup> Interpretasi dari data diatas adalah, cedera saat pembedahan akan menjadi substrat aritmia pada miokard dan memperlebar durasi QRS, dilatasi ventrikel kanan dan pelebaran QRS kemudian mengubah risiko kematian mendadak.

Penggantian katup pulmonal pada pasien-pasien ini dapat menstabilkan durasi QRS dan bila dikombinasikan dengan ablasi, akan menurunkan insidens aritmia ventrikel.<sup>9</sup> Pada studi lain terjadi perpendekan durasi QRS yang bermakna setelah dilakukan penggantian katup pulmonal pada pasien pasca koreksi TF, hal ini berhubungan dengan berkurangnya volume ventrikel kanan.<sup>10</sup>

Hubungan antara dilatasi ventrikel kanan yang disebabkan oleh regurgitasi pulmonal, perpanjangan kompleks QRS dan aritmia maligna yang disebut sebagai interaksi mekano-elektrik, makin dipertegas dengan adanya *reverse remodeling* atau perpendekan QRS setelah penggantian katup. Tentunya ada ambang, di mana tidak akan terjadi *reverse remodelling* mekanik dan elektrik bila titik ini dilewati. Di kebanyakan pusat layanan bedah jantung anak, penggantian katup hanya dilakukan pada pasien dengan keluhan intoleransi aktivitas, aritmia, atau dilatasi ventrikel kanan yang berat. Pada suatu studi dikatakan bahwa efek positif penggantian katup pulmonal pasca koreksi TF hanya akan terjadi bila fungsi ventrikel kanan masih baik, dan sia-sia bila fungsi ventrikel kanan sudah buruk.<sup>11</sup> Jadi, sebaiknya penggantian katup pulmonal dilakukan lebih dini, tatkala fungsi ventrikel kanan masih baik dan masih dapat terjadi perbaikan prognosis dari aritmia.

Di Pusat Jantung Nasional Harapan Kita (PJNHK) telah dilakukan bedah koreksi TF sejak tahun 1986, hingga sekarang jumlahnya lebih kurang 1000 pasien. Hanya sebagian kecil dari jumlah tersebut yang tinggal di sekitar Jakarta dan dapat diikuti. Menurut Murphy JG et al 55% pasien pasca koreksi TF mengalami regurgitasi pulmonal.<sup>3</sup> Disfungsi ventrikel kanan dan kiri pada populasi ini sudah terjadi meskipun tidak termanifestasi secara klinis.<sup>12</sup>

Blok cabang berkas kanan (*right bundle branch*

*block, RBBB*) hampir selalu dijumpai pada pasien yang menjalani reseksi infundibulum dan ventrikulotomi vertikal.<sup>13,14</sup> Hal serupa terjadi pada pasien di PJNHK; dari penelitian pendahuluan yang belum dipublikasi, kami mendapatkan 90% terjadi RBBB dengan QRS yang lebar pasca koreksi TF. RBBB menyebabkan perlambatan konduksi ventrikel kanan dan kiri, Abd El Rahman melihat adanya disinkroni ventrikel kiri pasca koreksi TF pada RBBB dengan durasi QRS  $155 \pm 19$  milidetik.<sup>15</sup> Dubin melakukan resinkronisasi ventrikel kanan pada pasien pasca koreksi TF dan pasca koreksi penyakit jantung kongenital lain yang mengalami RBBB, dan menawarkan terapi resinkronisasi jantung sebagai alternatif pada gagal jantung kanan pasca bedah koreksi penyakit jantung kongenital.<sup>16</sup>

Semua arah penelitian pada pasca koreksi TF berusaha untuk menurunkan mortalitas yang masih tinggi, terutama kematian yang disebabkan oleh kematian mendadak, takikardi ventrikel *sustained* maupun fibrilasi ventrikel. Durasi QRS merupakan prediktor kuat kematian mendadak pasca koreksi TF, memperpendek dan mencegah perpanjangan durasi QRS diyakini akan menurunkan insidens kematian mendadak pasca koreksi TF. Beberapa faktor yang mempengaruhi durasi QRS sudah diteliti, yaitu beratnya regurgitasi pulmonal dan besarnya volume ventrikel kanan. Penelitian ini ingin mengetahui apakah fungsi ventrikel kanan dan disinkroni ventrikel kiri juga mempengaruhi durasi QRS.

## Subyek dan Metoda

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 50 pasien pasca koreksi TF di PJNHK, semua pasien telah dilakukan bedah koreksi lebih dari 6 bulan. Penelitian ini dilakukan antara bulan Desember 2006 – Maret 2007. Registrasi, pemeriksaan EKG dan ekokardiografi dilakukan di poliklinik PJNHK. Kualifikasi regurgitasi pulmonal ditentukan dari hasil pemeriksaan konsulen pediatrik kardiologi, berdasarkan pemeriksaan Doppler warna dan spektrum. Parameter fungsi global ventrikel kanan ditentukan dengan indeks Tei dari pencitraan Doppler jaringan (*Tissue Doppler Imaging, TDI*). Disinkroni ventrikel kiri diperoleh dari TDI, yakni bila didapatkan kelambatan mekanik dinding basal ventrikel kiri dari septal ke lateral, dari antero-septal ke posterior atau dari anterior ke inferior. Data yang diperoleh dikorelasikan dengan durasi QRS.

Bentuk penelitian ini adalah penelitian pontong lintang, dan merupakan salah satu bentuk studi observasional analitik yang akan digunakan untuk mengetahui hubungan antara durasi QRS, fungsi ventrikel kanan dan disinkroni ventrikel kiri.

