

Strain bidimensionnel dans l'étude de la fonction ventriculaire droite chez les enfants opérés de Tétralogie de Fallot

Bidimensional Strain in the study of the right ventricular function in children with Tetralogy of Fallot

Fathia Ben Moussa¹, Khadija Mzoughi¹, Sofiene Kamoun¹, Imtine Ben Mrad¹, Sana Fennira¹, I Amri², Héli Msaad³, Kaouther Hakim³, Lilia Chaker³, Fatma Ouarda³, Ihsen Zairi¹, Sondos Kraiem¹.

¹-Service de cardiologie, Hôpital Habib Thameur

²-GSB, Siliana

³-Service de cardiologie pédiatrique, La Rabta

Résumé

Introduction : L'évaluation de la fonction ventriculaire droite (VD) est un élément essentiel dans le suivi des patients opérés pour Tétralogie de Fallot (T4F). Plusieurs études ont montré que les résultats des paramètres échographiques classiques sont peu précis pour l'évaluation de la fonction VD dans ces cas.

Objectif : Etudier la fonction systolique du VD avec des paramètres classiques et le speckle tracking chez les enfants ayant subi une réparation complète du T4F.

Méthodes : Il s'agit d'une étude transversale descriptive incluant 20 enfants opérés pour (T4F) au cours des trois années précédant le début de l'étude soit entre Janvier 2014 et décembre 2016. Une évaluation échographique de la fonction VD par les paramètres conventionnels et par le Strain Longitudinal Global (SLG) ont été réalisées et comparées à celles de 20 enfants sains appariés selon l'âge et le sexe.

Résultats : L'âge moyen des patients était de 4,44 ans \pm 2,21. La fonction systolique du VD par les paramètres conventionnels a objectivé une fonction VD conservée aussi bien chez les malades que chez les témoins. Le SLGVD moyen était significativement abaissé chez les T4F opérés par rapport aux enfants sains : $-22,95 \pm 4,7\%$ versus $-30,15 \pm 1,9\%$; $p < 0,001$.

Les déformations longitudinales des différents segments myocardiques étaient significativement plus abaissées dans le groupe T4F opérés en comparaison avec le groupe témoin : $-20,87 \pm 4,11$ vs $-31,51 \pm 1,74\%$ ($p < 0,001$) à l'étage basal ; $-22,95 \pm 4,52$ vs $-30,27 \pm 1,84\%$, ($p < 0,001$) à l'étage médian et $-24,52 \pm 6,65$ vs $-28,05 \pm 2,25$, ($p = 0,03$) à l'étage apical. Une corrélation positive et significative a été notée entre le SLG du VD et le délai de la cure de T4F ($r = 0,46$ et $p = 0,03$).

Conclusion : L'étude de la fonction VD par le strain bidimensionnel permet de détecter plus précocement l'atteinte du VD chez les enfants opérés de T4F en comparaison avec les paramètres échographiques classiques.

Summary

Introduction: The evaluation of right ventricular (RV) function is essential in the follow-up of patients operated for tetralogy of Fallot (T4F). Several studies have shown the limit of the use of the classical parameters of the evaluation of the right ventricular function in this indication.

Aim: To study the systolic RV function with classical parameters and speckle tracking in children who underwent a complete repair of T4F.

Methods: This is a descriptive study including 20 children operated for T4F between January 2014 and December 2016. Right ventricular function was assessed by conventional parameters and global longitudinal strain (GLS). Results were compared to those of 20 healthy children matched for age and sex.

Results: Patients mean age was of 4.44 years \pm 2.21. Right ventricular systolic function assessed by conventional parameters was normal in both groups. Mean GLS was lower in operated T4F compared to healthy children: $-22.95 \pm 4.7\%$ versus $-30.15 \pm 1.9\%$; $p < 0.001$. The longitudinal deformations of the different myocardial segments were significantly lower in the T4F operated group compared to the control group: -20.87 ± 4.11 vs $-31.51 \pm 1.74\%$ ($p < 0.001$) at the basal level; -22.95 ± 4.52 vs $-30.27 \pm 1.84\%$, ($p < 0.001$) at the median level and -24.52 ± 6.65 vs -28.05 ± 2.25 , ($p = 0.03$) at the apical stage. A positive and significant correlation was noted between right ventricular GLS and T4F cure time ($r = 0.46$ and $p = 0.03$).