Kriteria inklusi : 1) pasien TF klasik yang dilakukan koreksi di PJNHNK sejak tahun 1986 - 2005, 2) Bersedia menjalani pemeriksaan EKG dan ekokardiografi yang dilakukan dengan mengisi *informed consent*. Kriteria eksklusi : 1) Terdapat blok atrio-ventrikular, intraventrikular ataupun kelambatan konduksi intraventrikel sebelum operasi, 2) pasien TF yang dilakukan koreksi dan pemasangan monocusp, 3) residu obstruksi RVOT > 60 mmHg, 4) stenosis arteri pulmonal, 5) residu VSD besar yang menimbulkan gejala klinis dan peningkatan tekanan sistolik arteri pulmonal > 25 mmHg

## Hasil Penelitian

### Karakteristik Dasar Subyek

Jumlah sampel yang mengikuti penelitian adalah 54 pasien, namun 4 pasien dikeluarkan dari penelitian karena hasil TDI tidak jelas (2 pasien), tidak terdapat arteri pulmonal kiri (1 pasien), dan stenosis pulmonal lebih dari 60 mmHg (1 pasien). Sehingga jumlah sampel yang diperiksa 50 pasien dengan karakteristik seperti terlihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Pasien-pasien ini dilakukan operasi pada usia rerata 2 tahun (median 2,3 tahun, kisaran 7 bulan sampai 12 tahun), dan diperiksa pada usia rerata 8,8 tahun (median 7,7 tahun, kisaran 1,5 sampai 29 tahun). Jumlah pasien perempuan sama dengan laki-laki, masing-masing 25.

Interval rerata antara operasi dan pemeriksaan ekokardiografi adalah 4,8 tahun (median 5, kisaran 6 bulan sampai 13 tahun). Ditemukan 2 (4%) pasien tanpa pulmonal regurgitasi, 22 (44%) ringan, 21 (42%) sedang dan 5 (10%) berat. Semua pasien yang datang dalam kelas I klasifikasi NYHA. Tiga pasien mengeluh pernah berdebar, dua diantaranya EKG *resting* dan *stress* tidak memperlihatkan aritmia. Satu pasien terdokumentasi supra ventrikular takikardia (SVT), tetapi saat pemeriksaan EKG dan ekokardiogram dalam penelitian ini memperlihatkan irama sinus. Hampir seluruh pasien tumbuh kembang normal, hanya satu pasien berat badan tidak naik-naik setelah dua tahun operasi dan kini dalam pengobatan TB paru; tak ada yang mengalami hipertensi pulmonal. Residual VSD kecil terdapat pada 10 (20%) pasien dan tidak menimbulkan keluhan maupun gangguan hemodinamik, sehingga tidak memerlukan koreksi.

Tabel 2. Karakteristik Dasar pasien TF Pasca Koreksi Dalam Persentase

	persentase
Wanita	25 (50%)
RBBB	43 (86%)
RBBB komplit	29 (58%)
SPWMD = 130 ms	32 (64%)
Disinkroni LV	11 (22%)
Tanpa regurgitasi pulmonal	2 (4%)
Regurgitasi pulmonal ringan	22 (44%)
Regurgitasi pulmonal sedang	21 (42%)
Regurgitasi pulmonal berat	5 (10%)

RBBB - *right bundle branch block*, SPWMD - *Septal to Posterior Wall Motion Delay*, LV - *ventrikel kiri*

Tabel 1. Karakteristik Dasar pasien TF Pasca Koreksi

	Rerata	Median (kisaran)
Usia saat operasi	2 tahun	2.3 tahun (7bulan - 12 tahun)
Usia saat <i>follow up</i>	8.8 tahun	7.7 tahun (1.5 - 29 tahun)
Interval operasi - <i>follow up</i>	4.8 tahun	5 tahun (0.5 - 13 tahun)
Durasi QRS	127 ± 25 ms	127 (79 - 178 ms)
SPWMD	195 ± 128 ms	150 (51 - 500 ms)
Indeks Tei Ventrikel kanan	0.43 ± 0.082	0.43 (kisaran 0.25 - 0.61)
Gradien tekanan RV - PA	23 ± 12 mmHg	19,5 mmHg (6 - 60 mmHg)

SPWMD - *Septal to Posterior Wall Motion Delay*, RV - *ventrikel kanan*, PA - *arteri pulmonal*

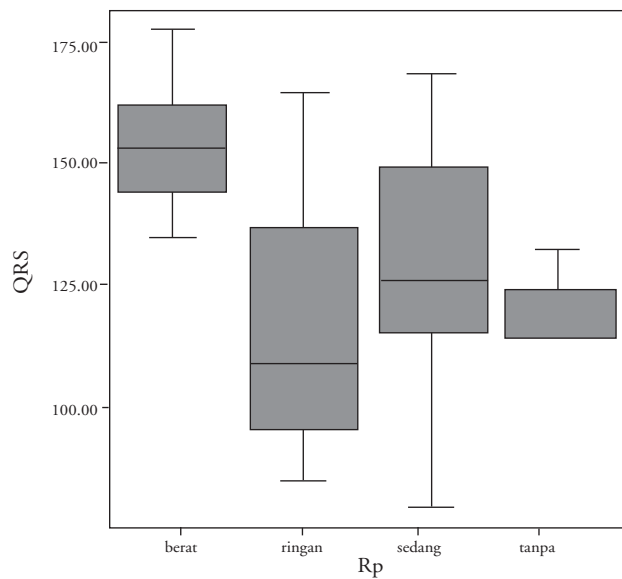
Operasi koreksi TF pada pasien penelitian kami berlangsung sejak tahun 1992 sampai Juni 2006, dengan operator yang berbeda namun dengan tim operasi yang sama, dan masih dalam satu lingkup pendidikan dengan standar yang sama.

### RBBB dan Durasi QRS

RBBB dijumpai pada 43 (86%) pasien, dari jumlah itu, 29 (67%) pasien dengan RBBB komplit (RBBB proksimal) dan 14 (33%) pasien RBBB inkomplit (RBBB distal). Rerata ± SD durasi QRS adalah 127 ± 25 milidetik (kisaran 79 sampai 178 milidetik).

Untuk kemudahan aplikasi klinis, maka dalam uji statistik durasi QRS dibagi dalam dua kelompok yaitu < 120 milidetik dan = 120 milidetik (Tabel 3). Terdapat 29 pasien dengan durasi QRS = 120 milidetik dan 21 pasien dengan durasi QRS < 120 milidetik. Dilakukan uji korelasi dengan Chi-square, antara durasi QRS sebagai variabel tidak tergantung dengan derajat regurgitasi pulmonal dan ada tidaknya disinkroni ventrikel kiri sebagai variabel tergantung. Terdapat korelasi antara durasi QRS dengan disinkroni ventrikel kiri. Tetapi tidak terdapat korelasi antara durasi QRS dengan derajat regurgitasi pulmonal, juga dengan usia saat operasi, usia saat pemeriksaan dan jarak operasi dengan pemeriksaan.

Bila dibandingkan antara durasi QRS dan derajat regurgitasi pulmonal, tidak terlihat adanya kecenderungan semakin berat regurgitasi, semakin lebar durasi QRS; perbedaan ini menjadi tidak bermakna karena ada 2 pasien tanpa regurgitasi pulmonal mempunyai durasi QRS lebar (gambar 1). Kenyataan ini menjelaskan bahwa QRS yang lebar bisa jadi bukan



Gambar 1 Perbandingan antara fungsi durasi QRS (QRS) dan derajat regurgitasi pulmonal (Rp): berat, sedang ringan dan tanpa regurgitasi.

disebabkan oleh dilatasi ventrikel, tapi semata karena terpotongnya cabang jaras kanan. Tetapi bila dua pasien tanpa regurgitasi pulmonal tersebut tidak disertakan dalam analisis, maka akan terlihat perbedaan yang bermakna antara durasi QRS dan derajat regurgitasi pulmonal, P = 0.0095.

### Durasi QRS dan Fungsi Ventrikel kanan

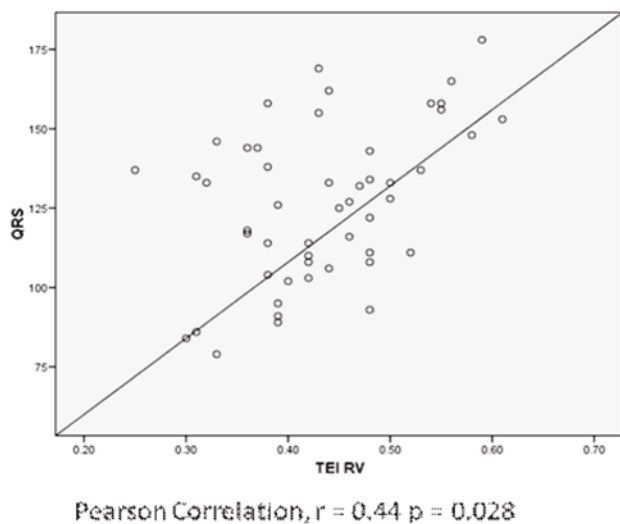
Diuji dengan korelasi Pearson (Gambar 2), durasi QRS memiliki korelasi positif dengan fungsi ventrikel kanan (P = 0.028, r = 0.44). Fungsi ventrikel kanan dikategorikan menjadi indeks Tei < 0.43 (lebih baik) dan indeks Tei = 0.43 (lebih buruk) (Gambar 3). Pada uji logistik regresi analisa univariat antara fungsi ventrikel kanan dan durasi QRS, terlihat OR 4 (95% CI 1.2 – 13.6).

Bila dimasukkan disinkroni sebagai potensial faktor perancu, maka dalam analisa multivariat terlihat disinkroni ventrikel hampir tidak merubah OR dari indeks Tei. Sehingga disimpulkan bahwa, adanya disinkroni ventrikel kiri tidak mempengaruhi korelasi durasi QRS dengan fungsi global ventrikel kanan.

Dengan uji ANOVA dapat dilihat bahwa pada fungsi ventrikel kanan yang lebih buruk akan memiliki durasi QRS yang lebih lebar. Atau bisa dikatakan pada

Tabel 3. Korelasi durasi QRS dengan usia saat operasi, usia saat follow-up, jarak operasi – follow up, disinkroni ventrikel kiri dan Regurgitasi Pulmonal sedang-berat.

	QRS < 120 mdetik (N = 21)	QRS = 120 mdetik (N = 29)	P
Usia saat operasi (tahun)	3.8 ± 3.1	4.1 ± 4.5	0.8
Usia saat follow-up (tahun)	6.9 ± 3.8	10.1 ± 7.1	0.6
Jarak operasi follow up (tahun)	3.9 ± 4.4	5.5 ± 3.7	0.8
Disinkroni ventrikel kiri	0 (0%)	10 (34%)	0.003
Regurgitasi Pulmonal sedang - berat	8 (38%)	18 (62%)	0.092

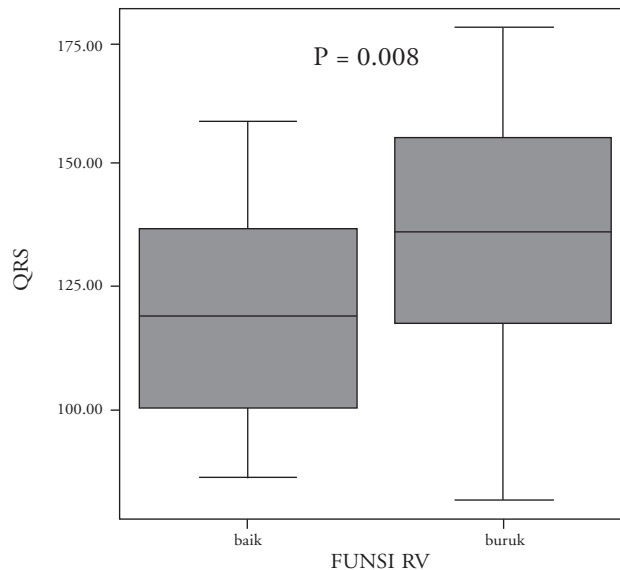


**Gambar 2.** Korelasi antara durasi QRS dan fungsi ventrikel kanan Pasca koreksi TF (N = 50)

fungsi ventrikel kanan yang lebih buruk, kemungkinan memiliki durasi QRS yang lebih lebar empat kali dari pada fungsi ventrikel kanan yang lebih baik.

### Regurgitasi Pulmonal, durasi QRS, dan Fungsi Ventrikel Kanan

Pasien dengan derajat regurgitasi pulmonal lebih berat memiliki durasi QRS lebih panjang ( $P = 0.0095$ ) (Tabel 4), yang merupakan indeks turunan dari dimensi ventrikel kanan. Usia pada saat operasi dan interval waktu operasi dan pemeriksaan ekokardiogram tidak memiliki korelasi dengan regurgitasi pulmonal maupun dengan fungsi ventrikel kanan atau kiri.