Conclusion: The study of the right ventricular function by the two-dimensional strain makes it possible to detect earlier the onset of RV dysfunction in children operated for T4F in comparison with conventional ultrasound parameters.

Mots-clés

Tétralogie de Fallot, échographie cardiaque, Fonction ventriculaire droite

Keywords

Tetralogy of Fallot, echocardiography, right ventricular function

Correspondance

Fathia Ben Moussa

Service de cardiologie, Hôpital Habib Thameur

e.mail : fathia_benmoussa@yahoo.fr

Revue Tunisienne de Cardiologie - Vol 15 N°2-2^e Trimestre 2019

INTRODUCTION

La tétralogie de Fallot (T4F) est la cardiopathie congénitale cyanogène la plus fréquente avec une incidence moyenne de 32,6 pour 100000 naissances vivantes [1].

Le développement des moyens diagnostiques et thérapeutiques a amélioré le pronostic des patients atteints de T4F avec une survie post-opératoire immédiate supérieure à 98% [2] et aux alentours de 90% à 30 ans [3]. Cependant, il a été démontré que la dysfonction systolique du VD est un déterminant important de survenue d'événements cliniques péjoratifs chez les patients opérés pour tétralogie de Fallot. Pour cela, l'investigation approfondie de cette dysfonction VD est capitale pour la détermination d'un groupe de patients à haut risque ce qui permettra ainsi d'intervenir à temps et de prévenir les événements indésirables [4].

L'évaluation de la fonction ventriculaire droite (VD) constitue donc un temps essentiel du suivi et de la prise en charge de ces patients [5-8]. Si l'IRM cardiaque est le « gold standard » pour l'évaluation VD chez les patients opérés de T4F, l'échocardiographie transthoracique est la technique la plus communément utilisée du fait de sa disponibilité, son coût et son caractère non invasif [9, 10]. L'avènement du strain longitudinal bidimensionnel a permis une meilleure mesure de la fonction globale du VD et de la déformation myocardique segmentaire [11]. Le but de ce travail était d'étudier le strain longitudinal global (SLG) et segmentaire du ventricule droit chez des enfants ayant bénéficié d'une cure complète de T4F.

MÉTHODES

Il s'agit d'une étude transversale, descriptive ayant inclus 20 enfants ayant eu une cure complète de T4F dans les trois ans précédant le début de l'étude soit entre janvier 2014 et décembre 2016 et suivis pour une T4F au service de Cardiologie pédiatrique et congénitale à l'Hôpital la Rabta. Les patients ont été convoqués à l'Hôpital Habib Thameur pour une échocardiographie avec étude de l'ensemble des paramètres de la fonction VD et SGL du VD a été réalisée au service de cardiologie de l'Hôpital Habib Thameur et comparée à celle d'un groupe de 20 témoins sains, appariés selon l'âge et le sexe. L'examen échocardiographique a été réalisé sur un enfant en décubitus latéral gauche, avec enregistrement électrocardiographique (ECG), au moyen d'un appareil de type VividE9 (General Electric Medical Systems), par le même opérateur à l'aide d'une sonde d'échocardiographie 6S générant une fréquence de 1,5MHz, avec une cadence images entre 50 et 70/sec. Les images ont été secondairement analysées afin de déterminer le strain bidimensionnel sur la plateforme du

logiciel EchoPAC software (GE-Vingmed Ultrasound AS) et par le même opérateur. On a utilisé le même logiciel dédié pour l'étude du strain du ventricule gauche. Sur les images de coupes apicales 4 cavités, on a calculé le strain longitudinal de la paroi libre du VD et du septum interventriculaire avec une détection automatique des contours.

Les valeurs du strain bidimensionnel ont été comparées aux valeurs normales chez l'enfant définies dans une méta-analyse et résumées dans le tableau I.

Tableau 1 : Valeurs normales du strain longitudinal du VD chez l'enfant [12]

| Variable | Valeur Moyenne |
|---------------|----------------|
| SGL | -29,03 ± 2,49% |
| Strain apical | -29,16 ± 3,83% |
| Strain médian | -32,33 ± 3,09% |
| Strain basal | -33,53 ± 4,11% |

SGL : Strain global longitudinal

Etude statistique :

L'étude descriptive et la comparaison des moyennes ont été faites à l'aide du logiciel SPSS 20.0. Nous avons calculé des fréquences absolues et des fréquences relatives (pourcentages) pour les variables qualitatives. Nous avons calculé des moyennes, des médianes et déterminé les valeurs extrêmes pour les variables quantitatives.