**Gambar 3.** Perbandingan antara durasi QRS (QRS) dan fungsi global ventrikel kanan. Fungsi ventrikel kanan dikatakan lebih baik (baik) bila indeks Tei < 0.43 dan dikatakan lebih buruk (buruk) bila indeks Tei = 0.43. Nilai  $P = 0.008$

### Gradien Tekanan Ventrikel Kanan – Arteri Pulmonal (RV-PA)

Rerata  $\pm$  SD gradient tekanan RV-PA adalah  $23 \pm 12$  mmHg, dengan median 19,5 mmHg. Stenosis pulmonal subvalvar ini tersebar merata pada ketiga kelompok pasien dengan regurgitasi pulmonal ringan, sedang dan berat ( $P > 0.5$ ). Stenosis pulmonal tidak memiliki korelasi dengan fungsi ventrikel kanan maupun kiri.

**Tabel 4.** Korelasi antara derajat regurgitasi pulmonal dengan usia saat operasi, usia saat pemeriksaan, jarak follow-up, durasi QRS dan indeks Tei ventrikel kanan

	PR ringan (n = 22)	PR sedang (n = 21)	PR berat (n = 5)	P (ANOVA)
Usia saat operasi (tahun)	4.1 $\pm$ 4.7	3.8 $\pm$ 3.5	4 $\pm$ 3.2	NS
Usia saat pemeriksaan (tahun)	9.4 $\pm$ 7.7	7.5 $\pm$ 3.6	10.8 $\pm$ 7.8	NS
Jarak follow-up (tahun)	6 $\pm$ 5	3.6 $\pm$ 2.6	3.7 $\pm$ 2.2	NS
Durasi QRS	118 $\pm$ 23	129 $\pm$ 24	154 $\pm$ 17	0.0095
Indeks Tei RV	0.407 $\pm$ 0.087	0.447 $\pm$ 0.064	0.496 $\pm$ 0.105	0.056

Demikian halnya bila faktor preload disamakan, yaitu diuji statistik pada pasien dengan regurgitasi pulmonal ringan saja, tetap tidak ada korelasi antara stenosis pulmonal dengan fungsi global Ventrikel kanan. Stenosis pulmonal kronis pada penelitian ini belum cukup lama untuk menyebabkan disfungsi ventrikel kanan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa, disfungsi ventrikel kanan dan kiri kemungkinan besar disebabkan oleh adanya regurgitasi pulmonal.

### Disinkroni ventrikel kiri

Terdapat 10 (20%) pasien dengan disinkroni ventrikel kiri (Tabel 5). Durasi QRS berkorelasi positif dengan keterlambatan gerakan dinding ventrikel septal ke lateral ( $P < 0.0001$ ) dan keterlambatan gerakan dinding anteroseptal terhadap dinding posterior ( $P < 0.005$ ). Bila diuji dengan ANOVA, antara pasien dengan dan tanpa disinkroni dibandingkan dengan durasi QRS (durasi QRS rerata 160 dan 117 milidetik berturut-turut), terdapat perbedaan yang sangat bermakna ( $P < 0,0001$ ).

### Pembahasan

Patogenesis takikardi ventrikel *sustained*, yang diduga menjadi penyebab utama kematian mendadak pada pasien pasca koreksi TF, masih belum jelas.<sup>17,18</sup> Pernah dilaporkan hubungan antara dilatasi ventrikel yang disebabkan oleh regurgitasi pulmonal dan lebarnya durasi QRS pada EKG sebagai prediktor terjadinya aritmia ventrikel.<sup>18</sup>

Karakteristik dasar sampel pada studi ini tidak jauh berbeda dengan studi epidemiologi pasca TF lainnya, yaitu RBBB terjadi pada 86% pasien pasca koreksi TF, regurgitasi pulmonal terjadi pada 96% pasien, dan paradoksikal septal disinkroni ventrikel kiri terjadi pada 22% pasien.

### Durasi QRS

RBBB dijumpai pada 43 (86%) pasien, dari jumlah itu, 29 (67%) pasien dengan RBBB komplit (RBBB proksimal) dan 14 (33%) pasien RBBB inkomplit (RBBB distal). Rerata  $\pm$  SD durasi QRS adalah  $127 \pm 25$  mdetik (kisaran 79 sampai 178 mdetik), tidak ada yang melebihi 180 mdetik. Pada beberapa penelitian TF pasca koreksi, durasi QRS rerata bermacam,  $132 \pm 20$  mdetik,<sup>7</sup>  $144 \pm 25$  mdetik,<sup>12</sup>  $145 \pm 23$  mdetik,<sup>15</sup> dan  $130 \pm 39$  milidetik.<sup>19</sup>

Durasi QRS ditentukan oleh total waktu yang dibutuhkan untuk aktivasi seluruh ventrikel, dari miokardium ke epikardium, dari apeks ke basal dan dari septal ke lateral.<sup>20</sup> Durasi QRS normal 50 – 80 milidetik, durasi yang lebih panjang dari 80 milidetik disebabkan oleh dilatasi ventrikel atau perlambatan konduksi karena blok intraventrikel. Pada pasca koreksi TF, kedua hal tersebut dapat terjadi sekaligus, dilatasi karena beban volume pada regurgitasi pulmonal dan blok intraventrikel karena RBBB. Pada penelitian ini sulit membedakan apakah RBBB dengan durasi QRS lebar disebabkan oleh beban volume ventrikel kanan atau karena terpotongnya jaras konduksi pasca operasi, atau gabungan keduanya, karena kami tidak memiliki data EKG segera pasca operasi. Dalam referensi

Tabel 5. Korelasi karakteristik umum, EKG, dan penemuan ekokardiografi antara pasien pasca koreksi TF tanpa disinkroni ventrikel kiri dan dengan disinkroni ventrikel kiri.

	Tanpa disinkroni ventrikel kiri (n = 40)	Dengan Disinkroni ventrikel kiri (n = 10)	P
Usia rerata $\pm$ SD (tahun)	8.3 $\pm$ 6.1	10,5 $\pm$ 6,0	0.28
Usia saat operasi, rerata $\pm$ SD (tahun)	4.4 $\pm$ 4.3	2.5 $\pm$ 2.3	0.15
Jarak follow up, rerata $\pm$ SD (tahun)	4.6 $\pm$ 4.1	5.4 $\pm$ 3.6	0.59
Durasi QRS, rerata $\pm$ SD (milidetik)	117 $\pm$ 19	160 $\pm$ 9	< 0.0001
Gradien RV-PA, rerata $\pm$ SD (mmHg)	23 $\pm$ 13	20 $\pm$ 9	0.48
Regurgitasi Pulmonal sedang + berat (%)	46	80	0.03
Indeks Tei RV rerata	0.41 $\pm$ .073	51 $\pm$ .076	0.0006
Septal to Lateral Delay	17 $\pm$ 13	45 $\pm$ 22	< 0.0001

disebutkan bahwa RBBB yang disebabkan oleh beban volume kanan seringkali disertai dengan aksis QRS yang berdeviasi ke kanan dan T terbalik di V1 – V3.<sup>20</sup> Pada penelitian ini terdapat 23 pasien dengan kriteria EKG demikian, dua diantaranya disertai regurgitasi pulmonal ringan dan sisanya sedang sampai berat.

Tujuh (14%) pasien tanpa disertai RBBB, dari 7 pasien tersebut 6 dengan morfologi QRS hipertrofi ventrikel kanan (RVH) di V1 dan satu pasien dengan EKG normal, tanpa RVH. Pada satu pasien dengan EKG normal tersebut terdapat regurgitasi pulmonal ringan, dengan fungsi global ventrikel kanan relatif baik. Tetapi sebaliknya terdapat dua pasien tanpa regurgitasi pulmonal dengan durasi QRS lebar, 144 dan 153 milidetik. Pada dua pasien terakhir ini, RBBB komplis bukan disebabkan oleh beban volume ventrikel kanan, melainkan murni karena terpotongnya cabang jaras kanan.

Durasi QRS berhubungan dengan fungsi ventrikel kanan, disinkroni ventrikel kiri dan derajat regurgitasi pulmonal.<sup>7,8,15,18</sup> Dengan uji analisis multivariat hubungan fungsi global ventrikel kanan dan durasi QRS, disinkroni ventrikel kiri bukan merupakan faktor perancu. Penelitian kami berbeda dari dua studi sebelumnya, yang tidak menemukan hubungan antara durasi QRS dengan fungsi ventrikel kanan.<sup>7,19</sup> Frigiola dkk. meneliti 124 pasien TF pasca koreksi, pengukuran fungsi kontraktif ventrikel kanan dilakukan dengan metode *isovolumic myocardial acceleration* (IVA), yang sangat dipengaruhi oleh perubahan beban volume.<sup>19</sup> Sedangkan Abd El Rahman dkk. meneliti 40 pasien TF pasca koreksi, tidak ditemukan hubungan antara durasi QRS dengan fungsi global ventrikel kanan yang diukur menggunakan indeks Tei.<sup>7</sup> Menariknya, mereka juga tidak melihat adanya korelasi antara durasi QRS dan volume diastolik akhir dan volume sistolik akhir ventrikel kanan yang diukur dengan ekokardiografi 3 dimensi. Beberapa penelitian di tahun-tahun belakangan ini menekankan pentingnya interaksi mekano-elektrik pada pasien TF pasca koreksi.<sup>17,18,21</sup> Dari penelitian ini kita belajar bahwa, durasi QRS pada EKG permukaan lebih dari 180 milidetik berhubungan dengan meningkatnya risiko disritmi ventrikel, dan regurgitasi pulmonal yang sering terjadi setelah *patch transanular* merupakan faktor predisposisi terjadinya aritmia dan hasil jangka panjang yang buruk.<sup>22,23</sup>

Restriksi ventrikel kanan sangat penting pada TF pasca koreksi. Restriksi ventrikel kanan menahan dilatasi ventrikel kanan akibat regurgitasi pulmonal.

*Patch transanular* tanpa restriksi ventrikel kanan akan memberikan hasil yang sangat buruk.<sup>24,25</sup> Pada penelitian ini tidak terlihat hubungan antara durasi QRS dan regurgitasi pulmonal pada uji statistik. Meskipun begitu, terlihat kecenderungan durasi QRS yang lebih lebar pada regurgitasi pulmonal yang lebih berat; temuan ini berbeda dari beberapa penelitian sebelumnya. Kami berpikir ada faktor lain selain regurgitasi pulmonal yang berpengaruh terhadap dilatasi ventrikel kanan. Mungkin restriksi ventrikel kanan yang dijumpai pada 55% pasien pasca koreksi mencegah dilatasi ventrikel kanan karena regurgitasi pulmonal.<sup>5</sup> Sehingga korelasi regurgitasi pulmonal dan durasi QRS menjadi tidak terlihat. Ini sesuai dengan penelitian Nogard dkk yang membandingkan koreksi TF dengan dan tanpa *patch transanular*. Pada pasien dengan *patch transanular* memiliki fisiologi ventrikel kanan non-restriktif dan durasi QRS lebih lebar.<sup>23</sup> Sayangnya, penelitian-penelitian sebelumnya tidak memasukkan restriksi ventrikel kanan sebagai faktor yang berpengaruh terhadap volume ventrikel kanan.

Penelitian kami membuktikan, semakin lebar QRS makin buruk fungsi ventrikel kanan, makin besar kemungkinan timbul disinkroni ventrikel kiri dan secara tidak langsung berhubungan dengan semakin buruknya regurgitasi pulmonal.

RBBB pada pasien pasca koreksi TF terjadi iatrogenik, yakni saat reseksi infundibulum dilakukan. Bila ini bisa dihindari, mungkin pasien pasca koreksi TF akan terhindar dari risiko kematian mendadak dan juga kemungkinan hasil jangka panjang yang buruk.

### Fungsi global ventrikel kanan

Meskipun TF dapat dikoreksi dengan pembedahan, lesi residual yang terdapat pasca koreksi dapat menyebabkan beban berlebihan pada ventrikel kanan, yang akhirnya berakibat gagal jantung.<sup>12</sup> Norozi dkk menilai fungsi global ventrikel kanan dan kiri dengan menggunakan parameter indeks Tei dan mengukur kadar NT-pro-BNP plasma pada orang dewasa dengan TF yang telah dilakukan koreksi. Meskipun tanpa keluhan atau dengan keluhan minimal, pasien-pasien TF pasca koreksi memiliki fungsi global ventrikel kanan dan kiri yang lebih rendah dan kadar NT-pro-BNP yang lebih tinggi daripada pasien-pasien pasca koreksi defek shunt kiri-ke-kanan.