Deux groupes ont été définis :

- groupe 1 (n=20) : enfants ayant bénéficié d'une cure complète de la T4F,
- groupe 2 (n=20) : témoins sains

Les comparaisons des moyennes des variables quantitatives ont été effectuées à l'aide du test de Student et du test de Mann-Whitney. Les liaisons entre 2 variables quantitatives ont été étudiées par le coefficient de corrélation de Pearson. Le seuil de significativité statistique a été fixé à 5%.

RÉSULTATS

Les deux groupes étaient comparables en termes de caractéristiques cliniques comme résumé dans le tableau II.

Tableau 2 : Données cliniques des populations étudiées

| | Groupe 1 T4F opérés (N=20) | Groupe 2 Témoins (N=20) | p |
|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------|
| Age (ans) | 4,44 ± 2,21 | 4,42 ± 2,1 | 0,97 |
| Poids (Kg) | 16,2 ± 5,1 | 17,65 ± 5,2 | 0,38 |
| Taille (cm) | 100,1 ± 13 | 105,7 ± 12 | 0,19 |
| Surface corporelle (m2) | 0,66 ± 0,14 | 0,71 ± 0,16 | 0,32 |
| Sexe ratio | 1,2 | 1,2 | 1 |

Histoire clinique des enfants ayant bénéficié d'une cure complète de T4F

L'âge moyen lors du diagnostic était de 8,2 mois avec des extrêmes de un et 30 mois.

Aucun patient n'a présenté de signes d'insuffisance cardiaque en préopératoire.

Neuf patients avaient un arbre pulmonaire hypoplasique qui intéressait les branches de l'artère pulmonaire dans quatre cas.

Trois patients ont bénéficié d'une chirurgie palliative : un shunt de Blalock Taussig respectivement à l'âge de 2 mois, 8 mois et 4 ans et ceci pour une T4F avec artère pulmonaire (AP) hypoplasique et malaises anoxiques récurrents.

L'âge moyen de nos patients lors de la réalisation de la réparation complète était de 29 mois avec des extrêmes de 9 à 126 mois. Tous les patients ont bénéficié d'une fermeture de la communication interventriculaire (CIV) avec une infundibulotomie et résection de bandes musculaires et reconstruction de la voie de chasse du VD. Douze patients ont eu un élargissement de la voie de chasse et de la voie pulmonaire par un patch trans-annulaire. La durée de la CEC n'a pu être déterminée vu que certains comptes rendus opératoires n'ont pas été retrouvés.

Aucun patient n'a présenté de signes d'insuffisance cardiaque après la cure chirurgicale.

En postopératoire, une insuffisance pulmonaire modérée (grades 1-2) a été notée chez 17 patients et moyenne chez trois. La fonction ventriculaire gauche était conservée dans tous les cas.

Données échographiques lors de l'inclusion

Les examens échocardiographiques ont été pratiqués avec un délai moyen de 18,35 mois après la chirurgie avec des extrêmes de 8 et 36 mois.

Chez les patients opérés pour T4F, la fonction ventriculaire gauche était conservée chez tous les patients. Le VD était dilaté chez cinq patients. Aucun patient ne présentait de shunt résiduel au niveau du patch de fermeture de la CIV. Le gradient maximal VD-AP était de 29,80 mmHg en moyenne. Sept patients ont gardé une sténose résiduelle modérée sur l'AP, avec un gradient maximal variant entre 40 et 55mmHg.

L'insuffisance pulmonaire (IP) était modérée (grades 1-2) chez 17 patients et moyenne (grade 3) chez trois. Aucun patient ne présentait d'IP sévère.

La fonction systolique du VD évaluée par les paramètres conventionnels était conservée dans les 2 groupes. Les valeurs de la TAPSE, l'onde S latérale au Doppler tissulaire et du strain bidimensionnel étaient significativement plus basses dans le groupe des patients opérés pour T4F comparativement aux témoins.