Pengaruh jangka panjang regurgitasi pulmonal pada pasien TF pasca koreksi sudah lama diketahui, sehingga pada beberapa pusat pelayanan melakukan

penggantian katup.<sup>11</sup> Pada penelitian itu dikatakan bahwa, efek positif penggantian katup pulmonal pada fungsi kontraktile ventrikel kanan hanya terjadi bila fungsi ventrikel kanan masih cukup baik. Sedangkan pada pasien dengan fungsi ventrikel yang buruk, tidak terlihat perbaikan. Sehingga diambil kesimpulan bahwa penggantian katup pulmonal sudah terlambat bila fungsi ventrikel kanan buruk. Fungsi ventrikel kanan semakin turun apabila terdapat regurgitasi trikuspid akibat pelebaran anulus trikuspid.<sup>11</sup>

Konsep indeks Doppler yang menggabungkan penilaian kinerja ventrikel saat diastolik dan sistolik pertama kali diajukan oleh Tei dkk tahun 1997.<sup>26</sup> Saat ini, indeks Tei digunakan dalam penilaian fungsi ventrikel kanan pada fetus, anak-anak dan orang dewasa dengan penyakit jantung.<sup>27</sup> Indeks ini memiliki kelebihan dari parameter fungsi jantung lainnya karena tidak bergantung pada struktur anatomi jantung yang berubah karena kelainan kongenital. Indeks Tei adalah penjumlahan waktu kontraksi isovolumik dan waktu relaksasi isovolumik dibagi dengan waktu ejeksi. Indeks Tei ventrikel kanan adalah pengukuran noninvasif yang mudah. Penelitian sebelumnya telah memperlihatkan bahwa waktu kontraksi isovolumik mencerminkan fungsi sistolik dan waktu relaksasi isovolumik mencerminkan fungsi diastolik.<sup>28</sup> Indeks Tei juga tidak bergantung pada denyut jantung dan tekanan darah. Pengukuran indeks Tei bisa dilakukan dengan menggunakan spektrum Doppler PW di RVOT dan diujung katup trikuspid, tetapi cara ini memiliki keterbatasan karena perhitungannya tidak dapat dilakukan secara simultan, sehingga kurang dapat dipegang terutama jika terdapat perubahan denyut jantung patologis (misal AF) maupun fisiologis yang sering terjadi pada anak-anak. Pengukuran dengan menggunakan TDI mengatasi kendala ini karena dapat merekam kecepatan anulus trikuspid saat sistolik dan diastolik secara simultan.<sup>29</sup> Penelitian kami menggunakan pengukuran indeks Tei dengan TDI.

Rerata  $\pm$  SD indeks Tei ventrikel kanan pada penelitian kami adalah  $0.43 \pm 0.082$  dengan median 0.43 (kisaran 0.25 – 0.61). Menurut Borzoe M, nilai indeks Tei ventrikel kanan pada anak sehat adalah  $<0,25 \pm 0.09$ .<sup>30</sup> Norozi dkk menemukan nilai indeks Tei ventrikel kanan pada pasien TF pasca koreksi  $0.37 \pm 0.1$ .<sup>12</sup> Pada penelitian lain indeks Tei pada TF pasca koreksi  $0.24 \pm 0.18$ .<sup>7</sup>

Sebagaimana penelitian terdahulu,<sup>7,18,31,32</sup> fungsi global ventrikel kanan pada pasca koreksi total TF lebih buruk dari pada anak normal. Fungsi ventrikel tidak

berhubungan dengan usia saat operasi dan lama *follow up*. Fungsi ventrikel kanan pada pasien kami tidak berkorelasi langsung dengan lesi intra kardiak yang menyertai yaitu stenosis subvalvar, beratnya regurgitasi pulmonal maupun residual VSD. Residual VSD pada pasien kami kecil, tidak menimbulkan keluhan, gangguan hemodinamik dan hipertensi pulmonal.

Kurang lebih 5% dari pasien TF pasca koreksi dilakukan operasi kembali (re-operasi). Indikasi re-operasi adalah regurgitasi pulmonal, stenosis pulmonal, obstruksi residual alur keluar ventrikel kanan, degenerasi konduit, residual VSD, regurgitasi atau stenosis katup aorta dan regurgitasi trikuspid.<sup>3,33</sup> Meskipun pasien-pasien dengan regurgitasi pulmonal berat tanpa disertai gejala, efek negatifnya terhadap fungsi ventrikel kanan dan kapasitas latihan terus berlangsung.<sup>34</sup> Hal ini semakin berat bila disertai dengan lesi yang menyebabkan gangguan hemodinamik yang bermakna seperti stenosis distal arteri pulmonalis atau residual DSV. Dan regurgitasi pulmonal berat dalam jangka lama akan menyebabkan dilatasi ventrikel kanan yang akan berkaitan dengan aritmia dan kematian mendadak.<sup>18</sup> Discigil dkk. membuktikan bahwa, penggantian katup pulmonal memperbaiki kapasitas fungsional, fungsi ventrikel kanan dan aritmia atrial pada TF pasca koreksi.

### Septal to Posterior Wall Motion Delay (SPWMD)

Bila diambil *cut-off* 130 mdetik, pada 32 (64%) pasien terdapat gerakan paradoks dinding septal terhadap dinding posterior. Keterlambatan gerak dinding septal terhadap dinding posterior bila diratakan  $\pm$  SD adalah  $195 \pm 128$  mdetik dengan nilai tengah 150 mdetik (kisaran 51 sampai 500 mdetik). Perhitungan fungsi ventrikel kiri dengan metode Teicholtz tidak dapat dilakukan pada pasien pasca koreksi TF karena adanya paradoksikal septum ini.