Le strain global longitudinal du VD (SGL) était inférieur à la normale dans le groupe 1. Alors qu'il était conservé dans le groupe témoin. (Figures 1 et 2)

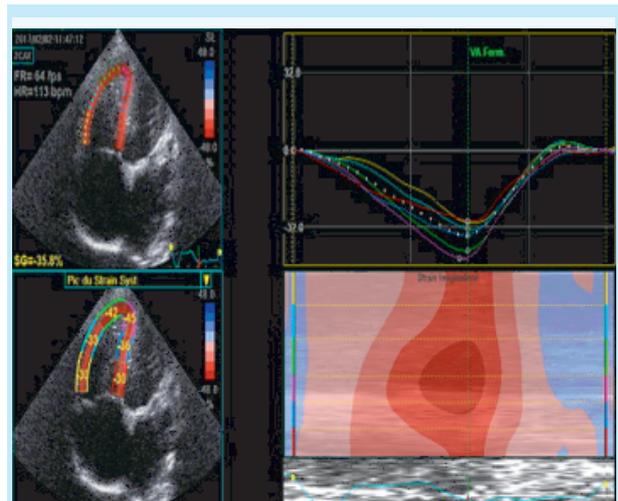


Figure 1 : Strain longitudinal global du VD normal

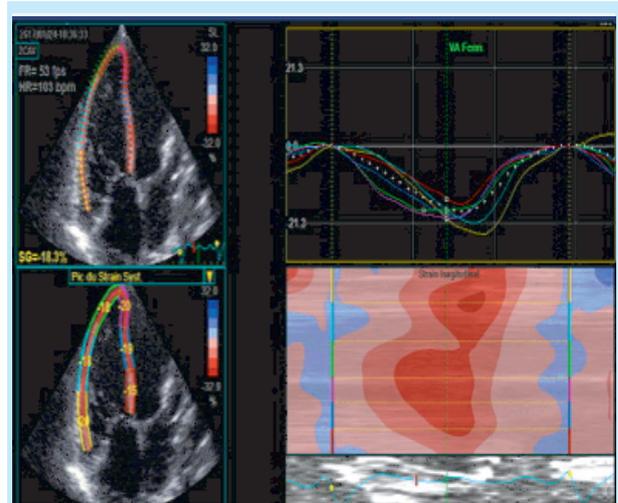


Figure 2 : Strain longitudinal global du VD abaissé

Dans le groupe de patients opérés pour T4F, on a trouvé un gradient Base-Apex avec une déformation longitudinale des segments basaux inférieure à la déformation longitudinale des segments apicaux. Un gradient Base-Apex a été également retrouvé dans le groupe témoins mais le strain était meilleur dans les segments basaux.

L'ensemble des données échographiques recueillies pour le groupe 1 et 2 sont résumées dans le tableau III.

Une corrélation positive et significative a été notée entre le SGL du VD et le délai depuis la cure chirurgicale de T4F ($r=0,46$ $etp=0,03$) comme indiqué dans le tableau IV.

Tableau 3 : Données échographiques

| | | Groupe 1 T4F opérés (N=20) | Groupe 2 Témoins (N=20) | p |
|--|--|----------------------------------|-------------------------------|--------|
| Paramètres conventionnels | FEVG (%) | 73,15 ± 7,40 | 74,70 ± 5,66 | 0,46 |
| | STDVD (cm ² /m ²) | 23,55 ± 3,80 | 16,85 ± 5,11 | 0,04 |
| | FRSVD (%) | 40,1 ± 6,88 | 44,90 ± 2,59 | 0,08 |
| | TAPSE (mm) | 15,60 ± 2,87 | 20,65 ± 2,13 | <0,001 |
| | OndeS lat (cm/s) | 12,71 ± 1,13 | 16,50 ± 2,25 | <0,001 |
| Gradient base-apex | SGL du VD | -22,95 ± 4,7 | -30,15 ± 1,9 | <0,001 |
| | Strain des segments basaux | -20,87 ± 4,11 | -31,51 ± 1,74 | <0,001 |
| | Strain des segments médians | -22,95 ± 4,52 | -30,40 ± 2,04 | <0,001 |
| Analyse segmentaire du strainlongitudinal du VD | Strain des segments apicaux | -24,52 ± 6,65 | -28,05 ± 2,25 | <0,001 |
| | Strain latéral basal | -24,40 ± 5,61 | -32,30 ± 2,00 | <0,001 |
| | Strain septal basal | -17,35 ± 5,78 | -30,95 ± 2,83 | <0,001 |
| | Strain latéral médian | -25,85 ± 6,54 | -30,35 ± 2,41 | 0,006 |
| | Strain septal médian | -20,10 ± 3,35 | -30,20 ± 3,35 | <0,001 |
| | Strain latéral apical | -25,45 ± 7,06 | -28,45 ± 2,03 | 0,07 |
| | Strain septal apical | -23,70 ± 7,08 | -27,45 ± 3,15 | 0,03 |

FEVG : Fraction d'éjection du VG ; STDVD : Surface télédiastolique du VD ; FRSVD : fraction de raccourcissement de surface du VD ; TAPSE : Excursion systolique du plan de l'anneau tricuspide ; Onde S lat : pic de l'onde S en doppler tissulaire pulsé à l'anneau tricuspide ;SGL : strain global longitudinal du VD.