### Disinkroni ventrikel kiri

Penelitian memperlihatkan adanya disinkroni ventrikel kiri pada pasien dengan LBBB.<sup>35</sup> Terapi resinkronisasi jantung (*cardiac resynchronized therapy, CRT*) pada pasien-pasien ini memperbaiki kualitas hidup, status fungsional dan kapasitas latihan. Data mengenai RBBB dan disinkroni ventrikel kiri masih sangat jarang. Garrigue dkk<sup>35</sup> melaporkan adanya disinkroni intra-

ventrikular kiri pada pasien - pasien dengan penyakit jantung iskemi dan kardiomiopati dilatasi yang disertai RBBB, yang tidak terlihat secara EKG permukaan. Abd El Rahman<sup>15</sup> menemukan 52% dari 25 pasien pasca koreksi total TF dengan RBBB memiliki disinkroni ventrikel kiri, yang terutama disebabkan oleh keterlambatan gerakan dinding septal dari dinding lateral. Hal ini berbeda dengan pasien iskemik kardiomiopati yang mengalami keterlambatan dinding lateral dari septal.

Pada 11 (22%) pasien kami yang mengalami disinkroni ventrikel kiri terutama juga disebabkan oleh keterlambatan septal dari lateral. Mekanisme disinkroni ventrikel kiri pada pasca koreksi TF mungkin multifaktorial. Pada studi dengan desain potong-lintang dan non-longitudinal ini kami tidak bisa memberikan informasi akan saat timbulnya (*onset*) disinkroni ventrikel kiri dalam hubungannya dengan waktu operasi. Abd El Rahman<sup>15</sup> mengemukakan hipotesis : interaksi mekanik yang disebabkan oleh progresivitas dilatasi ventrikel kanan dan kiri menyebabkan gerakan paradoks septum ventrikel sehingga menimbulkan disinkroni.

Studi kami menemukan gerakan paradoks septum ventrikel pada 64% pasien, namun hanya 12% yang terbukti mengalami disinkroni dinding anteroseptal – posterior. Bila diuji statistik, tidak ada korelasi antara gerakan paradoks septum dengan disinkroni dinding anteroseptal – lateral. SPWMD berkorelasi positif dengan derajat regurgitasi pulmonal ( $P < 0.05$ ), tetapi tidak ada korelasi antara SPWMD dengan durasi QRS. Sehingga disimpulkan bahwa, gerakan paradoks septum ventrikel disebabkan oleh kelebihan beban volum ventrikel kanan, bukan oleh keterlambatan kontraksi sel miosit pada septum karena kelambatan konduksi.

## Kesimpulan

Durasi QRS berkorelasi positif dengan fungsi ventrikel kanan pada pasien pasca koreksi TF. RBBB yang terjadi pasca koreksi TF dapat disertai disinkroni ventrikel kiri. Durasi QRS berkorelasi positif dengan beratnya regurgitasi pulmonal. Mencegah timbulnya RBBB pasca koreksi TF akan menghindarkan pasien dari problem hemodinamik pasca koreksi, dan juga menurunkan resiko kematian mendadak. EKG 12 sadapan perlu rutin dibuat segera pasca bedah korektif TF, sebagai *baseline* EKG untuk menilai prognosis.

## Daftar Pustaka

1. Nollert G, Fischlein T, Bouterwek S, Bohmer C, Klinner W, Reichart B. Long-term survival in patients with repair of tetralogy of Fallot: 36-year follow-up of 490 survivors of the first year after surgical repair. *J Am Coll Cardiol*. 1997;30:1374-1383.
2. Hamada H, Terai M, Jibiki T, Nakamura T, Gatzoulis MA, Niwa K. Influence of early repair of tetralogy of fallot without an outflow patch on late arrhythmias and sudden death: a 27-year follow-up study following a uniform surgical approach. *Cardiol Young*. 2002;12:345-351.
3. Murphy JG, Gersh BJ, Mair DD, Fuster V, McGoon MD, Ilstrup DM, McGoon DC, Kirklin JW, Danielson GK. Long-term outcome in patients undergoing surgical repair of tetralogy of Fallot. *N Engl J Med*. 1993;329:593-599.
4. Deanfield JE, McKenna WJ, Presbitero P, England D, Graham GR, Hallidie-Smith K. Ventricular arrhythmia in unrepaired and repaired tetralogy of Fallot. Relation to age, timing of repair, and haemodynamic status. *Br Heart J*. 1984;52:77-81.
5. Gatzoulis MA, Clark AL, Cullen S, Newman CG, Redington AN. Right ventricular diastolic function 15 to 35 years after repair of tetralogy of Fallot. Restrictive physiology predicts superior exercise performance. *Circulation*. 1995;91:1775-1781.
6. Gatzoulis MA, Balaji S, Webber SA, Siu SC, Hokanson JS, Poile C, Rosenthal M, Nakazawa M, Moller JH, Gillette PC, Webb GD, Redington AN. Risk factors for arrhythmia and sudden cardiac death late after repair of tetralogy of Fallot: a multicentre study. *Lancet*. 2000;356:975-981.
7. Abd El Rahman MY, Abdul-Khaliq H, Vogel M, Alexi-Meskishvili V, Gutberlet M, Lange PE. Relation between right ventricular enlargement, QRS duration, and right ventricular function in patients with tetralogy of Fallot and pulmonary regurgitation after surgical repair. *Heart*. 2000;84:416-420.
8. Helbing WA, Roest AA, Niezen RA, Vliegen HW, Hazekamp MG, Ottenkamp J, de Roos A, van der Wall EE. ECG predictors of ventricular arrhythmias and biventricular size and wall mass in tetralogy of Fallot with pulmonary regurgitation. *Heart*. 2002;88:515-519.
9. Therrien J, Siu SC, Harris L, Dore A, Niwa K, Janousek J, Williams WG, Webb G, Gatzoulis MA. Impact of pulmonary valve replacement on arrhythmia propensity late after repair of tetralogy of Fallot. *Circulation*. 2001;103:2489-2494.
10. van Huysduynen BH, van Straten A, Swenne CA, Maan AC, van Eck HJ, Schalij MJ, van der Wall EE, de Roos A, Hazekamp MG, Vliegen HW. Reduction of QRS duration after pulmonary valve replacement in adult Fallot patients is related to reduction of right ventricular volume. *Eur Heart J*. 2005;26:928-932.
11. Therrien J, Siu SC, McLaughlin PR, Liu PP, Williams WG, Webb GD. Pulmonary valve replacement in adults late after repair of tetralogy of fallot: are we operating too late? *J Am Coll*

- Cardiol.* 2000;36:1670-1675.
12. Norozi K, Buchhorn R, Bartmus D, Alpers V, Arnhold JO, Schoof S, Zoege M, Binder L, Geyer S, Wessel A. Elevated brain natriuretic peptide and reduced exercise capacity in adult patients operated on for tetralogy of fallot is due to biventricular dysfunction as determined by the myocardial performance index. *Am J Cardiol.* 2006;97:1377-1382.
  13. Gelband H, Waldo AL, Kaiser GA, Bowman FO, GMal, L., AL. Etiology of Right Bundle-Branch Block in Patients Undergoing Total Correction of Tetralogy of Fallot. *Circulation.* 1971;44:1022.
  14. Horowitz LN, Simson MB, Spear JF, Josephson ME, Moore EN, Alexander JA, Kastor JA, Edmunds LH, Jr. The mechanism of apparent right bundle branch block after transatrial repair of tetralogy of Fallot. *Circulation.* 1979;59:1241-1252.
  15. Abd El Rahman MY, Hui W, Yigitbasi M, Dsebisowa F, Schubert S, Hetzer R, Lange PE, Abdul-Khaliq H. Detection of left ventricular asynchrony in patients with right bundle branch block after repair of tetralogy of Fallot using tissue-Doppler imaging-derived strain. *J Am Coll Cardiol.* 2005; 45:915-921.
  16. Dubin AM, Feinstein JA, Reddy M, Hanley FL, Van Hare GF, Rosenthal DN. Electrical Resynchronization. A Novel Therapy for the Failing right Ventricle. *Circulation.* 2003;107:2287-2289.
  17. Cullen S, Celermajer DS, Franklin RC, Hallidie-Smith KA, Deanfield JE. Prognostic significance of ventricular arrhythmia after repair of tetralogy of Fallot: a 12-year prospective study. *J Am Coll Cardiol.* 1994;23:1151-1155.
  18. Gatzoulis MA, Till JA, Somerville J, Redington AN. Mechano-electrical interaction in tetralogy of Fallot. QRS prolongation relates to right ventricular size and predicts malignant ventricular arrhythmias and sudden death. *Circulation.* 1995;92:231-237.
  19. Frigiola A, Redington AN, Cullen S, Vogel M. Pulmonary regurgitation is an important determinant of right ventricular contractile dysfunction in patients with surgically repaired tetralogy of Fallot. *Circulation.* 2004;110:II153-II157.
  20. Goldman MJ. Normal Electrocardiographic Complexes. In: Principles of Clinical Electrocardiography. 1979. Lange Medical Publications, San Francisco.
  21. Giroud D, Zimmermann M, Adamec R, Oberhansli I, Friedli B. Ventricular late potentials and spontaneous ventricular arrhythmias after surgical repair of tetralogy of Fallot: do they have prognostic value? *Br Heart J.* 1994;72:580-583.
  22. Arsan S, Yorgancioglu C, Pasaoglu I, Erbas B, Bozer AY. The influence of pulmonary insufficiency on ventricular function following total correction of Fallot's tetralogy: evaluation using radionuclide ventriculography and clinical findings. *Turk J Pediatr.* 1993;35:323-331.
  23. Norgard G, Gatzoulis MA, Moraes F, Lincoln C, Shore DF, Shinebourne EA, Redington AN. Relationship between type of outflow tract repair and postoperative right ventricular diastolic physiology in tetralogy of Fallot. Implications for long-term outcome. *Circulation.* 1996;94:3276-3280.
  24. Munkhammar P, Cullen S, Jogi P, De Leval M, Elliott M, Norgard G. Early age at repair prevents restrictive right ventricular (RV) physiology after surgery for tetralogy of Fallot (TOF): diastolic RV function after TOF repair in infancy. *J Am Coll Cardiol.* 1998;32:1083-1087.
  25. Nabar A. Event Recorder Excerpts from Electrophysiology Sessions at the European Society of Cardiology Congress 2002 - Berlin. *Indian Pacing and Electrophysiology Journal.* 2003;3:41-43.
  26. Tei C, Nishimura RA, Seward JB, Tajik AJ. Noninvasive Doppler-derived myocardial performance index: correlation with simultaneous measurements of cardiac catheterization measurements. *J Am Soc Echocardiogr.* 1997;10:169-178.
  27. Eidem BW, O'leary PW, Tei C, Seward JB. Usefulness of the myocardial Performance Index for Assessing Right Ventricular Function in Congenital Heart Disease. *Am J Cardiol.* 2000;86:654-658.
  28. Curtiss EI, Reddy PS, O'Toole JD, Shower JA. Alterations of right ventricular systolic time intervals by chronic pressure and volume overloading. *Circulation.* 1976;53:997-1003.
  29. Harada K, Tamura M, Toyono M, Yasuoka K. Comparison of the Right Ventricular Tei Index by Tissue Doppler Imaging to That Obtained by Pulsed Doppler in Children Without Heart Disease. *Am J Cardiol.* 2002;90:566-569.
  30. Borzoe M, Kheirandish Z. Doppler-Derived Myocardial Performance Index in Healthy Children in Shiraz -. *Iran J Med Sci.* 2004;29:85-89.
  31. Deanfield J, McKenna W, Rowland E. Local abnormalities of right ventricular depolarization after repair of tetralogy of Fallot: a basis for ventricular arrhythmia. *Am J Cardiol.* 1985;55:522-525.
  32. Ghai A, Silversides C, Harris L, Webb GD, Siu SC, Therrien J. Left ventricular dysfunction is a risk factor for sudden cardiac death in adults late after repair of tetralogy of Fallot. *J Am Coll Cardiol.* 2002;40:1675-1680.
  33. Uretzky G, Puga FJ, Danielson GK, Hagler DJ, McGoon DC. Reoperation after correction of tetralogy of Fallot. *Circulation.* 1982;66:I202-I208.
  34. Carvalho JS, Shinebourne EA, Busst C, Rigby ML, Redington AN. Exercise capacity after complete repair of tetralogy of Fallot: deleterious effects of residual pulmonary regurgitation. *Br Heart J.* 1992;67:470-473.
  35. Garrigue S, Reuter S, Labeque JN, et al. Usefulness of biventricular pacing in patients with congestive heart failure and right bundle branch bloc. *Am J Cardiol.* 2001;88:1436-1441.