Tableau 4 : Corrélation entre le délai écoulé après la chirurgie et les paramètres échographiques d'évaluation de la fonction systolique du VD

| | Corrélation de Pearson : r | p |
|-------------------|----------------------------|------|
| FRS VD (%) | 0,194 | 0,41 |
| TAPSE (mm) | 0,092 | 0,69 |
| Onde S Lat (cm/s) | 0,220 | 0,92 |
| SGL | 0,469 | 0,03 |

DISCUSSION

Malgré les progrès dans les techniques chirurgicales et des modalités thérapeutiques des T4F, l'insuffisance ventriculaire droite reste inéluctable et multifactorielle. Elle est secondaire essentiellement à l'hypoxie préopératoire, au remodelage ventriculaire, à la surcharge de pression due à l'obstruction sur la voie d'éjection du VD, à la surcharge volumétrique due à l'insuffisance pulmonaire et tricuspide et à l'asynchronisme intra-ventriculaire [4,13]. La dysfonction ventriculaire droite est d'installation et d'évolution progressive et constitue un facteur pronostique déterminant d'où l'importance de l'étude de la fonction VD chez ces patients.

Par ailleurs, l'évaluation échographique du VD est difficile du fait de sa position rétrosternale et antérieure au ventricule gauche, sa forme complexe, sa paroi

latérale mince et l'abondance des trabéculations rendant la délimitation de l'endocarde difficile [14-16].

* Place des paramètres échographiques conventionnels dans la T4F opérée

Dans notre étude, les paramètres échographiques classiques (FRSVD, TAPSE et Onde S lat au DTI) ont permis de conclure que la fonction ventriculaire droite était conservée chez les patients opérés pour T4F.

La FRS VD est une méthode d'évaluation de la fonction systolique du VD. Plusieurs études ont montré que ce paramètre a une faible corrélation avec la FEVD estimée par l'IRM dans les cardiopathies congénitales et notamment la T4F [17-20]. Cette corrélation est d'autant plus faible que le VD est dilaté.

De plus, la FRS VD est un paramètre qui dépend de la géométrie du ventricule droit, de la netteté des contours de l'endocarde et des conditions de charge du VD. Dans la T4F réparée, le VD présente des modifications de la géométrie et les pré et post-charges du VD peuvent être modifiées par l'IT, l'IP et les sténoses résiduelles sur la voie de chasse. De ce fait, ce paramètre ne représente pas un outil fiable pour l'évaluation de la fonction systolique du VD dans la T4F opérée.

La TAPSE reflète la fonction systolique globale du VD chez les sujets normaux, mais n'a pas été retenu comme paramètre pour les sujets opérés pour T4F. Plusieurs études chez ces patients ont trouvé une faible corrélation entre la TAPSE et FEVD déterminée par l'IRM [20-24]. En effet, chez ces patients, l'hypertrophie

importante du VD augmente la contraction radiale et la TAPSE, mesurant la déformation longitudinale, peut sous-estimer la fonction systolique réelle. Par ailleurs, la TAPSE est fortement dépendante de la précharge du VD. Cela peut réduire sa sensibilité à l'égard de la fonction systolique : en cas de surcharge volumétrique sévère, la TAPSE peut être élevée, masquant une dysfonction systolique légère [25].

Le doppler tissulaire permet d'analyser aussi bien la vitesse du déplacement longitudinal de l'anneau tricuspide ainsi que le segment basal de la paroi latérale du VD.

Pavlicek et al. [26] ont rapporté que $S < 11$ cm/sec était plus corrélée à FEVD $< 50\%$ à l'IRM chez 223 sujets dont 13% avaient une T4F réparée. Les limitations de l'imagerie par le Doppler tissulaire sont liées à sa dépendance de l'angle (technique Doppler) et l'évaluation unidimensionnelle du mouvement myocardique (longitudinal, circonférentiel ou radial) [27]. Une limitation intrinsèque supplémentaire est représentée par le phénomène de «tethering» par lequel le mouvement passif du myocarde normal entourant le myocarde malade peut entraîner des vitesses tissulaires faussement normales du segment malade en question [28].

*Place du strain bidimensionnel

Le strain longitudinal myocardique a été également étudié et validé chez l'enfant et même les nouveaux nés prématurés [29] et une méta-analyse a défini les valeurs normales du strain du VD chez les enfants [12].

Le strain 2D a été utilisé pour l'évaluation de la fonction VD dans plusieurs pathologies congénitales [30,31] avec une bonne corrélation avec la FEVD déterminée par l'IRM.

.Dans une étude publiée en 2016, Toro KD a conclu que le strain longitudinal du VD est un outil simple et efficace pour l'évaluation de la fonction systolique du VD chez les patients opérés pour T4F. Cette technique permet aussi d'affiner le suivi et la sélection des patients candidats à la pratique d'IRM [32]. Dans la publication de Li Y, le strain bidimensionnel a permis d'identifier des anomalies qui représentent une altération précoce de la fonction systolique du VD chez des T4F opérés alors que la FE estimée par les paramètres conventionnels était préservée [33]. Cette baisse du SGL du VD a été retrouvée dans de nombreuses séries, aussi bien chez les enfants que les adultes opérés pour T4F [7, 34-37].

Dans notre étude, les résultats étaient comparables à ceux de la littérature avec un strain longitudinal global plus bas chez les enfants opérés pour T4F comparativement aux enfants sains alors que les paramètres conventionnels étaient normaux.

Le strain régional du VD est également abaissé chez les patients ayant une T4F réparée, aussi bien chez les

enfants que les adultes [6,7,37,38].

Un gradient significatif entre les segments basaux et apicaux du VD a été décrit chez les sujets sains dans la méta-analyse de Levy [12] et est également retrouvé chez les patients opérés pour T4F [37]. Ces données rejoignent nos résultats.

Dans la littérature, la baisse de la déformation longitudinale globale du VD était corrélée à certains facteurs cliniques.

Li Ya trouvé que la dysfonction VD était corrélée à la sévérité et l'ancienneté de l'IP [33].

Il a également rapporté que l'amélioration des paramètres de déformation longitudinale globale du VD était d'autant plus significative que les enfants étaient opérés précocement [39].

Dans notre série, nous avons trouvé une corrélation entre le délai de la chirurgie et l'altération du strain bidimensionnel du VD soulignant l'intérêt du suivi précoce et régulier afin de détecter une dysfonction VD débutante.

*Limite de l'étude

La principale limite de notre étude est son faible effectif, ceci était dû à la difficulté de recueil des données chez les patients. Des études similaires avec un plus grand effectif permettraient d'extrapoler ces résultats aux enfants opérés pour T4F et d'intégrer le Strain 2D dans le suivi de ces patients afin d'améliorer leur prise en charge.

CONCLUSION

Notre travail a montré l'intérêt de l'analyse de la déformation myocardique du VD chez les enfants ayant bénéficié d'une réparation complète de T4F. En effet, le strain bidimensionnel VD permet de détecter une dysfonction ventriculaire droite précoce alors que les paramètres échographiques conventionnels d'évaluation de la fonction systolique du VD sont encore normaux. Cette évaluation de la contractilité myocardique du VD permettra de codifier la stratégie de surveillance ultérieure et d'assurer une prise en charge précoce afin de prévenir l'évolution vers l'insuffisance cardiaque.

REFERENCES

- 1- Hoffman JI, Kaplan S. The incidence of congenital heart disease. *J Am CollCardiol*2002;39:1890-900.
- 2- Al Habib HF, Jacobs JP, Mavroudis C, Tchervenkov CI, O'Brien SM, Mohammadi S, et al. Contemporary patterns of management of tetralogy of Fallot: data from the Society of Thoracic Surgeons database. *Ann ThoracSurg*2010;90:813-9.
- 3- Chiu SN, Wang JK, Chen HC, Lin MT, Wu ET, ChenCA, et al. Long-term survival and unnatural deaths of patients with repaired tetralogy of Fallot in an Asian cohort. *CircCardiovascQualOutcomes*2012;5:120-5.
- 4- Cho YK, Ma JS. Right ventricular failure in congenital heart disease. *Korean Journal of Pediatrics*. 2013;56(3):101-106.
- 5- Knauth AL, Gauvreau K, Powell AJ, LandzbergMJ, Walsh EP, Lock JE et al. Ventricular size and function assessed by cardiac MRI predict major adverse clinical outcomes late after tetralogy of Fallot repair. *Heart* 2008;94:211-6.
- 6- Kempny A, Diller GP, Orwat S, Kaleschke G, Kerckhoff G, Bunck A et al. Right ventricular-leftventricular interaction in adults with Tetralogy of Fallot: a combined cardiac magnetic resonance and echocardiographic speckle tracking study. *Int J Cardiol*2012;154:259-64.
- 7- S. Zahra Mahshid, OjaghiHaghighi; Ahmad Amin; FeridounNoohi; MahboobehDaliryFard; Farid Safi; Hani Harati. Right ventricular strain predicts functional capacity in patients with repaired tetralogy of Fallot. *IranianHeart Journal* 2011; 12 (3):17-36.
- 8- Friedberg MK, Mertens L. Tissue velocities, strain, and strain rate for echocardiographic assessment of ventricular function in congenital heart disease. *Eur J Echocardiogr*. 2009 ;(5):585-93.
- 9- Helbing WA, Rebergen SA, Maliepaard C, et al. Quantification of right ventricular function with magnetic resonance imaging in children with normal hearts and with congenital heart disease. *Am Heart J* 1995;130:828-37.
- 10- Rebergen SA, de Roos A. Congenital heart disease. Evaluation of anatomy and function by MRI. *Herz* 2000;25:365-83.
- 11- DiLorenzo MP, Bhatt SM, Mercer-Rosa L. How best to assess right ventricular function by echocardiography. *Cardiology in the young*. 2015;25(8):1473-1481.
- 12- PT. Levy, A.Sanchez, A.Machefsky, S.Fowler, M.R.Holland, andG.K. Singh ; Normal Ranges of Right Ventricular Systolic and Diastolic Strain Measures in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Am Soc Echocardiogr*. 2014; 27(5): 549-560.
- 13- P A Davlouros, K Niwa, G Webb, M A Gatzoulis; The right ventricle in congenital heart disease. *Heart* :2006;92(Suppl 1):i27-i38.
- 14- Surkova E, Peluso D, Kasprzak JD, BadanoLP. Use of novel echocardiographic techniques to assess right ventricular geometry and function. *Kardiol Pol*. 2016;74(6):507-22.
- 15- Haddad F, Hunt SA, Rosenthal DN et al. Right ventricular function in cardiovascular disease, part I: Anatomy, physiology, aging, and functional assessment of the right ventricle. *Circulation*, 2008; 117: 1436-48.
- 16- Jurcut R, Giusca S, La Gerche A et al. The echocardiographic assessment of the right ventricle: What to do in 2010? *Eur J Echocardiogr*, 2010; 11: 81-96.
- 17- LaiWW, Gauvreau K, Rivera ES, Saleeb S, Powell AJ, Geva T. Accuracy of guideline recommendations for two-dimensional quantification of the right ventricle by echocardiography. *Int J Cardiovasc Imaging* 2008;24:691-8.
- 18- Anavekar NS, Gerson D, Skali H, Kwong RY, Yucel EK, Solomon SD. Two-dimensional assessment of right ventricular function: an echocardiographic-MRI correlative study. *Echocardiography* 2007;24:452-6.
- 19- Wang J, Prakasa K, Bomma C, Tandri H, Dalal D, James C, et al. Comparison of novel echocardiographic parameters of right ventricular function with ejection fraction by cardiac magnetic resonance. *J Am Soc Echocardiogr*2007;20:1058-64.
- 20- Srinivasan C, Sachdeva R, Morrow WR, Greenberg SB, Vyas HV. Limitations of standard echocardiographic methods for quantification of right ventricular size and function in children and young adults. *J Ultrasound Med* 2011;30:487-93.
- 21- Bonnemains L, Stos B, Vaugrenard T, Marie PY, Odille F, Boudjemline Y. Echocardiographic right ventricle longitudinal contraction indices cannot predict ejection fraction in post-operative Fallot children. *EurHeart J Cardiovasc Imaging* 2012;13:235-42.
- 22- Koestenberger M, Nagel B, Ravekes W, Everett AD, Stueger HP, Heinzl B, et al. Tricuspid annular plane systolic excursion and right ventricular ejection fraction in pediatric and adolescent patients with tetralogy of Fallot, patients with atrial septal defect, and age-matched normal subjects. *Clin Res Cardiol* 2011;100:67-75.
- 23- Morcos P, Vick GW III, Sahn DJ, Jerosch-Herold M, Shurman A, Sheehan FH. Correlation of right ventricular ejection fraction and tricuspid annular plane systolic excursion in tetralogy of Fallot by magnetic resonance imaging. *Int J Cardiovasc Imaging* 2009;25:263-70.
- 24- Villafañe J, Feinstein JA, Jenkins KJ, Vincent RN, Walsh EP, Dubin AM, et al ; Hot Topics in Tetralogy of Fallot. *J Am CollCardiol*. 2013;62(23):2155-66.
- 25- M. Carminati, F.Pluchinotta, L.Piazza, A.Micheletti, D.Negura, M.Chessa, et al; Echocardiographic assessment after surgical repair of tetralogy of Fallot. *Front Pediatr*. 2015 ;3:3.
- 26- Pavlicek M, Wahl A, Rutz T, de Marchi SF, Hille R, Wustmann K, et al. Right ventricular systolic function assessment: rank of echocardiographic methods vs. Cardiac magnetic resonance imaging. *Eur J Echocardiogr*2011;12:871-80.
- 27- Redington AN (2006) Physiopathology of right ventricular failure. *SeminThoracCardiovascSurgPediatrCardSurgAnnu* 3-10.
- 28- Mertens LL, Friedberg MK. Imaging the right ventricle-current state of the art. *Nat Rev Cardiol*. 2010; 7
- 29- Levy PT, Holland MR, Sekarski TJ, Hamvas A, Singh GK ; Feasibility and reproducibility of systolic right ventricular strain measurement by speckle-tracking echocardiography in premature infants. *J Am SocEchocardiogr*. 2013 (10):1201-13.
- 30- Jurcut R, Giusca S, La Gerche A, Vasile S, Ghingina C, Voigt J-U. The echocardiographic assessment of the right ventricle: what to do in 2010? *Eur J Echocardiogr*. 2010;11
- 31- Teske AJ, Cox MG, De Boeck BW, Doevendans PA, Hauer RN, Cramer MJ. Echocardiographic tissue deformation imaging quantifies abnormal regional right ventricular

- function in arrhythmogenic right ventricular dysplasia/cardiomyopathy. *J Am Soc Echocardiogr.* 2009;22
- 32-Toro KD, Soriano BD, BuddheS ; Right ventricular global longitudinal strain in repaired tetralogy of Fallot. *Echocardiography.* 2016;(10):1557-62.
- 33-Li Y, Xie M, Wang X, Lu Q, Zhang L, Ren P; Impaired right and left ventricular function in asymptomatic children with repaired tetralogy of Fallot by two-dimensional speckle tracking echocardiography study. *Echocardiography.* 2015 (1):135-43.
- 34-Weidemann F, Eyskens B, Mertens L, DommkeC, Kowalski M, Simmons L, et al; Quantification of regional right and left ventricular function by ultrasonic strain rate and strain indexes after surgical repair of tetralogy of Fallot. *Am J Cardiol.* 2002; 90:133-138.
- 35-Toyono M, Harada K, Tamura M, Yamamoto F, Takada G. Myocardial acceleration during isovolumic contraction as a new index of right ventricular contractile function and its relation to pulmonary regurgitation in patients after repair of tetralogy of Fallot. *J Am Soc Echocardiogr*2004;17:332-7.
- 36-Kutty S, Deatsman SL, Russell D, Nugent ML, Simpson PM, et al. Pulmonary valve replacement improves but does not normalize right ventricular mechanics in repaired congenital heart disease: a comparative assessment using velocity vectorimaging. *J Am SocEchocardiogr*2008,(11):1216-1221.
- 37-Menting ME, van den Bosch AE, McGhie JS, Eindhoven JA, Cuypers JA, Witsenburg M, Geleijnse ML, Helbing WA, Roos-Hesselink JW; Assessment of ventricular function in adults with repaired Tetralogy of Fallot using myocardial deformation imaging. *EurHeart J Cardiovasc Imaging.* 2015;(12):1347-57.
- 38-ScherptongRW, Mollema SA, Blom NA, Kroft LJ, de Roos A, VliegenH et al. Right ventricular peak systolic longitudinal strain is a sensitive marker for right ventricular deterioration in adult patients with tetralogy of Fallot. *Int JCardiovasc Imaging* 2009;25:669-76.
- 39-Li Y, Wang X, Lv Q, et al. Impact of surgical correction of tetralogy of fallot on short-term right and left ventricular function as determined by 2-dimensional speckle tracking echocardiography. *Medicine.* 2016 (31): e4426.